

Makroseismische Bearbeitung des Erdbebens vom 23.12.2010 in Mainz

BERND SCHMIDT & LINA REINHEIMER & ANSGAR WEHINGER

Kurzfassung: Am 23.12.2010 traten in Mainz zwei Erdbeben mit Magnituden von 3,4 und 2,7 auf der Richter-Skala auf. Insbesondere das stärkere Beben war im Großraum Mainz deutlich und weit spürbar. Mit Unterstützung der Medien rief das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz die Bürgerinnen und Bürger dazu auf, ihre Wahrnehmungen beim Beben mitzuteilen. Die 355 erhaltenen Fragebögen wurden zur Bestimmung der Intensitäten unter Zugrundelegung der European Macroseismic Scale EMS-1998 ausgewertet. Im Ergebnis wurde eine Epizentralintensität $I_0 = IV \frac{1}{2}$ EMS festgelegt. Die makroseismische Herdtiefe beträgt etwa $h = 10$ km. Die Auswertung ergab weiter, dass das Beben überwiegend in einem Umkreis mit einem Radius von etwa 25 km um das Hypozentrum herum verspürt wurde. Einzelne Meldungen kamen auch aus Orten bis etwa 100 km Entfernung. Etwa 20 % der Bürgerinnen und Bürger, die sich meldeten, haben auch das Nachbeben, das etwa vier Stunden nach dem ersten Beben auftrat, gespürt.

Abstract: On 23rd December 2010 two earthquakes with magnitudes of 3.4 and 2.7 on the Richter scale took place in Mainz. In particular the stronger quake was clearly and widely sensed. With the support of the media the Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) called on the the citizens to share their perceptions of the quake. 355 questionnaires were received for determining the intensities on the basis of the European Macroseismic Scale EMS-1998 and were analyzed. The result is an epicentral intensity of $I_0 = IV \frac{1}{2}$ EMS. The macroseismic focal depth is about $h = 10$ km. The evaluation showed that the quake was felt mainly in an area with a radius of about 25 km around the hypocenter. Some reports also came from places up to a distance of 100 km. About 20% of the citizens who reported on the earthquake, also felt the aftershock, which occurred about 4 hours after the first quake.

1. Einleitung

Am 23.12.2010 ereignete sich in Mainz gegen 2:35 Uhr ein Erdbeben mit einer Magnitude von 3,4 auf der Richter-Skala. Das Beben war deutlich und weit spürbar und beunruhigte viele Menschen im Großraum Mainz. Aufgrund der Seltenheit und Heftigkeit eines Erdbebens in dieser Region wurde im Fernsehen, im Radio und in der Lokalpresse ausführlich und tagelang berichtet (Abb. 1). Mit Unterstützung der Medien rief das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (LGB) die Bürgerinnen und Bürger dazu auf, ihre Wahrnehmungen beim Beben mitzuteilen. Die Beobachtungen konnten durch das Ausfüllen von Fragebögen zur Makroseismik, die auf der Website des LGB zur Verfügung stehen, oder formlos per E-Mail oder telefonisch mitgeteilt werden. Bis Ende Januar 2011 lagen dem Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz in Mainz sowie dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) in Wiesbaden insgesamt 355 ausgefüllte Fragebögen vor, die zentral im LGB ausgewertet wurden. Im LGB ist der Landeserdbebendienst Rheinland-Pfalz angesiedelt. Dieser ist wiederum Teil des Erdbebendienstes Südwest, der am 1.2.2011 offiziell seinen Betrieb aufnahm. Die vom Erdbebendienst Südwest aufgezeichneten Seismogramme sowie eine Kartendarstellung des Epizentrums ist der Abb. 2 zu entnehmen.

Die Autoren danken allen, die ihre Wahrnehmungen in Telefonanrufen sowie durch Ausfüllen des Fragebogens im Internet oder in kommunalen Einrichtungen mitteilten. Die örtlichen Zeitungen waren sehr kooperativ und veröffentlichten hierzu einen entsprechenden Aufruf. Dr. Matthias Kracht vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie danken wir für die Überlassung aller dort gesammelten Fragebögen.

2. Auswertung

Methode

Naturkatastrophen stellen ein enormes Gefahrenpotential für Mensch und Umwelt dar. Beispiele aus aller Welt zeigen, dass insbesondere Erdbeben enorme Schäden verursachen können. Erdbeben lassen sich bis heute nicht zuverlässig vorher sagen, so dass der Registrierung und wissenschaftlichen Auswertung aktueller Beben eine große Bedeutung zukommt. Bei Beben, die von vielen Menschen wahrgenommen wurden, ist neben der rein messtechnischen Auswertung auch die Erhebung der Beobachtungen während des Bebens und der aufgetretenen Folgen eine eingeführte Methode der Erdbebenforschung. Dies ist die Methode der sogenannten Makroseismik. Sie dient unter anderem zur Abgrenzung von Erdbebenzonen und zur Beurteilung erdbebengefährdeter Gebiete. Weiter lassen sich durch die dabei gesammelten Erfahrungen auch historische Beben rekonstruieren.

Die Einbindung von spontanen Erdbebenmeldungen durch Berichte und Fragebögen erfolgt unter Zugrundelegung der European Macroseismic Scale EMS-1998 (GRÜNTAL 1998), welche eine Beschreibung der Erdbebenherde durch ihre Intensität darstellt und somit einen Grad der, bei einem Erdbeben entstandenen, Schäden angibt. Somit können die in einer Region festgestellten Intensitätsgra-



Abb. 1: Zeitungsmeldung zum Erdbeben in Mainz am 23. Dezember 2010 (Ausschnitt der Allgemeinen Zeitung Mainz vom 24.12.2011). Aufgrund des Datums wurde das Beben später als „Weihnachtsbeben“ bezeichnet. Eine weitere Benennung ist das „05er Beben“, weil das Epizentrum nahe dem gerade in Bau befindlichen neuen Stadion des Erstliga-Fußballvereins 1. FSV Mainz 05 lag.

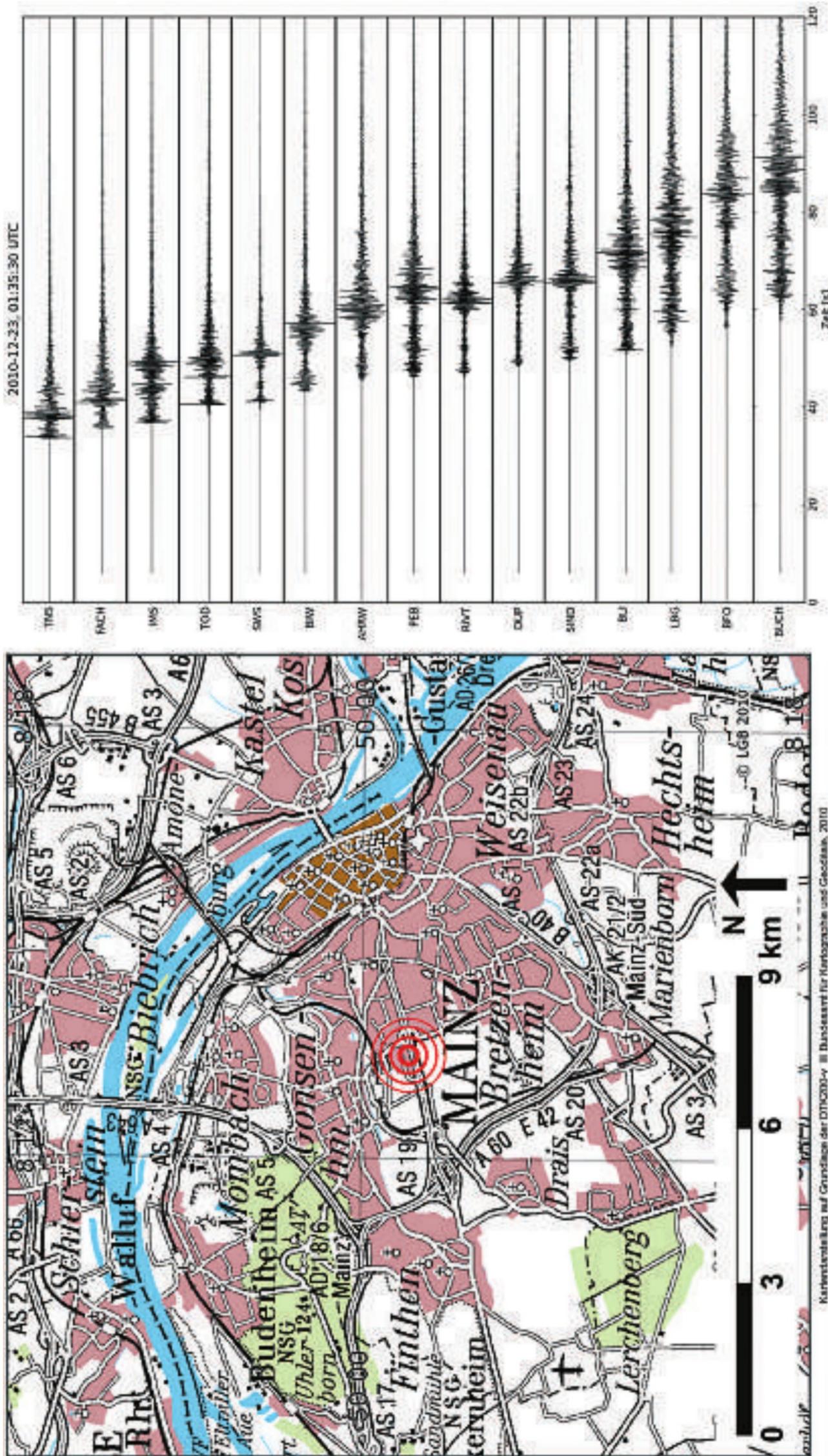


Abb. 2: Seismogramm und Karte des Epizentrums des Erdbebens von Mainz vom 23.12.2010 um 2:35 Uhr mitteleuropäischer Zeit. Die Lokal-Magnitude gemäß Richterskala betrug $M = 3,4$.

de in Karten übertragen und gleiche Werte miteinander verbunden werden; dadurch liefern die sich ergebenden Isoleisten Hinweise auf das Epizentrum des Bebens. Durch den Abstand der einzelnen Isoleisten lassen sich auch Rückschlüsse auf das Hypozentrum und die bevorzugte Schwingungsausbreitungsrichtung ziehen. Probleme ergeben sich jedoch hier aus der Variabilität des geologischen Untergrunds, durch die die Bebenintensität wesentlich beeinflusst wird. Auf weichen Böden kann beispielsweise auch in größerer Entfernung vom Erdbebenherd die Intensität höher sein, als auf festem Untergrund in Herdnähe.

Beobachtungen

Sehr häufig wurde über die Fragebögen mitgeteilt, dass beim Beben am 23.12.2010 etliche Schlafende durch das Beben wach wurden und, dass ein Zittern bis hin zur Erschütterung von Gebäuden auftrat. Verrutschen oder Verschieben von Gegenständen und das Knistern von Gebälk und anderen Dinge mehr wurden wahrgenommen. Aus dem Nahbereich zum Epizentrum wurde zudem von starken Geräuschen, ähnlich einem in nächster Nähe vorbeifahrenden LKW, berichtet. Schäden wurden nicht beobachtet. In wenigen Fällen wurden feine Rissen im Verputz und Schnee- oder Eisabgang von Dächern gemeldet. Als besondere Folgen des Bebens wurden beispielsweise ein umgefallener Weihnachtsbaum und das Rausfliegen einer elektrischen Sicherung gemeldet. Viele Betroffene bekamen einen Schreck oder ein beklemmendes Gefühl.

Das Beben war vielfach in Mainz und Wiesbaden, z.B. in Hochhäusern (mit mehr als fünf Stockwerken) recht stark verspürt worden. Hierfür lassen sich mehrere Effekte anführen. Je höher ein Gebäude, umso tief frequenter ist seine Eigenschwingung. Auf dem relativ langen Weg der Erdbebenwellen vom Hypozentrum durch mächtige Sedimentschichten bis an die Oberfläche werden die höher frequenten Wellenanteile stark gedämpft und länger periodische Oberflächenwellen bilden sich aus, sodass die tieferen Frequenzen überwiegen. Bei weichem Baugrund und geschichtetem Untergrund können zusätzlich selektiv Frequenzen verstärkt werden. Dieses insgesamt länger periodische Wellenspektrum regt vor allem Hochhäuser zu Eigenschwingungen an. Die Amplituden der Gebäudeschwingungen sind in den verschiedenen Stockwerken unterschiedlich stark – je höher das Stockwerk desto größer die Amplitude.

Auswertung

Die Auswertung der Fragebögen zur Bestimmung der Intensitäten erfolgte dabei unter Zugrundelegung der European Macroseismic Scale EMS-1998 (Abb. 3).

Der Fragebogen umfasst über 90 Einzelfelder. Um eine möglichst objektive Einstufung zu gewährleisten, wurden alle Fragebögen von zwei Autoren individuell parallel ausgewertet. Unterschiedliche Ergebnisse wurden danach gemeinsam besprochen und dabei eine endgültige Einstufung getroffen. Im Anschluss daran wurden je Ort – hier Postleitzahlenregion – alle beobachteten Intensitäten zusammengestellt und wiederum gemeinsam, die geltende Intensität festgelegt. Diese wurde nicht durch Mittelwertbildung gewonnen, sondern orientierte sich mehr an der Anzahl der höheren Intensitäten. Bei weit ausgedehnten PLZ-Regionen, wurde angestrebt, Einzelberichte auch aus benachbarten Ortsteilen unterschiedlicher PLZ-Regionen zusammenzufassen, um dort zu einer abgesicherten

EMS Intensität	Definition	Beschreibung der maximalen Wirkungen (stark verkürzt)
I	nicht fühlbar	Nicht fühlbar.
II	kaum bemerkbar	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
III	schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
IV	deutlich	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	stark	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
VI	leichte Gebäudeschäden	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
VII	Gebäudeschäden	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	schwere Gebäudeschäden	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d. h. Giebelteile und Dachsimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	zerstörernd	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
X	sehr zerstörernd	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
XI	verwüstend	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und -ausführung, werden zerstört.
XII	vollständig verwüstend	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

Abb. 3: Kurzform der makroseismischen Intensitätsskala EMS-98. Grau hinterlegt sind die Intensitäten, die in Rheinland-Pfalz zu erwarten sind.

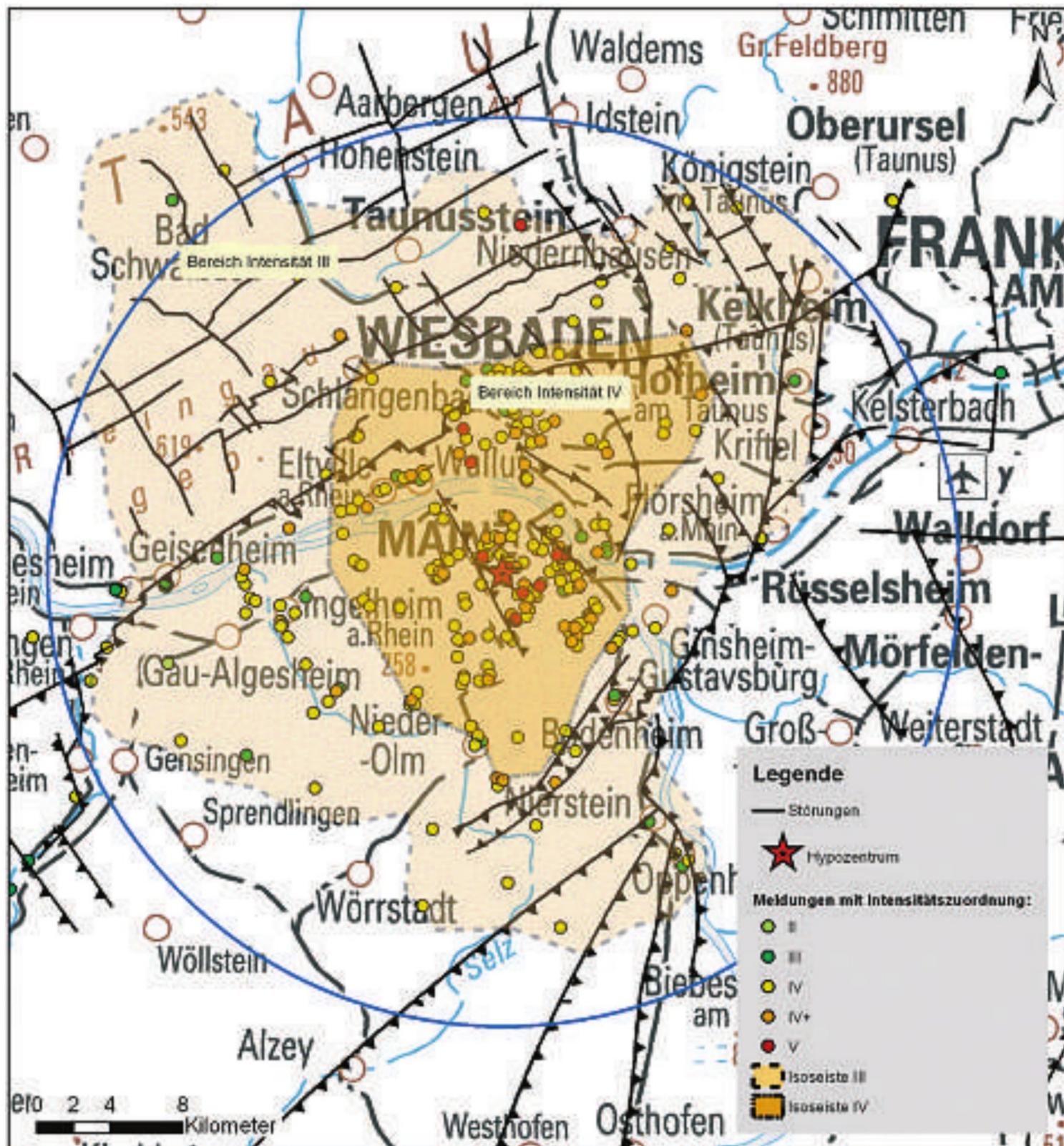


Abb. 4: Makroseismische Karte des Erdbebens in Mainz am 23. Dezember 2010 um 02:35 MESZ. Die farbigen Flächen der Abbildung geben die maximal verspürten Intensitäten in den jeweiligen Intensitätsbereichen an. Die Intensitätsangabe IV+ bezeichnet einen Zwischenwert zur nächst höheren Intensität ($IV \frac{1}{2}$ bzw. IV bis V). Das geographische Zentrum der größten Wahrnehmung entspricht in etwa dem Hypozentrum des Erdbebens, das messtechnisch mit den seismischen Stationen ermittelt wurde. Weiter zeigt die Abbildung die Nähe des Erdbebenzentrums zu einer geologischen Störung (schwarze Linien). Entlang solcher Störungen finden bei einem Erdbeben bevorzugt die Bewegungen statt, die aus dem ruckartigen Abbau vorher in der Erdkruste aufgebauter Spannungen resultieren. Die Störungen sind DOEBL et al. (1972) und der GÜK 200 CC 6310 (2001) entnommen. Der blaue Kreis um das Hypozentrum mit 25 km Radius gibt den Bereich wieder, in dem das Beben überwiegend verspürt wurde.

Intensitätsfestlegung zu kommen. Als Epizentralintensität wurde $I_0 = IV \frac{1}{2}$ (Zwischenwert zur nächst höheren Intensität) EMS festgelegt, die Magnitude war zu $ML = 3,4$ bestimmt worden.

Die Auswertung ergab weiter, dass das Beben überwiegend in einem Umkreis mit einem Radius von etwa 25 km um das Hypozentrum herum verspürt wurde. Einzelne Meldungen kamen auch aus Gießen, Trier und Koblenz – entspricht etwa 100 km Radius. Etwa 20 % der Bürgerinnen und Bürger, die sich meldeten, haben auch das Nachbeben, das etwa vier Stunden nach dem ersten Beben auftrat, gespürt.

Das Ergebnis der Fragebogenauswertung ist in der makroseismischen Karte zusammengestellt (Abb. 4). Die Karte zeigt das gesamte Schüttergebiet (= Fläche der gespürten Bebenwirkungen) mit den Isoleisten III. und IV. Grades, die jeweils Flächen gleicher oder höherer Intensität umschließen. Auffallend sind die fehlenden Beobachtungen aus dem südöstlichen Bereich der Isoleiste II. Grades (d.h. Raum Groß-Gerau). Erklärbar ist dies vielleicht damit, dass die die Intensität II definierenden Wirkungen – schwach: von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen, ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern – die dortigen Bewohner nicht veranlasste, uns ihre für sie unerheblichen Wahrnehmungen mitzuteilen. Möglich ist auch, dass die dortigen Zeitungen unseren Aufruf zur Mitteilung der Beobachtungen nicht abdruckten. Beide Gründe zusammen könnten die fehlenden Meldungen erklären.

3. Bestimmung der Herdtiefe

Auf Grundlage der in Abb. 4 dargestellten Isoleistenradien wurde versucht die makroseismische Herdtiefe nach der auf KÖVESLIGETHY aus dem Jahre 1907 zurückgehenden Methode von SPONHEUER (1960) – siehe Formel unten – zu bestimmen. Für die Intensität I_n und den entsprechenden mittleren Isoleistenradius R_n gilt der Zusammenhang

$$I_n = I_0 - 3 \log \left[\frac{1}{h(h^2 + \Delta^2)^{1/2}} \right] - 1,3 \alpha \left[\frac{(h^2 + \Delta^2)^{1/2}}{h} - \Delta \right]$$

mit $\Delta = (R_n^2 + h^2)^{1/2}$ = Herdentfernung (km), h = Herdtiefe (km) I_0 = Epizentralintensität und α = Absorptionskoeffizient (km^{-1}).

Für das Erdbeben bei Mainz ergibt sich damit eine makroseismische Herdtiefe von etwa $h = 10$ km.

Da lediglich drei Isoleistenradien bei drei Unbekannten (I_0 , α , h) zur Verfügung stehen, wurde die Epizentralintensität, die aus der makroseismischen Feldaufnahme recht gut bekannt ist, bei der Iteration fest vorgegeben und jeweils nur im hier vertretbaren Maß variiert. Für $I_0 = 4,75$ ergeben sich $h = 10 \text{ km} \pm 3 \text{ km}$ und $\alpha = 0,004/\text{km}$, beide Werte sind mit recht hohen Unsicherheiten behaftet. Mit $I_0 = 4,5$ ergeben sich $h = 10 \text{ km} \pm 1,0 \text{ km}$ und $\alpha = 0,003/\text{km}$. Die Unsicherheiten in

diesen Ergebnissen sind relativ groß. Eine theoretische Epizentralintensität von 4,75 ist lediglich als punktueller Rechenwert anzusehen, die aus Beobachtungen bestimmte Epizentralintensität von IV $\frac{1}{2}$ EMS braucht deswegen nicht korrigiert zu werden.

Als Herdtiefe ergibt sich etwa 10 km mit der Tendenz zu etwas flacheren Tiefen. Wegen der weiten Spürbarkeit bei der moderaten Epizentralintensität von IV $\frac{1}{2}$ EMS ist die so bestimmte Herdtiefe durchaus plausibel.

Die Basis des Mainzer Beckens – Schichten aus der Zeit des Rotliegend – im Epizentralbereich ist in ihrer Tiefenlage nicht bekannt. Die bisher tiefste Bohrung der Wintershall AG bei Ober-Olm hat in ca. 3 km Tiefe noch Rotliegend-Abfolgen angetroffen. Aus den instrumentellen Registrierungen dieses Erdbebens ($9 \pm 2,5$ km) liegt die Herdtiefe zwischen 6,5 km und 11,5 km. Eine genauere Angabe ist aus den mikroseismischen Beobachtungen nicht ableitbar. Damit bestätigt die makroseismisch gefundene Herdtiefe von 10 km den aus instrumentellen Beobachtungen gewonnenen Herdtiefenbereich. Die Kristallinoberkante liegt wahrscheinlich oberhalb dieses Tiefenbereichs.

Als großräumiges Störungssystem, auf dem sich dieses Erdbeben ereignete, kann das generell WNW-ESE, also herzynisch, streichende System (120° -Orientierung) angesehen werden. Das heißt, dass die Bruchstruktur auf der sich das Beben vom 23.12.2010 ereignete, nicht der Hauptorientierung (NNE-SSW) des Oberrheingrabens entspricht.

4. Parameter des Erdbebens

Für das Erdbeben am 23.12.2010 in Mainz ergeben sich somit folgende Parameter:

Datum:	23. Dezember 2010
Herzzeit:	1:35:58.16 UT (02:35:58.16 MEZ)
Epizentrum instrumentell:	49.993 N 8.224 E ± 2.5 km
Herdtiefe:	9 km $\pm 2,5$ km
Magnitude:	ML = 3.4
Epizentralintensität:	IV $\frac{1}{2}$ (EMS-1998)
Verlauf der Bruchfläche:	WNW-ESE

Dem Erdbeben folgte noch am gleichen Tag ein Nachbeben um 5:52:46.13 UT mit ML = 2,7 (LGB).

5. Zur Seismizität des nördlichen Oberrheingrabens und des Mainzer Beckens

Erdbeben im Oberrheingraben besitzen im Allgemeinen eine geringe Magnitude und Intensität – gemäß der EMS98-Scala. Durchschnittlich alle paar Monate kann ein Erdbeben der Magnitude 3 auftreten, das von Menschen in der unmittelbaren Umgebung des Epizentrums gespürt werden kann. Ungefähr alle zehn Jahre sind überregional wahrnehmbare seismische Erschütterungen mit Magnituden größer 5, die auch leichte Schäden verursachen können, zu erwarten. Die lokale Seismizität des Oberrheingrabens und die damit verbundenen seismischen Risiken sind daher auch von allgemeinem Interesse.

Im nördlichen Oberrheingraben kam es im Bereich von Groß-Gerau Ende des letzten Jahrhunderts in den Jahren 1869 bis 1871 zu einer ungewöhnlich starken Erdbebenserie mit über 2000 Erdbeben. Davon waren sechs Beben so stark – mit Schütteradien von 50 bis 150 km und Intensitäten bis VII–, dass Schäden entstanden sind und die Bewohner im Freien Zuflucht suchten. Weitere stärkere Beben mit einer Intensität von VII traten in den Jahren 858, 1733 und 1858 in Mainz sowie 1979 in Wiesbaden, 1985 in Worms und 1990 in Frankfurt am Main auf (LEYDECKER 2009). Im Zusammenhang mit dem Mainzer Erdbeben vom 23.12.2010 ist auch das nur wenige Monate zuvor aufgetretene Beben vom 29.6.2010 in Hattersheim bei Frankfurt mit einer Magnitude von 2,3 zu nennen (siehe auch Abb. 1).

6. Vergleich mit dem Erdbeben in Landau/Pfalz am 15.08.2009

Eine zum Mainzer Beben vergleichbare Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit erregte das Erdbeben in Landau/Pfalz am 15.08.2009. Obwohl beide Beben im Oberrheingraben auftraten, bestehen doch prinzipielle Unterschiede, auf die hier hingewiesen werden soll. Während das oben behandelte Mainzer Erdbeben ein tektonisches, d.h. natürliches Beben darstellt, handelt es sich bei dem Ereignis in Landau, aller Wahrscheinlichkeit nach, um ein induziertes d.h. künstliches Beben.

Für das Erdbeben am 15.08.2009 in Landau wurden folgende Parameter ermittelt (BÖNNEMANN et al. 2010):

Datum:	15. August 2009
Herdzeit:	12:10:51.92 UT (13:10:51.92 MEZ)
Epizentrum instrumentell:	49.196° N 8.124° E
Herdtiefe:	2,8 km ± 0,5 km
Magnitude:	ML = 2,7
Epizentralintensität:	V (EMS-1998)

Zeitlich vor und nach dem Beben vom 15.08.2009 ereigneten sich im Raum Landau zahlreiche weitere Beben geringerer Magnitude. Für den Zeitraum 2008 bis 2010 sind etwa zwei Dutzend Beben der Magnitude $M = \text{ca. } 1,0$ bis 2,5 dokumentiert.

Das Beben ist sehr wahrscheinlich im Zuge des Betriebs des Geothermiekraftwerks Landau entstanden (Expertengruppe 2010, BÖNNEMANN et al. 2010). Das Erdbeben ereignete sich in unmittelbarer Nähe der Bohrloch-Landepunkte des Geothermiekraftwerkes ≤ 2 km entfernt und im gleichen Tiefenbereich wie das geothermisch genutzte Reservoir.

Vergleicht man die beiden Schüttergebiete so besitzt das Schüttergebiet des Mainzer Erdbebens vom 23.12.2010 einen Radius von etwa 30 km, das Schüttergebiet des Landauer Erdbebens vom 15.8.2009 dagegen nur von ca. 5 km und ist damit erheblich kleiner (Abb. 5). Dies ist deshalb bemerkenswert, da das Landauer Beben mit einer Intensität $I_0 = V$ (EMS-1998) im Vergleich zum Mainzer Beben eine leicht höhere Intensität aufwies. Die etwas höhere Intensität aber wesentlich geringere Reichweite der Spürbarkeit des Landauer Bebens, ist vor allem in der

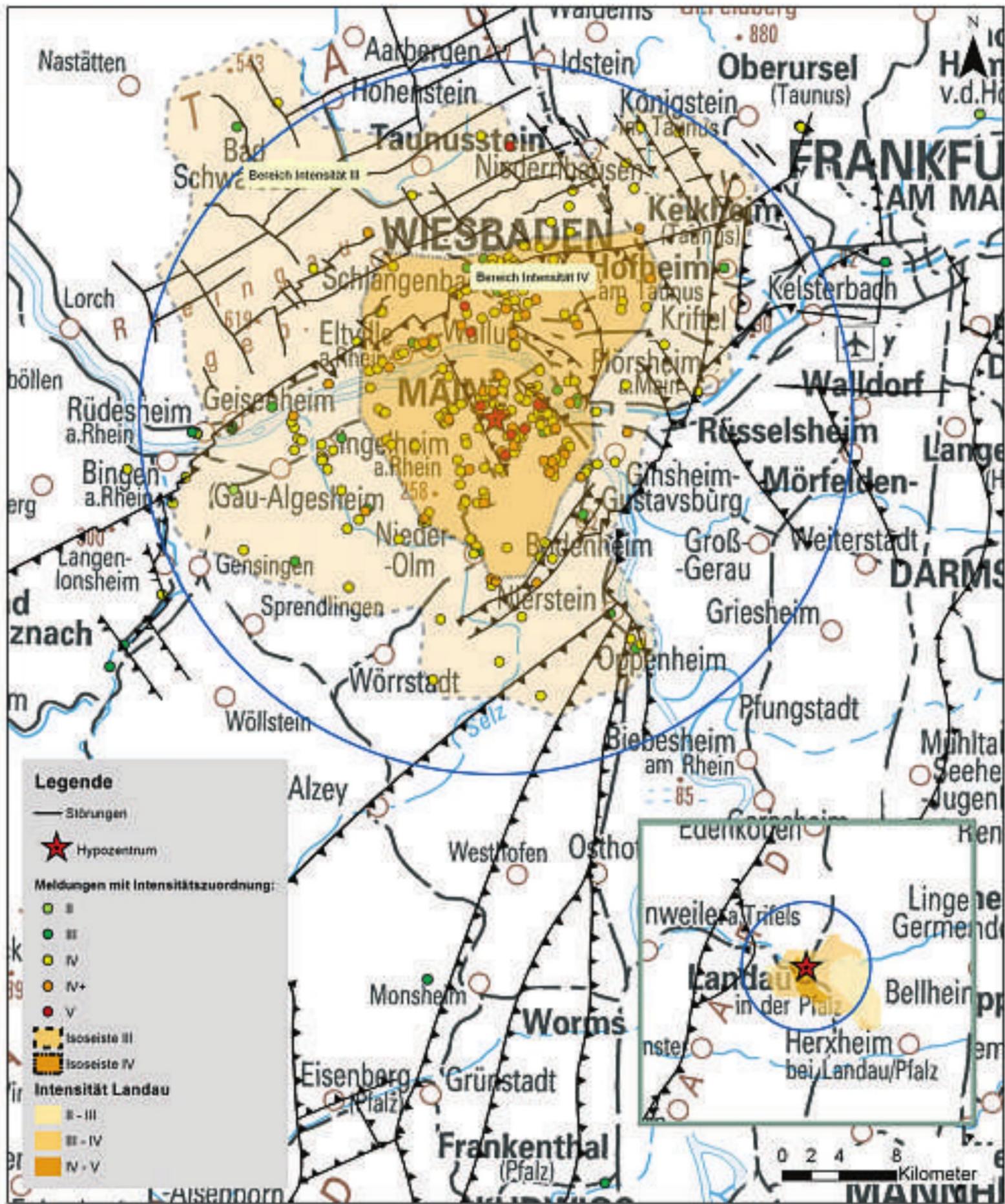


Abb. 5: Vergleich der makroseismischen Karte des Erdbebens in Mainz am 23. Dezember 2010 und des Erdbebens in Landau am 15.08.2009 (siehe kleine Karte unten rechts). Die beiden Karten weisen den gleichen Maßstab auf, so dass die sehr viel geringere Reichweite der Zonen gleicher Intensität deutlich wird. Für die makroseismische Auswertung des Bebens in Landau standen dem Landesamt (LGB) 217 Fragebögen zur Verfügung. Als Epizentralintensität wurde die Intensität $I_0 = V$ (EMS-1998) bestimmt.

sehr viel kleineren Herdtiefe des Landauer Bebens begründet. Während für das Mainzer Erdbeben das Hypozentrum bei $9 \text{ km} \pm 2,5 \text{ km}$ ermittelt wurde, ist die Tiefenlage des Landauer Beben bei $2,8 \text{ km} \pm 0,5 \text{ km}$ festgestellt worden.

Schriften

- BÖNNEMANN, C. & GESTERMANN, N. & PLENEFISCH, T. & WEGLER, U. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) & Schmidt, B. (Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz) (2011): Das seismische Ereignis bei Landau vom 15.09.2009 – Zusammenfassung des Abschlussberichtes der Expertengruppe. Poster SO P17 der 71. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft 2011, Köln.
- DOEBL, F. (& BADER, M.) & OLBRECHT, W. (1974): An Isobath Map of the Tertiary Base in the Rhinegraben (Stand: 1972). – In: Fuchs, K. & Illies, J.H.: Approaches to Taphrogenesis, International Rift Symposium held in Karlsruhe 1972. S. 71-72, (Schweizerbart) Stuttgart.
- EXPERTENGRUPPE (2010): Das seismische Ereignis vom 15.08.2009 – Abschlussbericht der Expertengruppe „Seismisches Risiko bei hydrothermalen Geothermie. 54 S., Hannover 29.10.2010. Quelle Internet Juni 2011: www.lgb-rlp.de/fileadmin/cd2009/images/content/endbericht_landau/Landau_Endbericht_101103_corr.pdf.
- GRÜNTAL, G. (1998): European Macroseismic Scale 1998 EMS-1998. – Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, 99 S., Luxembourg.
- GÜK 200 (2001): Geologische Karte 1 : 200 000 Blatt CC 6310 Frankfurt-West. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- LEYDECKER, G. (2009): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 bis 2007. Datenfile: <http://www.bgr.de/quakecat>, (BGR) Hannover. Quelle Internet Juni 2011: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Erdbeben-Gefaehrdungsanalysen/Seismologie/Seismologie/Erdbebenauswertung/Erdbebenkataloge/historische_Kataloge/BILD_germany_epic.html.
- SPONHEUER, W. (1960): Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. – Freiburger Forschungshefte, C 88, 117 S., (Akademie Verlag) Berlin.

Anschrift der Autoren:

Diplom-Geologe BERND SCHMIDT,

E-Mail: bernd.schmidt@lgb-rlp.de;

Diplom-Geologin LINA REINHEIMER,

E-Mail: lina.reinheimer@lgb-rlp.de;

Diplom-Geologe ANSGAR WEHINGER,

E-Mail: ansgar.wehinger@lgb-rlp.de;

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz,

Emy-Roeder-Straße 5, D-55129 Mainz.

Manuskript eingegangen am 20.6.2011