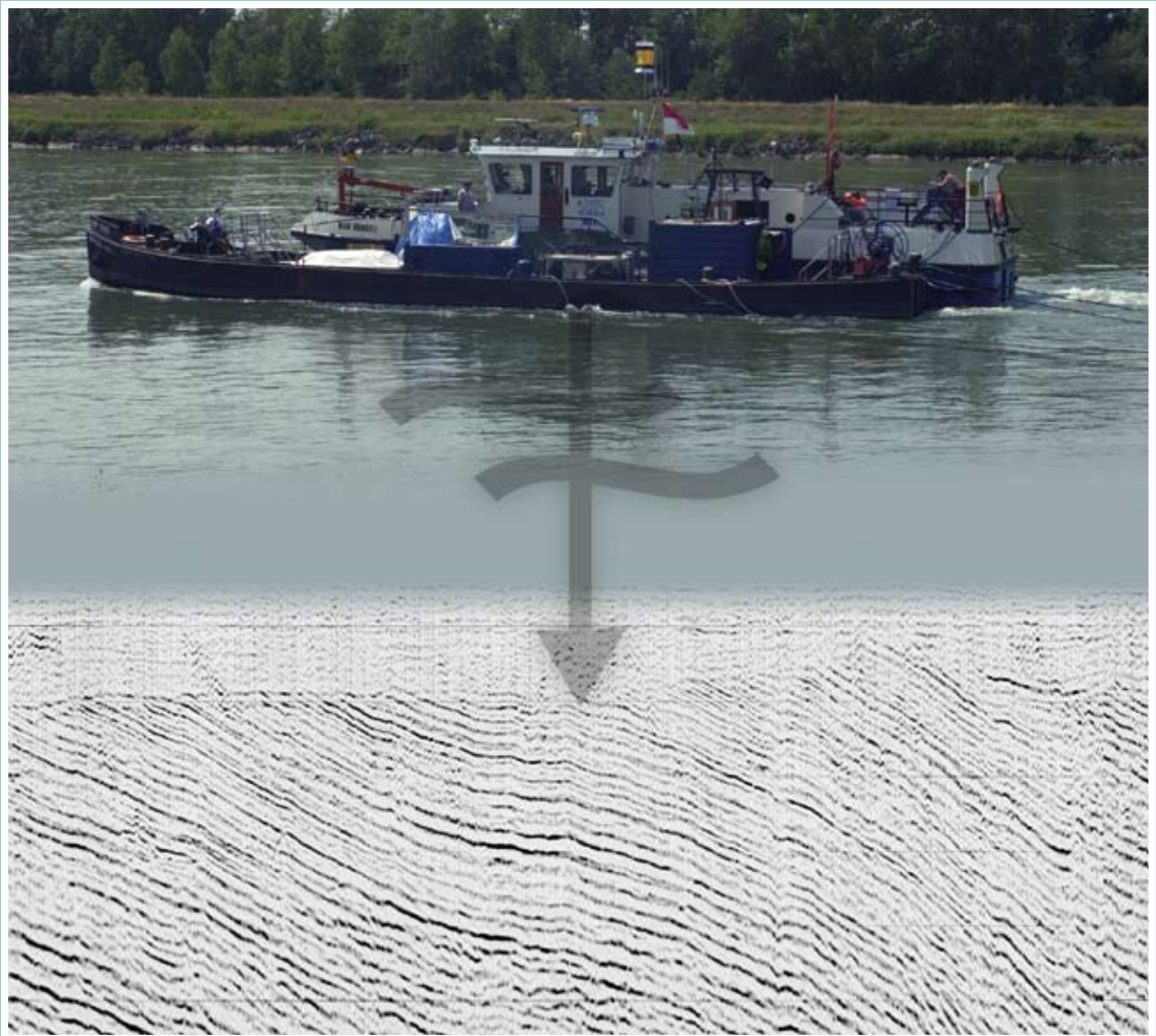


Hochauflösende Reflexionsseismik auf dem Rhein und dem Rheinseitenkanal



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau



Hochauflösende Reflexionsseismik auf dem Rhein und dem Rheinseitenkanal zwischen Mannheim und Rheinfelden

Bearbeiter

GUNTHER WIRSING, ALEXANDER LUZ, WOLFGANG ENGESSER & ANDREAS KOCH

Gastautoren

PHILIPPE ELSASS & JOSÉ PERRIN

LGRB-Fachbericht	1/07	60 S.	32 Abb.	7 Tab.	Beilage: CD-ROM	Freiburg i. Br. März 2007
------------------	------	-------	---------	--------	--------------------	------------------------------



- Herausgeber: REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG – Abteilung 9
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
Albertstraße 5, 79104 Freiburg i. Br.
Telefon: (0761) 208-3000
Fax: (0761) 208-393029
E-Mail: abteilung9@rpf.bwl.de
Internet: <http://www.rpf-freiburg.de>
- Bearbeiter: Dr. GUNTHER WIRSING, ALEXANDER LUZ, Dr. WOLFGANG ENGESSER und ANDREAS KOCH
- Gastautoren: PHILIPPE ELSASS (Service Géologique Régional Alsace, 15, rue du Tanin, Lingolsheim, 67834 Tanneries Cedex, FRANKREICH), JOSÉ PERRIN (Bureau de Recherches Géologiques et Minières [BRGM] CDG/MA BP 36009 45060 Orléans, cedex 02, FRANKREICH)
- Graphik: BETTINA SCHMÜCKING, PETER GEERDTS und Dr. GUNTHER WIRSING (alle RPF/LGRB)
- Satz und Layout: BRIGITTE WOLF (RPF/LGRB)
- Druck: Reprodienst GmbH, Gündlinger Straße 8, 79111 Freiburg i. Br.
- Ausgabe: März 2007

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Übersetzung, Nachdruck, Vervielfältigung auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.



Vorwort

Im Oberrheingraben wurden seit Mitte des letzten Jahrhunderts insbesondere im Rahmen der Erdölexploration häufig reflexionsseismische Messungen eingesetzt. Ziel dieser aufwändigen geophysikalischen Untersuchungen war es, den Aufbau des tieferen Festgesteinsuntergrundes bzw. möglicherweise erdölführende Strukturen zu erforschen. In den letzten Jahren wurde die Methode verstärkt zur detaillierten Erkundung geeigneter Standorte für geothermische Nutzungen verwendet.

Mit dem Einsatz leistungsfähiger Hard- und Software fand das Verfahren, das einen hohen apparativen und zeitlichen Aufwand bei der Datenerhebung und -auswertung erfordert, seit einiger Zeit auch zunehmend bei der Erkundung der quartären und pliozänen Lockersedimente des Oberrheingrabens Anwendung.

Bei der reflexionsseismischen Messkampagne auf dem Rhein, dem Rheinseitenkanal und dem Rhein-Rhône-Kanal im Jahr 2002, deren Ergebnisse im vorliegenden Bericht vorgestellt werden, wurde erstmals im südlichen Oberrheingraben die so genannte Gewässerseismik eingesetzt, bei der die Messungen von der Wasseroberfläche aus erfolgen. Dieses Verfahren verbindet die Vorteile der im Allgemeinen sehr guten Datenqualität und vertikalen Auflösung mit hoher Kosteneffizienz.

Die Messungen wurden im Rahmen des Interreg III-Projektes MoNit (Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben) von Rheinfelden bis Mannheim entlang der Landesgrenze zwischen Deutschland und Frankreich bzw. zwischen Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz durchgeführt. Sie führten zu neuen Erkenntnissen über die Mächtigkeit und interne Gliederung der pliozänen und quartären Lockersedimente sowie über tektonische Bewegungen, die bis in das jüngere Quartär anhielten und bilden eine wesentliche Grundlage für die grenzüberschreitende Vereinheitlichung und Anpassung der Geodaten. Sie tragen nicht nur zu einem verbesserten Verständnis der Entstehungsgeschichte des Oberrheingrabens bei, sondern liefern auch wichtige Informationen über den Aufbau des bedeutendsten Grundwasserleiters und größten Kies- und Sandvorkommens in Baden-Württemberg.

Dr. Ralph Watzel

Leiter des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
im Regierungspräsidium Freiburg





Inhalt

1	Zusammenfassung	7
2	Einleitung	7
3	Geologische Verhältnisse	8
4	Reflexionsseismische Mehrkanalmessungen auf dem Rhein, dem Rheinseitenkanal und dem Rhein-Rhône-Kanal	10
	4.1 Messverfahren	10
	4.2 Durchführung der Messungen	10
5	Datenbearbeitung	15
6	Datenqualität	16
7	Korrelation der seismischen Profile mit Bohrungen und seismische Gliederung der Lockergesteine	20
	7.1 Lithologisch-hydrogeologische Gliederung der Lockergesteine des Oberrheingrabens	20
	7.2 Korrelation der seismischen Profile mit Bohrungen	23
	7.3 Beschreibung der seismischen Einheiten	30
8	Tektonik	35
	8.1 Störungen in der pliozänen und pleistozänen Lockergesteinsabfolge	37
	8.2 Störungen im tertiären und mesozoischen Festgesteinsuntergrund	43
9	Karlsruher Schwelle und Heidelberger Becken	48
	Dank	51
	Literatur	51

Anlage 1 – 17: Seismische Profile 1 – 21 (auf CD-ROM als Beilage)

Anlage 18 – 22: Lagepläne der Störungen





1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Interreg-III-Projekts MoNit (Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben, LUBW 2006a) wurden im Jahr 2002 zwischen Mannheim und Rheinfelden auf dem Rhein, dem Rheinseitenkanal sowie dem Rhein-Rhône-Kanal bis Mulhouse hochauflösende reflexionsseismische Mehrkanalmessungen mit einer Erkundungstiefe bis 400 m u. Gel. (Meter unter Gelände) durchgeführt. Die Ergebnisse erlauben die Kartierung der Lockergesteinsbasis, die Gliederung der pliozänen und pleistozänen Grabenfüllung in seismische Einheiten, ihre Zuordnung zu lithologisch-hydrogeologischen Einheiten und die Lokalisierung von Störungen, an denen bereichsweise bis ins Jungpleistozän tektonische Bewegungen stattfanden.

Der vielerorts stark von Störungen betroffene tertiäre Festgesteinsuntergrund liegt in den Seismikprofilen südlich des Kaiserstuhls in einer Tiefe von bis zu 200 m u. Gel. In Richtung Karlsruhe steigt er bis 60 m u. Gel. an. Nördlich der Karlsruher Schwelle sinkt die Miozänoberfläche bis Mannheim auf über 400 m u. Gel. ab.

Im Raum Karlsruhe und südlich davon liegt das Pliozän mit einer Winkeldiskordanz über dem älteren tertiären Festgesteinsuntergrund. Nördlich von Karlsruhe bis Mannheim gehen die miozänen Ablagerungen konkordant in das Pliozän über. Dies dokumentiert eine anhaltende Senkungstendenz dieses Raumes mit einer kontinuierlichen Sedimentation an der Grenze vom Tertiär zum Quartär. Die schwache Faltung der miozänen Sedimente im mittleren Grabensegment zwischen Karlsruhe und Söllingen, die mit einer Einengung und eventuell mit Transversalbewegungen zusammenhängt, belegt tektonische Bewegungen vor oder während der mittelmiozänen Heraushebung der Karlsruher Schwelle, die von Abtragungsprozessen begleitet wurde. Grabenartige Strukturen in der Miozänoberfläche zeugen von einer anschließenden schwachen Dehnungsphase des Grabenabschnittes.

Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes kann die pliozäne und quartäre Grabenfüllung durch Einschaltungen feinklastischer Sedimente in bis zu neun seismische Einheiten untergliedert werden. Dabei lassen sich einige Reflektoren über größere Entfernungen verfolgen. Südlich der Karlsruher Schwelle sind die Lockergesteine lithologisch weniger differenziert. Oft lassen sich hier nur zwei Einheiten unterscheiden.

An der Nordflanke der Karlsruher Schwelle lagern die seismischen Einheiten distal am älteren tertiären

ren Festgesteinsuntergrund an, wobei die jüngeren Einheiten weiter nach Süden reichen als die älteren. Die verstärkte Absenkung nördlich der Karlsruher Schwelle in Richtung Heidelberger Becken endete mit der Ablagerung des cromerzeitlichen Ladenburg-Horizontes (Oberer Ton, Oberer Zwischenhorizont).

Mit Ausnahme der obersten seismischen Einheiten, die im Süden der Neuenburg-Formation bzw. im Norden dem Oberen Kieslager (Mannheim-Formation) entsprechen, nimmt die Mächtigkeit der pliozänen und quartären Einheiten von der Karlsruher Schwelle in Richtung Mannheim kontinuierlich zu.

Die Ergebnisse der Auswertung der seismischen Messungen flossen in die Konstruktion der Grenzflächen hydrogeologischer Einheiten ein (LUBW 2006b, RPF/LGRB, in Vorb.).

An mehreren Stellen im Untersuchungsgebiet wurden Störungen im miozänen und oligozänen Festgesteinsuntergrund sowie in der pliozänen und quartären Grabenfüllung identifiziert. Im nördlichen Grabenabschnitt reichen neotektonische Bewegungen mindestens bis in die Basis des Oberen Zwischenhorizontes (Ladenburg-Horizont).

2 Einleitung

Die pliozänen und quartären Lockersedimente des Oberrheingrabens beinhalten eines der bedeutendsten überregionalen Grundwasservorkommen Mitteleuropas (LfU, Landesanstalt für Umweltschutz, Région Alsace 1996) und gehören zu den größten Kies- und Sandvorkommen Baden-Württembergs (LGRB 2002). Die Beurteilung von Auswirkungen u. a. infrastruktureller und landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Grundwasserqualität sowie die raum- und landschaftsplanerische Abwägung zwischen konkurrierenden Nutzungen in der dicht besiedelten Oberrheinebene setzen möglichst detaillierte Kenntnisse über die Geometrie sowie über die internen Gliederungselemente des Kieskörpers voraus.

Seit den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts wurde der lithologische Aufbau der plio-/pleistozänen Grabenfüllung hauptsächlich im Zusammenhang mit hydrogeologischen Fragestellungen durch eine Vielzahl von Bohrungen intensiv erkundet. Die Ergebnisse wurden in den Hydrogeologischen Kartierungen dokumentiert (HGK 1977, 1978a, 1978b, 1979, 1980, 1988, 1999) bzw. im Rahmen von INTERREG-Projekten grenzüberschreitend für das Elsass und

Baden bzw. Rheinland-Pfalz zusammengestellt (LfU 1996, INTERREG II 2001 a, 2001 b, 2002). Weitere wichtige Informationen über die pleistozäne Sedi-mentabfolge lieferte eine Bohrkampagne, die in den 1990er Jahren zur Erkundung des Rohstoffpoten-zials im südlichen Oberrheingraben durchgeführt wurde (WERNER et al. 1997).

Neben Bohrungen wurden im Oberrheingraben zur Erkundung des Untergrundes auch geophysikalische Untersuchungsmethoden eingesetzt. Diese konzen-trierten sich im Rahmen der Erdölsuche zwischen den 50er und 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts auf den präquartären Festgesteinsuntergrund (WIRTH 1962, DOHR 1968). Dabei kamen hauptsächlich re-flexionsseismische Messungen zum Einsatz. Bei der Untersuchung der quartären Sedimente im Rahmen lokaler hydrogeologischer Fragestellungen wurden überwiegend geoelektrische Methoden zur Erkun-dung des Untergrundaufbaus (z. B. BROST & HOMILIUS 1983, BROST 1989, HOMILIUS & SCHNEIDER 1991, BROST & ELLWANGER 1991, BROST 1995, BRAM et al. 2005) oder zur Abgrenzung salzhaltiger Grundwässer im quartären Aquifer verwendet (STOBER et al. 1999, INTERREG II 2002, BRAM et al. 2005).

Hochauflösende reflexionsseismische Landmessun-gen zur oberflächennahen Erkundung von Locker-sedimenten wurden in den 1980er Jahren weiter entwickelt und bisher zur Klärung meist hydrogeo-logischer oder ingenieurgeologischer Fragestellun-gen überwiegend in Kanada und in der Schweiz angewandt (SIGNIER et al. 2000, GREEN et al. 1995, PUGIN et al. 1999, FREI & KELLER 2000, SHARPE et al. 2003, DE BATIST & VERSTEEG 1999, TÓTH et al. 1997). Im Oberrheingraben kamen sie in der Vergan-genheit aufgrund der vergleichsweise hohen Kosten nur selten zur Anwendung (z. B. BRAM et al. 2005, HAIMBERGER et al. 2005).

Im Rahmen des INTERREG III-Projekts MoNit wurden erstmals in Baden-Württemberg hochauf-lösende reflexionsseismische Messungen auf dem Rhein durchgeführt. Die Messungen zwischen Mann-heim und Rheinfeldern bilden die südliche Fortset-zung der Messkampagne auf dem hessischen Ab-schnitt des Rheines im Jahr 2000 (HAIMBERGER et al. 2005).

Die reflexionsseismischen Profile liegen an der Nahtstelle zwischen dem baden-württembergischen und rheinland-pfälzischen bzw. französischen Teil des Grabens und liefern wichtige Zusatzinformati-onen zu den wenigen tiefen Bohrungen entlang der Landesgrenze. Sie dienen der Erkundung der Aquif-ergeometrie und der internen Gliederung der plio-/pleistozänen Lockergesteinsfüllung. Dabei standen folgende Aspekte im Vordergrund (Tab. 2.1):

Tab. 2.1 Zielsetzungen der seismischen Messkampagne auf dem Rhein.

Erkundung der Tiefenlage der Basis der pliozänen und quartären Lockersedimente.
Untergliederung der Lockersedimente in seismische Einheiten und Zuordnung dieser Einheiten zu lithologisch-hydrogeologischen Einheiten.
Festlegung der räumlichen Ausdehnung der identifizier-ten Einheiten.
Identifikation tektonischer Strukturen im tertiären Fest-gesteinsuntergrund sowie in den pliozänen und quartä-ren Sedimenten. Mögliche Auswirkungen der Störungen auf die Verbreitung der hydrogeologischen Einheiten.

3 Geologische Verhältnisse

Der Oberrheingraben gehört zu den auffälligsten Elementen im geologischen Bau Mitteleuropas. Er bildet den zentralen Teil einer Großstruktur aus mehreren Gräben (Niederrheinische Bucht, hes-sisches Grabensystem, Oberrheingraben, Bresse-graben, Rhône-graben), die sich im Vorland des alpinen Gebirgssystems und der Pyrenäen über eine Länge von ca. 1 100 km von der Nordsee bis zum Mittelmeer erstreckt. Dieses „Europäische känozoische Rift-System“ („ECRIS“, ZIEGLER 1992, DÉZES et al. 2004) steht in enger Beziehung zur Kollision zwischen der Europäischen und der Afri-kanischen Platte und entwickelte sich entlang alter Strukturen, die bereits im variszischen Unter-bau Mitteleuropas angelegt waren (ILLIES & MÄLZER 1981: 67, HÜTTNER 1991, PFLUG 1982, SCHUHMACHER 2002).

Die seismischen Profile liegen alle auf der zentralen Grabenscholle, die das innere, tektonisch am stärk-sten abgesunkene Grabensegment bildet. Westlich bzw. östlich davon schließen Zwischenschollen und Randschollen bzw. die Vorbergzone und das kristal-line Grundgebirge an. Der Oberrheingraben, in dem die seismischen Messungen durchgeführt wurden, wird auf der westlichen Grabenseite im Süden vom Kristallin der Vogesen begrenzt. Im Norden liegt der Buntsandstein des Pfälzer Waldes und das Rot-liegende des Nordpfälzer Berglandes (Abb. 3.1). Die Ostflanke des Grabens besteht im Süden aus dem Grundgebirgsschwarzwald, an den nach Nor-den in der Kraichgaumulde mesozoische Sedimente



(Buntsandstein bis Mitteljura) anschließen. Weiter im Norden folgt der kristalline Odenwald. Die südliche Begrenzung des Grabens wird durch den Faltenjura gebildet.

Entsprechend der Mächtigkeit und der lithologischen Ausbildung der pliozänen und pleistozänen Schichtenfolge lässt sich der Oberrheingraben in einen südlichen Teil (Basel bis westlich Baden-Baden), einen mittleren Teil (Karlsruher Schwelle westlich Baden-

Baden bis Speyer, BARTZ 1982) und einen nördlichen Teil (nördlich von Speyer) gliedern (LUBW 2006 b).

Wegen fehlender Datierungsmöglichkeiten ist eine eindeutige Alterseinstufung der jungtertiären und quartären Sedimente bisher nicht möglich (ELLWANGER et al. 2003). Auf die lithofazielle Gliederung der pleistozänen Sedimente, die der Interpretation der seismischen Profile zugrunde gelegt wurde, wird in Kap. 7 näher eingegangen.

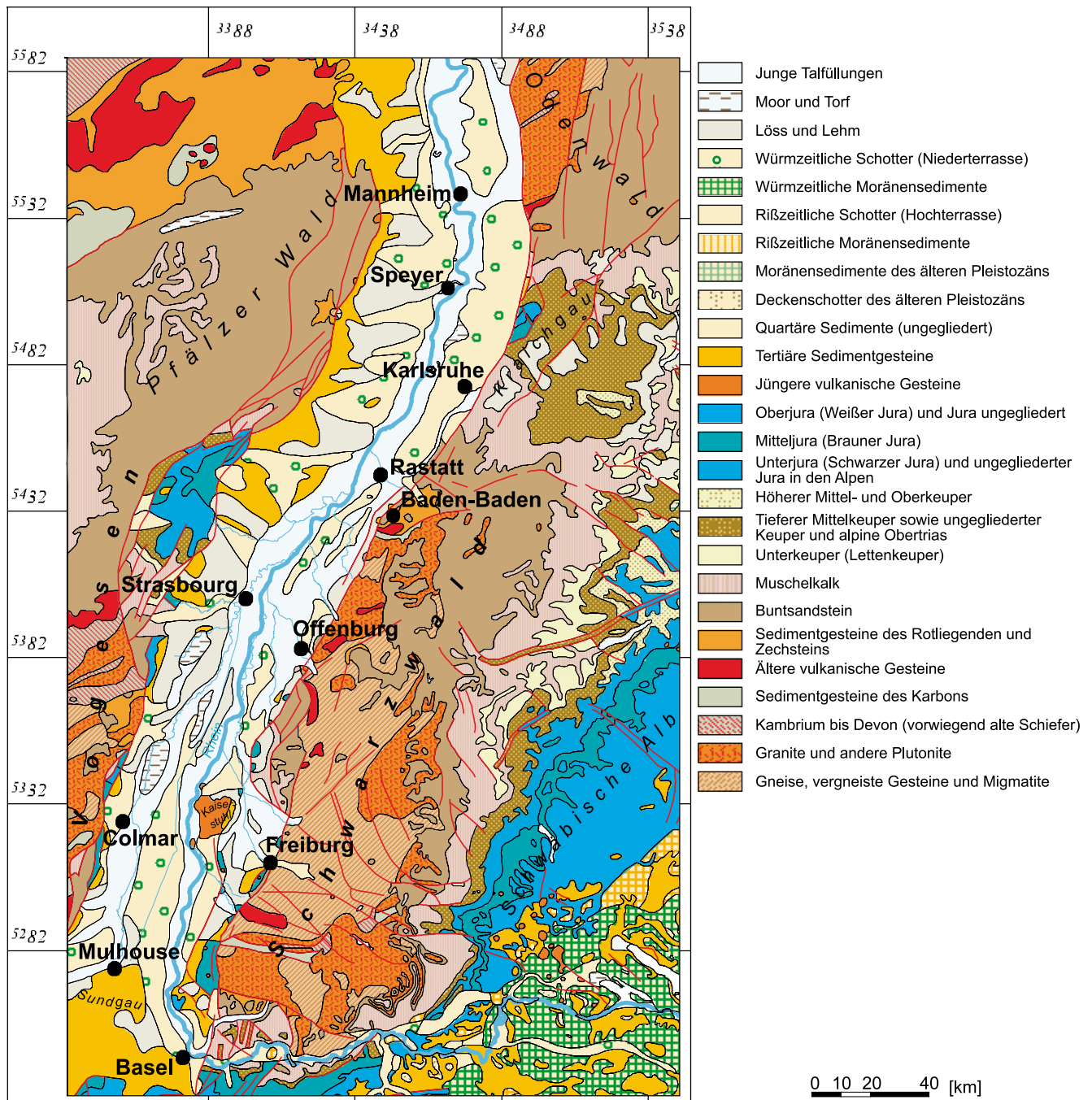


Abb. 3.1 Geologische Übersichtskarte (Grundlage: Geologische Schulkarte von Baden-Württemberg 1 : 1 000 000, LGRB 1998).

4 Reflexionsseismische Mehrkanalmessungen auf dem Rhein, dem Rheinseitenkanal und dem Rhein-Rhône-Kanal

Die Messungen auf dem Rhein-Rhône-Kanal und dem Rhein von Rheinfelden (Flusskilometer 149,5) bis nördlich von Germersheim (Flusskilometer 385) wurden im Rahmen des INTERREG-III-Projekts „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“ – MoNit (Oberrhein Mitte-Süd, INTERREG III A, PAMINA, RSCS Nr. 3 c. p – PAM 3.1.3) durchgeführt. Es wurde von der Europäischen Union teilfinanziert. Die Kosten für die Messungen auf dem nördlich des PAMINA-Gebietes liegenden Flussabschnitt bis Mannheim (Flusskilometer 385 bis 421) wurden durch das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (seit 1. Januar 2005: Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) übernommen. Insgesamt wurden 284 km seismisch vermessen. Hierdurch wurde der Anschluss an die Messungen auf dem nördlich anschließenden hessischen Rheinabschnitt erreicht (HAIMBERGER et al. 2005).

4.1 Messverfahren

Bei den reflexionsseismischen Messungen wird eine seismische Welle an der Erdoberfläche oder im Wasser durch unterschiedliche Verfahren (Fallgewicht, Vibration, Sprengung, Luftdruckimpuls) ausgelöst. Die elastische Welle breitet sich im Untergrund aus und wird an Grenzflächen gebrochen oder reflektiert. Reflexionen erfolgen an Grenzflächen zwischen Einheiten, die sich in ihrer Impedanz (abhängig von der Gesteinsdichte und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle) unterscheiden. An der Erdoberfläche oder nahe unter der Wasseroberfläche wird die reflektierte Welle mit hoch empfindlichen Erschütterungsmessgeräten (Geophone oder Hydrophone) registriert. Aus der Laufzeit der seismischen Wellen im Untergrund können Aussagen über die Tiefenlagen der reflektierenden Grenzflächen gemacht werden.

Eine genaue Beschreibung des Messverfahrens sowie eine Darstellung der Bearbeitungsschritte bei der Datenaufbereitung geben u. a. SPRECHER (1987), BIRKHÄUSER & GRAF (2000) sowie BIRKHÄUSER et al. (2000).

4.2 Durchführung der Messungen

Die Messungen auf dem Rhein bzw. dem Rheinseitenkanal wurden zwischen Mannheim im Norden und Rheinfelden östlich von Basel und auf dem Rhein-Rhône-Kanal zwischen Niffer und Mulhouse (Profil 18) durchgeführt (Abb. 4.1). Zwischen Breisach und Kembs mussten die Messungen auf dem Rheinseitenkanal (Grand Canal d'Alsace) erfolgen (Profile 15 – 17), da die Wasserführung im Restrhein für die erforderliche Mindestwassertiefe von ca. 3 m nicht ausreichte.

Bei günstigen Rahmenbedingungen lieferte die Gewässerseismik Informationen über den Untergrundaufbau bis in eine Tiefe von 300 bis 400 m mit einer vertikalen Auflösung zwischen 5 und 10 m.

Die Messungen wurden von einem Messtrupp der Exploration Electronics Ltd. (England) und der Firma Geomega Ltd. (Ungarn) durchgeführt. Die Datenaufbereitung erfolgte durch die Firma Geomega Ltd. Angaben zur Datenermittlung und -verarbeitung sowie das Messprotokoll sind in einem Bericht zusammengestellt (Geomega 2002). Die Messergebnisse wurden sowohl in gedruckter Form (Stapelsektion und Tiefensektion) als auch digital auf Datenträger (Stapelsektion im SEG-Y-Format, Zeitmigrationssektion im SEG-Y-Format, Tiefenkonversionssektion im SEG-Y-Format, Geschwindigkeitsmodell für die NMO-Korrektur, RMS-Geschwindigkeitsmodell für Migration und Tiefenkonversion, Stapelsektion als BMP-Dateien, Tiefenkonversionssektion als BMP-Dateien) bereitgestellt.

Die Messungen wurden in Mannheim am 1. Juli 2002 begonnen und endeten am 12. Juli 2002 in Rheinfelden. Sie erfolgten stromaufwärts von Norden nach Süden. Die Nummerierung der seismischen Profile beginnt mit Profil 1 im Norden und endet mit Profil 23 im Süden (Abb. 4.1 und Tab. 4.1). Die Profile 8 und 20 wurden zu Demonstrationszwecken aufgezeichnet und nicht weiter verarbeitet. Das Profil 14 wurde zu Testzwecken im Oberwasser der Staustufe Kulturwehr Breisach aufgezeichnet. Die Ergebnisse dieser Messung sind jedoch wegen der starken Feinsedimentansammlung im Aufstaubereich nicht aussagekräftig (Kap. 6). Das seismische Profil 18 wurde auf dem Rhein-Rhône-Kanal zwischen der Staustufe Kembs und der Ile Napoléon in Mulhouse gemessen. Auf weiteren Wasserwegen im Untersuchungsgebiet konnte das Messverfahren nicht angewandt werden, da entweder die Kanäle und Flüsse zu schmal waren oder die erforderliche Mindestwassertiefe von 3 m nicht erreicht wurde. In Tab. 4.1 sind weitere



Tab. 4.1 Angaben zu den seismischen Profilen.

Bezeichnung des Profils	Messbeginn Datum/Uhrzeit	Messende Datum/Uhrzeit	Messbeginn Flusskilometer	Messende Flusskilometer
Profil 1	01.07.2002 12:14 Uhr	01.07.2002 12:47 Uhr	421	418.5
Profil 2	01.07.2002 13:07 Uhr	01.07.2002 17:40 Uhr	419	403
Profil 3	02.07.2002 07:24 Uhr	02.07.2002 13:19 Uhr	403.5	385.5
Profil 4	02.07.2002 13:27 Uhr	02.07.2002 18:38 Uhr	383.5	366
Profil 5	03.07.2002 06:35 Uhr	03.07.2002 14:23 Uhr	366.4	342
Profil 6	04.07.2002 07:13 Uhr	04.07.2002 09:04 Uhr	342	334 Staustufe Iffezheim
Profil 7	04.07.2002 10:38 Uhr	04.07.2002 16:10 Uhr	335 Staustufe Iffezheim	313
Profil 8	05.07.2002 07:18 Uhr	05.07.2002 07:36 Uhr	314.3 Demo für TV	313
Profil 9	05.07.2002 09:03 Uhr	05.07.2002 13:30 Uhr	307 Staustufe Gamsheim	291
Profil 10	08.07.2002 12:07 Uhr	08.07.2002 15:16 Uhr	285.8 Staustufe Strasbourg	272 Staustufe Gerstheim
Profil 11	08.07.2002 16:11 Uhr	08.07.2002 19:10 Uhr	271 Staustufe Gerstheim	257 Staustufe Diebolsheim / Rhinau
Profil 12	09.07.2002 06:37 Uhr	09.07.2002 09:46 Uhr	254 Staustufe Diebolsheim / Rhinau	241 Staustufe Marckolsheim
Profil 13	09.07.2002 10:41 Uhr	09.07.2002 13:37 Uhr	238.2 Staustufe Marckolsheim	225 Staustufe Breisach
Profil 14	09.07.2002 14:54 Uhr	09.07.2002 15:39 Uhr	224 Staustufe Breisach	219.5 Oberwasser Kulturwehr Breisach
Profil 15	10.07.2002 07:12 Uhr	10.07.2002 09:32 Uhr	222.8 Grand Canal d'Alsace, Staustufe Vogelgrun	212 Staustufe Fessenheim
Profil 16	10.07.2002 10:38 Uhr	10.07.2002 13:14 Uhr	209 Staustufe Fessenheim	195 Staustufe Ottmarsheim
Profil 17	10.07.2002 15:03 Uhr	10.07.2002 17:30 Uhr	192 Staustufe Ottmarsheim	181
Profil 18	11.07.2002 07:01 Uhr	11.07.2002 08:56 Uhr	Staustufe Kembs, Rhein-Rhône-Kanal	Mulhouse, Rhein-Rhône-Kanal
Profil 19	11.07.2002 12:30 Uhr	11.07.2002 14:51 Uhr	177,7 Staustufe Kembs	170
Profil 20	12.07.2002 07:01 Uhr	12.07.2002 07:48 Uhr	170	169 Boje am Ende des Hydro- phonkabels verloren
Profil 21	12.07.2002 08:31 Uhr	12.07.2002 10:45 Uhr	170	163.6 Unterwasser Staustufe Birsfelden
Profil 22	12.07.2002 11:35 Uhr	12.07.2002 13:11 Uhr	165	155 Unterwasser Staustufe Wyhlen
Profil 23	12.07.2002 14:29 Uhr	12.07.2002 15:56 Uhr	154 Oberwasser Staustufe Wyhlen	149,5

Angaben zu den gemessenen seismischen Profilen enthalten.

Die Messkampagne wurde vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (seit 1. Januar 2005: Regierungspräsidium Freiburg – Abteilung 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) koordiniert. Die Logistik vor Ort organisierten jeweils Mitarbeiter des RPF/LGRB (Deutschland), des Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, Frankreich) und der Universität Basel (Schweiz).

Die Abb. 4.2 zeigt die Messkonfiguration der Messkampagne. Das Messboot „Max Honsell“ mit Besatzung wurde von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW, früher Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, LfU) zur Verfügung gestellt und entsprechend den Erfordernissen der seismischen Messkampagne umgerüstet. Auf dem Messboot waren die Registriereinheiten sowie die Einrichtung zur Positionierung der Messvorrichtung (GPS Trimble ProXRS mit Echtzeit Omnistar Differenzialkorrektur) installiert (Abb. 4.3). Das seitlich an

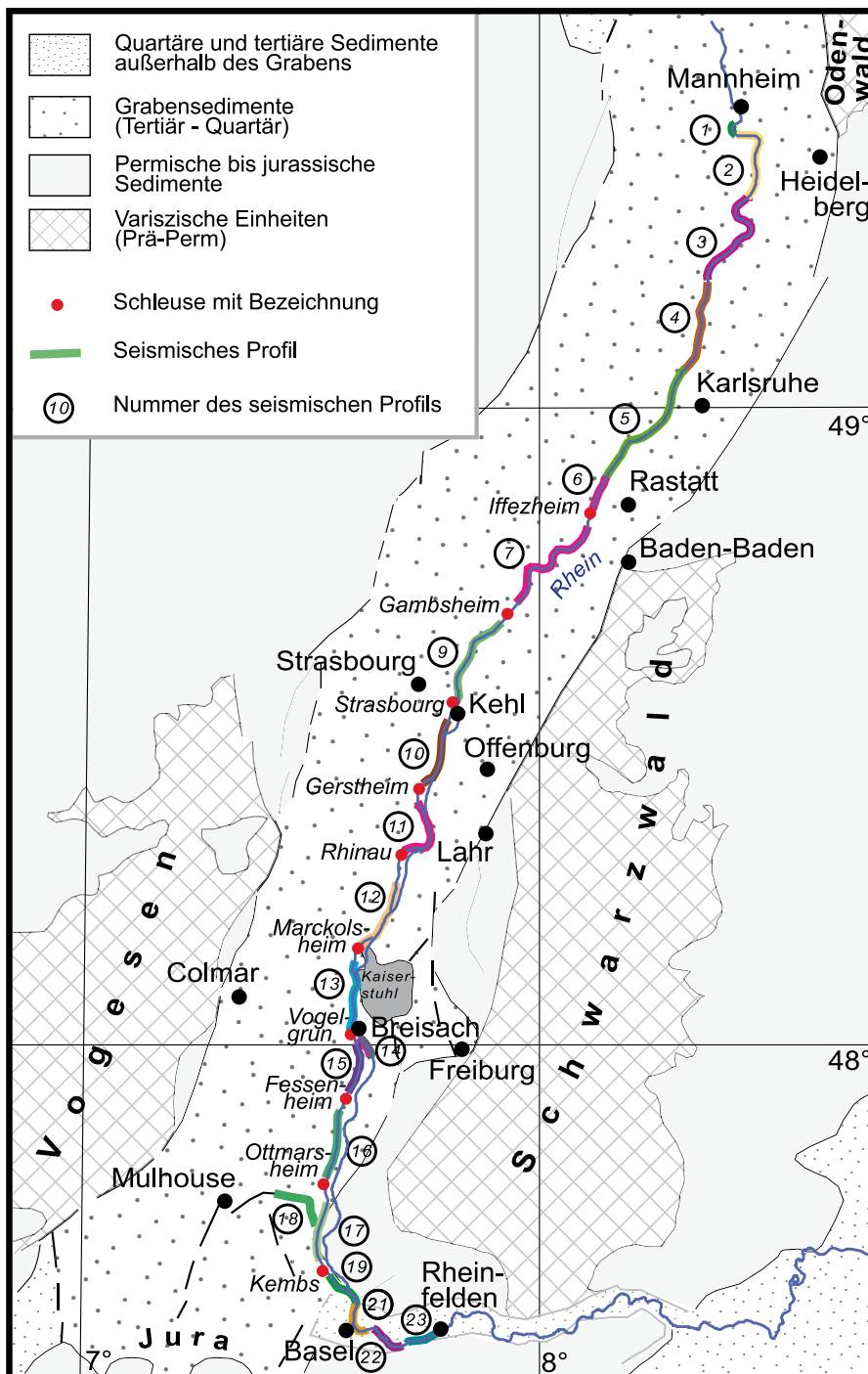


Abb. 4.1 Lage und Nummerierung der seismischen Profile auf dem Rhein bzw. dem Rheinseitenkanal zwischen Mannheim und Rheinfelden sowie auf dem Rhein-Rhône-Kanal.



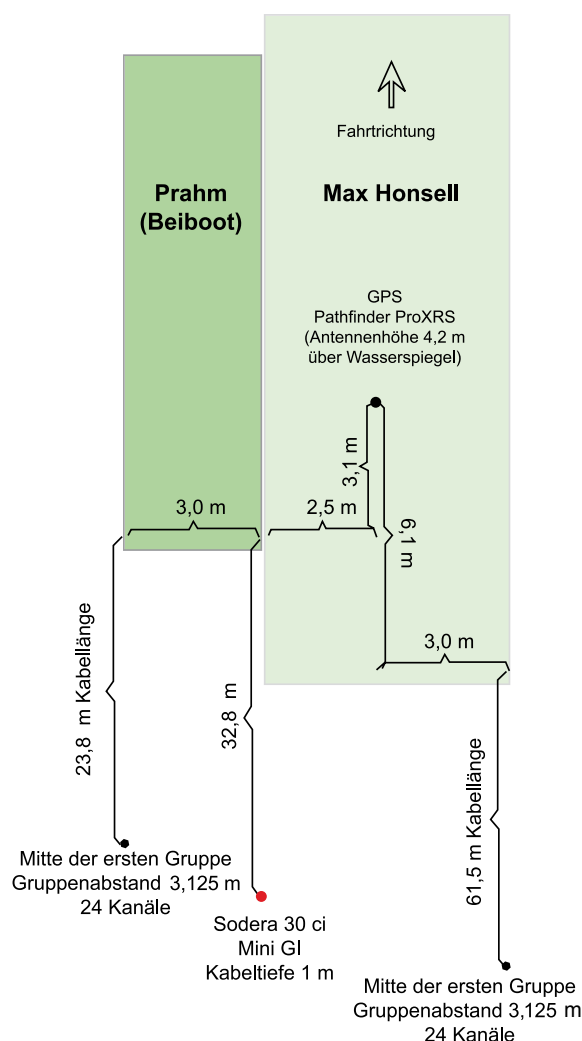
► **Abb. 4.2** Messkonfiguration für die seismische Mehrkanalmessung auf dem Rhein 2002 (nach Geomega 2002).

der Max Honsell befestigte Beiboot (Prahm) wurde vom Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg zur Verfügung gestellt. Auf ihm waren die Generatoren und Kompressoren untergebracht (Abb. 4.3).

Als Energiequelle wurde ein airgun des Herstellers SODERA (30ci Mini GI, mit 2000 psi betrieben) eingesetzt (Abb. 4.4). Der Schusspunktstand betrug 3,125 m. Er wurde auf 6,25 m verdoppelt, sobald die Fahrgeschwindigkeit des Messbootes von 1,6 m/s relativ zur Gewässersohle überschritten wurde.

Die Signalaufzeichnung erfolgte mit zwei Hydrophonkabeln mit jeweils 24 Kanälen und einem Gruppenabstand von 3,125 m (Abb. 4.5, 4.6, 4.7). Die Aufzeichnungslänge betrug zwischen 512 msec (Profil 1) und 750 msec (Profile 3 – 23). Weitere Angaben zu den Aufnahmeparametern sind in Tab. 4.2 enthalten. Zeitgleich mit den Messungen erfolgte an Bord die Visualisierung der Ergebnisse (Abb. 4.8).

Die nachbearbeiteten Messergebnisse sind als mi-grierte Zeitsektionen auf der beigelegten CD-ROM als Anl. 1 – 17 dargestellt.



Tab. 4.2 Aufnahmeparameter (Geomega 2002).

Einstellung der Aufnahmefilter	Tiefschnitt-Filter:	Aus
	Hochschnitt-Filter:	Aus
	Antialias-Filter:	2000 Hz
Regelung	Fixed Gain für jeden Kanal: 0 dB Preamp Gain für die Kanäle 1 – 8 24 dB Preamp Gain für die Kanäle 9 – 48	
Abtastrate	0.25 msec	
Aufzeichnungslänge	Profil 1:	512 msec
	Profil 2:	600 msec
	Profil 3 – 23:	750 msec
Aufnahmeformat	SEG-D rev.1	
Energiequelle	30 ci Sodera Mini GI eingesetzt bei 2000 psi	
Quellentiefe	1 m	
Schusspunktstand	3,125 m (auf 6,25 m verdoppelt, sobald die Geschwindigkeit relativ zum Boden 1,6 m/s überschritt)	
Seekabel	2 x 24 Kanäle mit 3,125 m Abstand zwischen den Gruppen	
Seekabelanzahl pro Gruppe	5	
Gruppensensitivität	20 µV/Bar	
Tiefenlage des Seekabels	1 m	
Positionierung	Trimble ProXRS mit Echtzeit Omnistar Differenzialkorrektur	



Abb. 4.3 Das Messboot „Max Honsell“ (hinten) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) mit dem seitlich befestigten Beiboot (Prahm des Wasser- und Schifffahrtsamtes Freiburg).



Abb. 4.4 Als Energiequelle wurde ein airgun (30 ci Mini GI) eingesetzt.



Abb. 4.5 Kabeltrommel mit Hydrophonkabel. Daneben liegt ein Flügel zur permanenten Fixierung des Hydrophonkabels in einer Wassertiefe von 1 m.

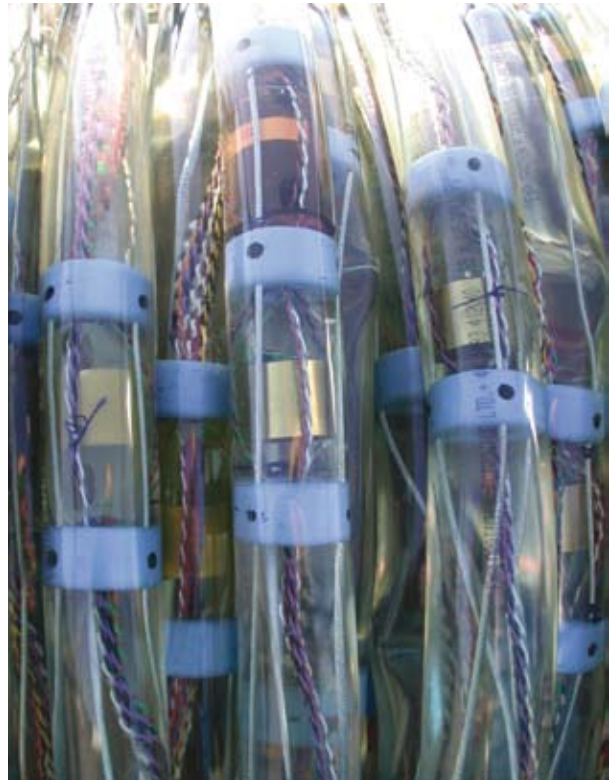


Abb. 4.6 Die Registriereinrichtung bestand aus zwei Hydrophonkabeln (Streamer). Der Gruppenabstand betrug 3,125 m.



Abb. 4.7 Blick auf die Messeinrichtung, die stromaufwärts hinter dem Boot hergezogen wurde. Im Vordergrund die beiden Schwimmkörper, an denen das airgun in 1 m Tiefe unter der Wasseroberfläche befestigt ist. Die rote und gelbe Flagge auf den Bojen im Hintergrund markieren die Enden der beiden Hydrophonkabel.



Abb. 4.8 Die Registrierung der Lageparameter sowie der Messdaten erfolgte unter Deck der Max Honsell.

5 Datenbearbeitung

Die Datenbearbeitung der seismischen Profile erfolgte durch die Firma Geomega Ltd., Ungarn. Sie wurde in folgender Reihenfolge durchgeführt (Geomega 2002):

1. Konversion von SEG-D in SEG-Y.
2. Editierung der DGPS-Daten zur Entfernung der abseits gelegenen Punkte und zum Füllen von Datenlücken unter den Brücken.
3. Geometrische Kalkulation für jeden Anregungs- und Hydrophonpunkt. Die Koordinaten wurden nach dem Gauss-Krüger-System berechnet. Für den CDP-Bin wurde ein CDP-Intervall von 3,125 m verwendet.
4. Eintragung der geometrischen Daten in den SEG-Y-Header. Die Positionen der Energiequelle bzw. des Empfängers wurden als Hoch- und Rechtswerte im Datenfile an die Stellen 73, 77 und 81, 85 geschrieben. Die errechnete CDP-Nummer für jede aufgezeichnete Spur wurde ebenfalls in den Header eingetragen.
5. SEG-Y-Input, geometrische Extraktion, Installation und Verifikation.
6. Statische Korrektur für die Zeit-Null-Anpassung
7. Korrektur der verpolten Spuren für die Kanäle 22 und 25 – 48.
8. Bandpass-Frequenzfilter
Filterparameter:
 - 60 Hz – 24 dB/o
 - 500 Hz – 24 dB/o
 - Nullphasen-Butterworth-Filter
9. True amplitude recovery (TAR)
Geschwindigkeitsfunktion:

0 msec	1 500 m/sec
100 msec	2 000 m/sec
500 msec	2 500 m/sec
750 msec	3 000 m/sec

Neben der sphärischen Divergenzkorrektur wurde auch ein 6 dB/sec Amplitudenausgleich durchgeführt.
10. FK-Filter
 - Beibehaltener Geschwindigkeitsbereich:
 $\pm 1\,300 - \pm 3\,000$ m/sec
 - Beibehaltener Frequenzbereich:
10 – 2 000 Hz
 - Filterlänge: 200 msec
 - Filterbreite: 24 Spuren
11. Geschwindigkeitsanalyse
12. NMO-Korrektur und Muten der Ersteinsätze
13. Stapelung
14. Zwei-Fenster-Vorhersage-Dekonvolution:
 - Operatorlänge: 15,15 msec
 - Vorhersageintervall: 5,10 msec
 - Fenster: 10 – 200 msec
300 – 490 msec
15. Kohärenzfilterung:

Drei-Fenster-Kohärenzfilterung für Profile 1 – 6:

 - Beibehaltung des Frequenzbereichs 40 – 350 Hz für das 50 – 200 msec-Fenster
 - Beibehaltung des Frequenzbereichs 40 – 200 Hz für das 250 – 350 msec-Fenster
 - Beibehaltung des Frequenzbereichs 40 – 160 Hz für das 400 – 700 msec-Fenster

Zwei-Fenster-Kohärenzfilterung für Profile 7 – 23:

 - Beibehaltung des Frequenzbereichs 40 – 220 Hz für das 50 – 200 msec-Fenster

- Beibehaltung des Frequenzbereichs
40 – 160 Hz für das 300 – 600 msec-Fenster

Der Grund für die unterschiedlichen Filter-Konfigurationen war die unterschiedliche seismische Reaktion der Flusssohle für die Profile 1 – 6 und 7 – 23. Die Profile 1 – 6 wurden direkt über Flusssedimenten aufgenommen, wogegen die Profile 7 – 23 überwiegend über künstlich angelegten Kanalsohlen oder über unmittelbar auf der Flusssohle liegenden akustisch harten Schichten verliefen.

16. Zeitvariante Bandpass-Frequenzfilterung:

100 Hz – 24 dB/o – 400 Hz – 24 dB/o
im 0 – 100 msec-Fenster

40 Hz – 24 dB/o – 250 Hz – 24 dB/o
im 150 – 750 msec-Fenster

17. Spurendeckregelung:

100 %-Punkt bei 2 Hz

0 %-Punkt bei 4 Hz

18. Migration:

Für die Profile 1 – 21 wurde eine „Steep Dip Explicit Finite Difference“ Zeitmigration durchgeführt:

- Minimalfrequenz bei der Migration: 40 Hz
- Maximalfrequenz bei der Migration: 350 Hz
- Maximale Neigung bei der Migration: 70°

Bei den Profilen 22 und 23 wurde eine Stolt-F-K-Zeitmigration mit einer Konstantgeschwindigkeit von 1500 m/sec durchgeführt. Der Grund für diese Änderung lag in der sehr eigentümlichen seismischen Reaktion des Flussabschnitts östlich von Basel. Die starken Mehrfachreflexionen der Flusssohle und die Diffraktion durch das Ufer erschwerten die Darstellung erheblich, daher war das Ziel der Migration das Auflösen der Diffraktionshyperbeln. Dies konnte am ehesten durch eine Konstantgeschwindigkeitsmigration erreicht werden, wobei für das Wasser eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 1500 m/sec eingesetzt wurde.

19. Tiefenkonversion

Der abrupte Wandel in der Signalcharakteristik bei CDP 800 des Profils 23 entstand infolge einer Veränderung des GI-Quellensignals. Diese Veränderung des Quellensignals konnte durch die Datenbearbeitung nicht vollständig kompensiert werden.

Die Interpretation der Profile 1 – 21 erfolgte durch das LGRB und das BRGM unter Verwendung des Programms Geographix SeisVision, das vom BRGM Orléans zur Verfügung gestellt wurde. Die Profile 22 und 23 werden vom Geologischen Institut der Universität Basel interpretiert und andernorts veröffentlicht (in Vorb.). Da eine automatische Identifizierung der einzelnen Reflektoren nicht möglich war, mussten sie von Hand selektiert und verfolgt werden. Als export-file wurde für jedes seismische Profil und für jeden identifizierten Reflektor ein Datensatz mit den Feldern Schusspunkt, CDP, X-Koordinate (Rechtswert nach GAUSS-KRÜGER), Y-Koordinate (Hochwert nach GAUSS-KRÜGER) sowie Z-Wert des Reflektors (bezogen auf die Referenzhöhe Null, entspricht der Wasserspiegellage) ausgelesen.

Im nächsten Arbeitsschritt wurden die Z-Werte der Reflektoren des SeisVision-Datensatzes in Werte mit der Bezugshöhe m NN umgerechnet. Hierzu wurden vom Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg für den Messzeitraum Tageswerte der Wasserspiegellagen zur Verfügung gestellt, die an den Rheinpegeln zwischen Mannheim und Rheinfelden gemessen wurden.

Während des Messzeitraums betrugen die Wasserspiegelschwankungen maximal wenige Dezimeter. Da sie im Vergleich zur Gesamtgenauigkeit der Vertikalauflösung des seismischen Verfahrens vernachlässigbar gering sind, wurde aus den vorliegenden Tageswerten für den Messzeitraum für jeden Rheinpegel eine mittlere Wasserspiegellage errechnet. Diese Wasserspiegellagen wurden mit dem GIS ArcInfo zwischen den einzelnen Pegeln und in den Profilen 7 – 23 unter Berücksichtigung der Stauhöhen, der Staustufen und der Lage der Stauwurzeln interpoliert.

Die Lage der Staustufen und die Stauhöhen an den einzelnen Schleusen sind in Abb. 5.1 dargestellt. Die so ermittelten NN-Höhen wurden den entsprechenden CDPs der seismischen Profile zugewiesen. Durch Differenzenbildung zwischen der Wasserspiegellage in m NN und der Tiefenlage des Reflektors (Bezugshöhe Null entspricht der Wasserspiegellage) an den jeweiligen CDPs wurde die Lage des Reflektors in m NN errechnet.

6 Datenqualität

Die Qualität der seismischen Profile hängt stark von der Art und dem Ausbauzustand der Gewässersohle und des Ufers sowie vom Kolmatierungsgrad der Gewässersohle ab. Abbildung 6.1 zeigt

Beispiele für verschiedene Ausbaustufen des Rheins zwischen Speyer und Marckolsheim nördlich des Kaiserstuhls.

Der Rheinseitenkanal zwischen der Staustufe Kembs im Süden und der Staustufe Vogelgrun bei Breisach ist 130 m breit und 9 m tief. Er ist seitlich ausbetoniert und an der Sohle abgedichtet.

Im Bereich der Schlingenlösung zwischen Breisach und Kehl verläuft der Schiffsverkehr auf einer Länge von ca. 62 km abwechselnd im Rhein und den Schlingen. An den Schlingen (kurze Seiten-

Ufer- bzw. Sohlausbaus des Rheins sowie der Kolmatierung mit Feinsedimenten dargestellt.

In Abb. 6.3 (Ausschnitt aus Profil 10) sind im Tiefenabschnitt zwischen ca. 100 und 280 msec deutlich sehr starke Uferreflexionen zu erkennen. Sie liegen im Grenzbereich zwischen den pliozänen/quartären Lockersedimenten und dem darunter folgenden Festgesteinsuntergrund. Zwischen CDP 1500 und 1800 sowie 2200 und ca. 3650 zeichnet der „wellige“ Verlauf der Reflektoren unterhalb ca. 280 msec (doppelte Laufzeit) die Schichtlagerung in den tertiären Sedimenten nach.

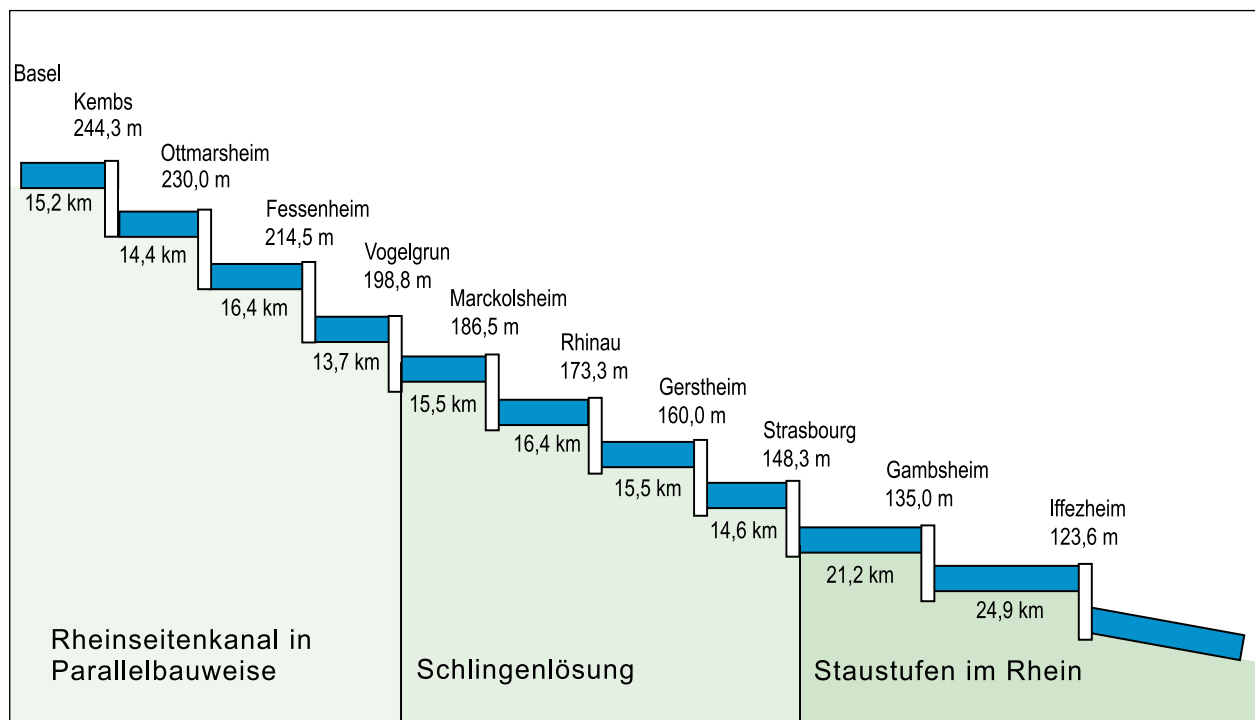


Abb. 5.1 Ausbaustufen, Staustufen und Stauhöhen im Flussabschnitt Basel – Iffezheim.

kanäle) liegen Staustufen mit Kraftwerken und Schiffsschleusen. Zwischen den einzelnen Schlingen fließt das gesamte Rheinwasser im bestehenden Rheinbett, dessen Ufer vielfach durch Anschüttungen von Blöcken befestigt ist.

Nördlich von Iffezheim fließt der Rhein ungestaut weiter. Die Ufer sind meist unbefestigt.

Abbildung 6.2 zeigt die unterschiedliche Qualität der Messergebnisse, die stark durch den Ausbauzustand des Gewässers beeinflusst ist.

In den Abb. 6.3 und 6.4 sind Ausschnitte von Profilen mit Beispielen für die Auswirkungen des

Profil 15 (Abb. 6.4) wurde im Oberwasser der Staustufe Vogelgrun im Rhein-Seitenkanal (Grand Canal d'Alsace) gemessen. Im nördlichen Abschnitt des Profils ist die Gewässersohle durch gasführende Feinsedimente kolmatiert. Dort wurde die seismische Energie stark absorbiert. Dies führte zu einer geringen Auflösung interner Strukturen im Untergrund. In größerer Tiefe können die z.T. schräg stehenden tertiären Sedimente identifiziert werden. Die Diskordanz zu der darüber liegenden pliozänen und pleistozänen Abfolge ist nur bereichsweise zu erkennen. Im südlichen Abschnitt des Profils sind im oberen Drittel starke Uferreflexionen mit hohen Amplituden ausgebildet.

Im Bereich der betonierten Sohle des Grand Canal d'Alsace war als Folge der Totalreflexion am Kanalboden häufig ein so genannter „ringing“-Effekt zu beobachten, der in der Wassersäule zu einer Vielzahl

von „Reverberationen“ mit hohen Amplituden führte. Sie überlagern sich mit den Reflexionen aus dem tieferen Untergrund. Daneben wurde die seismische Energie an der Kanalsohle oft vollständig reflektiert.

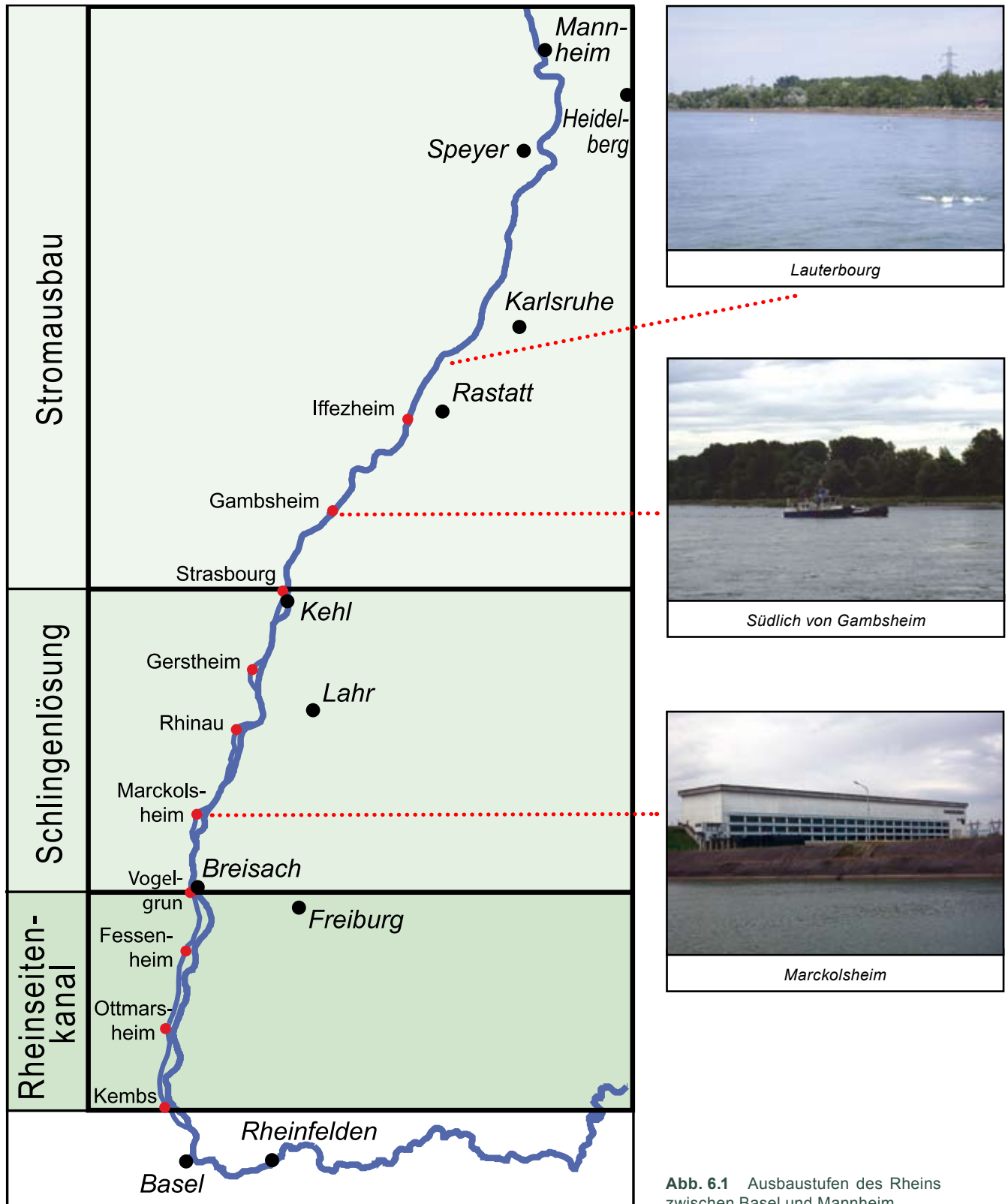


Abb. 6.1 Ausbaustufen des Rheins zwischen Basel und Mannheim.

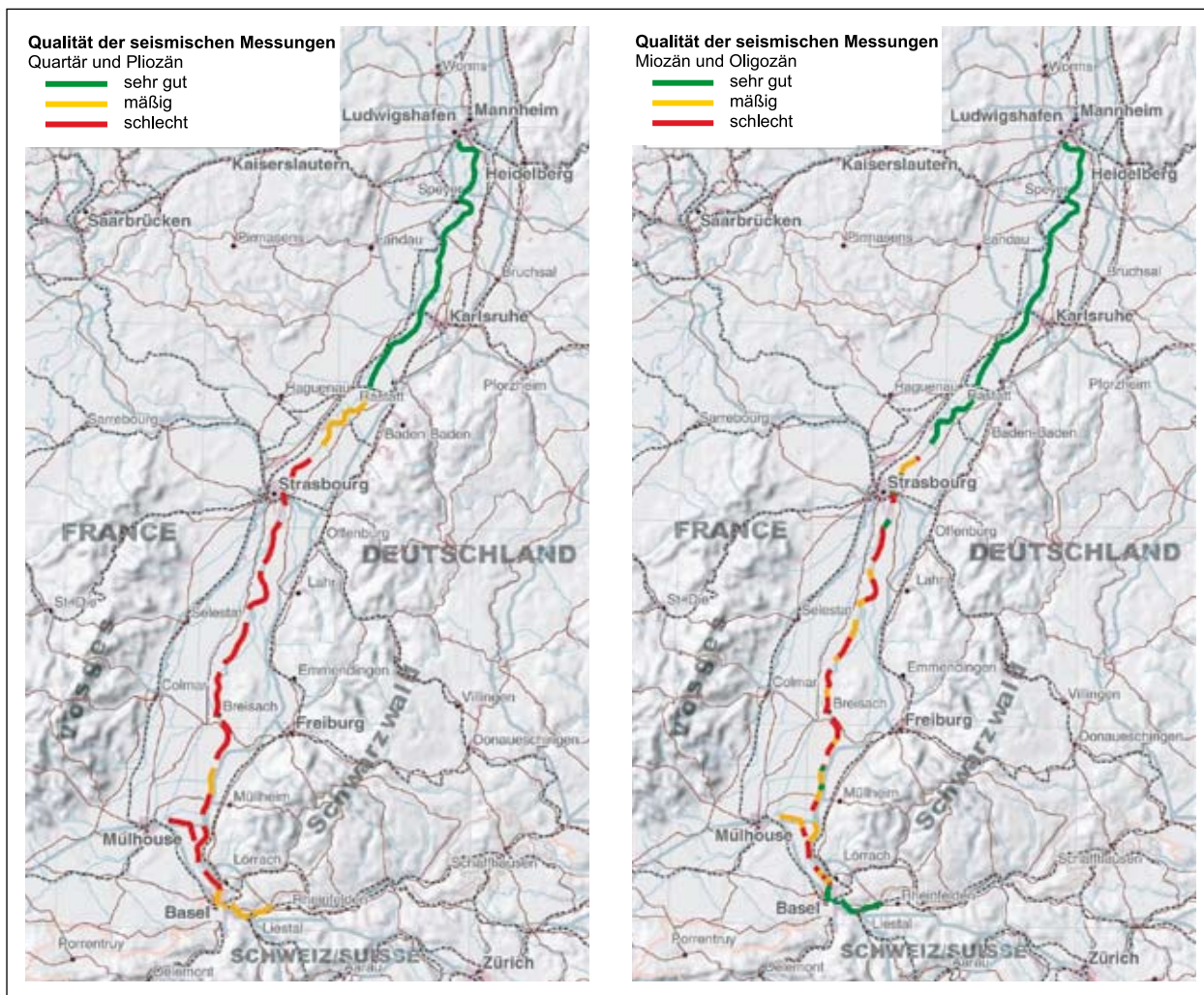


Abb. 6.2 Art und Ausbauszustand der Gewässersohle und des Ufers sowie der Kolmatierungsgrad der Gewässersohle machen sich deutlich in der Datenqualität der seismischen Profile bemerkbar. In einigen Bereichen, in denen innerhalb der Lockersedimente keine Reflektoren identifizierbar sind (Abb. 6.2 links), lässt sich die Diskordanz an der Basis der pliozänen bis quartären Abfolge trotz der Überlagerung durch Störsignale vielfach noch erkennen (Abb. 6.2 rechts).

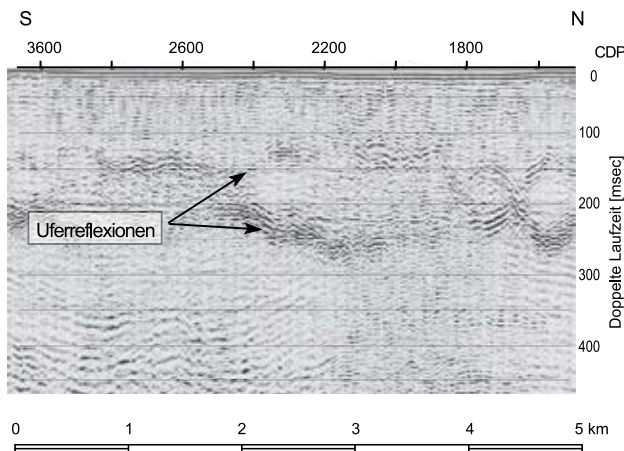


Abb. 6.3 In Bereichen mit befestigten Uferböschungen treten starke Uferreflexionen auf. Sie können geologisch bedingte Reflektoren völlig überdecken (seismisches Profil 10).

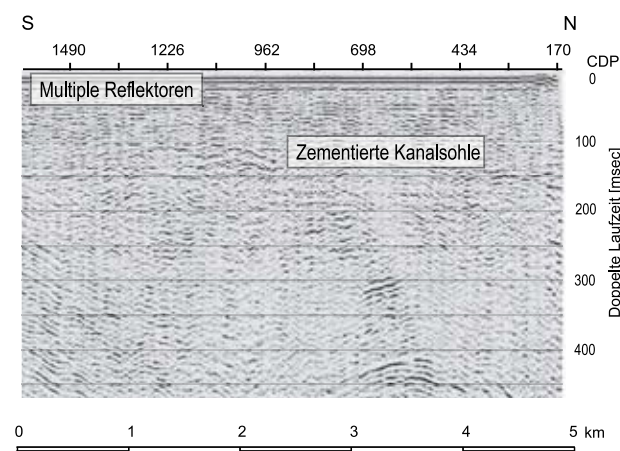


Abb. 6.4 Im Grand Canal d'Alsace ist die Qualität der seismischen Messergebnisse aufgrund der zementierten Kanalsole und multipler Reflexionen schlecht (seismisches Profil 15).

7 Korrelation der seismischen Profile mit Bohrungen und seismische Gliederung der Lockergesteine

Die Interpretation der seismischen Profile erfolgte in mehreren Arbeitsschritten (Tab. 7.1). Die seismischen Einheiten wurden nach der Identifikation und Beschreibung in den seismischen Profilen lithologisch-hydrogeologischen Einheiten im Untersuchungsgebiet zugeordnet. Hierzu wurden sie mit den lithologischen Einheiten in Bohrungen korreliert. Insgesamt wurden hierfür etwa 75 Bohrungen in Rhein- nÄhe verwendet. In Abb. 7.1 sind exemplarisch einige hydrogeologische Kurzprofile ausgewählter Bohrungen dargestellt.

Tab. 7.1 Interpretation der seismischen Profile (Arbeitsschritte).

Beschreibung der charakteristischen Eigenschaften der seismischen Einheiten und ihrer Geometrien (Kap. 7.3 / Tab. 7.3).
Korrelation der seismischen Einheiten mit Daten aus Bohrungen (Kap. 7.2).
Interpretation der seismischen Einheiten im Hinblick auf lithologisch-hydrogeologische Kartiereinheiten (Kap. 7.2).
Darstellung als geologisch interpretierte Profile und flächenhafte Darstellung der Interpretationsergebnisse gemeinsam mit Ergebnissen aus Bohrungen und Industrieseismik (Isolinienpläne) (vgl. LUBW 2006b).

Die Ergebnisse der Interpretation der seismischen Profile gingen als wichtige Zusatzinformationen in die Konstruktion hydrogeologisch relevanter Grenzflächen ein (LUBW 2006b).

7.1 Lithologisch-hydrogeologische Gliederung der Lockergesteine des Oberrheingrabens

Die quartäre Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens besteht aus sandigen Kiesen und Sanden, in die im Norden Schluff- und Tonlagen eingeschaltet sind. Darunter folgen die pliozänen und z. T. älteren (?) Feinsedimentabfolgen des fluviatilen Jungtertiärs und der Iffezheim-Formation. Sie lassen sich vielfach nicht eindeutig unterscheiden (RPF/LGRB 2006). Der Festgesteinsuntergrund besteht entlang der seismischen Profile aus miozänen oder oligozänen Ton-, Tonmergel- und Kalkmergelsteinen.

Die Gliederung der Lockergesteinsfüllung des baden-württembergischen Teils des Oberrheingrabens ist in Tab. 7.2 dargestellt (aus RPF/LGRB 2006).

Für die hydrogeologischen Fragestellungen, die bei der Bearbeitung der seismischen Profile im Vordergrund standen, wurde für den südlichen Teil des Bearbeitungsgebietes die Quartärgliederung nach RPF/LGRB (2006) angewandt. Für den nördlichen Abschnitt ist die Verwendung der klassischen Quartärgliederung vorteilhaft, da sie sich an lithologischen Unterschieden innerhalb der quartären Abfolge orientiert und somit die hydraulischen Verhältnisse innerhalb der Abfolge mit sandig-kiesigen bzw. sandig-schluffigen Einheiten (Grundwasserleiter) und tonig-schluffigen Einschaltungen (Zwischenhorizonte, Grundwassergeringleiter) besser widerspiegelt als die „neue Quartärgliederung“ (Tab. 7.2). In Abb. 7.2 ist das lithologische Korrelationsschema der Lockergesteine im baden-württembergischen Teil des Oberrheingrabens zusammenfassend dargestellt.

Im Süden wird die quartäre Abfolge oberhalb des fluviatilen Jungtertiärs bzw. der Iffezheim-Formation, die die Basis des Lockergesteinsgrundwasserleiters bilden, in die Neuenburg-Formation (Oberer Grundwasserleiter) und die Breisgau-Formation bzw. nördlich von Lahr in die Ortenau-Formation (Unterer Grundwasserleiter) unterteilt (Abb. 7.2). Ein feinklastischer Trennhorizont zwischen den beiden Formationen ist nicht ausgebildet. Aufgrund der feinklastischen Einschaltungen, die nach Norden hin vermehrt auftreten, wird die Aquifergeometrie und die Untergliederung der quartären Abfolge in diese Richtung komplexer (Abb. 7.1, Tab. 7.2, Abb. 7.2).

Die feinklastischen Lagen im Raum Offenburg sind meist linsenartig ausgebildet. Weiter nach Norden weist insbesondere ein feinklastischer Horizont im tieferen Profilabschnitt eine größere laterale Ausdehnung auf und wirkt hydraulisch als Trennhorizont. Er wurde aufgrund der ähnlichen Höhenlage trotz des vermutlich unterschiedlichen Alters nach Norden mit dem Oberen Zwischenhorizont (OZH) verbunden. Der OZH weist im Bereich Karlsruhe/ Speyer als tonige bis feinsandige Einschaltung nur wenige Verbreitungslücken auf. Weiter im Norden ist er im Raum Rhein-Neckar flächenhaft als bis zu 30 m mächtiger, überwiegend toniger, hydraulisch wirksamer Trennhorizont ausgebildet (HGK 1999). Er liegt zwischen dem Oberen Kieslager (Oberer Grundwasserleiter) und der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge (Mittlerer Grundwasserleiter).

Etwa von Rastatt/Ilchesheim-Ilingen nach Norden ist der Zwischenhorizont 3 (ZH3) ausgebildet (Abb. 7.2). Er trennt bis nördlich von Karlsruhe die Mittlere sandig-kiesige Abfolge von der Unteren sandig-schluffigen

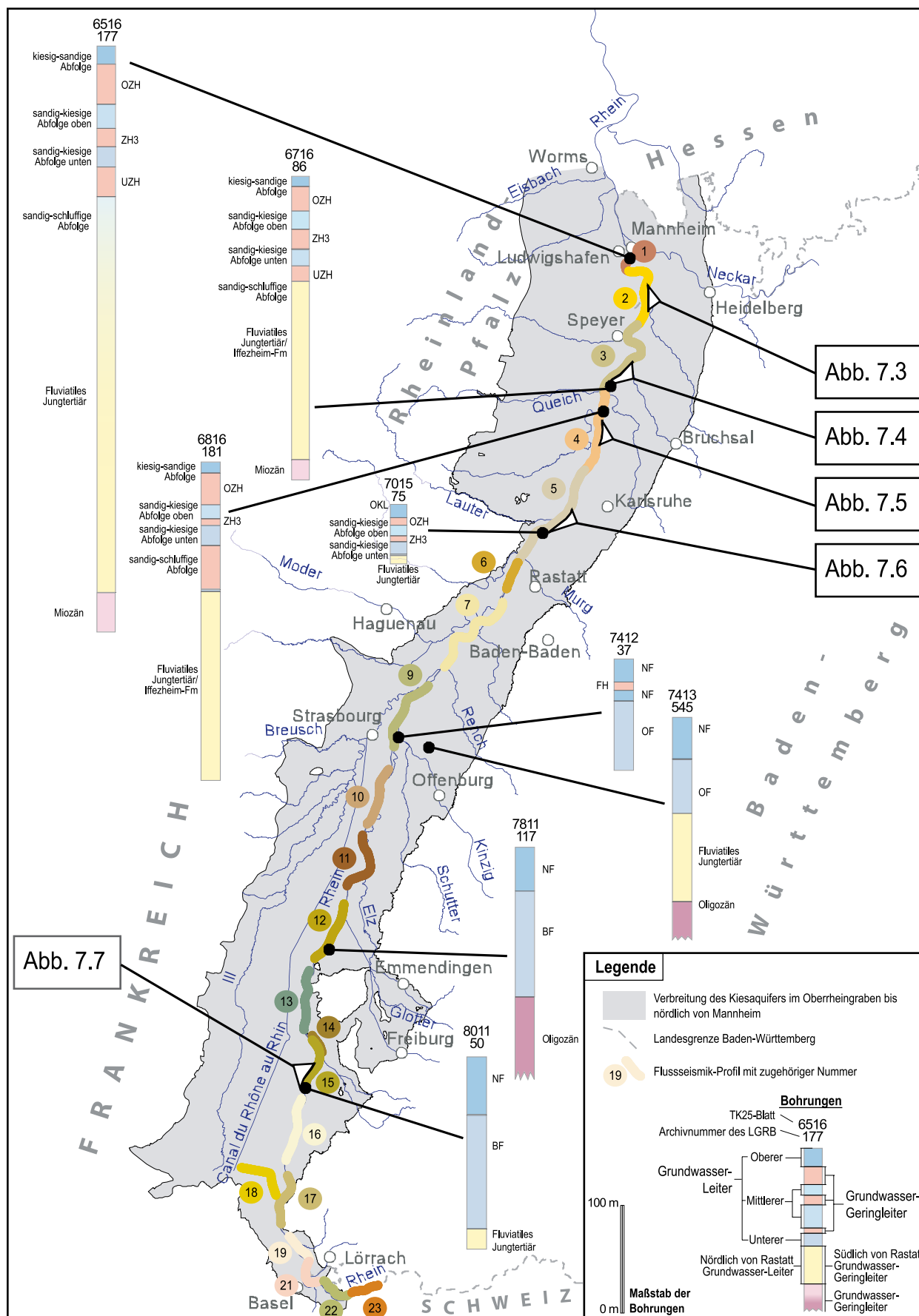


Abb. 7.1 Lage der reflexionsseismischen Profile und hydrogeologische Kurzprofile einiger repräsentativer Bohrungen, die für die Korrelation genutzt wurden (NF Neuenburg-Formation, BF Breisgau-Formation, OF Ortenau-Formation, FH Feinklastischer Horizont, OZH Oberer Zwischenhorizont, ZH3 Zwischenhorizont 3, UZH Unterer Zwischenhorizont).

Tab. 7.2 Die Gliederung der Lockergesteinsfüllung des baden-württembergischen Teils des Oberrheingrabens (nach RPF / LGRB 2006).

Geologische Einheiten in Baden-Württemberg				
ID-Nr.	Oberbegriff	Kürzel	Geologische Einheit	Bemerkungen (synonymer Begriff: gültig), [früherer Begriff: ungültig]
Neue Quartär-Gliederung im nördlichen Oberrheingraben				Raum Mannheim – Karlsruhe; im oberflächennahen Bereich zusätzlich y- und qs-Einheiten verwendbar (siehe landesweite Quartär-Gliederung)
1621	1258	qM	--- Mannheim-Formation	entspr. Neuenburg-Fm. und ca. ob. Breisgau-Schichten, [Oberes Kieslager]
1622	1258	qK	--- Kurpfalz-Formation	entspr. ca. Unteren Breisgau-Schichten, (Altquartär bis Ob. Zwischenhorizont)
1623	1622	LA	---- Ladenburg-Horizont	(Oberer Zwischenhorizont), [Oberer Ton]; cromerzeitlich
1624	1622	WE	---- Weinsheim-Schichten	(Altquartär, Unt. Kieslager, Unt. Zwischenhoriz. und Mittl. Kieslager)
1179	1258	qIS	--- Iffezheim-Formation	älteres Unterpleistozän (?) bis Pliozän; Überschneidung mit Fluvialtem Jungtertiär (tF) noch unklar
Neue Quartär-Gliederung im südlichen und mittleren Oberrheingraben				Raum Basel – Karlsruhe; im oberflächennahen Bereich zusätzlich y- und qs-Einheiten verwendbar (siehe landesweite Quartär-Gliederung); vgl. HAGEDORN (2004)
1176	1258	qN	--- Neuenburg-Formation	[Jüngere Schotter, Riß-Würm-Komplex], entspr. Riß-Komplex und Würm-Komplex
1590	1176	qNo	---- Obere Neuenburg-Schichten	entspr. Innenwallwürm; Basis = obere alpine Groblage
1550	1590	ORS	----- Ostrhein-Schotter	
1591	1176	qNu	---- Untere Neuenburg-Schichten	entspr. Innenwallriß und Außenwallwürm; Basis = untere alpine Groblage. Lokal unten Sedimente, die dem Außenwallriß entsprechen
1625	1258	qO	--- Ortenau-Formation	mittlerer Graben ab etwa Raum Lahr nach Norden; vertritt hier die Breisgau-Formation
1177	1258	qBS	--- Breisgau-Formation	südlicher und mittlerer Graben bis etwa Raum Lahr
1551	1177	qBS o	---- Obere Breisgau-Schichten	Hornblende führend
1553	1177	qBS u	---- Untere Breisgau-Schichten	frei von Hornblende
1552	1553	RH	----- Riegel-Horizont	
1179	1258	qIS	--- Iffezheim-Formation	älteres Unterpleistozän (?) bis Pliozän; Überschneidung mit Fluvialtem Jungtertiär (tF) noch unklar
Klassische (veraltete) Quartär-Gliederung im Oberrheingraben				Oberrheingraben vor allem im nördlichen Graben (Raum Mannheim – Karlsruhe) verwendet; stratigr. unsicher, BARTZ (1982); im oberflächennahen Bereich zusätzlich y- und qs-Einheiten verwendbar (siehe landesweite Quartär-Gliederung)
205	1258	qJ	--- Jungquartär	(Jungquartär-Schichten)
207	205	OKL	--- Oberes Kieslager (OKL)	Jung- bis Mittelpleistozän
1150	207	OKLo	---- Oberes OKL	Raum Mannheim – Heidelberg
1151	207	ZH1	----- Zwischenhorizont 1	Raum Mannheim – Heidelberg
1152	207	OKLu	---- Unteres OKL	Raum Mannheim – Heidelberg
208	205	OZH	--- Oberer Zwischenhorizont	(Oberer Ton) im Rhein-Neckar-Raum, gebietsweise nicht vorhanden
209	205	MKL	--- Mittleres Kieslager (MKL)	
1153	209	MKLo	---- Oberes MKL	Raum Mannheim – Heidelberg
1539	1153	MKL o2	----- Oberes MKL 2	Raum Mannheim – Heidelberg
1154	1153	ZH2	----- Zwischenhorizont 2	Raum Mannheim – Heidelberg
1540	1153	MKL o1	----- Oberes MKL 1	Raum Mannheim – Heidelberg
1552	09	ZH3	----- Zwischenhorizont 3	Raum Mannheim – Heidelberg
1156	209	MKL u	---- Unteres MKL	Raum Mannheim – Heidelberg
210	205	UZH	--- Unterer Zwischenhorizont	gebietsweise nicht vorhanden
211	205	UKL	--- Unteres Kieslager	gebietsweise nicht vorhanden
212	1258	qA	--- Altquartär	(Altquartär-Schichten); Unterpleistozän, z. T. Pliozän ?

Abfolge. Etwa auf Höhe von Leopoldshafen/Eggenstein spaltet sich vom Zwischenhorizont 3 der Untere Zwischenhorizont (UZH) ab. Von hier aus nach Norden bildet der ZH3 die Grenze zwischen der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben und der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge unten und der UZH trennt die Mittlere sandig-kiesige Abfolge von der Unteren sandig-schluffigen Abfolge.

Die Verbreitung des Zwischenhorizonts 2 (ZH2) ist auf den Raum nördlich von Schwetzingen begrenzt und reicht über die nördliche Landesgrenze hinaus. Er führt zu einer Unterteilung der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben in die Mittlere sandig-kiesige Abfolge oben und in die Mittlere sandig-kiesige Abfolge mitte.

einem abschnittsweise sehr deutlich ausgeprägten Doppelreflektor unterlagert, der im Bereich des Zwischenhorizonts 3 (ZH3) ausgebildet ist. Unter der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge unten folgt erneut ein Band mit stärker ausgeprägten Reflektoren, die höhenmäßig dem Unteren Zwischenhorizont (UZH) zuzuordnen sind. Die darunter folgende Einheit erscheint im seismischen Profil als ein weiterer Abschnitt mit einer geringeren Reflektivität. Sie wird als die Untere sandig-schluffige Abfolge gedeutet und entspricht in ihrem oberen Abschnitt nach der älteren lithologischen Gliederung dem „Altquartär“.

Die Grenze zur liegenden seismischen Einheit ist meist nicht deutlich ausgebildet. Sie wird als die Grenze zum Pliozän interpretiert, die auch lithologisch nur schwer identifiziert werden kann. Insbesondere im rheinland-pfälzischen Teil des nördlichen Oberrheingrabens beginnt das Pliozän mit einer feinkörnigen Abfolge, die jedoch seismisch nicht identifiziert werden konnte (Tieferer Zwischenhorizont, tZH). Das Pliozän wird im seismischen Profil 2 von den quartären Sedimenten konkordant überlagert (Abb. 7.3, Anl. 1).

Auch im Norden des Seismikprofils 3 (Anl. 2) ist der Unterschied zwischen der Oberen kiesig-sandigen Abfolge und der darunter folgenden Einheit (OZH) gut zu erkennen. Der deutliche Reflektor an der Basis der Unteren sandig-schluffigen Abfolge fehlt im Süden und eine Grenzziehung zum unterlagernden Pliozän ist nicht mehr möglich (CDP 4400 bis 6200, Abb. 7.4).

Im Gamma-Log ist die Untere sandig-schluffige Abfolge durch eine deutlich höhere Strahlungintensität gekennzeichnet. Signifikante Ausschläge können jedoch nicht eindeutig mit Reflektoren im seismischen Profil korreliert werden. Das Pliozän liegt im südlichen Abschnitt diskordant über den miozänen Sedimenten. Nach Norden zu gehen die beiden Einheiten konkordant ineinander über. Sie unterscheiden sich dort in ihrem Reflektivitätsmuster nicht deutlich voneinander und ein markanter Reflektor an der Grenzfläche fehlt.

Im Seismikprofil 4 (Anl. 3, Abb. 7.5) zeichnet sich beim CDP 1400 in einer Tiefe von 32 – 34 m u. Gel. (ca. 40 msec, doppelte Laufzeit) ein markanter Wechsel in der seismischen Fazies von einer oberen Einheit mit geringerer Reflektivität zu einer Einheit mit höherer Reflektivität ab. Dies wird als Übergang vom Oberen Zwischenhorizont und der darunter liegenden, in diesem Abschnitt seismisch undifferenzierten Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben zur Mittleren sandig-kiesigen Abfolge unten gedeutet.

Die Basis des höher reflektiven Abschnittes wird durch einen deutlicheren Reflektor markiert. In der Bohrung 6816/162 auf dem seismischen Profil 4 (in Abb. 7.5 nicht dargestellt) fällt dieser Reflektor höhenmäßig mit einer ca. 4 m mächtigen Schlufflage zusammen, die den unteren Abschluss der in diesem Profilabschnitt vergleichsweise feinklastischen Abfolge bildet.

Die darunter folgende Einheit lässt sich beim CDP 1400 des Profils 4 (Abb. 7.5) bis zu einem deutlichen Reflektor mit hoher Amplitude in einer Tiefe von ca. 240 – 250 m u. Gel. (ca. 280 – 290 msec, doppelte Laufzeit) seismisch nicht weiter untergliedern. Aufgrund der Korrelation mit weiteren benachbarten Bohrungen wird dieser Abschnitt der Unteren sandig-schluffigen Abfolge und dem Fluvialen Jungtertiär bzw. der Iffezheim-Formation zugeordnet. Der markante Reflektor bildet die Grenze zu den darunter folgenden Ton- und Mergelsteinen des Miozän, die in diesem Teufenintervall in mehreren Bohrungen erreicht wurden. Die pliozänen Sedimente überlagern das Miozän in diesem Profilabschnitt diskordant.

Im nördlichen Abschnitt des Seismikprofils 5 (Anl. 5, Abb. 7.6) ist der Obere Zwischenhorizont nur noch geringmächtig ausgebildet. Er kommt durch einen stärkeren Reflektor bei etwa 20 msec (doppelte Laufzeit) zum Ausdruck. An der Grenze der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben zur Mittleren sandig-kiesigen Abfolge unten ist abschnittsweise ein etwas stärkerer Reflektor vorhanden, der dem ZH3 zugeordnet wird. Die Grenze vom Fluvialen Jungtertiär (Iffezheim-Formation) zum unterlagernden Miozän ist durch eine Erosionsdiskordanz und den Wechsel in der seismischen Fazies deutlich zu erkennen.

Im südlichen Abschnitt des Untersuchungsgebietes (z. B. Seismikprofil 15, Anl. 12, Abb. 7.7) werden die quartären Sedimente in die sandigen Kiese der Neuenburg- und Breisgau-Formation unterteilt. Sie werden vom Fluvialen Jungtertiär (Iffezheim-Formation) und von bereichsweise verstellten Schollen aus älteren tertiären Ton- und Tonmergelsteinen unterlagert. Aufgrund der schlechteren Ergebnisse der seismischen Messungen im südlichen Untersuchungsgebiet und der fehlenden lithologischen Differenzierung der quartären Kiese und Sande lassen sich dort keine markanten Reflektoren oder seismischen Einheiten mit deutlichen Unterschieden in der seismischen Fazies erkennen. Die Grenze zwischen den quartären Kiesen und Sanden und den darunter liegenden Feinsedimenten ist in den seismischen Profilen nicht deutlich ausgebildet. Sie wird nach der Korrelation mit Bohrungen im Bereich mehrerer stärkerer Reflektoren vermutet.

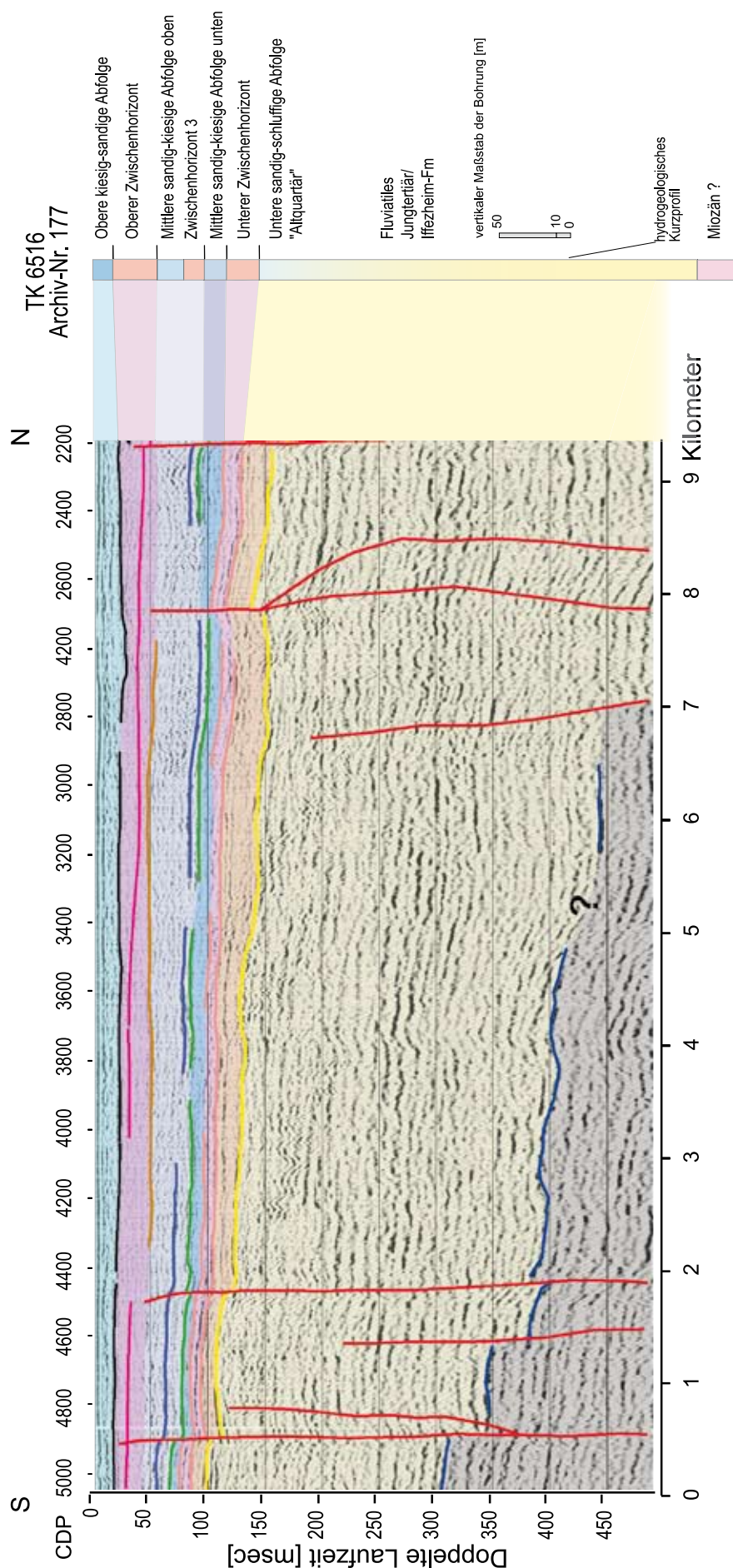


Abb. 7.3 Korrelation zwischen der Bohrung Bo 6516/177 und Reflektoren im südlichen Abschnitt des seismischen Profils 2 (s. a. Anl. 1).

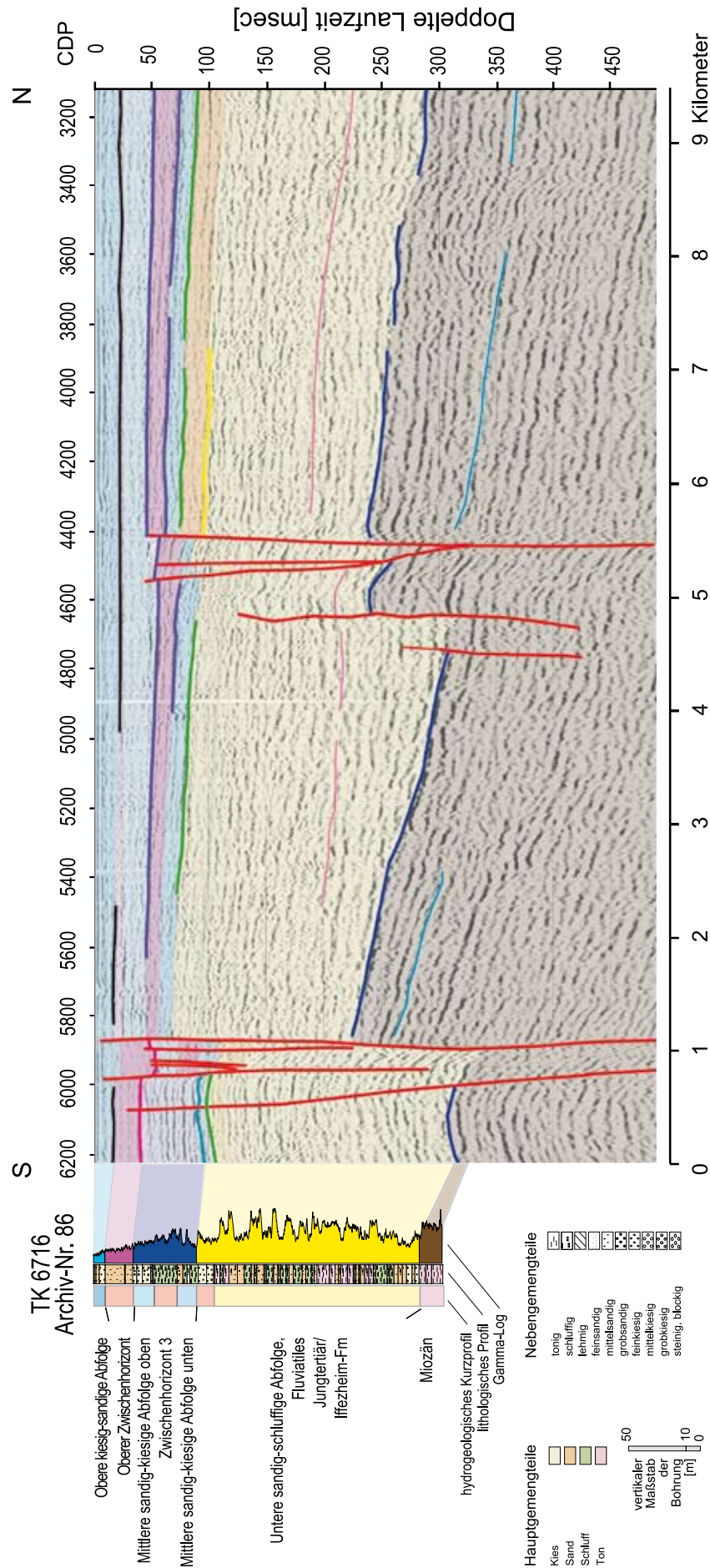


Abb. 7.4 Korrelation zwischen der Bohrung BO 6716/86 und den Reflektoren im südlichen Abschnitt des seismischen Profils 3 (s. a. Anl. 2).

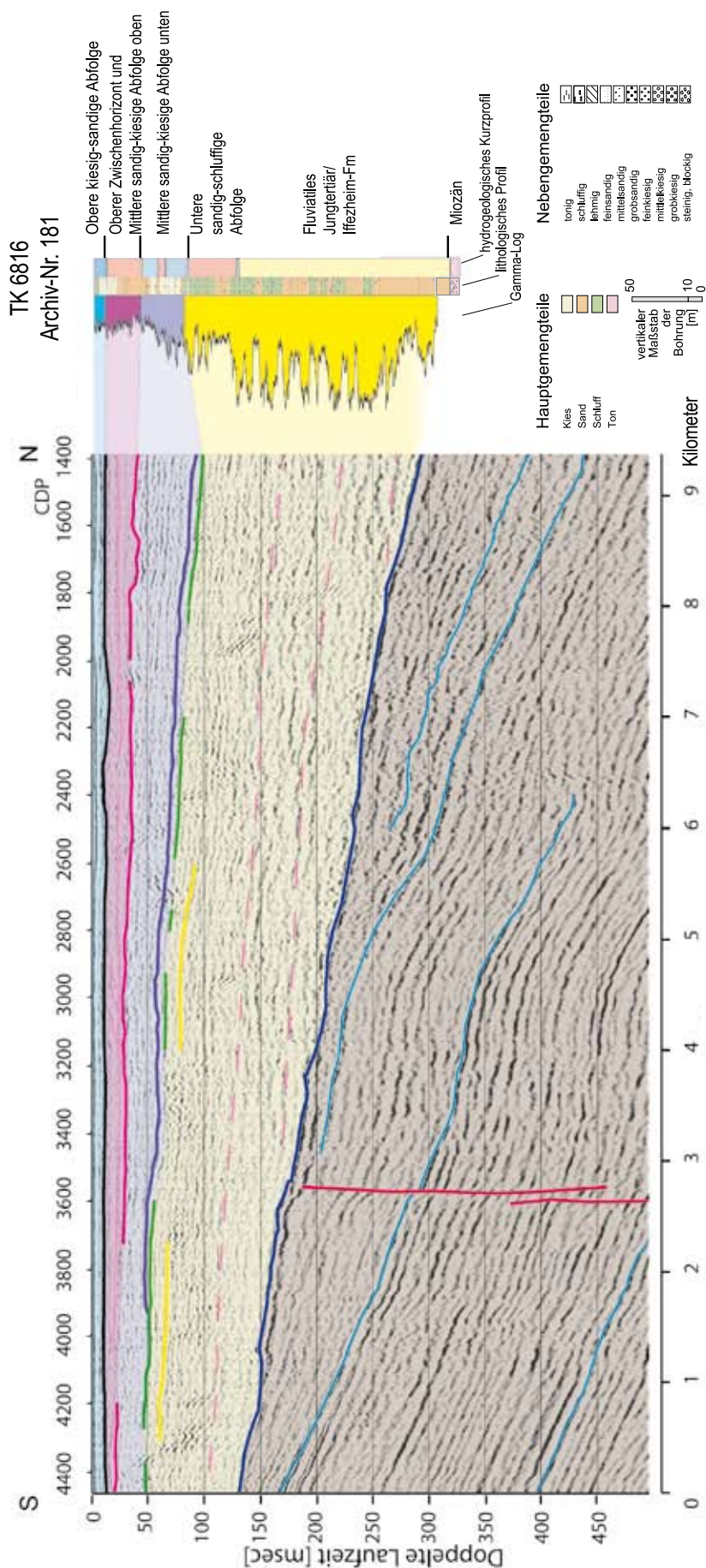


Abb. 7.5 Korrelation zwischen der Bohrung BO 6816/181 und dem südlichen Abschnitt des seismischen Profils 4 (zwischen Gernersheim und Dettenheim, s. a. Anl. 3).

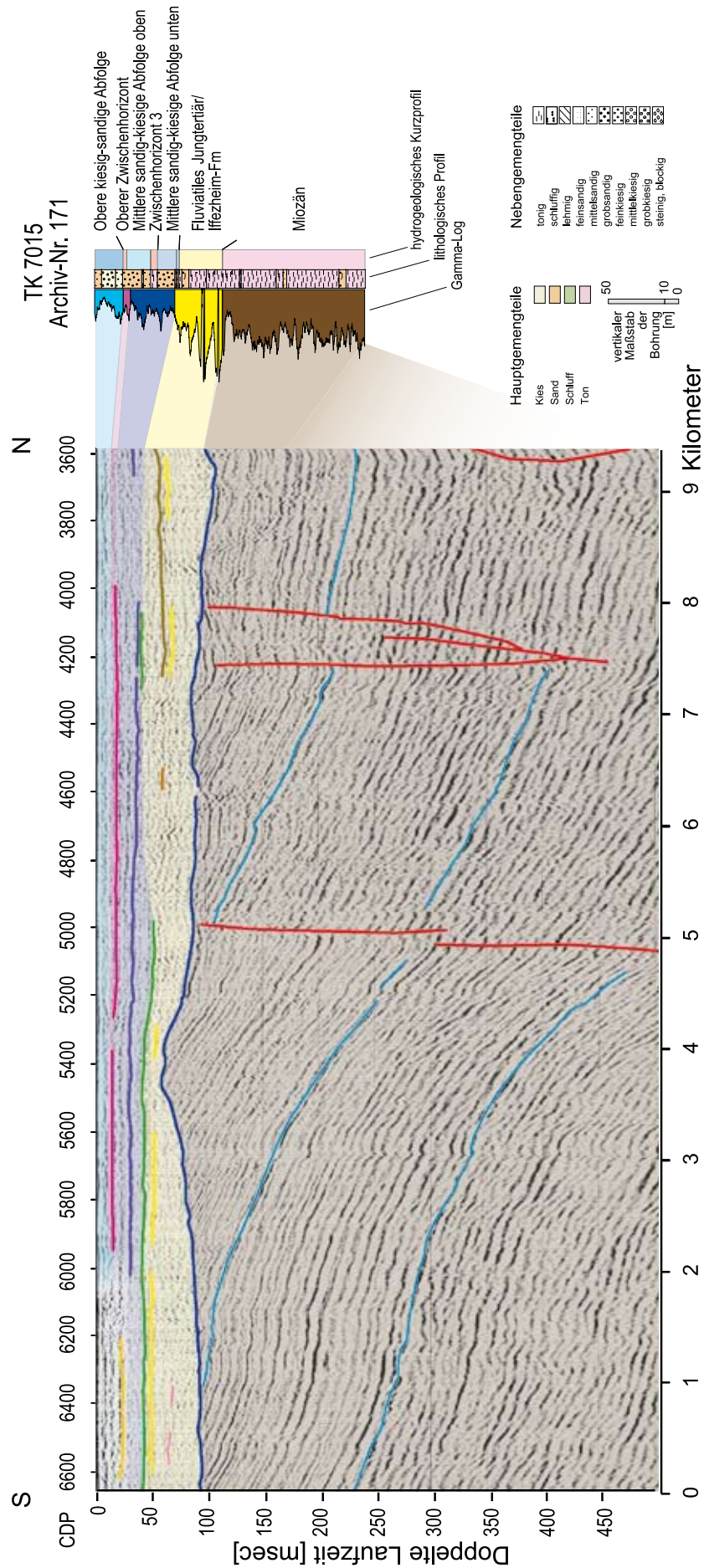


Abb. 7.6 Korrelation zwischen den Bohrungen BO 7015/171 und dem zentralen Abschnitt des seismischen Profils 5 (s. a. Anl. 4).

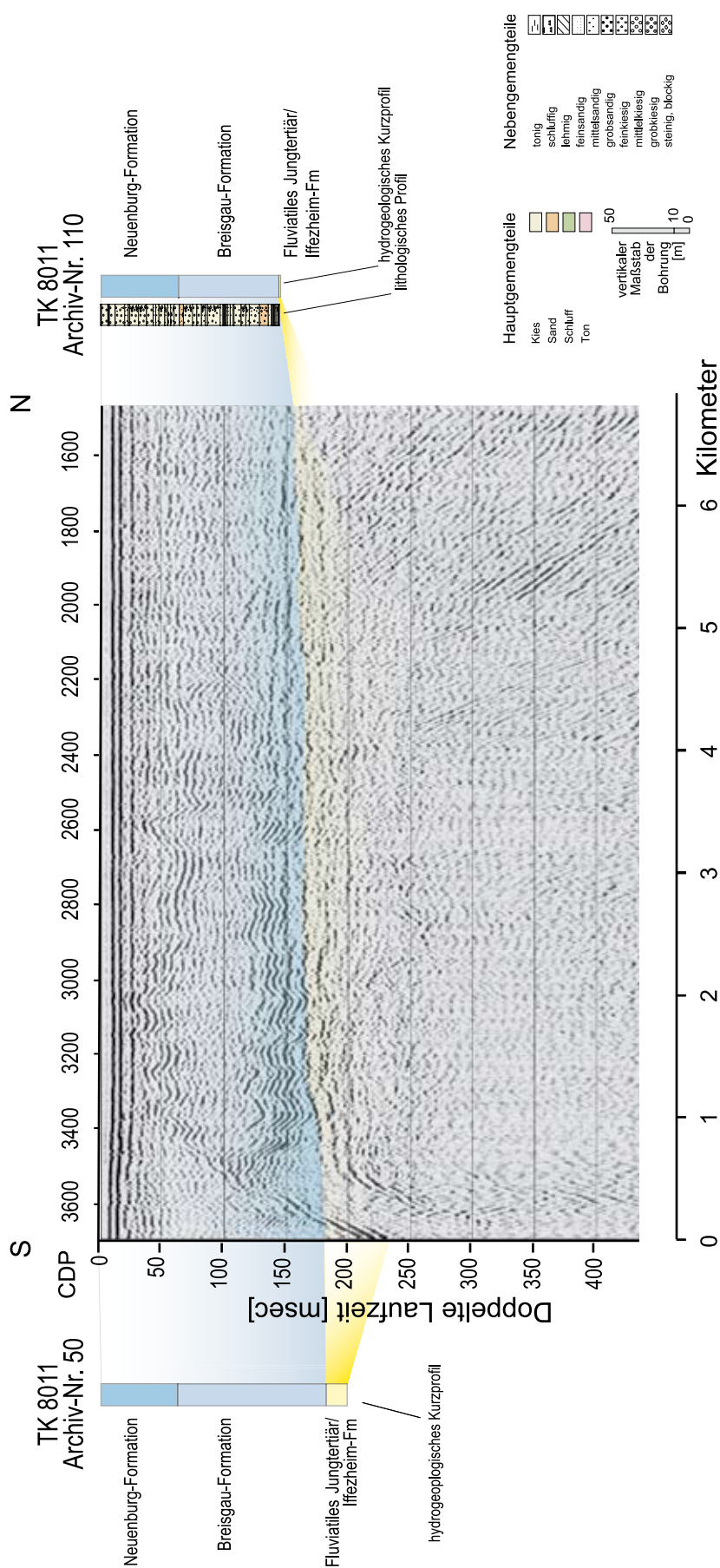


Abb. 7.7 Korrelationsversuch zwischen den Bohrungen BO 8011/50 und 8011/110 und dem südlichen Abschnitt des seismischen Profils 15 (s. a. Anl. 12).

7.3 Beschreibung der seismischen Einheiten

Die quartäre und tertiäre Grabenfüllung, die durch die reflexionsseismischen Messungen erfasst wurde, lässt sich anhand der seismischen Fazies in seismische Einheiten untergliedern.

Seismische Einheiten sind durch bestimmte Eigenschaften der Reflektoren charakterisiert („seismische Fazies“). Die Grenzen der Einheiten werden durch markante Reflektoren oder durch die geometrischen Beziehungen der Reflektoren zueinander identifiziert.

Zur Charakterisierung der seismischen Einheiten dienen folgende Merkmale:

- Hangend- und Liegendkontakte der Reflektoren
- Amplitude der Reflektoren
- Kontinuität der Reflektoren
- Frequenz der Reflektoren

Damit werden die Einheiten im Hinblick auf den Lagebezug der Schichtgrenzen (konkordant, diskordant, erosiv), auf lithologische Unterschiede zwischen den einzelnen Einheiten sowie auf Art und

Mächtigkeit der Schichtung geologisch interpretiert. In Abb. 7.8 ist die Beschreibung der Einheiten für den nördlichsten Bereich des Profils 2 beispielhaft dargestellt. Die angewandte Methode der seismischen Stratigraphie (MITCHUM et al. 1977) wurde im Zusammenhang mit hydrogeologischen Fragestellungen bereits mehrfach zur Unterscheidung lithologisch-hydrogeologischer Einheiten und zur Erkundung der Aquifergeometrie angewandt (PUGIN et al. 1999, DE BATIST & VERSTEEG 1999, SHARPE et al. 2003).

Die seismischen Eigenschaften der identifizierten Einheiten sind in Tab. 7.3 zusammengefasst. Die Bestimmung von Hangend- und Liegendkontakten der Reflektoren (onlap, offlap, truncation, nach MITCHUM et al. 1977) an den oberen und unteren Grenzflächen der seismischen Einheiten ist nur selten möglich. Ebenso ändert sich häufig die seismische Fazies der Einheiten lateral.

Die Bezeichnung der Einheiten erfolgt nach dem Symbolschlüssel Geologie (RPF/LGRB 2006) und den Hydrogeologischen Karten des Untersuchungsraums. Darin wurden die Einheiten hauptsächlich nach ihrem Feinsedimentanteil unterschieden, der einen bedeutenden Einfluss auf die hydraulischen Eigenschaften der Ablagerungen hat.

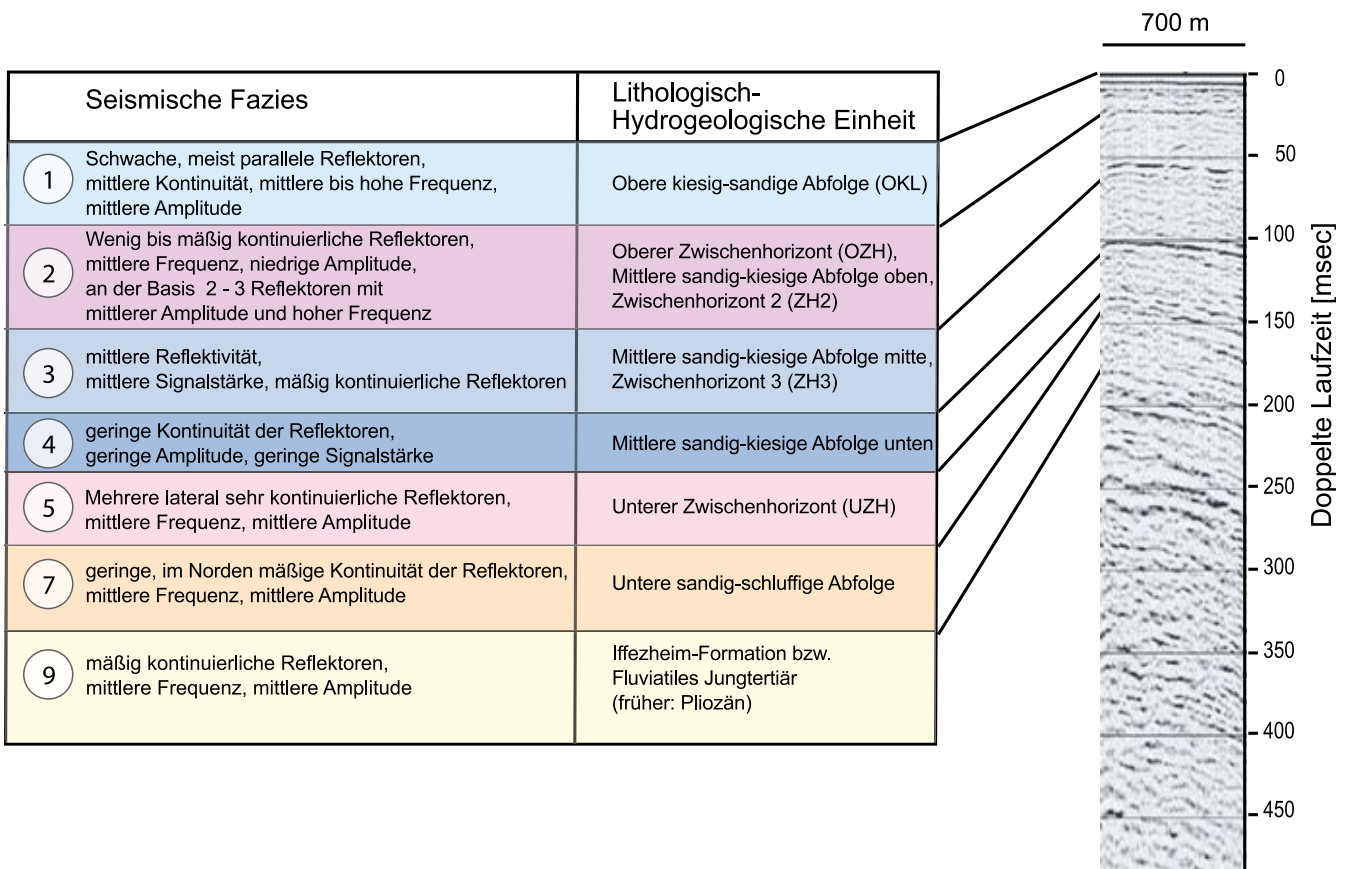


Abb. 7.8 Charakterisierung der seismischen Einheiten am Beispiel des seismischen Profils 2 (Ausschnitt von CDP 450 bis 750).



Tab. 7.3 Seismische Eigenschaften der seismischen Einheiten.

Seism. Einheit	Geometrie	Seismische Fazies	Verbreitung	Mächtigkeit	Lithologisch-hydrogeologische Einheit
1	Flächenhaft ausgebildet, nur geringe Mächtigkeitsschwankungen	Schwache, meist parallele Reflektoren mit mittlerer Kontinuität, mittlere bis hohe Frequenz, mittlere Amplitude Einige stärkere interne Reflektoren, die lateral nicht aushalten	Profil 1 bis 5 Ab Profil 5: keine Unterscheidung zwischen seismischer Einheit 1 und 3 möglich	Im Norden: ca. 20 m Nach Süden auf 10 m abnehmend	Obere kiesig-sandige Abfolge (Oberes Kieslager, OKL) (HGK 1999) bzw. Mannheim-Formation (RPF/LGRB 2006)
2	Flächenhaft mit z. T. deutlichen Mächtigkeitsschwankungen Im nördlichen und zentralen Abschnitt des Profils 3 keine Unterscheidung zu Einheit 3 möglich Grenzflächen bereichsweise von Störungen versetzt	Wenig bis mäßig kontinuierliche Reflektoren, mittlere Frequenz, niedrige Amplitude An der Basis im Norden 2 bis 3 stärkere Reflektoren mit mittlerer Amplitude und hoher Frequenz	Profil 1 bis 5 (CDP 6100)	Im Norden: ca. 35 m Weiter südlich konstante Mächtigkeitsabnahme, in Profil 2 geringmächtig	Oberer Zwischenhorizont (OZH), im Norden mit Mittlerer sandig-kiesiger Abfolge oben. Im Norden an der Basis Zwischenhorizont 2, ZH2 (HGK 1999)
3	Flächenhaft mit deutlichen Mächtigkeitsschwankungen an Störungen Grenzflächen bereichsweise von Störungen versetzt	Profil 1 bis 4 (CDP 1400): mittlere Reflektivität, mittlere Signalstärke, mäßig kontinuierliche Reflektoren An der Basis: zwei bis drei kontinuierliche Reflektoren mit hoher Reflektivität, mittlerer Amplitude, nach Süden Übergang in geringere Signalstärke	Profil 1 bis 3 (CDP 1400)	Im Norden: 30 bis 35 m Nach Süden auf 10 m abnehmend	Mittlere sandig-kiesige Abfolge mitte und Zwischenhorizont 3, ZH3 (HGK 1999)
4	Kontinuierliche Mächtigkeitszunahme von Süden nach Norden Grenzflächen bereichsweise von Störungen versetzt	Geringe Kontinuität der Reflektoren, geringe Amplitude, geringe Signalstärke	Profil 1 bis 3 (CDP 5850)	Im Norden: 30 m Nach Süden (Profil 3, CDP 1100): 5 m	Mittlere sandig-kiesige Abfolge unten (HGK 1999)
5	Von Profil 1 bis Profil 3 kontinuierliche Mächtigkeitsabnahme, weiter südlich konstante Mächtigkeit Grenzflächen bereichsweise von Störungen durchsetzt	Mehrere lateral sehr kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer bis hoher Frequenz und mittlerer Amplitude	Profil 1 bis 3 (CDP 1200)	Im Norden: 20 m Nach Süden (CDP 900, Profil 3): weniger als 5 m	Unterer Zwischenhorizont (UZH)
6	Mächtigkeitszunahme von Süden nach Norden	Im nördlichen Abschnitt kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer Amplitude und mittlerer Frequenz. Nach Süden zu geringe Reflektivität, abnehmende Kontinuität der Reflektoren	Profil 3 (CDP 600) bis Profil 5 (CDP 6000)	Im Norden: ca. 50 m mächtig Nach Süden auf 20 m abnehmend	Mittlere sandig-kiesige Abfolge oben, Zwischenhorizont 3, ZH3, Mittlere sandig-kiesige Abfolge unten
7	Mächtigkeitsabnahme von Profil 1 bis Profil 3, CDP 4500, danach annähernd konstante Mächtigkeit Mächtigkeitssprünge an den Störungen Grenzflächen bereichsweise von Störungen versetzt	Geringe, im Norden mäßige Kontinuität der Reflektoren, mittlere Frequenz, mittlere Amplitude Im Süden geringe bis fehlende Reflektivität Von CDP 2600 des Profils 2 bis CDP 4360 des Profils 3 abschnittsweise sehr kontinuierlicher Doppel- bis Dreifachreflektor mit mittlerer Frequenz und hoher Amplitude an der Basis Ab CDP 4750 des Profils 4 keine Unterscheidung zur unterlagernden Einheit möglich	Profil 1 bis 3 (CDP 4400) Weiter südlich keine Unterscheidung zur unterlagernden Einheit 10 möglich	Im Norden: 25 m Nach Süden auf 15 bis 20 m abnehmend	Oberer Abschnitt der Unteren sandig-schluffigen Abfolge (HGK 1999)
8	Im Raum Lauterbourg/Illingen-Elchesheim aus den seismischen Einheiten 1 und 6 hervorgehend Grenzzeichnung zur unterlagernden seismischen Einheit wegen fehlender seismischer Kontraste meist nicht möglich	Gering bis mäßig kontinuierliche Reflektoren, mittlere Frequenz, mittlere Amplitude	Profil 5 (CDP 6000) bis südliches Ende des Untersuchungsgebietes	Karlsruher Schwelle: 40 bis 45 m Südlich des Kaiserstuhls: 130 bis 135 m	Neuenburg-Formation und Breisgau-/Ortenau-Formation
9	Untere Grenzfläche konkordant bis onlap im Norden, nach Süden zu erosiv mit Rinnenstrukturen (z. B. CDP 7400 bis 8100, Profil 5), bereichsweise tektonisch überprägt (z. B. Grabenstruktur bei CDP 1800 bis 4300, Profil 7) Untere Grenzfläche stark reliefiert	Profil 1 bis Profil 4 (CDP 3400): mäßig kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer Frequenz und mittlerer Amplitude Im Süden des Profils 4 (CDP 3400): gering kontinuierliche Reflektoren mit niedriger Amplitude, eingeschaltet sind Bereiche mit höherer Reflektivität (z. B. Profil 4, CDP 5200 bis 5800) Innerhalb der Einheit vertikal geringfügige Variationen in Reflektivität bzw. Signalstärke	Profil 1 bis 7 Ab Profil 8 keine deutliche Unterscheidung zur unterlagernden Einheit möglich	Im Norden: Sehr stark schwankend, über 300 m Nach Süden (Profil 9 und 10) auf 50 bis 15 m abnehmend	Ifrezeim-Formation bzw. Fluviales Jungtertiär Bereichsweise Untergliederung des Pliozäns möglich
10	Obere Grenzfläche Profil 1 bis 4 (CDP 300 bis 1400) konkordant, weiter südlich diskordant	Kontinuierliche Reflektoren mit niedriger Frequenz und hohen Amplituden Im Norden geringere Kontinuität	Profil 2 (CDP 2800) bis 23 Weiter im Norden Obergrenze nicht mehr festzulegen, taucht vermutlich unter die Aufzeichnungsänge von 600 msec ab	Basis der Einheit tiefer als Aufzeichnungsänge von 500 bis 750 msec	Festgestein, Miozän und älter

In den nördlichen Profilen 1 – 4 können bis zu sieben Einheiten unterschieden werden (Abb. 7.8).

Weiter südlich ist die Differenzierung in verschiedene Einheiten weniger deutlich. Dies liegt einerseits an der schlechteren Datenqualität (s. Kap. 6), andererseits ist die pliozäne bis pleistozäne Abfolge lithologisch weniger differenziert, so dass sich weniger markante und über eine längere Distanz korrelierbare Reflektoren abzeichnen.

Seismische Einheit 1

Obere kiesig-sandige Abfolge (Oberes Kieslager, OKL) bzw. Mannheim-Formation

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 1 ist vom nördlichen Ende des Profils 1 bis in den nördlichen Bereich des Profils 5 vorhanden (Anl. 1 – 4). Südlich davon schließt die seismische Einheit 8 an.

Die seismische Einheit 1 ist durch eine mittlere Reflektivität, eine mittlere Amplitude, eine mittlere bis hohe Frequenz und eine mittlere Kontinuität der Reflektoren gekennzeichnet. Die Grenzziehung zur unterlagernden seismischen Einheit 2 erfolgt an einem deutlicher ausgeprägten Reflektor (z. B. Anl. 1, Abb. 8.2). Sie ist nicht immer eindeutig festzulegen.

Mächtigkeit: Die Einheit erreicht im Norden des Messgebietes bereichsweise eine Mächtigkeit von ca. 15 bis 20 m (Profil 2, CDP 800 bis 2100, Anl. 1). Weiter südlich geht die Mächtigkeit der Einheit auf 10 m zurück.

Korrelation: Die seismische Einheit 1 entspricht der Oberen kiesig-sandigen Abfolge (Oberes Kieslager, OKL) (HGK 1999) bzw. der Mannheim-Formation (RPF/LGRB 2006).

Seismische Einheit 2

Oberer Zwischenhorizont (Ladenburg-Horizont),
Mittlere sandig-kiesige Abfolge oben
und Zwischenhorizont 2

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 2 ist in den Profilen 1 – 5 bis etwa zum CDP 6100 vorhanden (Anl. 1 – 4). Sie ist durch mehrere, wenig bis mäßig kontinuierliche Reflektoren mit geringer Intensität und mittlerer Frequenz gekennzeichnet.

Bereichsweise ist die Reflektivität etwas höher (z. B. Profil 2: CDP 800 bis 1400). An der Basis der Einheit sind im Norden abschnittsweise zwei bis drei stärkere, kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer

Amplitude und hoher Frequenz ausgebildet (z. B. Anl. 1, Profil 2: CDP 400 bis 1000, CDP 1400 bis 1800).

Im nördlichen und zentralen Bereich des Profils 3 ist eine Grenzziehung zur unterlagernden Einheit 3 nicht möglich.

Die Oberfläche der seismischen Einheit 2 liegt im Norden bei ca. 20 m u. Gel. (Profil 1, CDP 300), weiter südlich bei 10 – 15 m u. Gel. Im Bereich der Störungen in den Profilen 1 und 2 wird ihre Obergrenze geringfügig, ihre Basis deutlich versetzt (z. B. Abb. 8.2).

Mächtigkeit: Die Einheit erreicht im Norden des Messgebietes eine Mächtigkeit von ca. 35 m. In Profil 2 (Anl. 1) nimmt die Mächtigkeit nach Süden stark ab. Bei CDP 5900 des Profils 3 (Anl. 2) nimmt die Mächtigkeit an einer Störung wieder auf 20 – 25 m zu. Weiter nach Süden nimmt sie kontinuierlich ab.

Korrelation: Die seismische Einheit 2 entspricht im Norden dem OZH (HGK 1999) mit der darunter folgenden Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben. Die Grenze zwischen diesen beiden Einheiten ist häufig lithologisch nicht deutlich ausgebildet und lässt sich deshalb auch im seismischen Profil nicht identifizieren. Die im Norden bereichsweise deutlichen Reflektoren an der Basis der seismischen Einheit 2 entsprechen einer feinklastischen Einschaltung (lithologisch-hydrogeologische Gliederung: Zwischenhorizont 2).

Vom südlichen Abschnitt des Profils 3 an nach Süden entspricht die Einheit 2 dem Oberen Zwischenhorizont.

Seismische Einheit 3

Mittlere sandig-kiesige Abfolge oben bzw. mitte
und Zwischenhorizont 3

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 3 ist vom nördlichen Ende des Profils 1 bis zum CDP 1400 des Profils 3 vorhanden (Anl. 1 und 2). Südlich davon ist keine Grenzziehung zur überlagernden Einheit 2 möglich. Die seismische Einheit 3 ist durch eine mittlere Reflektivität, eine mittlere Signalstärke und mäßige Kontinuität der Reflektoren gekennzeichnet.

Die Basis der seismischen Einheit 3 ist im Norden (Profile 1 und 2) durch zwei bis drei Reflektoren mit hohen Signalstärken, d. h. einer hohen Reflektivität mit mittleren Amplituden sowie guter Kontinuität der Reflektoren gekennzeichnet. Ab dem CDP 4000 des Profils 2 nimmt die Reflektivität



ab und ein Reflektorenband mit lateral wechselnden Eigenschaften schließt sich an (Anl. 1). Die Reflektoren sind bei bereichsweise mittlerer Frequenz und mittlerer Amplitude kontinuierlich ausgebildet (z. B. Profil 2, CDP 4500 bis Profil 3, CDP 1400).

Mächtigkeit: Die Einheit 3 erreicht im Norden des Messgebietes eine Mächtigkeit von ca. 30 bis 35 m. Im Norden des Profils 2 (Anl. 1) wird die Basis von Störungen versetzt. Nach Süden nimmt die Mächtigkeit auf ca. 10 m ab. Der höher reflektive Abschnitt im basalen Bereich erreicht im Norden des Messgebietes eine Mächtigkeit von ca. 15 m und bleibt bis zum CDP 800 des Profils 3 (Anl. 2) konstant. Im Bereich von Störungen deuten sich Mächtigkeitsschwankungen von mehreren Metern an.

Korrelation: Der obere Abschnitt der seismischen Einheit 3 entspricht dem mittleren Abschnitt der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge. Die stärkeren Reflektoren im basalen Bereich können mit einer über einen größeren Bereich vorhandenen feinklastischen Lage (ZH3) korreliert werden.

Seismische Einheit 4

Mittlere sandig-kiesige Abfolge unten

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 4 ist vom Norden des Untersuchungsgebietes bis etwa zum CDP 5850 des Profils 3 zu identifizieren (Anl. 1 und 2). Sie ist durch eine niedrige Reflektivität mit niedrigen Amplituden, geringen Signalstärken und geringer Kontinuität der Reflektoren gekennzeichnet.

Die Oberfläche der seismischen Einheit 4 liegt im Norden bei ca. 85 bis 90 m u. Gel. (Profil 1, CDP 300). Sie steigt nach Süden bis zum CDP 700 des Profils 3 an Störungen und aufgrund des Schicht-einfallens bis ca. 50 m u. Gel. an.

Die obere und untere Grenzfläche der Einheit wird durch zahlreiche Störungen versetzt (Abb. 8.2: Profil 1: CDP 800, 250; Profil 2: CDP 4920, 4520, 2520, 2040, 800, 420).

Mächtigkeit: Die Einheit erreicht im Norden des Messgebietes eine Mächtigkeit von ca. 30 m. Nach Süden nimmt sie kontinuierlich ab. Bei CDP 1100 des Profils 3 ist sie nur noch 5 m mächtig.

Korrelation: Die seismische Einheit 4 entspricht dem unteren Abschnitt der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge (HGK 1999).

Seismische Einheit 5

Unterer Zwischenhorizont

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 5 ist vom Nordende des Profils 1 bis zum CDP 1200 des Profils 3 vorhanden (Anl. 1 und 2). Sie ist durch mehrere, lateral sehr kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer Amplitude gekennzeichnet. In Profil 1 und im nördlichsten Abschnitt des Profils 2 ist die Frequenz der Reflektoren mittel bis hoch, nach Norden zu überwiegt eine hohe bis sehr hohe Frequenz.

Die Oberfläche der seismischen Einheit 5 liegt im Norden bei ca. 110 m u. Gel. (Profil 1, CDP 300). Sie steigt nach Süden bis zum CDP 1200 des Profils 3 auf ca. 50 m u. Gel. an.

Mächtigkeit: Die Einheit erreicht im Norden des Messgebietes eine Mächtigkeit von ca. 20 m. Zum Süden hin nimmt sie kontinuierlich ab.

Korrelation: Die seismische Einheit 5 entspricht feinklastischen Einschaltungen, die nach der HGK (1999) dem Unteren Zwischenhorizont zugeordnet werden.

Seismische Einheit 6

Mittlere sandig-kiesige Abfolge oben,
Zwischenhorizont 3 und
Mittlere sandig-kiesige Abfolge unten

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 6 ist vom CDP 6000 des Profils 3 bis zum CDP 6000 des Profils 5 vorhanden (Anl. 2 bis 4). Im nördlichen Abschnitt besteht sie aus kontinuierlichen Reflektoren mit mittlerer Amplitude und mittlerer Frequenz. Nach Süden hin ist die Reflektivität gering und die Kontinuität der Reflektoren nimmt ab.

Mächtigkeit: Die Einheit 6 ist im nördlichen Verbreitungsgebiet ca. 50 m mächtig, nach Süden nimmt die Mächtigkeit auf 20 m ab.

Korrelation: Die seismische Einheit 6 entspricht der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben, dem Zwischenhorizont 3 und der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge unten. Die lithologischen Einheiten unterscheiden sich seismisch nicht voneinander.

Seismische Einheit 7

Untere sandig-schluffige Abfolge

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 7 ist vom nördlichen Ende des Profils 1 bis zum CDP 4400 des Profils 3 vorhan-

den (Anl. 1 und 2). Weiter südlich ist keine Unterscheidung zur unterlagernden Einheit möglich. Sie ist im Süden des Untersuchungsgebietes durch eine niedrige bis fehlende Reflektivität mit einer sehr geringen Signalstärke und geringer Kontinuität der Reflektoren gekennzeichnet. Ab dem CDP 2040 des Profils 2 bis zum nördlichen Ende des Profils 1 sind in der Einheit mehrere Reflektoren mit geringer bis mäßiger Kontinuität eingeschaltet.

Zwischen dem CDP 2600 des Profils 2 und dem CDP 4360 des Profils 3 ist an der Basis dieser Einheit über weite Strecken ein stärkerer Dreifachreflektor mit einer mittleren Frequenz, einer hohen Amplitude und einer guten Kontinuität ausgebildet. Dies ermöglicht eine gute Grenzziehung zur unterlagernden seismischen Einheit.

Die Oberfläche der seismischen Einheit 7 liegt im Norden des Messgebietes bei ca. 150 m u. Gel. (Profil 1, Anl. 1). Sie wird nach Süden hin an mehreren Störungen abgesenkt. Von CDP 850 des Profils 2 an steigt die Oberfläche bis zum CDP 1100 des Profils 3 auf etwa 50 m u. Gel. an. Im weiteren Verlauf des Profils 3 schwankt die Oberfläche zwischen ca. 75 und 60 m u. Gel.

Mächtigkeit: Die Einheit erreicht im Norden des Messgebietes eine Mächtigkeit von ca. 25 m. Nach Süden hin nimmt die Mächtigkeit bis zum CDP 1500 des Profils 3 recht kontinuierlich auf 15 bis 20 m ab (Anl. 2). Weiter im Süden bleibt die Mächtigkeit annähernd konstant.

Korrelation: Die seismische Einheit 7 entspricht dem oberen Abschnitt der Unteren sandig-schluffigen Abfolge (HGK 1999).

Seismische Einheit 8

Neuenburg- und Breisgau-/Ortenau-Formation

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 8 ist vom CDP 6000 des Profils 5 bis zum Süden des Untersuchungsgebietes vorhanden (Anl. 4 bis 17). Sie bildet den oberen Abschnitt der Profile. Die Einheit ist charakterisiert durch gering bis mäßig kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer Frequenz und mittlerer Amplitude. Der Kontrast zur unterlagernden seismischen Einheit ist gering bzw. fehlt, so dass eine eindeutige Grenzziehung meist nicht möglich ist. Im Süden liegt die seismische Einheit 8 bereichsweise direkt über der Einheit 10. Die beiden Einheiten können nur in Bereichen mit diskordanten Lagerungsverhältnissen sicher voneinander abgegrenzt werden (z. B. im Norden des Profils 16, Anl. 13).

Der bereichsweise vorhandene markante, kontinuierliche Mehrfachreflektor an der Oberfläche der seismischen Einheit 8 wird auf multiple Reflexionen zurückgeführt.

Mächtigkeit: Im Profil 6 am Nordrand der Karlsruher Schwelle ist die seismische Einheit ca. 40 bis 45 m mächtig (Anl. 5). Im Norden des Profils 12 beträgt die Mächtigkeit ca. 100 m, im Süden des Profils ca. 130 bis 135 m (Anl. 10). Weiter im Süden steigt die Basis der Einheit deutlich an, die Mächtigkeit verringert sich auf 10 bis 25 m (Profil 19, Anl. 16).

Korrelation: Die seismische Einheit 8 entspricht der Neuenburg- und Breisgau-/Ortenau-Formation.

Seismische Einheit 9

Iffezheim-Formation/Fluviatiles Jungtertiär,
„Pliozän“, bereichsweise Altquartär

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 9 ist vom Nordrand des Untersuchungsgebietes bis zum Profil 7 durchgängig vorhanden (Anl. 1 bis 6). In den Profilen 9 bis 11 ist sie nur abschnittsweise zu identifizieren (Anl. 7 bis 9). Sie ist in den Profilen 1 und 3 und im nördlichen Abschnitt des Profils 4 (ab CDP 3400) durch mäßig kontinuierliche Reflektoren mit mittlerer Frequenz und mittlerer Amplitude gekennzeichnet.

Südlich vom CDP 3400 des Profils 4 macht sich im unteren Abschnitt der Einheit ein Wechsel in der seismischen Fazies bemerkbar (Anl. 3). Dort ist eine geringe Reflektivität mit lateral nicht aushaltenden Reflektoren und niedrigen Amplituden charakteristisch. Nur abschnittsweise sind Bereiche mit höherer Reflektivität eingeschaltet (z. B. Profil 5, CDP 2600 bis 3200 oder 0 bis 600, Anl. 4). Im oberen Abschnitt reichen die mäßig kontinuierlichen Reflektoren mit mittlerer Frequenz und mittlerer Amplitude bis in das Profil 5, CDP 1250. Weiter im Süden ist die seismische Einheit 9 von ca. 20 m u. Gel. bis zur Erosionsfläche im Liegenden undifferenziert mit geringer Reflektivität und nur abschnittsweise stärkeren Reflektoren ausgebildet.

Die Grenzfläche zwischen der seismischen Einheit 9 und dem unterlagernden Miozän wird von Störungen um bis zu 50 m versetzt. Die Störungen enden meist innerhalb der pliozänen Abfolge, reichen stellenweise aber auch deutlich höher in die quartäre Abfolge hinein (Kap. 8).

Die Basis der seismischen Einheit 9 liegt am nördlichen Profilende tiefer als 425 m u. Gel. (Anl. 1). Beim CDP 3000 des Profils 2 wurde ein Reflektor



in ca. 325 m u. Gel. als Grenze zur unterlagernden Einheit interpretiert. Von da aus steigt die Basis bis zum CDP 3000 des Profils 5 auf der Karlsruher Schwelle auf ca. 70 m u. Gel. an (Anl. 4). Weiter nach Süden fällt sie wieder bis zum CDP 6300 des Profils 7 auf etwa 160 m u. Gel. ab (Anl. 6).

Innerhalb der seismischen Einheit lassen sich mehrere Reflektoren über größere Entfernungen verfolgen (Anl. 3). Im zentralen und nördlichen Abschnitt des Profils 4 sind interne Reflektoren an die Oberfläche der unterlagernden Einheit angelagert (Anl. 3, „distal onlap“ nach MITCHUM et al. 1977). BARTZ (1982) untergliederte das Pliozän im Graben in drei Einheiten, die jeweils mit einer gröberklastischen basalen Schüttung beginnen und nach oben hin feiner werden (Pliozän I bis III). Anhand der lithologischen Beschreibungen und geophysikalischen Messungen in den Bohrungen FWR 14/75 und FWR 13/75 (LGRB-Nr. 6816/181 und 6816/180) kann der obere Reflektor dem Top des Pliozän II zugeordnet werden. Der mittlere Reflektor liegt ungefähr in der Mitte des Pliozän II (Abb. 7.4, Anl. 3).

Mächtigkeit: Am Nordende des Untersuchungsgebietes erreicht die seismische Einheit 9 bei Mannheim eine Mächtigkeit von über 300 m. Nach Süden nimmt sie bis zum Profil 5 auf ca. 10 – 15 m ab (CDP 5400). Von dort aus wird die Einheit bis zum Nordende des Profils 6 wieder bis 40 m mächtig. Aussagen über die weitere Mächtigkeitsentwicklung nach Süden sind nicht möglich, da die Obergrenze der Einheit in den südlichen Profilen nicht identifiziert werden kann.

Korrelation: Die seismische Einheit 9 entspricht der Iffezheim-Formation/dem Fluviatilen Jungtertiär (RPF/LGRB 2006) bzw. dem Pliozän (BARTZ 1982, Jungtertiär II nach SCHAD 1965).

Seismische Einheit 10

Tertiärer Festgesteinsuntergrund,
Miozän oder älter

Verbreitung, seismische Fazies: Die seismische Einheit 10 ist vom CDP 2900 des Profils 2 an nach Süden in allen seismischen Profilen durchgängig vorhanden (Anl. 1 bis 17). Sie ist durch kontinuierliche Reflektoren mit niedriger Frequenz und hoher Amplitude charakterisiert. Die Grenze zur darüber folgenden Einheit ist im Bereich der seismischen Profile 4 bis 7 durch eine Erosionsdiskordanz gekennzeichnet (Anl. 3 bis 6). Weiter nach Norden (etwa zwischen CDP 300 und 1500 des seismischen Profils 4) geht die Diskordanz in eine konkordante Lagerung über und die Kontinuität der Reflektoren nimmt ab. Im Profil 3 lässt sich

die Grenze entlang eines stärker ausgebildeten Reflektors nach Norden bis in die Mitte des Profils 2 weiter verfolgen (Anl. 2).

Korrelation: Die seismische Einheit 10 entspricht dem Festgesteinsuntergrund. Nördlich von Lichtenau (südlich von Rastatt) besteht diese Abfolge aus miozänen Süßwasserablagerungen (VON DER BRELIE 1974, Jungtertiär I oder Miozän nach STRAUB 1962), südlich davon aus oligozänen Ton- und Tonmergelsteinen. Nach SCHAD (1965) werden ab dem Raum Leimersheim/Hochstetten-Linkenheim (nördlich von Karlsruhe) die miozänen Oberen Hydrobienschichten von Jungtertiär überlagert (s. Anl. 3).

8 Tektonik

Die meisten Arbeiten, die sich mit der Tektonik des Oberrheingrabens beschäftigen, konzentrieren sich auf den miozänen und älteren Untergrund (z. B. BREYER 1974, ILLIES & MÄLZER 1981, LUTZ & CLEINTUAR 1999, DERER 2003). Für diesen Tiefenabschnitt existiert aufgrund der zahlreichen reflexionsseismischen Messkampagnen ein umfangreiches Datenmaterial, das im Rahmen der Erdölexploration ausgewertet und später für weitergehende wissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurde.

Für das Untersuchungsgebiet liegen Isolinienpläne für mehrere Grenzflächen im Mesozoikum, für die Tertiärbasis, den Grenzbereich Unteres/Mittleres Oligozän und die Pliozänbasis vor, in denen z. T. auch Störungen verzeichnet sind (ANDRES & SCHAD 1959, BEHNKE et al. 1967, GLA 1981, GLA/BRGM 1979).

Für den Raum zwischen Karlsruhe und Offenburg wurde von BREYER & DOHR (1967) für den rechtsrheinischen Teil eine „Tektonische Skizze“ mit „Tiefenlinien des seismischen Horizontes an der Grenze Mittel- und Unteroligozän“ erstellt. Derselbe Horizont wird für den mittleren und nördlichen Teil des Oberrheingrabens von ANDRES & SCHAD (1959) und für den nördlichen Grabenabschnitt von ANDERLE (1970) als Isolinienplan dargestellt. DOEBL (1967) zeigt für den mittleren und nördlichen Rheingraben Isopachenkarten verschiedener Einheiten (Eozän bis Quartär/Jungtertiär II).

Aussagen zu tektonischen Bewegungen im Pliozän und Quartär wurden meist im Rahmen von quartärgeologischen Arbeiten gemacht (BARTZ 1967, 1974, 1976, 1982).

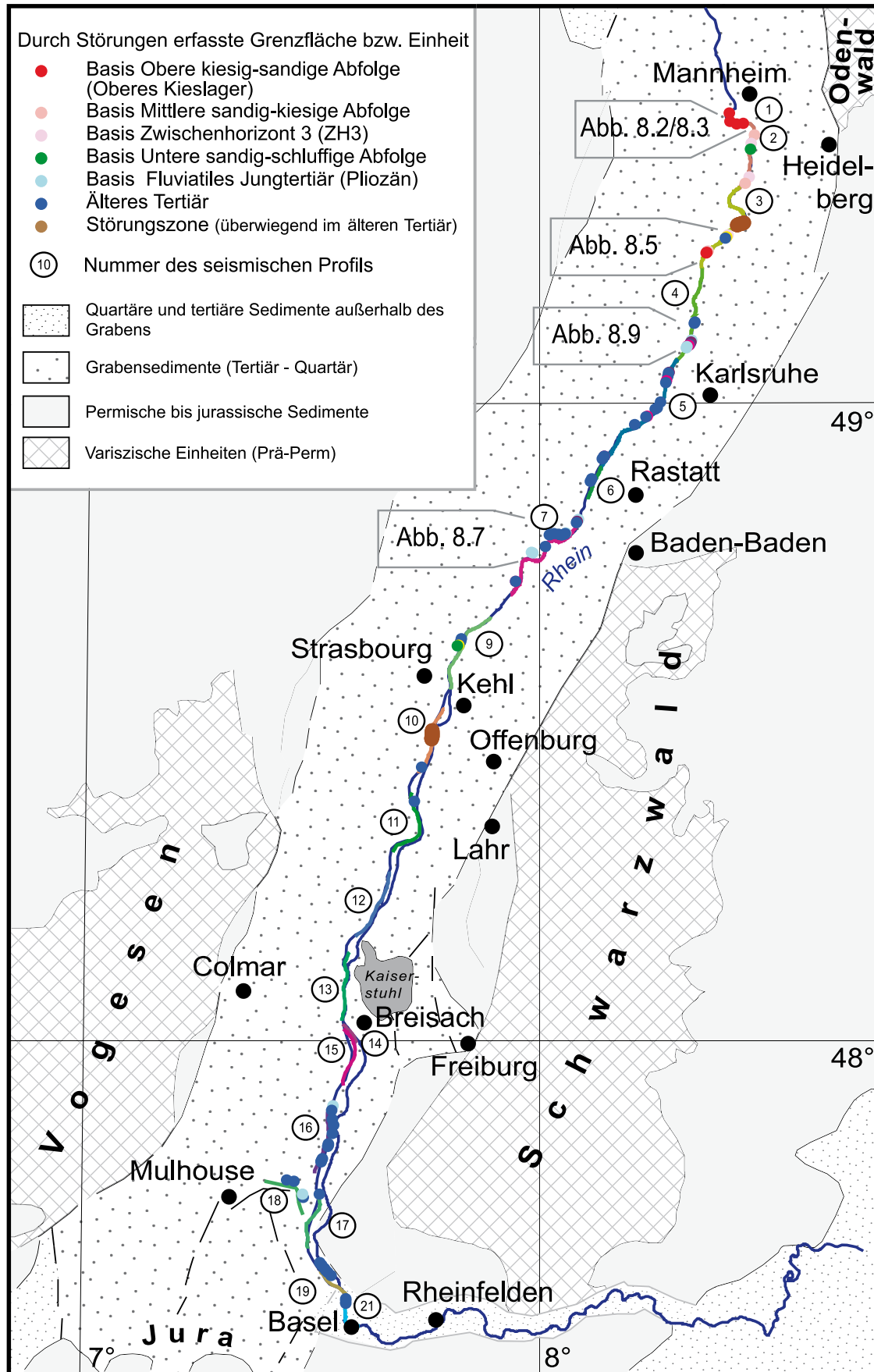


Abb. 8.1 Überblick über die Lage der Störungen bzw. Störungszonen, die in den seismischen Profilen identifiziert wurden.



BARTZ (1967) weist auf die Mächtigkeitszunahme der quartären Sedimente von der Region Rastatt/Karlsruhe (ca. 60 m) bis nach Heidelberg (382 m, BARTZ 1953: Radium-Sole Bohrung im Stadtgebiet von Heidelberg) hin, wobei er annimmt, dass diese Absenkungstendenz bereits im oberen Tertiär einsetzte.

Für das Pleistozän beschreibt er aufgrund unterschiedlicher Mächtigkeiten der mittel- bis jungpleistozänen Sedimente eine Störung im Raum Karlsruhe/Bruchsal, die bis ins jüngste Pleistozän aktiv war und die Grabenscholle von der östlichen Randscholle trennt (BARTZ 1976: 176). Hinweise auf junge Tektonik innerhalb der Grabenscholle im Bereich des Rheins finden sich auch bei SCHAD (1965) und BARTZ (1982).

Nach SCHAD (1964: 12) liegt zwischen den beiden Einheiten Jungtertiär I (Hydrobienschichten und evtl. jünger) und Jungtertiär II (Pliozän) zumindest im Raum Karlsruhe/Bruchsal eine Erosionsdiskordanz, die bis zum mittleren Teil der Oberen Hydrobienschichten reicht.

HAIMBERGER et al. (2005) belegen durch hochauflösende seismische Messungen im Raum Mannheim Störungen, die bis in die Mittlere sandig-kiesige Abfolge reichen und die Oberfläche des cromerzeitlichen Oberen Zwischenhorizontes (OZH, ENGESSER & MÜNZING 1991; neue Bezeichnung: Ladenburg-Horizont) deutlich versetzen. Dies konnte auch durch die seismischen Messungen des RPF/LGRB bestätigt werden (s. u.).

Die Lage der tektonischen Strukturen, die in den seismischen Profilen auf dem Rhein identifiziert wurden, ist übersichtsmäßig in Abb. 8.1 dargestellt. In den Anl. 18 bis 22 sind die Störungen lagegenau in einer topographischen Kartengrundlage eingetragen. Dabei wurden die Störungen nach der jüngsten, jeweils tektonisch gestörten Grenzfläche klassifiziert. BERTRAND et al. (2006) schätzen die Versatzbeträge und -raten an den Störungen mit einigen Tausendstel bis Hundertstel Millimeter pro Jahr ab.

Die meisten Störungen wurden im Festgesteinsuntergrund kartiert, der im Profilverlauf aus oligozänen bis miozänen Mergel- und Tonmergelsteinen besteht.

Im Abschnitt von Mannheim bis Germersheim nördlich von Karlsruhe wurden Störungen identifiziert, die bis ins jüngere Quartär hineinreichen. Weiter südlich wurden meist nur solche erkannt, die Reflektoren im älteren Tertiär, dem Fluviatilen Jungtertiär oder im älteren Quartär erfassen.

Die scheinbaren Unterschiede in der Altersstellung der Störungen zwischen Süd-, Mittel- und Nordgraben sind vermutlich methodisch bedingt. Im Norden lassen sich aufgrund der lithologisch stärker gegliederten Abfolge und der sehr guten Qualität der seismischen Messungen zahlreiche Reflektoren innerhalb der pliozänen bis quartären Sedimente unterscheiden. Nach Süden hin nimmt die lithologische Differenzierung innerhalb der Abfolge stark ab, und markante Reflektoren innerhalb der Sande und Kiese fehlen weitgehend. Erschwerend kommt im Süden die schlechtere Auflösung der Messungen hinzu (Kap. 6).

8.1 Störungen in der pliozänen und pleistozänen Lockergesteinsabfolge

In den Abb. 8.2, 8.3 und 8.5 werden Beispiele für junge Störungen dargestellt, die bis nahe an die Geländeoberfläche reichen und an denen die Basis des Oberen Zwischenhorizontes deutlich versetzt wird.

Am Nordrand des Untersuchungsgebietes liegen im Bereich des Altripper Rheinbogens bei Mannheim/Ludwigshafen mehrere in östliche Richtung steil einfallende Störungen mit Versatzbeträgen bis zu ca. 10 m an der Basis der seismischen Einheit 2 (Oberer Zwischenhorizont und Mittlere sandig-kiesige Abfolge oben, Abb. 8.2). Zusätzlich zu den bis in das jüngere Quartär reichenden Störungen, die bei den Messungen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) im Jahr 2000 identifiziert wurden (HAIMBERGER et al. 2005), wurde bei den Messungen des RPF/LGRB eine weitere Störung im Süden zwischen Altrip und Rohrhof nachgewiesen (Störung 1.2, Abb. 8.2 und 8.4).

Im Bereich der Störungen 1.1, 2.2 und 3.2 (Abb. 8.2) deutet sich auch ein Versatz der Grenzfläche zur unterlagernden „Mittleren sandig-kiesigen Abfolge mitte“ an. Die Mächtigkeit des Oberen Zwischenhorizontes sowie die der darunter liegenden Einheiten nimmt in den Schollen tendenziell rheinaufwärts in westliche Richtung zu. An den Störungen ist die Mächtigkeit des Oberen Zwischenhorizontes auf der abgesenkten Scholle bereichsweise größer als auf der Hochscholle. Die Mächtigkeit der Oberen kiesig-sandigen Abfolge ist dagegen nahezu konstant.

Neben den seismischen Profilen auf dem Rhein liefern drei annähernd West – Ost bzw. Südwest – Nordost verlaufende industrieseismische Profile im Rheinbogen Hinweise auf Störungen im präquartären Untergrund (zur Lage der Profile s. Abb. 8.4).

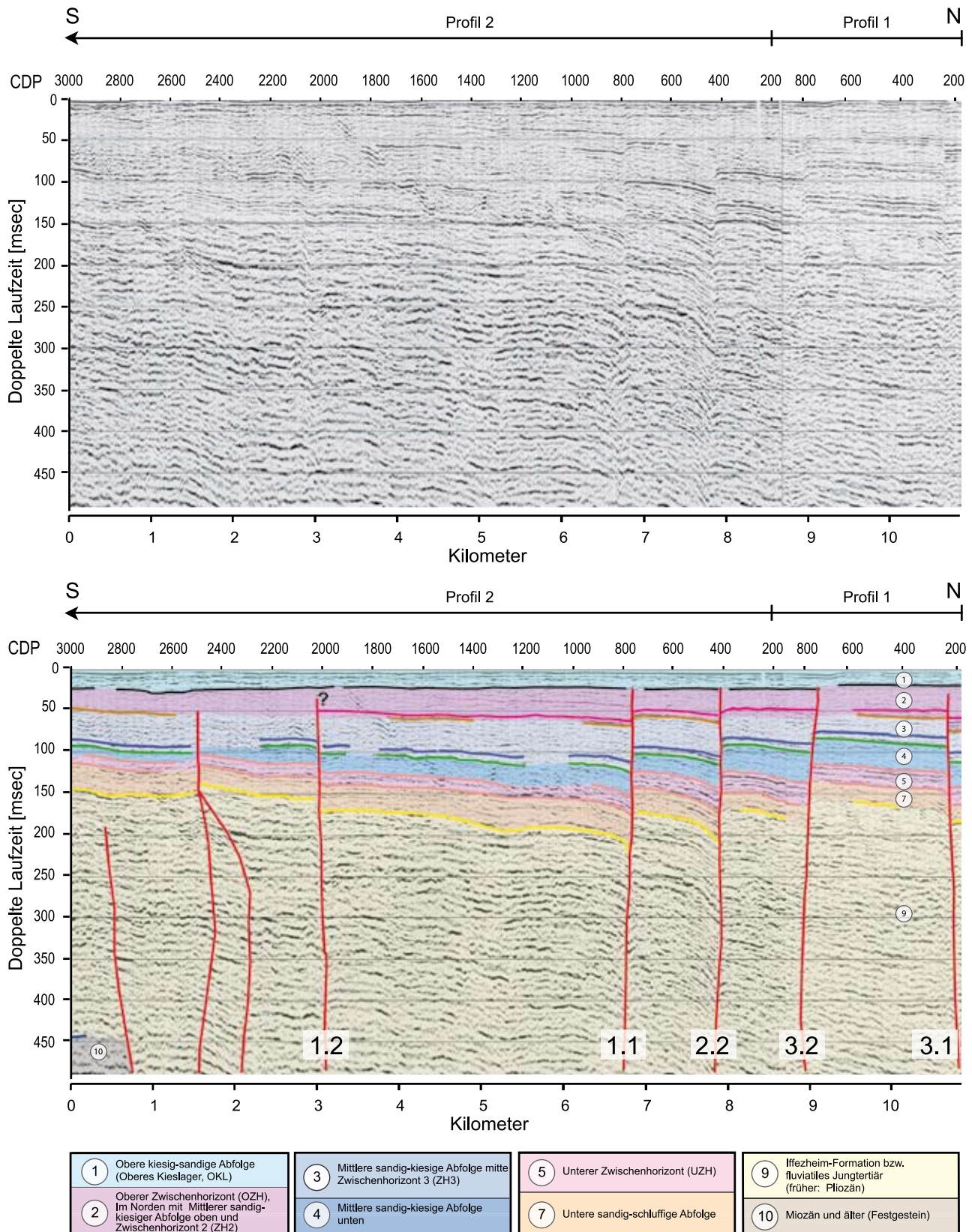


Abb. 8.2 Die quartäre Schichtenfolge lässt sich im Raum Mannheim anhand zahlreicher Reflektoren gut gliedern. Sie ist von mehreren Störungen durchzogen, die mindestens bis an die Basis des Oberen Zwischenhorizontes reichen (zur Lage des Profils und der Störungen s. Abb. 8.4 und Anl. 18).

In Abb. 8.3 sind oben das auf dem Rhein gemessene Profil 2 und unten der westliche Abschnitt des ca. 700 m nördlich davon parallel verlaufenden Industrieseismik-Profiles MNHM 8203 dargestellt (zur Lage s. Abb. 8.4). Die Störungen 1.1 und 2.2, die im Profil 2 im Quartär identifiziert wurden (Abb. 8.3 oben), zeichnen sich auch in den pliozänen und älteren Ablagerungen ab (Abb. 8.3 unten).

An der Störung 2.2 liegt die Basis des Unteren Zwischenhorizonts im Osten um ca. 35 msec (doppelte Laufzeit, entspricht ca. 30 m, Abb. 8.3 oben), die Basis Pliozän um ca. 100 msec (entspricht ca. 85 m, Abb. 8.3 unten) tiefer als westlich davon. Die Störung 1.1 versetzt sowohl die Basis des Unteren Zwischenhorizonts als auch die des Pliozäns um ca. 40 msec (ca. 35 m). Die Vertikalbewegungen

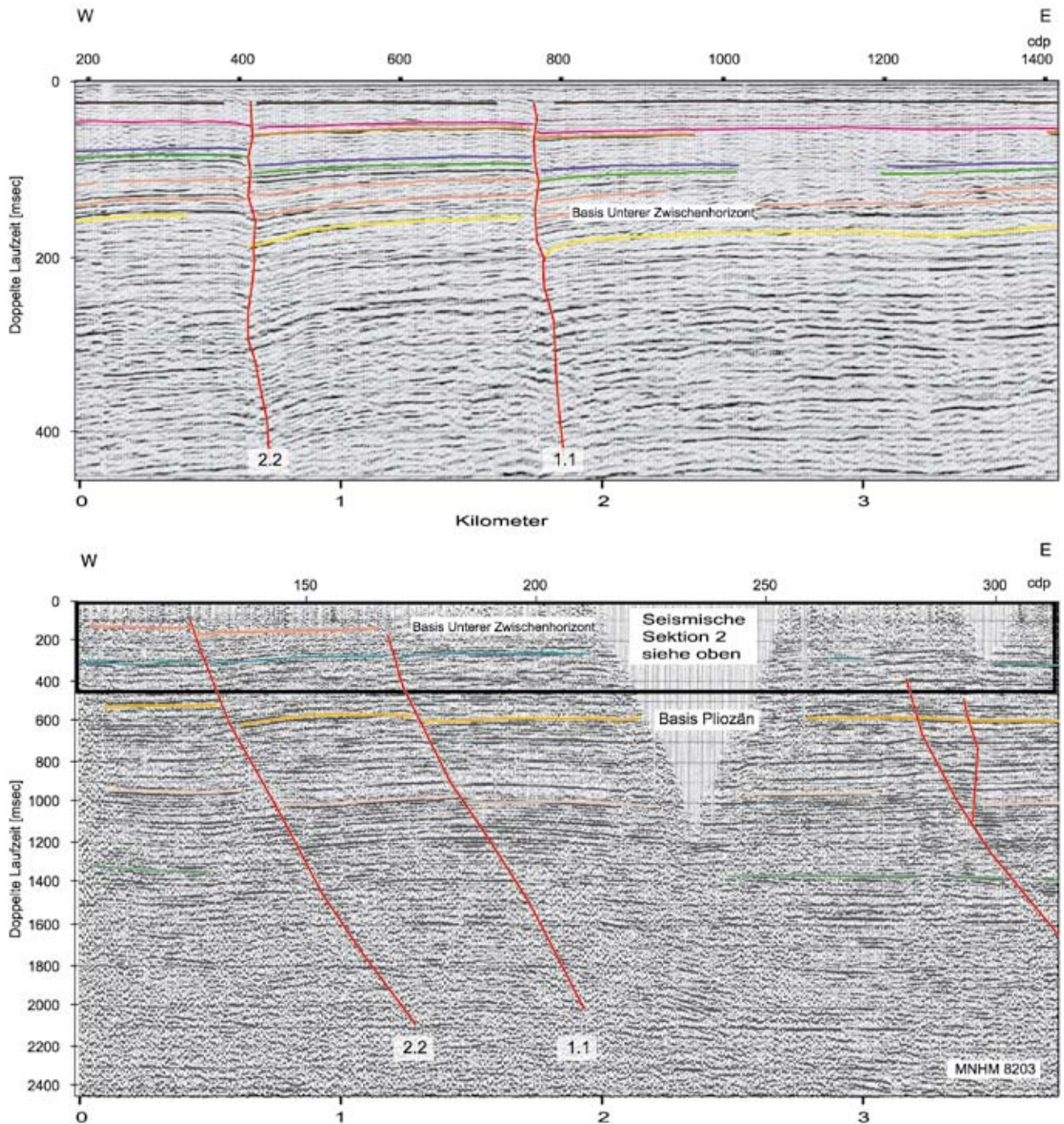


Abb. 8.3 Vergleich des seismischen Profils 2 (**oben**) mit dem industrieseismischen Profil MNHM 8203 (**unten**). Zur Lage der Profile und der Störungen s. Abb. 8.4. Der in beiden Abbildungen unterschiedlich steile Einfallswinkel der Störungen ist eine Folge der unterschiedlichen Überhöhung.

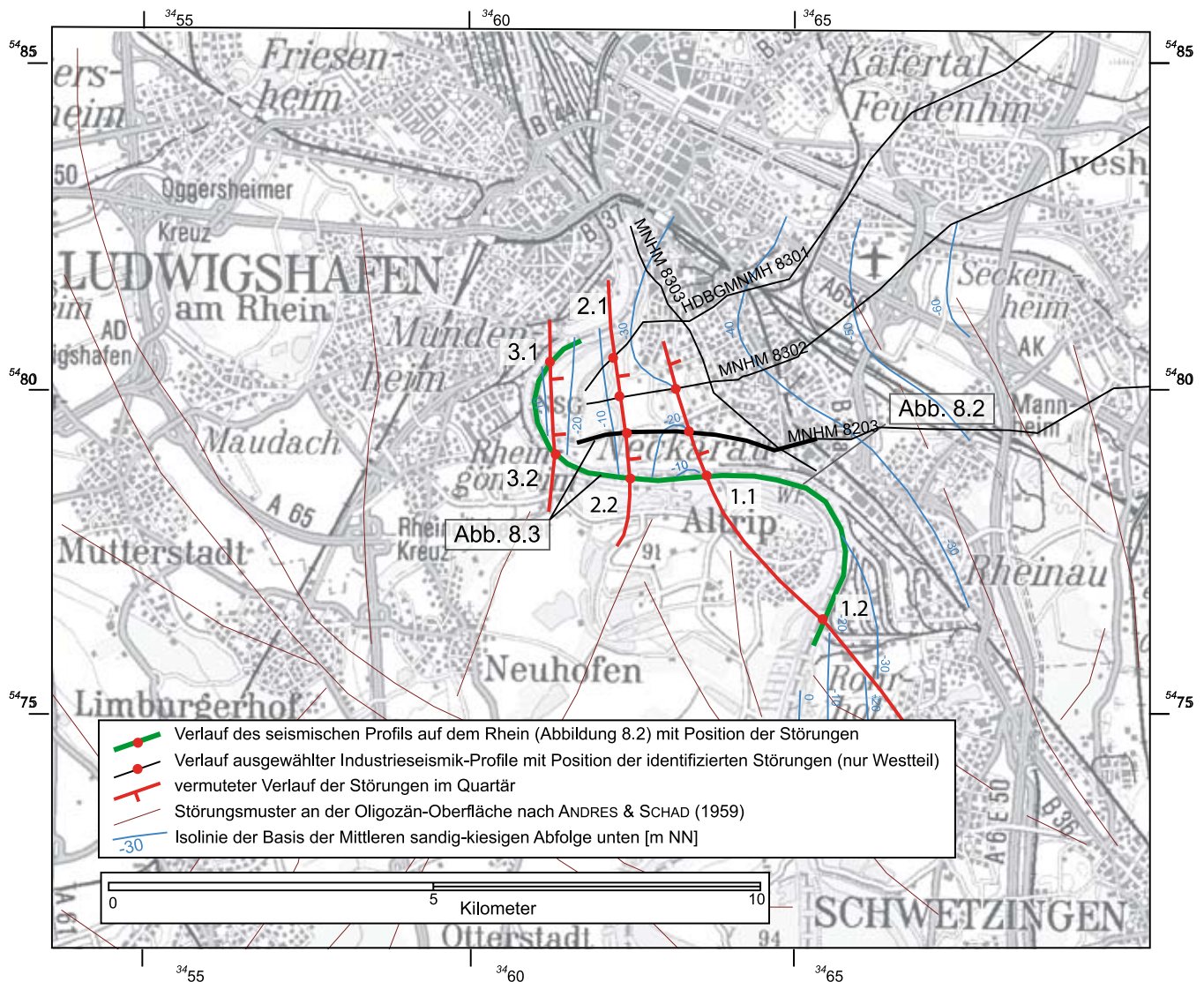


Abb. 8.4 Im Altriper Rheinbogen zwischen Mannheim und Ludwigshafen wurden unter dem Rhein im seismischen Profil 2 mehrere Störungen bis ins jüngste Quartär nachgewiesen. Sie konnten mit Störungen im präquartären Untergrund in Verbindung gebracht werden, die in industrieseismischen Profilen identifiziert wurden (zur Nummerierung der Störungen s. Abb. 8.2, Lage der Störung 2.1 nach HAIMBERGER et al. 2005).

fanden folglich an den beiden Störungen zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlicher Intensität statt. An der Störung 2.2 begannen die Bewegungen spätestens im Miozän. An der Störung 1.1 erfolgten die Bewegungen hauptsächlich seit der Ablagerung des Unteren Zwischenhorizonts. In beiden Fällen hielten die Bewegungen bis in das jüngere Quartär an.

Die Lage der Störungen, die in den industrieseismischen Profilen (nur Westteil) und den Profilen auf dem Rhein identifiziert wurden, ist in Abb. 8.4 eingetragen. Daraus wurde der Verlauf der Störungen rekonstruiert. Außerdem wurden die Iso-

linien der Basis der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge unten dargestellt. Für ihre Konstruktion wurden die seismischen Profile sowie die Ergebnisse zahlreicher Bohrungen verwendet (RPF/LGRB, in Vorb.).

Insgesamt lassen sich die in den Seismikprofilen im Altriper Rheinbogen identifizierten Störungen zu drei nordnordwest – südsüdost verlaufenden, nach Osten einfallenden antithetischen Abschiebungen verbinden. Die östliche der drei Störungen biegt unter Altrip in südöstliche Richtung ab. Der Verlauf der Störungen weicht somit von dem bei HAIMBERGER et al. (2005, Abb. 6) dar-

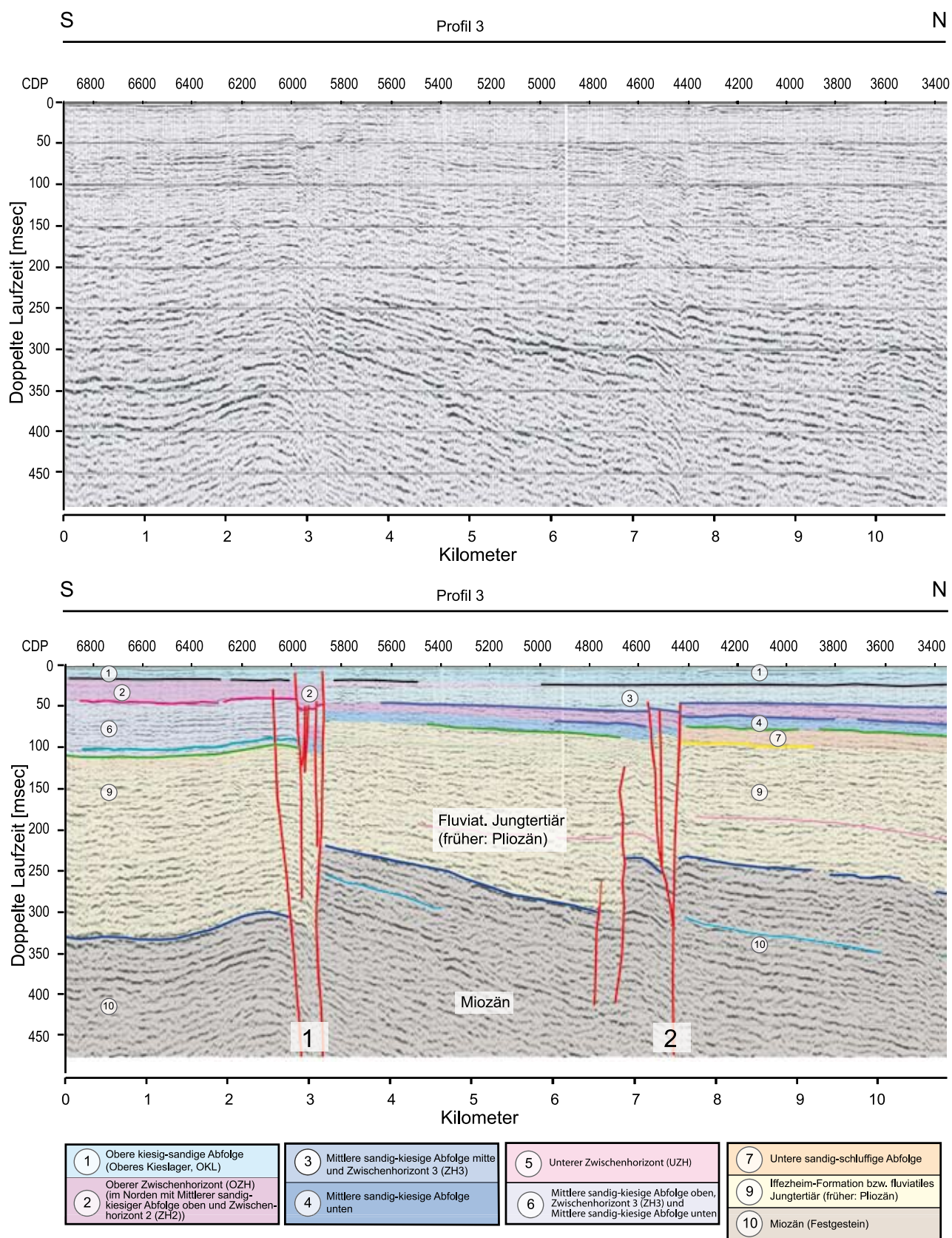


Abb. 8.5 Westlich von Phillipsburg reichen Störungen bis nahe an die Geländeoberfläche und versetzen die Basis des Oberen Zwischenhorizonts um mehrere Meter (zur Lage der Störungen s. Abb. 8.6).

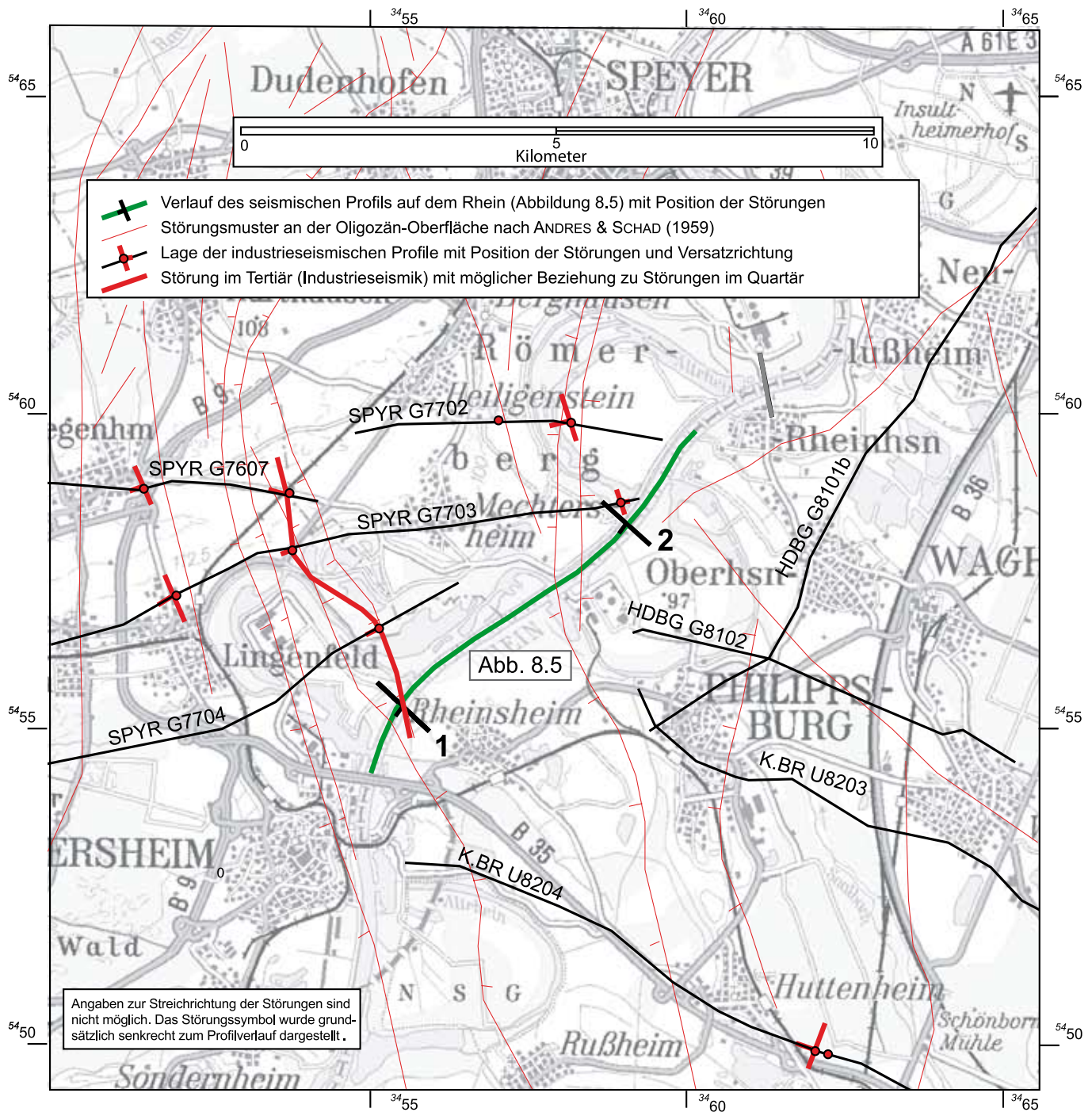


Abb. 8.6 Störungen im Grenzbereich Miozän/Pliozän und im jüngeren Quartär im Raum Germersheim (zur Nummerierung der Störungen s. Abb. 8.5).

gestellten ab, der ohne Berücksichtigung der Industrieseismik-Daten einen Nordwest – Südostverlauf annahm.

An den Störungen erfolgt die Schleppung der Reflektoren häufig gegensinnig zur Abschiebungs-

richtung und die Mächtigkeit der Einheiten beiderseits der Störungen sind häufig unterschiedlich. Dies deutet vermutlich auf eine horizontale Bewegungskomponente entlang der Störungen hin, die eventuell mit einer leichten Kompression der Schichten einherging (Abb. 8.3).



Für denselben Raum zeigen ANDRES & SCHAD (1959) für die Oberfläche des Oligozän in einer Tiefe zwischen 1900 und 2200 m u. Gel. nach Osten zum Heidelberger Becken hin treppenartig abfallende Schollen. Somit können die Störungen im Pliozän und Quartär, die in der oberflächennahen Seismik nachgewiesen wurden, sowohl mit dem Störungsmuster als auch mit dem strukturgeologischen Bild im ältertertiären Untergrund korreliert werden.

Nach Untersuchungen zur Entwässerungsrichtung von Oberflächengewässern sowie zur Oberflächenmorphologie im nördlichen Oberrheingraben lassen sich im Bereich der Störungen 3.2 und 1.2 (Abb. 8.4) Geländeformen erkennen, die darauf hindeuten, dass sich in diesem Bereich Störungen morphologisch an der Erdoberfläche abzeichnen (frdl. mündl. Mitt. von Frau G. PETERS, Universität Karlsruhe).

Ein weiteres Störungsbündel, das bis in den oberflächennahen Abschnitt der quartären Sedimentabfolge reicht, liegt im Raum Philippsburg/Speyer (Abb. 8.5 und 8.6). Im tieferen Untergrund wird der an Bohrungen kalibrierte Reflektor zwischen dem Miozän und Pliozän an mehreren engständigen Störungen nach Süden um etwa 80 m (Störung 1) bzw. 50 – 60 m (Störung 2) abgesenkt. Die südlichen Störungen (Nr. 1 in Abb. 8.5 und 8.6) setzen sich im jüngeren Schichtstapel bis in den Bereich des Oberen Zwischenhorizonts fort. Die nördlichen Störungen (Nr. 2 in Abb. 8.5 und 8.6) reichen mindestens bis zur Grenzfläche zwischen der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge oben und der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge mitte mit dem Zwischenhorizont 3.

In Abb. 8.6 wurde die Position der Störungen, die in den industrieseismischen Profilen SPYR G7607, G7702, G7703, G7704, HDBG G8101b, G8102 sowie K.BR U8203 und U8204 in der näheren Umgebung identifiziert wurden, eingetragen. Im Vergleich zum Störungsmuster, das von ANDRES & SCHAD (1959) für die Oberfläche des Oligozän dargestellt wurde, wurden in den untersuchten Seismikprofilen deutlich weniger Störungen identifiziert. Die südliche Störung 1, die im flussseismischen Profil im Quartär nachgewiesen wurde, wurde mit drei Störungen in Verbindung gebracht, die in den drei industrieseismischen Profilen in nordnordwestlicher Verlängerung identifiziert wurden.

An der westlichsten der vier Störungen von ANDRES & SCHAD (1959), die über Lingenfeld in nordnordwestliche Richtung nach Harthausen verlaufen (Abb. 8.6), liegt die westliche Scholle um über 200 m tiefer als die östliche. An den übrigen Störungen sind die Versatzbeträge wesentlich geringer.

8.2 Störungen im tertiären und mesozoischen Festgesteinsuntergrund

Neben Störungen, die bis in die pliozänen/pleistozänen Sedimente hineinreichen, gibt es eine Vielzahl von Störungen, die lediglich die oligozänen bzw. miozänen Sedimente erfassen (Beispiele in Abb. 8.7 und 8.9). An diesen Störungen sind die tertiären Sedimente versetzt, die einzelnen Blöcke sind gekippt oder die Sedimente ganz leicht gefaltet. Die Versatzrichtung und die Größenordnung des vertikalen Versatzes können nicht bestimmt werden, da eine eindeutige Zuordnung der Reflektoren beiderseits der Störungen nicht möglich ist.

Zwischen Profil 5 (Anl. 4, CDP 2600, bei Dettenheim/Liedolsheim) und dem südlichen Ende des Profils 6 (Anl. 5, nordwestlich von Rastatt) liegt die Oberfläche des tertiären Festgesteinsuntergrundes in einer Hochposition zwischen ca. 65 und 100 msec (doppelte Laufzeit, ca. 55 und 85 m u. Gel.). Im Bereich der so genannten „Karlsruher Schwelle“ (BARTZ 1982) ist die Grenze zwischen dem Miozän und dem Pliozän als Erosionsoberfläche ausgebildet. Die Erosionsvorgänge wurden von SCHAD (1965) und BARTZ (1982) mit tektonischen Hebungsprozessen während oder am Ende des Miozän bzw. Jungtertiär I in Verbindung gebracht.

Ausgehend von der Karlsruher Schwelle geht die diskordante Lagerung im Raum Leimersheim/Hochstetten (ca. 12 km nördlich von Karlsruhe) nach Norden zu allmählich in eine konkordante Lagerung über (Anl. 2 und 3).

Die miozänen Sedimente sind im südlichen Bereich des Profils 5 (Anl. 4) sowie in den Profilen 6, 7 und 9 (Anl. 5 bis 7) stark gestört und leicht gefaltet. Die schwache Faltung der Sedimente deutet darauf hin, dass der Grabenabschnitt nach der Ablagerung der miozänen Sedimente und vor dem Erosionsereignis an der Grenze Jungtertiär I/Jungtertiär II (SCHAD, 1965) und der nachfolgenden Sedimentation des Fluviatilen Jungtertiärs bereichsweise eingeeengt wurde. Nach BERGER et al. (2005: 704 ff.) ist die Grenze zwischen Jungtertiär I und Jungtertiär II dem Übergang von Late Burdigalian (18,0 bis 17,0 Mio. Jahre) zum Late Langhian (16,5 bis 15,0 Mio. Jahre) zuzuordnen. SCHUHMACHER (2002: 6 ff.) beschreibt für diesen Zeitraum ein Nordwest – Südost ausgerichtetes Kompressionsregime.

Im Raum Greffern/Fort Louis wird die Pliozänbasis an zwei Störungen um ca. 40 bis 45 m versetzt (Abb. 8.7, 8.8). Die von ihnen begrenzte Tiefscholle

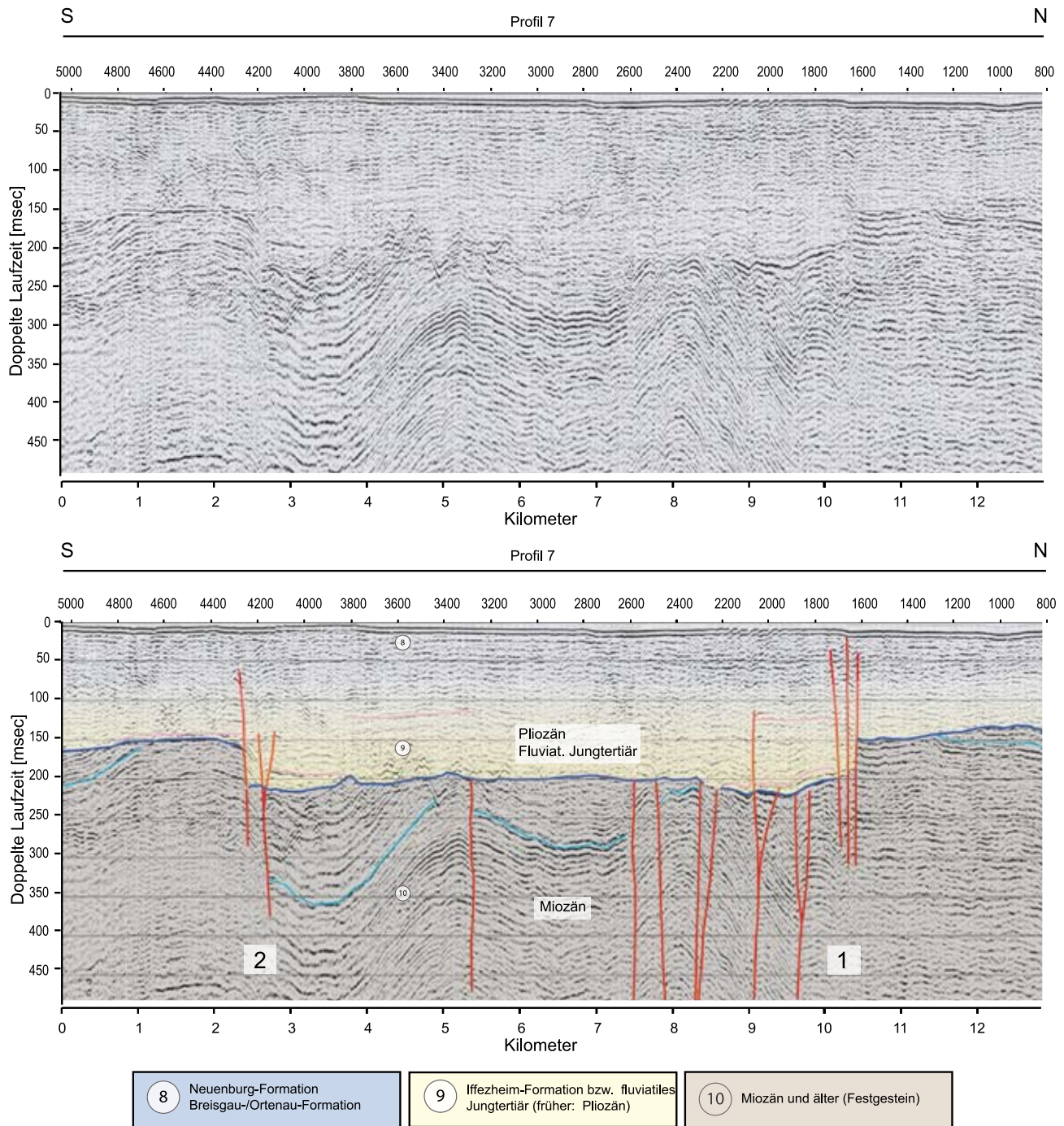


Abb. 8.7 In die tektonisch stark beanspruchten und schwach „gefalteten“ miozänen Sedimente sind grabenartig Schollen eingebrochen. Die Störungen an den Grabenrändern lassen sich bis in die darüber liegenden pliozänen Sedimente verfolgen (Profil 7).

wurde grabenartig abgesenkt. Mit dieser Struktur ist eine Scharung weiterer Störungen im miozänen Untergrund verknüpft, an denen jedoch keine Versatzbeträge bzw. Bewegungsrichtungen bestimmt werden können (GLA/BRGM 1979).

Nach GLA/BRGM (1979) werden im Bereich von Söllingen die oligozänen Sedimente durch eine Stö-

rungsschar nach Westen in größere Tiefe versetzt (Abb. 8.8). Mit diesen Störungen steht möglicherweise die nördliche der beiden Störungen im Zusammenhang, die im seismischen Profil 7 an der Pliozänbasis identifiziert wurden (Nr. 1 in Abb. 8.7 und 8.8). Die südliche Störung (Nr. 2 in Abb. 8.7 und 8.8) wird aufgrund des Versatzbetrages und der Versatzrichtung mit einer Störung des Störungs-

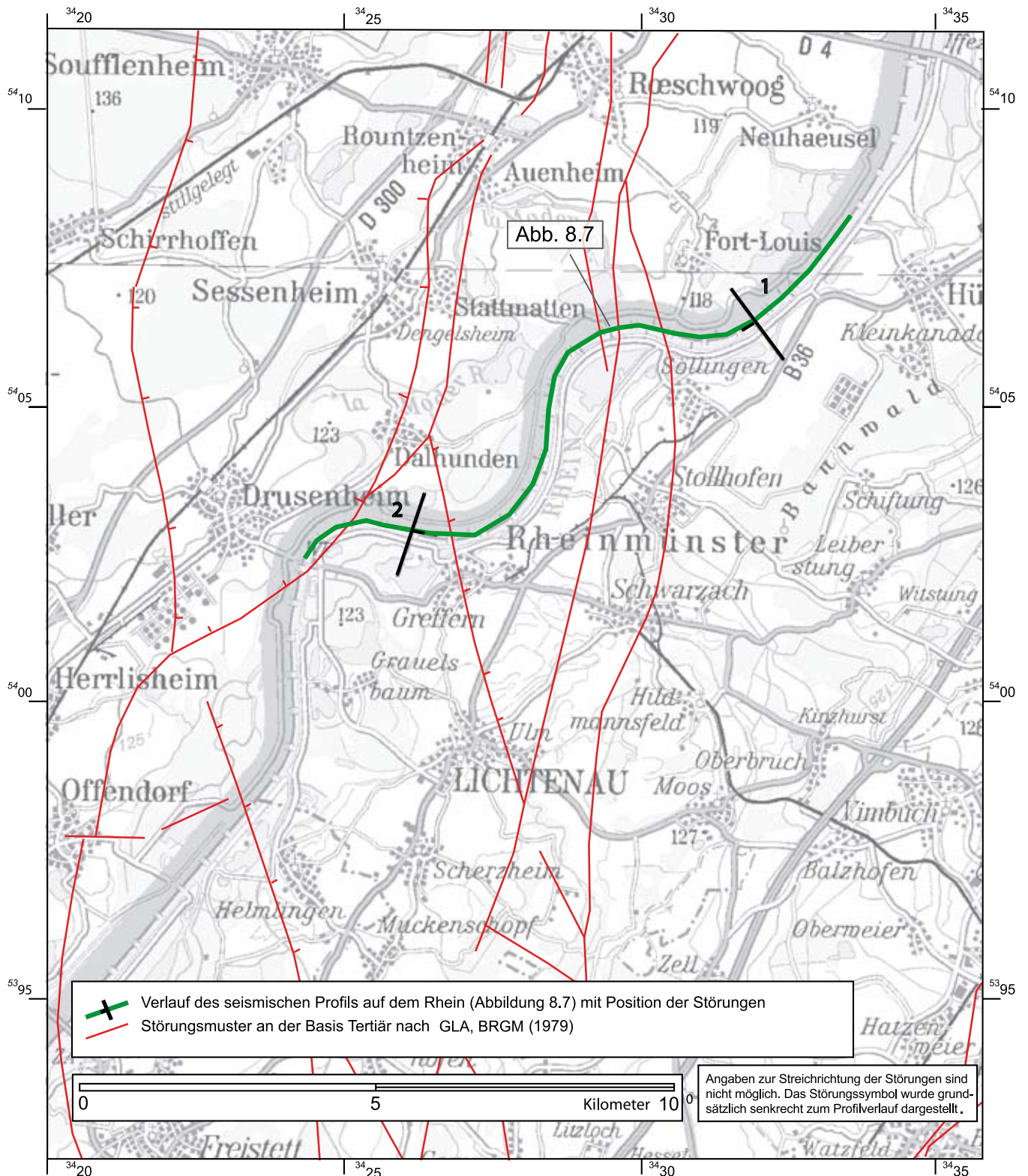


Abb. 8.8 Lage des grabenartigen Einbruchs in der Miozänoberfläche (schwarze Balken mit Abschiebungsrichtung) mit vermutetem Bezug zu Störungen an der Grenzfläche von Mittel- zu Unteroligozän (GLA/BRGM 1979) (zur Nummerierung der Störungen s. Abb. 8.7).

bündels in der Oligozänoberfläche in Verbindung gebracht, die von Lichtenau nach Greffern und Dalhunden verläuft (GLA/BRGM 1979). Diese Grenz-

fläche weist einen Versatz von ca. 200 bis 300 m auf, an der Grenze Miozän/Pliozän liegt der Versatzbetrag bei etwa 45 m (50 msec, doppelte Laufzeit).

Eine weitere grabenartige Struktur ist zwischen Leopoldshafen/Eggenstein (CDP 4800, Profil 4) und westlich von Karlsruhe/Mühlburg (CDP 2700, Profil 5) ausgebildet (Abb. 8.9 und 8.10). Dazwischen liegt bei CDP 1300 des Profils 5 eine weitere Störung mit einem geringeren Versatzbetrag (Nr. 2 in Abb. 8.9 und 8.10). Die Störungen reichen bis in die darüberliegenden pliozänen Sedimente, erfassen jedoch vermutlich nicht mehr den Reflektor im Grenzbereich vom Pliozän zum älteren Quartär (gelbe Linie in Abb. 8.9). Die nördliche der drei Störungen (Nr. 1 in Abb. 8.9 und 8.10) ist nahezu deckungsgleich mit der Verwerfung, die den pliozänen (?) Rheinaberner Horst nach Süden begrenzt (HGK 1988). Die beiden südlichen Störungen liegen etwas südlich von einer Störung, die nach der HGK (1988) den Büchelberger Horst nach Norden begrenzt und sich nach Osten bis zum Rhein erstreckt.

Im Süden des Untersuchungsgebietes deuten sich trotz der mäßigen Qualität der seismischen Profile Schichtverstellungen im älteren tertiären Untergrund an, die vermutlich teilweise auf salttektonische Bewegungen in diesem Gebiet zurückzuführen sind (Profile 15 und 16, Anl. 12 und 13).

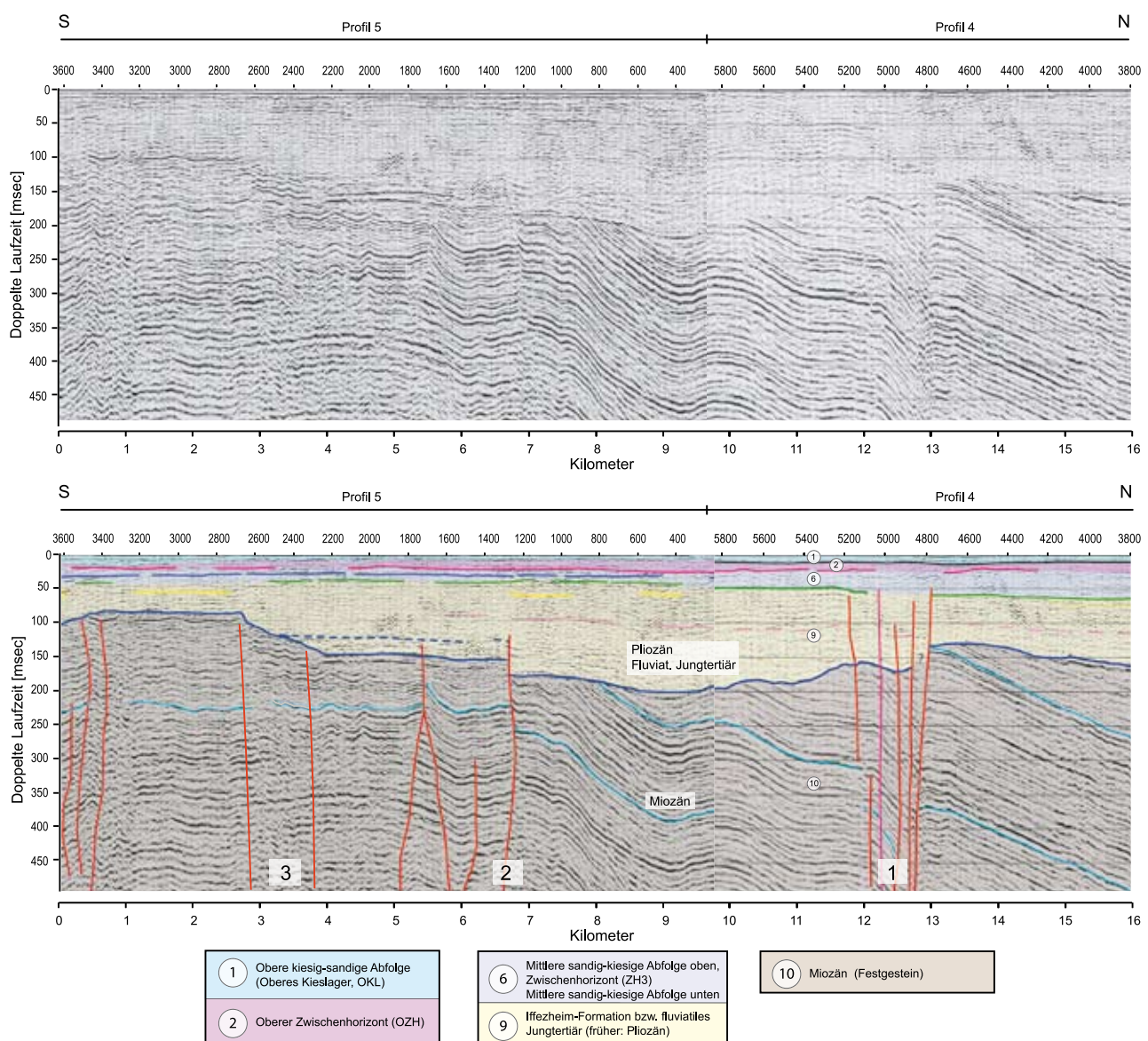


Abb. 8.9 Grabenstruktur im miozänen Festgesteinsuntergrund zwischen CDP 4800, Profil 4 und CDP 2600, Profil 5. Der Abbruch im Bereich CDP 2700 bis 2200 erfolgte vermutlich an mehreren Störungen (zur Lage und Nummerierung der Störungen s. Abb. 8.10).

9 Karlsruher Schwelle und Heidelberger Becken

Im Übergangsbereich vom Süd- zum Nordteil des Oberrheingrabens liegt zwischen Greffern/Rheinfelden im Süden und Speyer im Norden die so genannte „Karlsruher Schwelle“. Nördöstlich schließt das Heidelberger Becken an. Im Bereich der Schwelle lag seit Beginn der Grabenbildung im Mitteleozän (Lutetium, vor 47 bis 40 Mio. Jahren) bis in das frühe Untermiozän ein Senkungsgebiet (DOEBL 1967, PFLUG 1982, SCHUHMACHER 2002, BERGER et al. 2005), auch wenn starke Mächtigkeits- und Faziesänderungen deutliche lokale Unterschiede in den Vertikalbewegungen für diesen Zeitabschnitt dokumentieren (ILLIES 1962). Seit Beginn des Aquitan zeichnet sich eine Verlagerung der Hauptabsenkung nach Norden in den Heidelberger/Mannheimer Raum ab (ILLIES 1962, DOEBL 1967).

Die verlangsamte Absenkung führte auf der Karlsruher Schwelle seit dem Untermiozän zu reduzierten Schichtmächtigkeiten (SCHAD 1964). Im Nordgraben ist das Aquitan (Obere Cerithiensichten, Corbiculaschichten, Hydrobienschichten) nördlich und östlich von Mannheim über 1500 m (Bohrung Frankenthal 10: 1580 m), in der Bohrung Waldsee 1 (südlich von Mannheim) 1270 m mächtig. Nach Süden nimmt die Mächtigkeit deutlich ab: 585 m in der Bohrung Karlsruhe 1, 210 m in der Bohrung Rastatt 1 (DOEBL 1967).

Die abgeschwächte Senkungstendenz bedingte auch in der Folgezeit vom Heidelberger Becken aus nach Süden zu abnehmende Schichtmächtigkeiten. Für das Jungtertiär I (spätes Burdigalium, BERGER et al. 2005, vor 18,0 bis 17,0 Mio Jahren) nennt SCHAD (1965: Abb. 1) folgende Mächtigkeiten (von Norden nach Süden): Bohrung Frankenthal 10: 190,5 m, Bohrung Waldsee 1: ca. 185 m, Bohrung Gernersheim-West: 145 m, Bohrung Hochstetten 1: 67 m. Die Südgrenze der Jungtertiär I-Sedimente in vollständiger Ausbildung liegt nach SCHAD (1964) südlich von Gernersheim auf Höhe von Huttenheim (CDP 820 des Seismikprofils 4, Anl. 3), die Südgrenze der heutigen Jungtertiär I-Verbreitung zwischen Linkenheim und Leimersheim (CDP 3550 des Seismikprofils 4).

Die Sedimentationsunterbrechungen zwischen den Hydrobienschichten (BERGER et al. 2005: spätes Aquitanium und frühes Burdigalium) und dem Jungtertiär I sowie dem Jungtertiär I (BERGER et al. 2005: frühes Burdigalium[?] bis spätes Burdigalium) und dem Jungtertiär II (BERGER et al. 2005: Pliozän, basaler Teil Mittel bis Obermiozän[?] [Langhium bis frühes Serravallium]) führten zur Ausbildung von

Erosionsdiskordanzen (SCHAD 1957, 1965). Nach ILLIES (1962: 100) zeigen sich die Hauptbewegungen am Ende des Aquitan bei Bruchsal durch Relativbewegungen und Kippungen von Einzelschollen und bei Landau während der Ablagerung der Cerithiensichten durch synsedimentär antithetische Scholendrehungen. Auf dem Büchelberger Horst ca. 15 km westlich von Karlsruhe (HGK 1988) streichen die Aquitansichten zutage aus.

Mit den Bewegungen im Aquitan war auch im Grabenzentrum eine bereichsweise starke Verstellung der miozänen Schichten sowie ihre intensive bruchtektonische Beanspruchung verbunden. Die von SCHAD (1965) beschriebene Erosionsdiskordanz zwischen den Hydrobienschichten und dem Jungtertiär I konnte im nördlichen Abschnitt des Seismikprofils 4 nicht identifiziert werden (Anl. 3). Die Diskordanz zwischen dem Jungtertiär I und dem Jungtertiär II kommt dagegen im nördlichen Profilabschnitt des seismischen Profils 4 sowie den nördlich daran anschließenden Profilen 5 und 6 deutlich zum Ausdruck (Abb. 8.7, 8.9 und 9.1, Anl. 3 bis 5).

Die meisten Störungen enden an der Grenze zum hangenden Pliozän. Insbesondere im Profilabschnitt zwischen Karlsruhe/Maximiliansau/Knielingen und Söllingen sind die miozänen Sedimente leicht gefaltet (Abb. 8.7, 8.9 und 9.1). Dies deutet eventuell auf eine geringfügige Einengung im Zusammenhang mit der Entstehung der Karlsruher Schwelle hin.

Von Rheinhausen aus nach Norden sind die tertiären Schichten weniger stark verstellt (Anl. 1 bis 3). Im Raum Speyer lässt sich aus der Lage der Miozänoberfläche ein Einfallen der Grenzfläche mit ca. 3,5 % nach Osten ermitteln. Daraus resultiert in den Seismikprofilen 3 und 4 der wellige Verlauf der Miozänoberfläche sowie interner Reflektoren im Miozän und Pliozän im Bereich des Rheinbogens bei Speyer (Anl. 2, 3, Abb. 9.1). Aus der Schichtlagerungskarte für die Oberfläche Oligozän von ANDRES & SCHAD (1959) wurde für denselben Bereich ein Einfallen dieser Grenzfläche von ca. 10 % in ostsüdöstliche Richtung bestimmt. Der im Vergleich zur Oligozänoberfläche deutlich geringere Einfallswinkel der Miozänoberfläche dokumentiert für diesen Zeitabschnitt das fortdauernde Absinken des nördlichen Grabenabschnittes in Richtung auf das Heidelberger Becken. Dem entsprechend nimmt die Mächtigkeit der Corbiculaschichten und der Hydrobienschichten in diese Richtung zu (DOEBL 1967).

Von Dettenheim aus in Richtung Süden werden die miozänen Hydrobienschichten und das Jungtertiär I diskordant vom Jungtertiär II (Pliozän nach

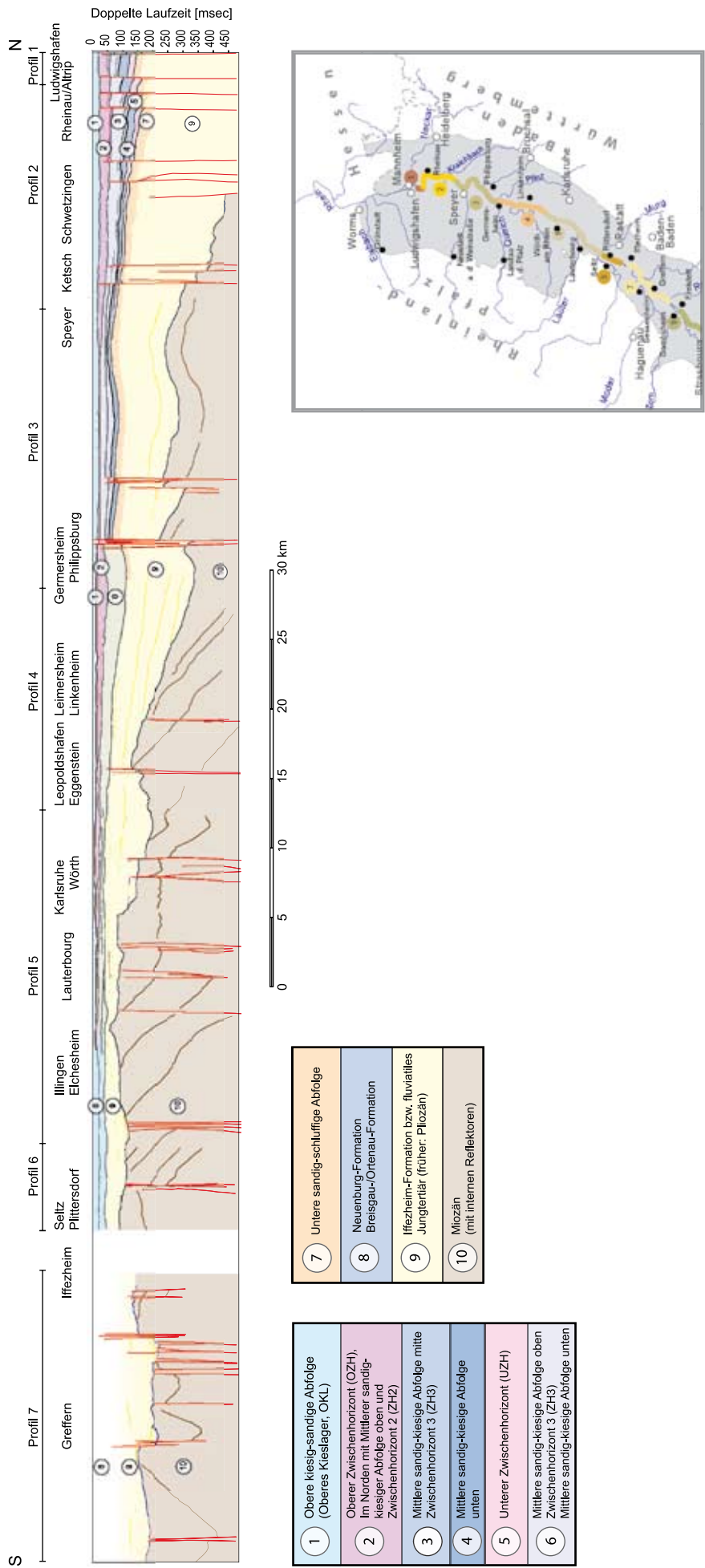


Abb. 9.1 Zusammenfassende Darstellung der Interpretationsergebnisse der seismischen Profile 1 bis 7.

SCHAD 1965) überlagert (nördlicher Abschnitt des Profils 4, Profil 5 und folgende). Tendenziell sind die internen Reflektoren im Miozän stromabwärts, d. h. in nördliche Richtung geneigt. Im Profilabschnitt zwischen Leimersheim und Dettenheim (Profil 4, CDP 3550 bis 1700) fallen die Reflektoren mit ca. 3,5% stromabwärts (d. h. in nördliche Richtung) ein. Nach ANDRES & SCHAD (1959) fällt die Oligozänoberfläche im betrachteten Profilabschnitt ebenfalls in nordnordöstliche Richtung ein. Da dies annähernd dem Verlauf des Rheines entspricht und das Oligozän konkordant vom Miozän überlagert wird, dürfte dieser Betrag annähernd dem tatsächlichen Einfallswinkel entsprechen. Aufgrund der zweidimensionalen Betrachtungsweise durch die seismischen Profile ist jedoch eine genaue Aussage zur Einfallsrichtung der miozänen Sedimente nicht möglich. Hierfür müssten Ergebnisse aus industrieseismischen Messungen mit berücksichtigt werden.

Genaue Aussagen über die Mächtigkeit der fehlenden miozänen Schichten an der Diskordanz zwischen dem Miozän und dem Pliozän sind ebenfalls nicht möglich. Die miozänen Sedimente sind in Schollen zerbrochen. Wegen fehlender markanter Reflektoren können Schichten verschiedener Schollen nicht miteinander korreliert werden.

Von Dettenheim in Richtung Germersheim erfolgt nach Norden ein allmählicher Übergang von der diskordanten Lagerung zu konkordanten Lagerungsverhältnissen zwischen dem Miozän und den pliozänen Sedimenten (Abb. 9.1). Eine Ausnahme bildet westlich von Philippsburg eine Kippscholle, auf der im Grenzbereich Jungtertiär I zu Jungtertiär II eine Winkeldiskordanz ausgebildet ist. Die Störungen, die diese Scholle begrenzen, waren bis in das jüngere Quartär aktiv (Kap. 8, Abb. 8.5).

An mehreren Stellen auf der Karlsruher Schwelle führten Störungen im miozänen Untergrund, die bis ins jüngere Quartär aktiv waren, zur Bildung grabenartiger Strukturen in der Miozänoberfläche (z. B. Profil 7, Abb. 8.7 und Abb. 8.9). Diese Senken wurden ebenso wie erosiv entstandene Vertiefungen in der durch postmiozäne Abtragung stark überprägten tertiären Landoberfläche durch lokale Rinnen- oder Beckensedimente verfüllt (z. B. seismisches Profil 5, CDP 7400 bis 8000, Anl. 4).

Die starke Senkungstendenz nördlich der Karlsruher Schwelle hielt auch im Pliozän und im Quartär an. Ausgehend von lediglich 10 bis 15 m bei Lauterburg nimmt die Mächtigkeit der pliozänen Sedimente nach Norden kontinuierlich zu. Am nördlichen Ende des seismischen Profils 1 beträgt die Mächtigkeit

der pliozänen Ablagerungen über 250 m. In der Bohrung Ludwigshafen Parkinsel P 69 (LGRB-Nr. 6516/177) ca. 1 km nordnordöstlich des seismischen Profils 1 wurde ab einer Tiefe von 203,5 m u. Gel. unter dem oberen Abschnitt der Unteren sandig-schluffigen Abfolge bis zur Endtiefe von 480 m Pliozän erbohrt. Die Bohrung Ludwigshafen Parkinsel P 34 (770 m NNE des Seismikprofils 1, LGRB-Nr. 6516/624) traf ab 177,0 m Pliozän an, dessen Basis bei der Endtiefe der Bohrung von 300 m u. Gel. noch nicht erreicht war. Innerhalb des Pliozäns greifen zwischen Germersheim und Leopoldshafen von Norden nach Süden immer jüngere Einheiten auf die Karlsruher Schwelle über (Abb. 9.1, Anl. 4).

Ausgehend von den größten Quartärmächtigkeiten von ca. 177 m im nördlichsten Profilabschnitt bei Mannheim (z. B. Bohrung Ludwigshafen Parkinsel P 34) nimmt die Mächtigkeit der quartären Einheiten generell in südliche Richtung ab. (Abb. 9.1). Im Bereich Germersheim/Philippsburg werden die quartären ebenso wie die pliozänen und älteren Schichten an einer Störung nach Süden hin um ca. 100 msec (doppelte Laufzeit, ca. 85 m) versetzt. Dies bedingt eine starke Mächtigkeitszunahme der quartären Abfolge auf der südlichen Tiefscholle. Wegen des deutlichen Wechsels in der seismischen Fazies im Quartär können die nördlich der Störung identifizierten seismischen Einheiten im basalen Abschnitt der quartären Abfolge südlich der Störung nicht unterschieden werden. Von dort setzt sich die Mächtigkeitsabnahme nach Süden fort. Im weiteren Verlauf der seismischen Profile wurde die geringste Quartärmächtigkeit von ca. 40 m bei Karlsruhe/Wörth angetroffen.

Die nach Norden zunehmende Mächtigkeit der Einheiten belegt auch für das Quartär eine kontinuierliche Absenkungstendenz des Gebiets nördlich der Karlsruher Schwelle mit den größten Senkungsbeträgen am östlichen Grabenrand im Bereich des so genannten „Heidelberger Lochs“ (SALOMON 1927, BARTZ 1953, BARTZ 1974: 83, ELLWANGER et al. 2003). Hinweise auf lokale Erosionsereignisse finden sich im Norden des Untersuchungsgebietes (seismische Profile 2 und 3) im Niveau der Mittleren sandig-kiesigen Abfolge, in der einige Reflektoren durch die überlagernde Einheit erosiv gekappt werden. Lediglich die oberste seismische Einheit, die dem „Oberen Kieslager“ zugeordnet wird, verläuft mit deutlich geringeren Mächtigkeitschwankungen über die Karlsruher Schwelle nach Norden. Während ihrer Ablagerung waren die Unterschiede in der Absenkungstendenz zwischen Karlsruhe und Mannheim wesentlich geringer.



Dank

Die Arbeiten wurden im Rahmen des von der EU teilfinanzierten INTERERG-III-Projekts „Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben“ (MoNit) durchgeführt (Oberrhein Mitte-Süd, INTERREG IIIA, PAMINA, RSCS-Nr. 3c.p – PAM 3.1.3).

Wir danken der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW, früher: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) für die Bereitstellung des Messschiffes „Max Honsell“ sowie dem Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg (WSA) für die Bereitstellung des Beibootes.

Ganz besonders bedanken wir uns bei Herrn JENS STORK (LUBW) für die ausgezeichnete Organisation des Schiffseinsatzes vor und während der Messkampagne sowie bei der gesamten Crew der „Max

Honsell“ für den engagierten Einsatz während der oftmals anstrengenden und langen Arbeitstage.

Die Messungen wurden abschnittsweise durch die Wasser- und Schifffahrtspolizei, Mitarbeiter des Service de la Navigation sowie der Universität Basel (Herr ZECHNER) begleitet. Hierfür bedanken wir uns herzlich. Herr STRÖHLEIN (Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg) stellte dankenswerterweise Wasserstandsdaten des Rheins und weitere wertvolle Informationen über die Wasserstraße zur Verfügung.

Herrn Dr. P. ZIEGLER danken wir für die Anregung zur Durchführung der Messungen, dem Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. (WEG) für die Nutzung der industrieseismischen Daten. Diese Veröffentlichung ist Teil des Programmes „Upper Rhine Graben Evolution and Neotectonics“ (EUCOR-URGENT).

Literatur

- ANDERLE, H. J. (1970): Outlines of the structural development at the northern end of the Upper Rhine Graben. – In: ILLIES, J. H. & MÜLLER, S. (eds.): Graben Problems: 97 – 102; Stuttgart (Schweizerbart).
- ANDRES, J. & SCHAD, A. (1959): Seismische Kartierung von Bruchzonen im mittleren und nördlichen Teil des Oberrheingrabens und deren Bedeutung für die Ölabsammlung. – Erdöl und Kohle, **12**: 323 – 334; Hamburg, Wien.
- BARTZ, J. (1953): Revision des Bohr-Profiles der Heidelberger Radium-Sol-Therme. – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., N. F. **33**: 101 – 125, 2 Abb.; Stuttgart.
- BARTZ, J. (1967): Recent movements in the Upper Rhinegraben between Rastatt and Mannheim. – In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. (eds.): The Rhinegraben Progress Report 1967: 1 – 2, 1 fig.; Freiburg i. Br., Strasbourg.
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit der Quartärs im Oberrheingraben. – In: ILLIES, J. H. & FUCHS, K. (eds.): Approaches to Taphrogenesis. – Inter-Union Comm. Geodynamics Sci. Rep. **8**: 78 – 87, 1 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart).
- BARTZ, J. (1976), mit Beitr. von VON BRELIE, G. & MAUS, H. †: Quartär und Jungtertiär im Raum Rastatt. – Jh. Geol. L.-Amt Baden-Württ., **18**: 121 – 178, 13 Abb., 4 Tab.; Freiburg i. Br.
- BARTZ, J. (1982): Quartär und Jungtertiär II im Oberrheingraben im Großraum Karlsruhe. – Geol. Jb., A **63**: 3 – 237, 28 Abb., 8 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- DE BATIST, M. & VERSTEEG, W. H. (1999): Seismic stratigraphy of the Mesozoic and Cenozoic in northern Belgium: main results of a high-resolution reflection seismic survey along rivers and canals. – Geologie en Mijnbouw, **77**: 17 – 37; Haarlem.
- BEHNKE, C., CLOOS, H., DÜRBAUM, H. (1967): Remarks concerning the tectonics in the Upper Rhinegraben. – In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. (eds.): The Rhinegraben Progress Report 1967, 3 – 4, 2 fig.; Freiburg i. Br., Strasbourg.
- BERGER, J.-P., REICHENBACHER, B., BECKER, D., GRIMM, M., GRIMM, K., PICOT, L., STORNI, A., PIRKENSEER, C., DERER, C., SCHAEFER, A. (2005): Paleogeography of the Upper Rhine Graben (URG) and the Swiss Molasse Basin (SMB) from Eocene to Pliocene. – Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.), **94**: 697 – 710, DOI 10.1007/s00531-005-0475-2.; Berlin, Heidelberg.
- BERTRAND, G., ELSASS, P., WIRSING, G., LUZ, A. (2006): Quaternary faulting in the Upper Rhine Graben revealed by high resolution multi channel reflection seismic. – Geoscience, **338**: 574 – 580; Elsevier.

- BIRKHÄUSER, P. & GRAF, R. (2000): 3D-Seismik Züricher Weinland. Geologie – Methodik, Planung und Durchführung der Feldarbeiten. – *nagra Bulletin*, **33**: 9–17, 11 Abb.; Wettingen.
- BIRKHÄUSER, P., MÜLLER, W. H., ROTH, P., NAEF, H. (2000): 3D-Seismik Züricher Weinland. Geologie – Verarbeitung und Auswertung der Daten. – *nagra Bulletin*, **33**: 18–29, 11 Abb.; Wettingen.
- BRAM, K., WIRSING, G., BROST, E., ELSASS, P. & WONIK, T. (2005): Kombinierte geophysikalische Erkundung der Aquifergeometrie und der Chloridverbreitung im quartären Grundwasserleiter des südlichen Oberrheingrabens zwischen Breisach und Fessenheim. – *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.*, **95/1**: 47–69, 11 Abb., 1 Tab.; Freiburg i. Br.
- VON DER BRELIE, G. (1974): Mikrofloristische Untersuchungen zur Altersstellung der jungtertiären Ablagerungen im mittleren und nördlichen Oberrheingraben. – In: ILLIES, J. H. & FUCHS, K. (eds.): *Approaches to Taphrogenesis*. – *Inter-Union Comm. Geodynamics Sci. Rep.*, **8**: 72–78, Stuttgart (Schweizerbart).
- BREYER, F. & DOHR, G. (1967): Bemerkungen zur Stratigraphie und Tektonik des Rheintalgrabens zwischen Karlsruhe und Offenburg. – in: ROTHE, J. P. & SAUER, K. (eds.): *The Rhine-graben Progress Report 1967*: 42–43, 2 fig.; Freiburg i. Br., Strasbourg.
- BREYER, F. (1974): Die Entstehungsgeschichte des Südteils des Rheingrabens nach reflexionsseismischen Messungen, geologischen Kartierungen und Tiefbohrungen. – *Geol. Jb.*, **A 20**: 3–64, 8 Abb., 5 Tab., 4 Taf.; Hannover.
- BROST, E. (1989): Geoelektrische Messungen Wyhl, Lkr. Emmendingen, 1986. – *Ber. Niedersächsisches L.-Amt für Bodenforschung*, Archiv-Nr. 103773; Hannover. – [unveröff.]
- BROST, E. (1995): Geoelektrische Messungen zur Erforschung der Salzbelastung des Grundwassers in der Rheinebene südlich des Kaiserstuhls. Gebiet: Breisach am Rhein, Niedersächsisches L.-Amt für Bodenforschung, Archiv-Nr.: 113876 (31.10.1995) – *Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben*; Hannover – [unveröff.]
- BROST, E. & HOMILIUS, J. (1983): Geoelektrische Untersuchungen Rheingraben zwischen Kaiserstuhl und Lahr – *Ber. Niedersächsisches L.-Amt für Bodenforschung*, Archiv-Nr. 92921; Hannover – [unveröff.]
- BROST, E. & ELLWANGER, D. (1991), mit Beitr. von BLUDAU, W. & ROLF, C.: Einige Ergebnisse neuerer geoelektrischer und stratigraphischer Untersuchungen im Gebiet zwischen Kaiserstuhl und Kehl. – *Geol. Jb.*, **E 48**: 71–81; Hannover.
- DERER, C. E. (2003): Tectono-sedimentary evolution of the northern Upper Rhine Graben (Germany) with special regard to the early syn-rift stage. – *Diss. Univ. Bonn*: 99 pp., 49 fig.; Bonn.
- DÉZES, P., SCHMIDT, S. M. & ZIEGLER, P. A. (2004): Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. – *Tectonophysics*, **389**: 1–33, 5 fig.; Amsterdam.
- DOEBL, F. (1967): The tertiary and pleistocene Sediments of the northern and central part of the Upper Rhinegraben – In: ROTHE, J. P. & SAUER, K. (eds.): *The Rhine Graben Progress Report 1967*: 48–54, 9 fig.; Freiburg i. Br., Strasbourg.
- DOHR, G. (1968): Reflexionsseismische Messungen im Oberrheingraben mit digitaler Aufzeichnungstechnik und Bearbeitung. – In: ILLIES, J. H. & MÜLLER, S. (eds.): *Graben Problems*: 207–218; Stuttgart.
- ELLWANGER, D., mit Beitr. v. LÄMMERMANN-BARTHEL, J. & NEEB, I. (2003): Eine landschaftsübergreifende Lockergesteinsgliederung vom Alpenrand zum Oberrhein. – *GeoArchäoRhein*, **4**: 81–125, 5 Abb., 5 Tab.; Münster.
- ENGESSER, W. & MÜNZING, K. (1991): Molluskenfaunen aus Bohrungen im Raum Mannheim und ihre Bedeutung für die Quartärstratigraphie des Oberrheingrabens. – *Jh. Geol. L.-Amt Baden-Württ.*, **33**: 97–117, 4 Abb., 5 Tab., 1 Taf.; Freiburg i. Br.
- FREI, W. & KELLER, L. (2000): Hybride Seismik – eine verbesserte Methode zur Verwertung des Aussagepotentials seismischer Daten. – *Bull. angew. Geol.*, **5/2**: 229–236, 2 Abb.; Zürich/Schweiz.
- Geomega (2002): Rhine 2002 Multi-Channel Survey. Data aquisition and Processing report; Budapest. – [unveröff.]
- GLA – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.) (1981): Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens zwischen Karlsruhe und Mannheim, Anteil Baden-Württemberg (1981): *Comission of the European Communities, Directorate general for Research, Science and Education, Programme on Geothermal Energy*, Geol. L.-Amt. Bad.-Württ.: 72 S., Anh.; Freiburg i. Br.
- GLA/BRGM – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg/Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Hrsg.) (1979): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens (1979): *Comission of the European Communities, Directorate general for Research, Science and Education, Programme on Geothermal Energy; Service Géologique Régional Alsace*, Geol. L.-Amt Baden-Württ.: 100 S., 23 Anl., 4 Beil.; Freiburg i. Br., Strasbourg.
- GREEN, A., PUGIN, A., BERES, M., LANZ, E., BÜCKER, F., HUGGENBERGER, P., HORSTMAYER, H., GRASMÜCK, M., DE IACO, R., HOLLINGER, K. & MAURER, H. R. (1995): 3-D high-resolution seismic and georadar reflection mapping of glacial, glaciolacustrine and glaciofluvial sediments in Switzerland. – *Proceedings SAGEEP, Environmental and Engineering Geophysical Society*; Denver.
- HAIMBERGER, R., HOPPE, A. & SCHÄFER, A. (2005): High-resolution seismic survey on the Rhine River in the northern Upper Rhine Graben. – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, **94**: 657–668, 8 fig.; Berlin, Heidelberg.
- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1977): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Bereich Kaiserstuhl–Markgräflerland mit Erläuterungen. – *Geol. L.-Amt Baden-Württ. und L.-Anstalt für Umweltschutz Baden-Württ.*: 65 S., 7 Abb., 5 Tab., 6 Kt.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.



- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1978a): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet – Raum Rastatt mit Erläuterungen. – Geol. L.-Amt Baden-Württ. und L.-Anstalt für Umweltschutz Baden-Württ.: 52 S., 31 Abb., 9 Tab., 6 Kt.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.
- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1978b): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Bereich Bühl-Offenburg mit Erläuterungen. – Geol. L.-Amt Baden-Württ. und L.-Anstalt für Umweltschutz Baden-Württ.: 68 S., 24 Abb., 7 Tab., 10 Kt.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.
- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1979): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Freiburger Bucht mit Erläuterungen. – Geol. L.-Amt Baden-Württ. und L.-Anstalt für Umweltschutz Baden-Württ.: 72 S., 25 Abb., 10 Tab., 12 Kt.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.
- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1980): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Raum Lahr mit Erläuterungen. – Geol. L.-Amt Baden-Württ. und L.-Anstalt für Umweltschutz Baden-Württ.: 63 S., 25 Abb., 7 Tab., 8 Kt.; Freiburg i. Br., Karlsruhe.
- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1988): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe – Speyer. Analyse des Ist-Zustandes, Aufbau eines mathematischen Grundwassermodells: 111 S., 23 Abb., 9 Tab.; Stuttgart, Mainz.
- HGK – Hydrogeologische Kartierung (1999): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Fortschreibung 1983 – 1989. – Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württ., Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz: 155 S., 71 Abb., 23 Tab., 18 Kt.; Stuttgart, Wiesbaden, Mainz.
- HOMILIUS, H. J. & SCHREINER, A., mit Beitr. von DÜRBAUM, H. J. & LEIBER, J. (1991): Geoelektrische Untersuchungen in der Freiburger Bucht. – Geol. Jb., **E 48**: 43 – 70, 9 Abb., 7 Taf.; Hannover.
- HÜTTNER, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Ein Überblick mit historischer Rückschau. – Geol. Jb., **E 48**: 17 – 42, 10 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- ILLIES, H. (1962): Prinzipien und Entwicklung des Rheingrabens, dargestellt am Grabenabschnitt von Karlsruhe. – Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, **31**: 58 – 121, 2 Taf., 18 Abb.; Hamburg.
- ILLIES, H. & MÄLZER, H. (1981): Der Oberrheingraben: Tektonik, Seismizität und rezente Höhenänderungen. – Deutscher Geodätentag, Gestalt und Gestaltung der Erde – Wirkungsfelder des Geodäten, **65**: 67 – 78, 5 Abb.; Karlsruhe.
- INTERREG II (2001a): Grenzüberschreitende Verbundwasserversorgung VG Bad Bergzabern, Ville de Wissembourg, Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Untersuchungen des tieferen Grundwasservorkommens im Bienwald: 125 S.; Verbandsgemeinde Bad Bergzabern, Ville de Wissembourg.
- INTERREG II (2001b): Erkundung der Grundwasserleiter und der Böden im Hochrheintal zwischen Schaffhausen und Basel, Abschlussbericht zum INTERREG II-Projekt, Ergebnisse und Karten: 101 S., 27 Abb., 16 Tab.; Waldshut.
- INTERREG II (2002): Grenzüberschreitende Erkundung des tiefen rheinnahen Grundwasserleiters zwischen Fessenheim und Breisach, Endbericht. – Regierungspräsidium Freiburg: 172 S.; Freiburg i. Br.
- LfU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Région Alsace (1996): Demonstrationsvorhaben zum Schutz und zur Bewirtschaftung des Grundwasser des deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheingrabens. – 166 S., 25 Abb., 5 Tab.; Karlsruhe.
- LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (1998): Geologische Schulkarte von Baden-Württemberg 1 : 100 000, 12. überarb. u. erweitert. Aufl.: VI + 142 S., 27 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.
- LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (2002): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2002. – L.-Amt Geol. Rohst. Bergb. Baden-Württ. – Bearb.: WERNER, W., KIMMIG, B., BRASSE, A., BOCK, W. D., FINGER, P., TRAPP, C., SCHLOZ, W., WEINZIERL, W., DENNERT, V., FROMM, F., BOCK, H., KÖBERLE, G., KÜCK, J., ANDRÄ, H., Informationen **14**: 92 S., 58 Abb., 12 Tab., 1 Anh.; Freiburg i. Br.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2006a): Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben. – Prognosen zur Entwicklung der Nitratbelastung: 152 S.; Karlsruhe.
- LUBW – Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2006b): Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben – Abschlussbericht Teilprojekt Hydrogeologie: Aquifergeometrie der quartären und pliozänen Lockergesteinsfüllung im baden-württembergischen Teil des Oberrheingrabens. – Regierungspräsidium Freiburg – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Geol.-Pal. Inst. Univ. Basel. – Bearb.: WIRSING, G., ELSASS, P., LUZ, A., HUGGENBERGER, P.: 160 S., 56 Abb., 6 Tab., 1 Anl.; Karlsruhe.
- LUTZ, M. & CLEINTUAR, M. (1999): Geological results of a hydrocarbon exploration campaign in the southern Upper Rhine Graben. – Bull. Appl. Geol., vol. 4, Suppl.: 3 – 80, 37 fig.; Zürich/Schweiz.
- MITCHUM, R. M., VAIL, P. R. & THOMPSON, S. (1977): Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis. – In: PAYTON, C. (ed.) AAPG Mem. 26, Seismic Stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration: 53 – 62, 4 fig.; Tulsa, Oklahoma.
- PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. – Erträge Forsch., **184**: X + 145 S., 43 Abb., 2 Tab.; Darmstadt (Wiss. Buchgesellschaft).

- PUGIN, A., PULLAN, S. E. & SHARPE, D. R. (1999): Seismic facies and regional architecture of the Oak Ridge Moraine area, south Ontario. – *Canadian Journal of Earth Sciences*, **36**: 409 – 423, 11 fig., 4 tables; Ottawa.
- RPF/LGRB – Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2006): Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg. Verzeichnis Geologischer Einheiten. – Aktual. Ausg. Mai 2005, Internet-Publ.: <http://www.lgrb.uni-freiburg.de> (Bearb.: VILLINGER, E.); Freiburg i. Br.
- RPF/LGRB – Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (in Vorb.): Hydrogeologischer Bau der Lockergesteine im Oberrheingraben Baden-Württemberg. – LGRB Informationen 19; Freiburg i. Br.
- SALOMON, W. (1927): Die Erbohrung der Heidelberger Radium-Sol-Therme und ihre geologischen Verhältnisse. – *Abh. Heidelberger Akad. Wiss. Math.-Nat. Kl.*, **14**: 1 – 105; Heidelberg.
- SCHAD, A. (1957): Einige Ergebnisse des Erdölaufschlusses bei Landau/Rheinpfalz. – *Geol. Jb.* **74**: 243 – 268; Hannover.
- SCHAD, A. (1964): Feingliederung des Miozäns und die Deutung der nacholigozänen Bewegungen im Mittleren Rheingraben. – *Abh. Geol. L.-Amt Baden-Württ.*, **5**: 1 – 56, 4 Abb., 8 Taf.; Freiburg i. Br.
- SCHAD, A. (1965): Abtragungserscheinungen an der Grenze Jungtertiär I/Jungtertiär II im Inneren des mittleren Rheingrabens. – *Senck. Leth.*, 46a (Weiler Festschrift): 363 – 376; Frankfurt a. M.
- SCHUHMACHER, M. E. (2002): Upper Rhine Graben: Role of pre-existing structures during rift evolution – *Tectonics*, vol. **21**/1: 6 – 13, 12 fig.; Washington.
- SHARPE, D. R., PUGIN, A., PULLAN, S. E. & GORELL, G. (2003): Application of seismic stratigraphy and sedimentology to regional hydrogeological investigations: an example from Oak Ridges Moraine, southern Ontario, Canada. – *Can. Geotech. J.*, **40**: 711 – 730, 10 fig., 3 tables.
- SIGNIER, C., GORIN, G. E., PUGIN, A. & WILGI, W. (2000): Investigation of a glacial outwash sequence on the swiss plateau using high resolution seismic reflection. – *Quaternaire*, **11** (3 – 5): 207 – 217; Paris.
- SPRECHER, C. (1987): Die Messmethode der Reflexionsseismik, Nagra informiert, **1 + 2**: 10 – 22; Wettingen.
- STOBER, I., RICHTER, A., BROST, E. & BUCHER, K. (1999): The Ohlsbach Plume – Discharge of deep saline water from the crystalline basement of the Black Forest, Germany. – *Hydrogeology Journal*, **7**: 273 – 283, 10 fig.; Heidelberg.
- STRAUB, E. W. (1962): Die Erdöl- und Erdgaslagerstätten in Hessen und Rheinhessen. – *Abh. Geol. L.-Amt Baden-Württ.*, **4**: 123 – 136; Freiburg i. Br.
- TÓTH, T., VIDA, R., HORVAT, F. & SIMPKIN, P. (1997): Shallow-water single and multichannel seismic profiling in a riverine environment. – *The leading edge*, **16**: 1691 – 1695; Tulsa/Oklahoma.
- WERNER, W., LEIBER, J. & BOCK, H. (1997): Die grobklastische pleistozäne Sedimentserie im südlichen Oberrheingraben: geologischer und lithologischer Aufbau, Lagerstättenpotential. – *Zbl. Geol. Paläont.*, Teil 1, **9/10**: 1059 – 1085, 7 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- WIRTH, E. (1962): Die geologischen Ergebnisse der Erdölexploration in der Rheinebene zwischen Offenburg und Lahr. – *Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie*, **8**, 15. Jahrg.: 648 – 692, 4 Abb.; Hamburg, Wien.
- ZIEGLER, P. A. (1992): European Cenozoic rift system. – *Tectonophysics* **208**: 91 – 111; Amsterdam.

Abkürzungen:

BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CDP	Common Depth Point
GLA	Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
HGK	Hydrogeologische Kartierung
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
LfU	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (seit 01.01.2005: RPF/LGRB)
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
m	Meter
MoNit	Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben
msec	Millisekunden
m/sec	Meter pro Sekunde
m NN	Meter Normalnull
m u. Gel.	Meter unter Gelände
RPF/LGRB	Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau



Anlage 1 – 17

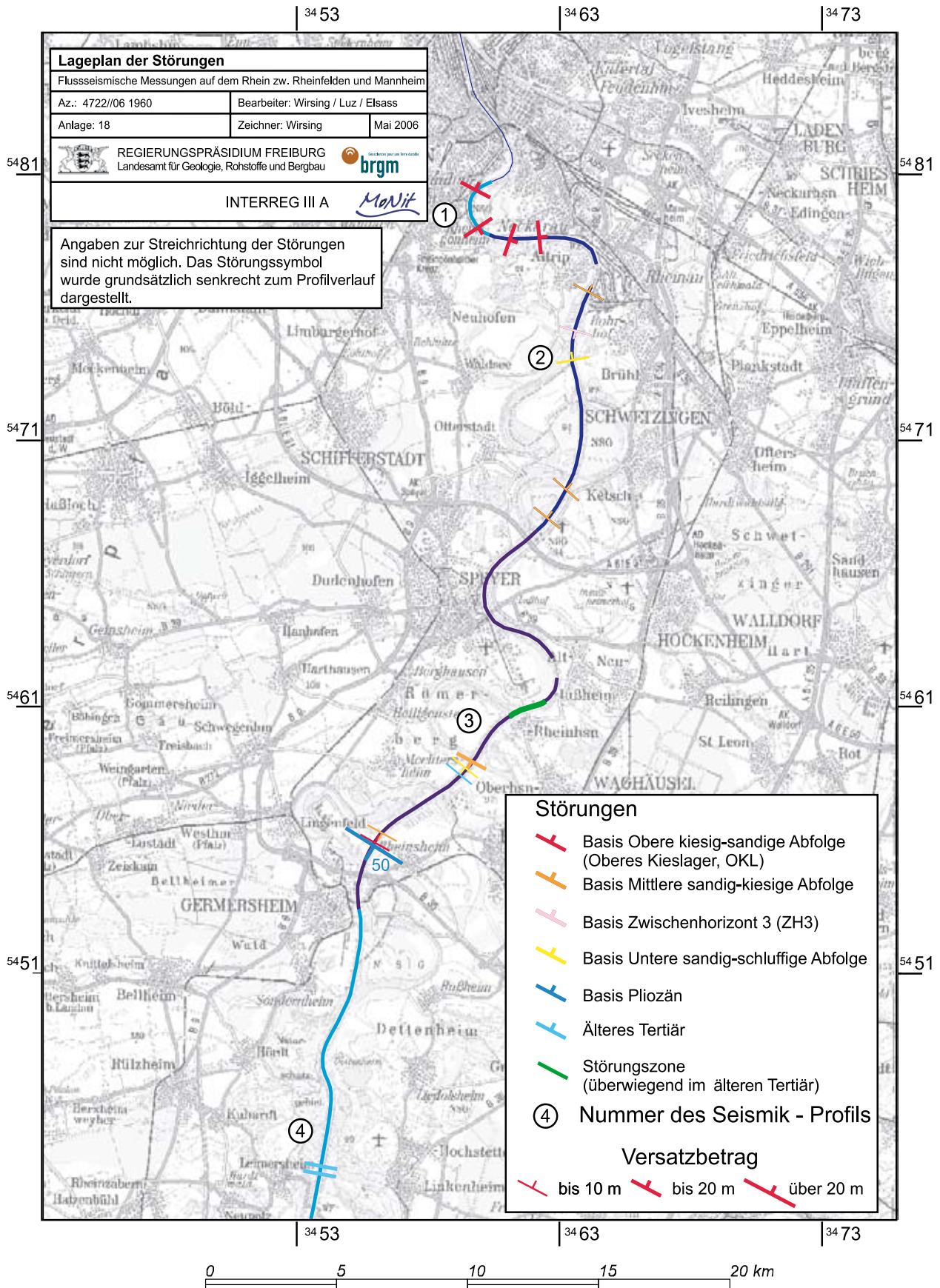
Seismische Profile 1 – 21

auf CD-ROM als Beilage

Anlage 18 – 22

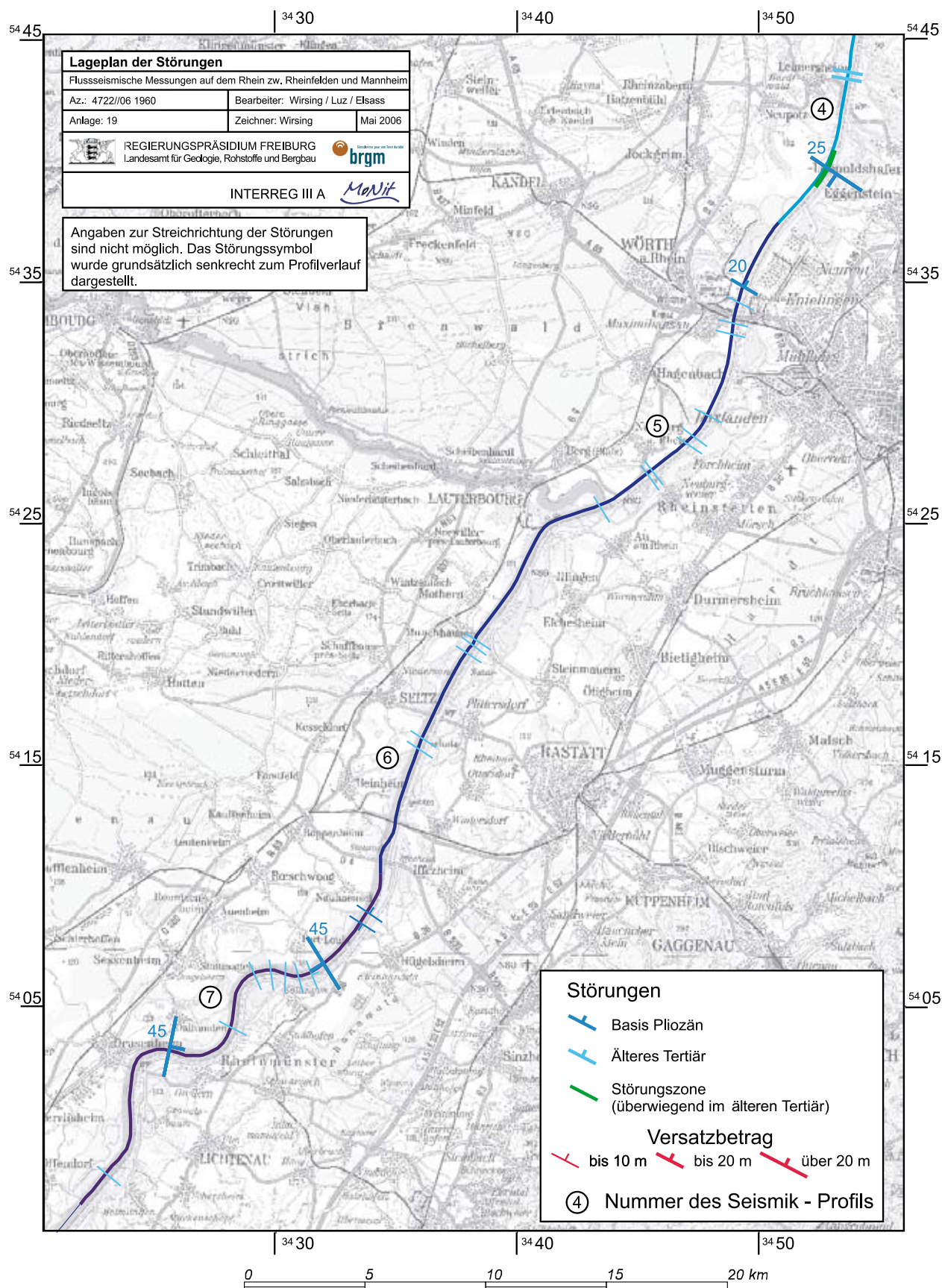
Lagepläne der Störungen

ANLAGE 18

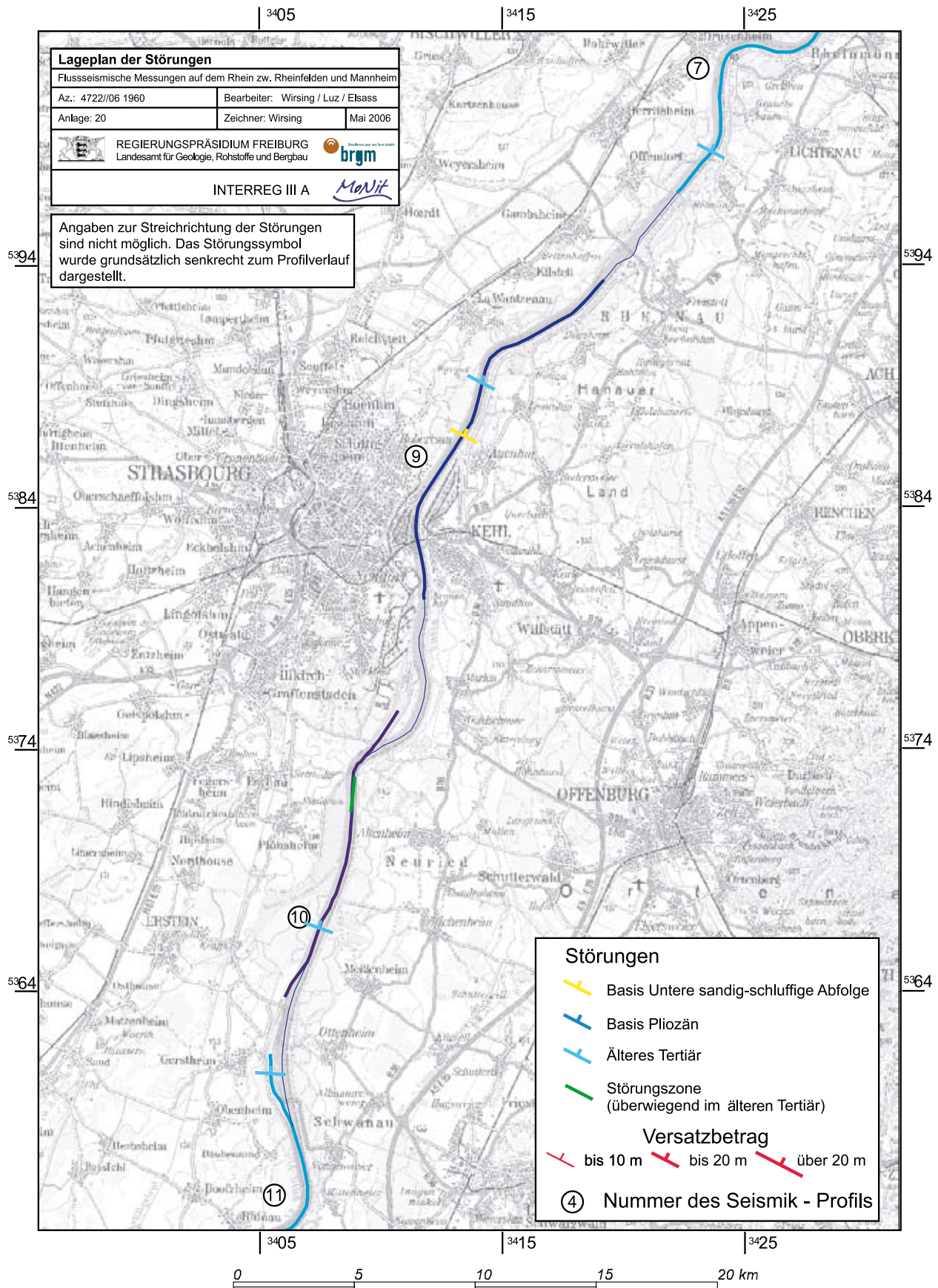




ANLAGE 19

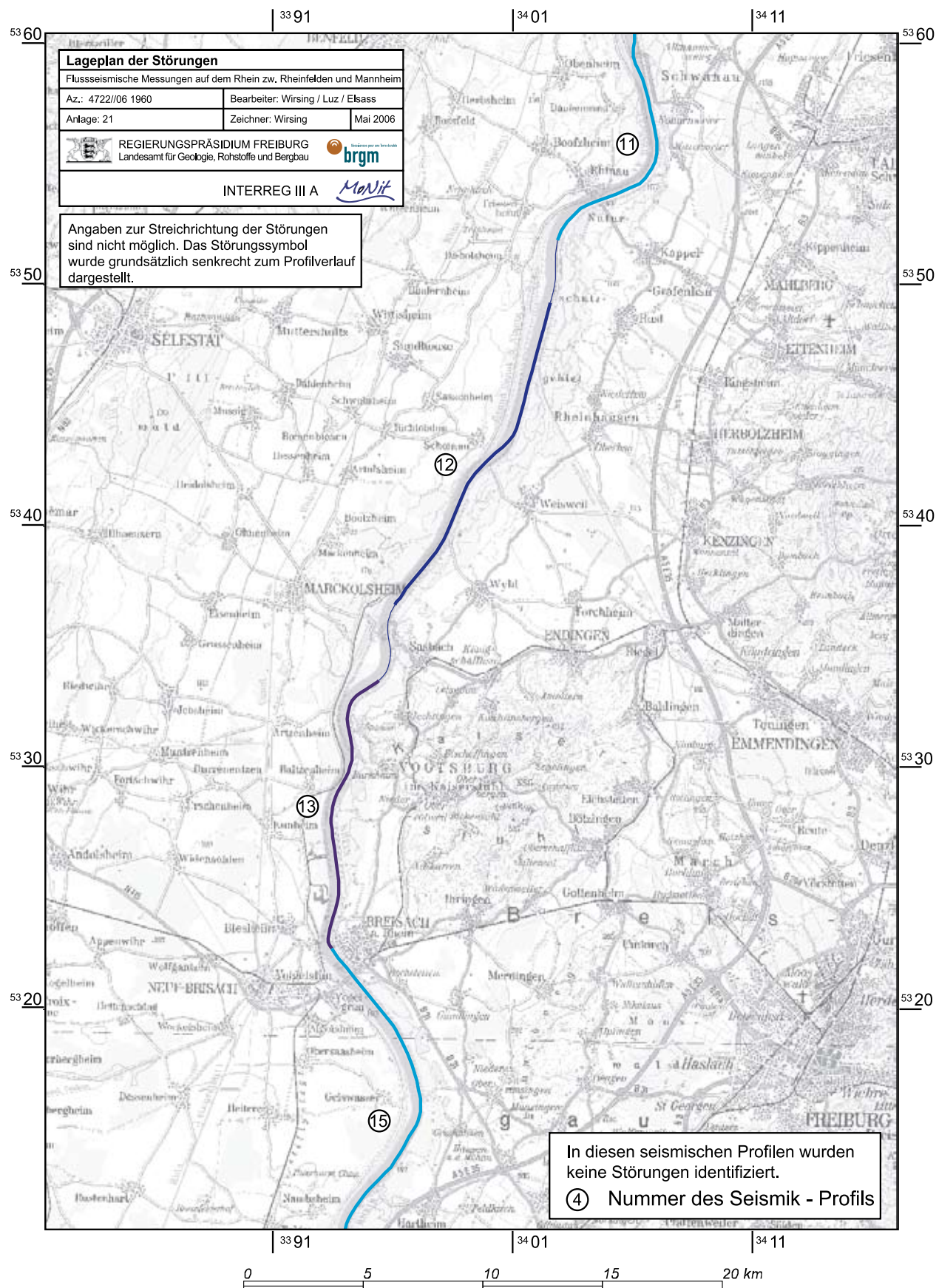


ANLAGE 20

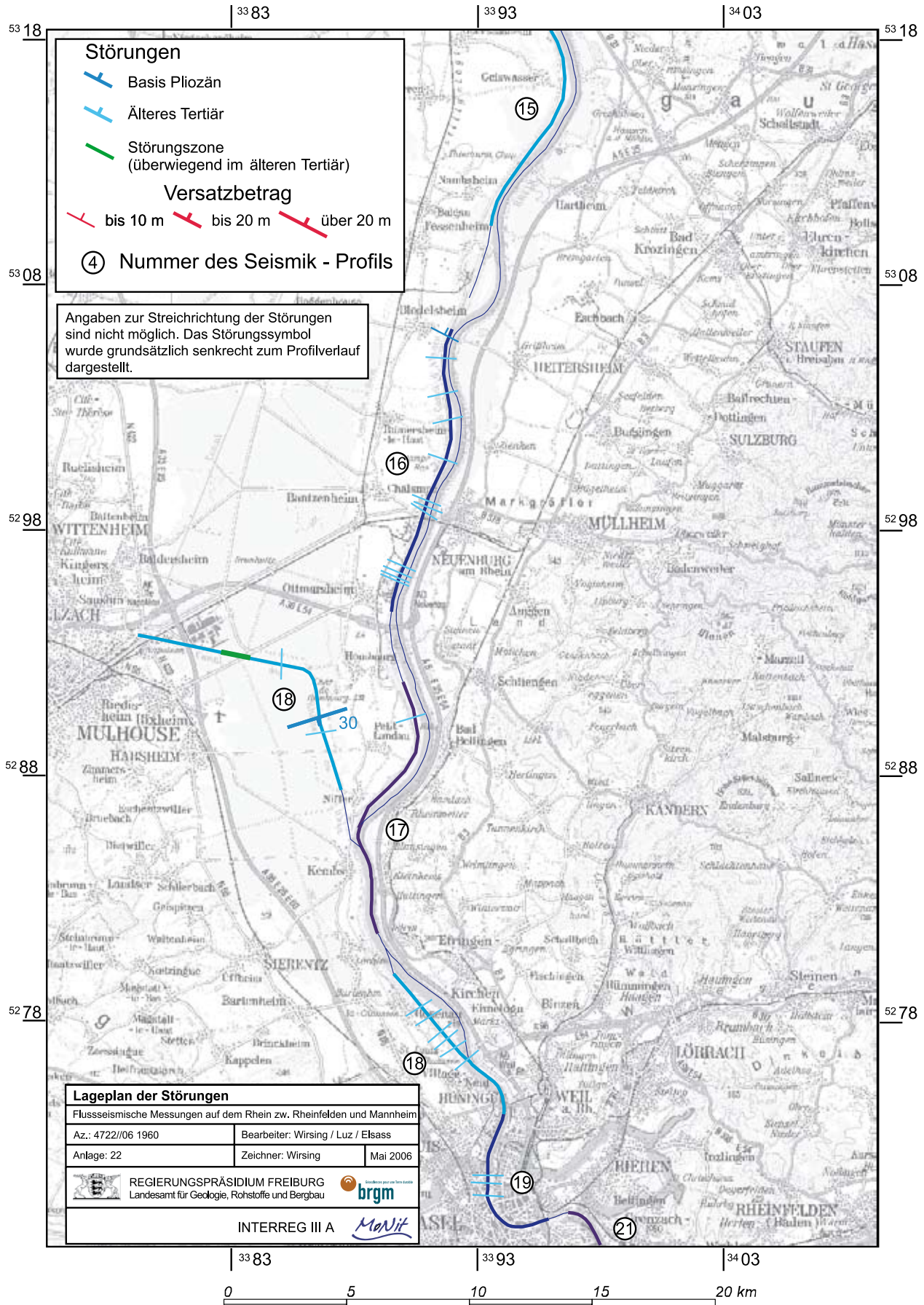




ANLAGE 21



ANLAGE 22



Informationen des Regierungspräsidium Freiburg · Abteilung 9 · Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau

Bis Heft 9: Informationen des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg (GLA)

Bis Heft 15: Informationen des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB)

- Heft 10 (2001): Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser
64 S., 42 Abb., 15 Tab., 1 CD-Rom € 10, –
- Heft 11 (1999): Anwendung geowissenschaftlicher Informationssysteme am
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg
84 S., 49 Abb., 1 Tab., 1 Taf. (vergriffen)
- Heft 12 (1999): Freiburg im Breisgau – Geologie und Stadtgeschichte
60 S., 28 Abb., 2 Tab., 1 Taf., 2 Kt. als Beil. € 5, –
- Heft 13 (2000): Tätigkeitsbericht 1997 – 1999
104 S., 52 Abb., 6 Tab. (vergriffen)
- Heft 14 (2002): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2002
92 S., 58 Abb., 12 Tab. € 10, –
- Heft 15 (2004): Exotische Gehölze im Kirchheimer-Arboretum Freiburg
36 S., 48 Abb. (vergriffen)
- Heft 16 (2005): Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg
79 S., 46 Abb. € 10, –
- Heft 17 (2006): Ergebnisse neuer Forschungsbohrungen in Baden-Württemberg
150 S., 17 Abb., 7 Tab., 3 Taf. € 15, –
- Heft 18 (2006): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006
Gewinnung, Verbrauch und Sicherung von mineralischen Rohstoffen
202 S., 209 + 12 Abb., 15 Tab., 1 Kt. als Beil. € 10, –

Preise zuzüglich Versandkosten