

Andreas Barth

Neubewertung der Intensität und Quellparameter der Erdbeben in Kandel/Südpfalz von 1880 und 1903

Die Erdbeben vom 24. Januar 1880 und 22. März 1903 sind die stärksten bekannten seismischen Ereignisse, die in der Südpfalz stattgefunden haben. Vor dem Hintergrund der erhöhten Aktivität auf dem Gebiet der tiefen Geothermie ist eine Neubewertung der historischen Beben von allgemeinem Interesse. Die Auswertung historischer Literaturquellen zeigt, dass das Erdbeben von 1880 eine Maximalintensität von $I_0=V$ (nach EMS-98) erzeugte, während das Ereignis von 1903 $I_0=VI$ aufwies. Damit wurden beide Beben in der bisherigen Literatur um einen halben bzw. einen Intensitätsgrad überbewertet, was folglich zu einer Überschätzung der Magnitude führte. Aus den deutlich unterschiedlichen Spürbarkeitsradien beider Beben (49 km bzw. 30 km) und der Neubewertung der Intensität ergibt sich für das 1880er Beben eine Magnitude von M_L 3,7 (M_W 3,3) bei einer Herdtiefe von 14 km und für das 1903er Beben M_L 3,9 (M_W 3,6) bei einem sehr flachen Hypozentrum bei 2,5 km Tiefe. Die Epizentren lagen 1880 etwa 3 km nord-nordöstlich von Kandel und 1903 in Kandel selbst.

Re-evaluation of intensity and source parameters of the earthquakes in Kandel/Southern Palatinate in 1880 and 1903: The earthquakes of 24 January 1880 and 22 March 1903 are the strongest seismic events known for the region of Southern Palatinate (Upper Rhine Graben, Germany). Regarding the increased geothermal activity the re-evaluation of the historic earthquakes is of general interest. The analysis of the historic literature reveals a maximum intensity $I_0=V$ (EMS-98) for the 1880 earthquake and $I_0=VI$ for the event of 1903. Thus, for both seismic events the maximum intensity was overestimated in recent bulletins by one half and one whole grade, respectively. As a consequence, this also led to an overestimation of the magnitudes. The remarkable difference in the radius of perceptibility of both earthquakes (49 km and 30 km, respectively) in combination with the newly assigned intensities allows to estimate the magnitude of the event in 1880 to M_L 3.7 (M_W 3.3) at a hypocentral depths of 14 km; for the 1903 event a magnitude of M_L 3.9 (M_W 3.6) results for a shallow source at 2.5 km. The epicentres were approximately 3 km N-NE of Kandel in 1880 and directly at Kandel in 1903.

Keywords: Makroseismische Intensität, macroseismic intensity, Oberrheingraben, Upper Rhine Graben, Geothermie, geothermal, EGS, Kandel, Rossi Forel, EMS 98

1 Allgemeines

Die Bewertung von Quellparametern historischer Beben stellt eine wichtige Grundlage zur Berechnung von Magnitudenhäufigkeiten dar, aus denen Erdbebengefährdungen abgeschätzt werden können, welche wiederum in Baunormen einfließen (DIN 4149). Auch für Genehmigungsverfahren für die Förderung von Erdöl/-gas und die Injektion/Entnahme von Fluiden bei tiefen Geothermieprojekten ist die Kenntnis der natürlichen Hintergrundseismizität von Bedeutung [1].

Der Oberrheingraben ist aufgrund seines erhöhten Oberflächenwärmeflusses von großem Interesse für tiefe Geothermie [2]. In der Südpfalz ist bereits ein geothermisches Kraftwerk in Betrieb (Landau) und weitere sind in Planung. Vor diesem Hintergrund steht die Neubewertung der beiden stärksten bekannten Erdbeben der Region von 1880 und 1903 nahe Kandel.

Tabelle 1. Vergleich der EMS-98 Intensitätsskala [3] mit der Rossi-Forel Skala nach Meskouris et al. [8] und Musson et al. [4], sowie der Forel'schen Skala nach Fiedler [7]

Table 1. Comparison of the EMS-98 intensity scale [3] with the Rossi-Forel scale after Meskouris et al. [8] and Musson et al. [4], as well as the Forel scale after Fiedler [7]

Skala	Intensitätsgrade					
EMS-98 [3]	III	IV	V	VI	VII	VIII
RF [8]	III, IV	(IV), V	VI	VII, VIII	VIII, IX	IX, (X)
RF [4]	III	IV	V, VI	VII	VIII	VIII
F [7]	IV	IV	IV	V, VI	VII	VIII, IX

2 Intensitätsskalen

Die makroseismische Intensität ist eine empirische Klassifikation von Schäden und anderen Merkmalen von Erdbeben und daher ein Maß für die Bodenbewegung an einem Ort. Der Ort der maximal beobachteten Intensität wird üblicherweise mit dem Epizentrum identifiziert. In Verbindung mit der räumlichen Intensitätsverteilung kann daraus die Magnitude und die Hypozentraltiefe des Bebens abgeschätzt werden. Die heute hauptsächlich verwendete Europäische Makroseismische Intensitätsskala EMS-98 [3] ist eine grundlegende Überarbeitung früherer Skalen anhand quantifizierter statistischer Beobachtungen von Auswirkungen auf die Bevölkerung, auf Gebäudestrukturen, sowie auf künstliche und natürliche Gegenstände. EMS-98 basiert auf der MSK-64 Skala (Medvedev-Sponheuer-Karnik Skala), welche wiederum aus der Mercalli-Cancani-Sieberg Skala (MCS), der Modifizierten Mercalli Skala und Arbeiten von Medvedev hervorgegangen ist. Vorangegangene Arbeiten verwenden die Mercalli-Sieberg Skala (MS), welche in weiten Teilen mit MCS übereinstimmt. Nach Musson et al. [4] entsprechen sich die Einteilungen dieser Skalen in hohem Maße. In den Originalpublikationen zu den Kandler Erdbeben 1880 und 1903 (Leutz [5], Reindl [6]) hingegen wird die Forel'sche (F) und die Rossi-Forel Skala (RF) verwendet. Die Abstufungen der Skalen sind unterschiedlich, die in dieser Arbeit relevanten Teile sind in Tabelle 1 nach Fiedler [7], Meskouris et al. [8] und Musson et al. [4] zusammengestellt.

Der ländliche Gebäudebestand Ende des 19. Jahrhunderts weist sowohl Fachwerkhäuser als auch Bauten aus bearbeitetem Stein auf und stellt eine Mischung aus den Vulnerabilitätsklassen A und B dar [3]. Da die EMS-Skala für die hier relevanten Intensitätsgrade V und VI nicht zwischen beiden Klassen unterscheidet, ist eine genauere Gebäudezuordnung nicht nötig.

3 Beobachtungen des Erdbebens vom 24. Januar 1880

Am Abend des 24. Januar 1880 fand gegen 19:40 Uhr mittlerer Ortszeit Karlsruhe (MOZ, entspricht 20:06 Uhr MEZ; Einführung MEZ für das gesamte Deutsche Reich in 1893) ein Erdbeben in der Südpfalz statt. Beobachtungen der Erschütterungen sind ausführlich im Bericht der Erdbebencommission des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Karlsruhe [9] zusammengefasst – makroseismische Intensitäten wurden nicht quantifiziert. Leutz [5] gibt in seiner Abhandlung über das Beben von 1903 für das Ereignis in 1880 eine Maximalintensität $I_{0,RF}=VI$ ($I_{0,EMS}=V$) an. Weitere Quellen liefern keine zusätzlichen Beobachtungen [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17].

Zur Neubewertung der makroseismischen Intensitäten liegen ausführliche Berichte über Erschütterungen aus mehr als 160 Orten in Baden, Württemberg und der Pfalz vor [9]. Es zeigen sich zwei Gebiete starker Erschütterung: Zum einen das Epizentralgebiet um Langenkandel (heute Kandel), zum anderen ein Gebiet um den Berg Plättig südlich von Baden-Baden im nordwestlichen Schwarzwald. In beiden Teilen war es zu „Sprüngen in den Mauern“ gekommen [9]. In Rülzheim bekamen „mehrere Häuser bedeutende Sprünge“, rund um den Plättig wird von „größeren und kleineren Rissen in mehreren Häusern“ berichtet.

Darüber hinaus sind keine Schäden verzeichnet. Für Langenkandel ist des Weiteren von „heftigem Zittern der Häuser“ und „allgemeinem Schrecken“ die Rede, sowie der Sammlung von „einer ganzen Masse Leute auf der Straße“ [9]. Zwischen Wörth und Langenkandel wurden Arbeiter durch die Erschütterungen aus dem Gleichgewicht gebracht. Diese Beobachtungen lassen auf eine die Maximalintensität $I_{0,EMS}=V$ schließen, da keine Schäden von Grad 2 (nach EMS-98) erwähnt werden und auch weitere charakteristische Auswirkungen für $I_{EMS}=VI$ wie z.B. der Verschiebung von Möbeln oder das Schwingen von Türen fehlen. Die vielen Einzelbeobachtungen in *EcKa* [9] erlauben nur teilweise eine statistische Beurteilung der Auswirkungen des Bebens, da für viele kleinere Dörfer nur eine einzige Stellungnahme angegeben ist. Ein Kriterium, das neben den Schadensmeldungen zur repräsentativen Einschätzung der Intensität verwendet werden kann, ist die Angabe, dass Menschen infolge der Erschütterungen ihre Häuser in Billigheim, Daxlanden, Eggenstein, Hördt, Leopoldshafen, Neupfotz (Neupotz), Rülzheim, Stafforth, Teutschneureuth (Neureut) und Wörth verlassen haben (siehe Bild 1). Die Angaben reichen dabei von „manche Leute“ bis „die meisten Leute“, mehrfach wird allerdings nur von „den Leuten“ gesprochen [9]. Aufgrund von offenbar fehlenden Gebäudeschäden, wird hier von $I_{EMS}=IV$ oder $I_{EMS}=V$ ausgegangen. Nur für Wörth und Billigheim wird sich verschiebendes Mobiliar erwähnt, in Neupfotz schlangen offene Türen – beides zusätzliche Kriterien für $I_{EMS}=V$. In den anderen oben genannten Orten ist nur von klirrenden Fenstern bzw. schwingenden oder verschobenen leichten Gegenständen die Rede, die auch bei $I_{EMS}=IV$ auftreten. In Bild 1 und Tabelle 2 sind die abgeschätzten Intensitäten für die Orte im Epizentralgebiet nach EMS-98 aufgelistet.

Das Gebiet gespürter Erschütterungen reichte in Ost-West Richtung von Esslingen (Neckar) bis Annweiler (Pfälzer Wald) und Nord-Süd von Bad Dürkheim (Weinstraße) bis Offenburg. Die Karte nach *EcKa* [9] zeigt ein zusammenhängendes Gebiet von etwa 7500 km², in welchem das Beben gespürt wurde. Dies entspricht einem mittleren Spürbarkeitsradius R_S von 49 km.

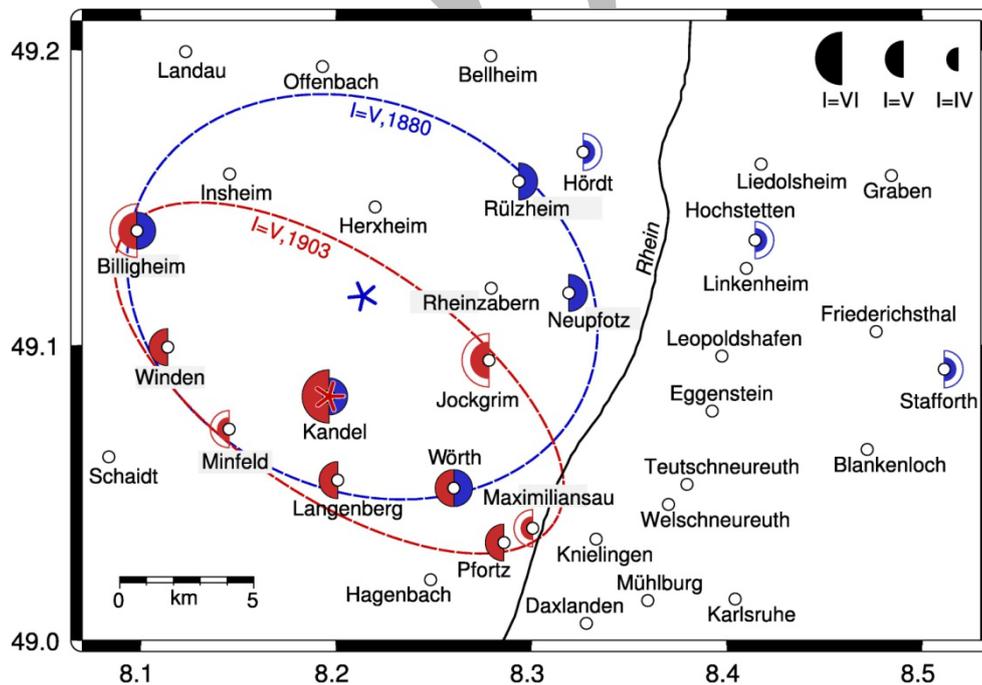


Bild 1. Verteilung der makroseismischen Intensitäten (EMS-98) der Kandel Beben am 24.01.1880 (blau) und 23.03.1903 (rot) im Epizentralgebiet. Dargestellt sind Intensitäten $I_{EMS} \geq V$ entsprechend Tabelle 2. Sterne markieren die abgeschätzten Epizentren.

Fig 1. Distribution of macroseismic intensities (EMS-98) of the Kandel earthquakes on 24/01/1880 (blue) and 23/03/1903 (red) in the epicentral region. Plotted intensities: $I_{EMS} \geq V$ according to Table 2. Stars show the estimated epicentre location.

Tabelle 2. Makroseismische Intensitäten $I_{EMS} \geq V$ der Kandeler Erdbeben am 24.01.1880 und 23.03.1903 im Epizentralgebiet
(„-“: keine Beobachtungen in den Originalquellen)

Table 2. Macro seismic intensities $I_{EMS} \geq V$ of the Kandel earthquakes on 24/01/1880 and 23/03/1903 in the epicentral region
(“-“: no observations reported)

Ort	Intensität (EMS)	
	1880	1903
Kandel	V	VI
Jockgrim	-	V-VI
Billigheim	V	V-VI
Wörth	V	V
Winden	-	V
Langenberg	-	V
Pfortz	$\geq III$	V
Minfeld	$\geq IV$	IV-V
Maximiliansau	$\geq IV$	IV-V
Neupfotz	V	IV
Hördt	IV-V	IV
Rülzheim	V	-
Stafforth	IV-V	-
Hochstetten	IV-V	-

Neben einem schwachem Vorbeben gegen 19:00 Uhr MOZ Ka wurde aus Kandel von einigen Nachbarn am folgenden Tag (0:00, 3:30-3:45, 22:00-23:00 Uhr MOZ Ka) berichtet [9]. Zwei weitere Beben mit geringeren Intensitäten fanden in der Region am 28.09.1887 (Karlsruhe, Rastatt) und am 12.08.1893 (Wissembourg) statt [18].

4 Beobachtungen des Erdbebens vom 22. März 1903

Das Erdbeben vom 22. März 1903 wird in zwei Quellen beschrieben. In den Veröffentlichungen der Erdbebencommission des Naturwissenschaftlichen Vereins in Karlsruhe veröffentlichte *Leutz* [5] die Auswertung von Fragekarten unter Hinzunahme von persönlichen Befragungen vor Ort. *Reindl* [6] wertete Zeitungsberichte, an Forstämter versandte Fragebögen und persönliche Mitteilungen aus. Beide Arbeiten zitieren einander (*Reindl* [6] verwendet die Befragungsergebnisse von *Leutz* [5]) und sind somit nicht als vollständig unabhängig von einander anzusehen.

4.1 Vorbeben

Im Vorfeld des Bebens vom 22. März 1903 ereignete sich bereits Ende Januar/Anfang Februar des Jahres eine Serie von seismischen Ereignissen im Raum Kandel. *Leutz* [5] berichtet über Erschütterungen in Kandel vom 23.01.-01.02. *Reindl* [6] erwähnt daran anschließend vier bis fünf Erschütterungen in Minfeld, Winden und Kandel Anfang Februar. *Fiedler* [18] zählt 11 Ereignisse mit Maximalintensitäten bis $I_{0,MCS}=V$. Am Vortag des Hauptbebens kam es in Landau um 4:11 Uhr [5] und in Kandel um 7:45 Uhr ([5], [6]) zu Erschütterungen (alle Zeitangaben in MEZ). *Reindl* [6] erwähnt darüber hinaus in verschiedenen Orten im Umkreis von Kandel gespürte Ereignisse am 21.03. um 8:00 Uhr und am 22.03. um 1:00, 2:03, 3:00, 4:00, 5:15 und 5:50 Uhr.

4.2 Hauptbeben

Das Hauptbeben vom 22. März 1903 fand in den frühen Morgenstunden gegen 6:05 Uhr MEZ statt. *Leutz* [5] schätzte die Maximalintensität nach Rossi-Forel (RF) mit $I_{0,RF}=VIII$ ab, *Reindl* [6] mit $I_{0,F}=VII$ auf der Forel'schen Skala (F). Dies entspräche $I_0=VII$ auf der MCS bzw. EMS-98 Intensitätsskala (vergl. Tab. 1).

Im Folgenden soll eine Neueinschätzung der Intensitäten anhand der Berichte in den Originalquellen *Leutz* [5] und *Reindl* [6] gegeben werden. Für das Haupteerschütterungsgebiet in Kandel werden von *Leutz* [5] und *Reindl* [6] der Einsturz von Kaminen berichtet. Während *Leutz* [5] vier vollständige Einstürze und den Absturz mehrerer Kaminsteine erwähnt, finden sich bei *Reindl* [6] der „Einsturz einer großen Anzahl von Schornsteinen“ (Zitat aus den Münchner Neuesten Nachrichten). Diese Pressemeldung stimmt nicht mit den Befragungen vor Ort von *Leutz* [5] überein und wird von diesem nicht übernommen. Speziell die Menge der Kamineinstürze scheint zu hoch angegeben zu sein (mitunter ist hier das Herabfallen einzelner Steine als Einsturz interpretiert worden). Das Abfallen von Verputz wird von beiden Quellen übereinstimmend für viele Häuser beschrieben. Nach EMS-98 entspricht dies für wenige Gebäude einem Schadensgrad (SG) 2 und für viele Gebäude SG 1. *Leutz* [5] zufolge wurde durch das Ereignis die gesamte Einwohnerschaft verängstigt. Der Hinweis auf „das Lärmen der Tiere“ lässt eine größere Zahl beunruhigter Hoftiere vermuten. Nach EMS-98 werden diese Gebäudeschäden in Verbindung mit der weitgehenden Beunruhigung von Mensch und Tier mit einer Intensität von $I_{0,EMS}=VI$ identifiziert. Eine Intensität von $I_{0,EMS}=VII$ würde konservativ betrachtet wenigstens einige SG 3 für stabilere Gebäude (Vulnerabilitätsklasse B: „Große Risse in den meisten Häusern, Einsturz nicht-struktureller Zwischenwände“) bedeuten. Da von derartigen Schäden nicht berichtet wurde, ist eine Maximalintensität $I_{0,EMS}=VII$ unwahrscheinlich (siehe Kap. 7).

In Wörth, Maximiliansau und Pfortz (letztere beiden heute zusammengeschlossen zu Maximiliansau) wurden viele Menschen aufgeschreckt bzw. geweckt [5]. In Wörth liefen viele Personen ins Freie [5]. Von Gebäudeschäden wird in Wörth (Sprünge in einer Hausmauer, SG 1), Pfortz (ein Kamineinsturz am Nachmittag bei einem Nachbeben, ggf. begünstigt durch die Erschütterung am Morgen), Jockgrim (Einsturz zweier Kamine, SG 2) und Winden (Sprünge im Wasserturm und in Brückensteinen südl. des Ortes, SG 1) berichtet [5]. Die Angaben in *Reindl* [6] sind weniger detailliert, geben aber für Pfortz und Billigheim zusätzlich mehrere Kamineinstürze (SG 2) an und für das Forsthaus Langenberg (3 km südl. von Kandel) Risse in der Hauswand (SG 1). Zu beachten ist, dass die genannten Orte um einen Faktor zwei bis drei kleinere Einwohnerzahlen und damit auch Gebäudezahlen aufweisen als Kandel (3440 Einwohner, ausgenommen Winden: 530 Einwohner [19]). Während in Jockgrim und Billigheim für wenige Gebäude SG 2 berichtet wird, fehlen weitere Angaben zu kleineren Schäden oder zur Beunruhigung der Bevölkerung, so dass $I_{EMS}=V$ anzunehmen ist, aber auch $I_{EMS}=VI$ nicht ausgeschlossen werden kann. In den anderen oben erwähnten Nachbarorten von Kandel sind an einigen Gebäuden SG 1 in Verbindung mit einer beunruhigten Anwohnerschaft aufgetreten (in Wörth stürzten viele Menschen aus ihren Häusern) und die ursprüngliche Intensitätsabschätzung mit $I_{RF}=VI/I_F=VI$ liegt unterhalb der von Kandel ($I_{0,F}=VII/I_{0,RF}=VIII$). Daher kann für die Orte Wörth, Pfortz, Langenberg und Winden eine Intensität von $I_{EMS}=V$ angenommen werden (vergl. Bild 1, Tab. 2). Darüber hinaus kann $I_{EMS}=V$ nicht ausgeschlossen werden für Maximiliansau („viele Personen geweckt“, $I_{RF}=VII$ [5]) und Minfeld (*Leutz* [5] und *Reindl* [6] geben $I_{RF}=VI$ bzw. $I_F=VI$ an – wie Wörth). Da keine weiteren konkreten Berichte gegeben sind, können darunter liegende Intensitäten nur anhand der Intensitätsabschätzung in den Originalquellen angenommen werden. *Reindl* [6] zählt 38 Orte mit $I_F=VI$ („Auftreten von Mauerrissen“), während *Leutz* [5] die dem entsprechende Intensität $I_{RF}=VII$ nicht vergibt. Minfeld, Wörth, Pfortz und Winden erhalten $I_{RF}=VI$ [5]. Da in *Reindl* [6] keine detaillierten Beobachtungen für diese ungewöhnlich große Anzahl von Orten gegeben werden, wird hier den Angaben von *Leutz* [5] gefolgt.

Das Gebiet der Spürbarkeit wird von *Reindl* [6] und *Leutz* [5] in seiner westlichen, östlichen und südlichen Maximalausdehnung weitgehend übereinstimmend angegeben. Das Gebiet reichte von Karlsruhe-Durlach und Philippsburg im Osten bis wenige Kilometer östlich von Dahn (Pfälzer Wald) im Westen. Die südliche Begrenzung liegt auf Höhe Rastatt bei Beinheim. Das nördliche Spürbarkeitsgebiet ist bei *Reindl* [6] etwas größer als bei *Leutz* [5] angegeben. Bei *Reindl* [6] erstreckt es sich im Norden bis Neustadt an der Weinstraße und Trippstadt 25 km weiter westlich (nördl. Pfälzer Wald). *Leutz* [5] gibt an, dass nördlich einer Linie von Philippsburg bis Anweiler (~15 km südlich von obiger Begrenzung) keine Erschütterungen wahrgenommen wurden. Das maximale Gebiet der Spürbarkeit umfasst nach der in *Reindl* [6] dargestellten Karte etwa 2800 km², was einem mittleren Spürbarkeitsradius R_S von 30 km entspricht.

4.3 Nachbeben

Das stärkste Nachbeben folgte um 13:56 Uhr desselben Tages und führte in Pfortz zu Gebäudeschäden und einem Kamineinsturz und wurde auch in Kandel gespürt [5]. In Welsch- und Teutschneureut wurde es mit einer ähnlichen Stärke wie das Hauptbeben beobachtet. Weitere Beben folgten gegen 16:00, 18:30 Uhr, am 23.03. (1:00 Uhr), 26.03. (10:00 Uhr) und am 27.03. Nach einer längeren Ruhephase wurden in Kandel wieder im Juni, in der Nacht vom 18. auf den 19.07. (in Wörth) und am 22. Juli 1903 (19:30 Uhr, in Kandel, Wörth, Jockgrim, Pfortz) Erschütterungen verspürt [5].

Fiedler [18] listet acht Nachbeben in den folgenden fünf Tagen auf (bis $I_{0,MCS}=III-IV$). Am 21./22. Juli 1903 kam es östlich bzw. südöstlich von Kandel zu zwei Ereignissen $I_{0,MCS}=IV$ und $I_{0,MCS}=IV-V$. Ein Jahr später ereignete sich am 05.03.1904 ein Beben $I_{0,MCS}=IV-V$ südlich von Kandel [18]. Weitere Ereignisse im Raum Kandel sind am 31.08.1904 [20] und 29.11.1904 [18] angegeben.

5 Seismische Neubewertung

5.1 Vergleich der Beben von 1880 und 1903

Die beiden Erdbeben unterscheiden sich stark in ihrer makroseismischen Ausprägung. Während das Ereignis von 1880 in deutlich größeren Entfernungen als das 1903 Beben gespürt wurde, weist es eine geringere Maximalintensität auf. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass das 1880er Erdbeben in einer größeren Tiefe stattgefunden haben muss als das Ereignis 23 Jahre später. Um diese Beobachtung in die Bestimmung von Lokalmagnitude M_L und Hypozentraltiefe h einfließen zu lassen wird hier eine empirische Beziehung nach *Rudloff* und *Leydecker* [21] verwendet, die sowohl den Spürbarkeitsradius (R_S in km) als auch die Maximalintensität I_0 berücksichtigt:

$$M_L = 0,437 + 0,38 \cdot I_0 + 0,789 \cdot \log_{10}(R_S), \quad (\text{Standardabweichung } \sigma=0,38). \quad (1)$$

Die Herdtiefe h (in km) ergibt sich nach *Rudloff* und *Leydecker* [21] aus:

$$h = 10^{(M_L+0,154-0,636 \cdot I_0)/0,555}. \quad (2)$$

Diese Formeln beruhen auf einem Datensatz aus 246 Erdbeben in Deutschland zwischen 1900 und 1995 mit Intensitäten $I_{0,MSK} \geq IV$ und geben somit einen Durchschnittswert für Gebiete mit Sedimentauflage (soft rock) und anstehendem Grundgebirge (hard rock) an. Die verwendeten Intensitäten sind in der MSK-Skala gegeben – der Unterschied zur EMS-Skala ist nach *Musson* et al. [4] zu vernachlässigen. Aufgrund des aktuelleren Datensatzes und der Beschränkung auf Beben in Deutschland, welche auch flache Beben einschließen, wurde dieser Relation der Vorrang vor anderen Ableitungen nach *Sponheuer* [22], *Ahorner* [23] oder *Grünthal* et al. [24] gegeben.

Tabelle 3. Herdparameter der Kandler Erdbeben

Table 3. Source parameters of the Kandel earthquakes

Datum	Uhrzeit/MEZ	$I_{0,EMS}$	M_L	M_W	h/km	Lat.	Long.
24.01.1880	20:06	V	3,7	3,3	14	49,12°N	8,21°E
22.03.1903	06:05	VI	3,9	3,6	2,5	49,08°N	8,20°E

5.2 Das Kandler Erdbeben von 1880

Die Bewertung der vorliegenden historischen Beobachtungen nach *EcKa* [9] in dieser Arbeit ergibt für das Beben vom 24. Januar 1880 eine makroseismische Maximalintensität $I_{0,EMS}=V$ und einen mittleren Spürbarkeitsradius R_S von 49 km. Nach Formel 1 und 2 ergibt sich somit eine Lokalmagnitude von M_L 3,7 und eine Hypozentraltiefe von $h=14$ km. Daraus berechnet sich die Momentenmagnitude nach *Grünthal* et al. [24] zu M_W 3,3. Die Standardabweichung der abgeschätzten Magnitude beträgt $\sigma=0,4$. Eine Abschätzung der Standardabweichung der Hypozentraltiefe ist schwierig, ist aber im Allgemeinen kleiner als die Tiefe selbst [25]. Die Lage des Epizentrums wird entsprechend dem Zentrum der Ellipse, welche das Gebiet der Maximalintensität beschreibt (Bild 1), drei Kilometer nord-nordöstlich von Kandel angenommen (49,12°N/8,21°E). Eine Übersicht der Herdparameter ist in Tabelle 3 gegeben.

5.3 Das Kandler Erdbeben von 1903

Für das Beben vom 22. März 1903 ergibt die Analyse der historischen Quellen eine Maximalintensität $I_{0,EMS}=VI$. Nach den Beobachtungen von *Leutz* [5] umfasst das Gebiet, in welchem das Ereignis gespürt wurde, etwa 2000 km². Das in *Reindl* [6] dargestellte ellipsenförmige Gebiet ist mit 2800 km² etwas größer. Dies entspricht einem mittleren Spürbarkeitsradius von etwa 30 km. Mit Formel 1 und 2 folgt daraus M_L 3,9 ($\sigma=0,4$) und $h=2,5$ km für das Beben im Jahr 1903 (M_W 3,6). Aufgrund der nur in Kandel festgestellten Maximalintensität $I_{0,EMS}=VI$ ist das Hypozentrum unterhalb von Kandel anzunehmen (49,08°N/8,20°E, Tab. 3).

6 Diskussion

Die Neubewertung der beiden Kandler Erdbeben zeigt, dass beide Ereignisse in der Vergangenheit überbewertet wurden.

Im Falle des Bebens vom 24. Januar 1880 ist gezeigt worden, dass die makroseismische Maximalintensität $I_{0,EMS}=V$ beträgt. Übereinstimmend gibt *Leutz* [5] $I_{0,RF}=VI$ an (vergl. Tab. 1). Aktuelle Kataloge geben auf verschiedenen Skalen eine Maximalintensität $I_0=V-VI$ an [24], [26], [27]. Über frühere Kataloge ([28], [29]) geht diese Einschätzung auf die Arbeit von *Fiedler* [18] zurück, der anhand von *EcKa* [9] die Maximalintensität mit $I_{0,MCS}=V-VI$ bewertete. Diese Überbewertung resultiert aus der Bestimmung der vorherrschenden Schadensklasse anhand einzelner herausragender Schäden. Während die EMS-Skala explizit Angaben über die Häufigkeit auftretender Schäden und Beobachtungen enthält („wenige“, „viele“, „die meisten“) ist dies in früheren Skalen allgemein nicht der Fall, was zum Heranziehen von Einzelfällen als durchschnittliches Maximum und so zu einer Überbewertung führen kann. Dies setzt sich in der Überbewertung der Magnitude bei *Grünthal* et al. [24] und *Schwarz* et al. [27] fort, wo das Ereignis mit M_W 3,8 bzw. M_W 3,9 aufgeführt ist. Die Transformation nach *Rudloff* und *Leydecker* [21] ergibt in dieser Arbeit eine Magnitude M_L 3,7±0,4, was zufolge der M_W - M_L Umrechnung nach *Grünthal* et al. [24] M_W 3,3 entspricht. Die Herdtiefe ist in dieser Arbeit zu $h=14$ km berechnet worden – abweichend von einem Wert $h=8-9$ km, welcher in der Literatur zu finden ist und auf *Schneider* [29] und *Sponheuer* [28] zurückgeht. *Fiedler* [18] bestimmte aus den historischen Angaben ein Epizentrum 5-6 km nördlich von Kandel (49,13°N/8,2°E, Bild 1). Diese Koordinaten wurden in der neueren Literatur übernommen ([24], [26], [27]) und weichen von den Ergebnissen dieser Arbeit um nur etwa 1 km ab.

Für das Erdbeben vom 22. März 1903 sind die Auswirkungen der seismischen Neubewertung gravierenden. Hier steht der Maximalintensität $I_0=VII$, die in der neueren Literatur erscheint ([24], [26], [27]), eine Neubewertung von $I_{0,EMS}=VI$ gegenüber. Diese Überbewertung von einem Intensitätsgrad hat in der Literatur zu einer Überschätzung der Magnitude geführt, die in *Grünthal* et al. [24] mit $M_W 4,7$ um mehr als eine Magnitude gegenüber $M_L 3,9\pm 0,4$ ($M_W 3,6$) in dieser Arbeit abweicht (*Schwarz* et al. [27]: $M_W 4,2$). Wiederum gehen die Einschätzungen auf *Fiedler* [18] zurück, der als Quelle die Arbeiten von *Reindl* [6], [13] angab und die Maximalintensität mit $I_{0,MCS}=VII$ bewertete, was $I_{0,F}=VII$ in *Reindl* [6] entspricht (vergl. Tab. 1). Die Überbewertung der Intensität ist demnach bereits in *Fiedler* [18], aber auch der Originalquelle [6] (ebenso [5]: $I_{0,RF}=VIII$) zu sehen. $I_F=VII$ wird mit „Gebäude werden schon in ernstlicher Weise beschädigt und Kamine stürzen ein“ beschrieben, „Risse in Wänden und Decken“ treten bereits bei $I_F=VI$ ein [6]. $I_{RF}=VIII$ wird umschrieben mit „Herabstürzen von Kaminen, Risse in Mauern von Gebäuden“ [5]. Die von *Fiedler* verwendete MCS-Skala quantifiziert diese Erscheinungen für $I_{MCS}=VII$: „Leichte Risse in Mauern, Abbröckeln größerer Partien des Bewurfs (Putz) an zahlreichen Häusern, allgemeines Heruntergleiten von Dachpfannen, viele beschädigte Schornsteine und Abbrechen schadhafter Schornsteine“ [30]. Zwar wird in Kandel 1903 von Rissen und Sprüngen in Zimmerdecken berichtet und auch das Einstürzen von Kaminen ist in einigen Fällen eingetreten, allerdings repräsentieren diese Schäden nicht die Mehrzahl der Gebäude und damit nicht eine Intensität VII nach MCS. Zusätzlich verweist *Musson* et al. [4] auf die Erfahrung, dass trotz der allgemeinen Übereinstimmung der MCS- und der EMS-Skala die Einschätzung von I_{MCS} oftmals größer als I_{EMS} ist.

Die in dieser Arbeit berechnete Herdtiefe von 2,5 km stimmt mit dem in der Literatur gegebenen Wert von 2 km nahezu überein. Der Bebenherd ist leicht abweichend vom Literaturwert 2 km weiter westlich direkt unter Kandel lokalisiert (Bild 1). Damit liegt das Hypozentrum mit hoher Wahrscheinlichkeit im Tiefenbereich der permischen und mesozoischen Sedimentgesteine, die hier eine Mächtigkeit von 3-4 km aufweisen [31]. Die tertiäre Grabenfüllung reicht bis etwa 2 km [32], während die quartären Sedimente bis zu 30 m Mächtigkeit erreichen [33]. Das gesamte Grabengebiet ist somit der Untergrundklasse S zugeordnet („tiefes Sedimentbecken“, nach DIN 4149, siehe [34]). Die jeweiligen Sedimentschichten nehmen von der Grabenmitte nach Westen an Mächtigkeit ab. Da die Nordwest-Südost elongierte Form der Isoseiste $I_0=V$ (Bild 1) und auch des Spürbarkeitsgebiets des Erdbebens nicht mit der Verteilung der Sedimentmächtigkeiten korrelieren, ist die Intensitätsverteilung vermutlich der Bruchdynamik zuzuschreiben (z.B. [35]). Allerdings lassen fehlende Informationen aus Orten nördlich und südlich des Haupterschütterungsgebiets diese Elongation nicht sicher genug belegen, um eine belastbare Aussage zum Bruchmechanismus zu treffen.

Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Friedemann Wenzel für anregende Diskussionen und die Durchsicht des Manuskripts, sowie Dr. Günther Leydecker für detaillierte Auskünfte zu den historischen Quellen. Die Abbildung wurde mit GMT [36] erstellt.

Literatur

- [1] *Majer, E. L., Baria, R., Stark, M., Oates, S., Bommer, J., Smith, B., Asanuma, H.*: Induced seismicity associated with Enhanced Geothermal Systems. *Geothermics* 36 (2007), 185–222.
- [2] *Paschen, H., Oertel, D., Grünwald, R.*: Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland, Sachstandsbericht. Arbeitsbericht Nr. 84. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), 2003.
- [3] *Grünthal, G.*: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* 15 (1998). Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie,

Luxembourg, 99ff.

- [4] *Musson, R. M. W., Grünthal G., Stucchi, M.*: The comparison of macroseismic intensity scales. *J. Seismol.* 14 (2010), 413–428.
- [5] *Leutz, H.*: Die süddeutschen Erdbeben im Frühjahr 1903. *Verh. d. naturw. Vereins in Karlsruhe*, 18. Band (1905), 205–225.
- [6] *Reindl, J.*: Das Erdbeben am 5. und 6. März 1903 im Erz- und Fichtelgebirge mit Böhmerwald und das Erdbeben am 22. März 1903 in der Rheinpfalz. *Bayer. Geogn. Jahreshfte* 16 (1903).
- [7] *Fiedler, G.*: Die Erdbebentätigkeit in Südwestdeutschland in den Jahren 1880-1950. Diplomarbeit, Technische Hochschule Stuttgart 1953.
- [8] *Meskouris, K., Hinzen, K. G., Butenweg, C.*: *Bauwerke und Erdbeben: Grundlagen – Anwendung – Beispiele*. Wiesbaden: Vieweg Verlag 2007.
- [9] *Erdbebencommission des naturwissenschaftlichen Vereins zu Karlsruhe*: Das rheinisch-schwäbische Erdbeben vom 24. Januar 1880. Sonderdruck aus *Verhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins zu Karlsruhe*, Jahrgang 1880, Band 8 (1881), 197–264.
- [10] *von Gümbel, C. W.*: Über die in den letzten Jahren in Bayern wahrgenommenen Erdbeben. Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Classe der königlich bayerischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1898, Band XXVIII (1899), 3–18.
- [11] *Langenbeck, R.*: Die Erdbebenercheinungen in der oberrheinischen Tiefebene und ihrer Umgebung. *Geographische Abhandlungen aus den Reichslanden Elsass-Lothringen* 1 (1892), 1–120.
- [12] *Langenbeck, R.*: Die Erdbebenercheinungen in der oberrheinischen Tiefebene und ihrer Umgebung (Fortsetzung). *Geographische Abhandlungen aus den Reichslanden Elsass-Lothringen* 2 (1895), 361–382.
- [13] *Reindl, J.*: Zu v. Gümbels Erdbebenkatalog. Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Classe der königlich bayerischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1905, Band XXXV (1905), 59–62.
- [14] *Eck, H.*: Bemerkungen über das „rheinisch-schwäbische“ Erdbeben vom 24. Januar 1880. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 38 (1886), 150–161.
- [15] *Eck, H.*: Übersicht über die in Württemberg und Hohenzollern in der Zeit vom 1. Januar 1867 bis zum 28. Februar 1887 wahrgenommenen Erdschütterungen. *Jahreshfte des Vereins für vaterländische Naturkunde*, 43. Jahrgang (1887).
- [16] *Eck, H.*: Verzeichnis der mineralogischen, geognostischen, urgeschichtlichen und balneographischen Literatur von Baden, Württemberg, Hohenzollern und anderen angrenzenden Gegenden. *Mitteilungen der großherzoglich badischen geologischen Landesanstalt* 1 (1890).
- [17] *Häberle, D.*: Pfälzische Bibliographie I. Sonderabdruck aus: *Mitteilungen der Pollichia*, eines naturwissenschaftlichen Vereins der Rheinpfalz, 23, 64. Jahrgang. Heidelberg: Ernst Carlenbach Verlag 1908.
- [18] *Fiedler, G.*: Die Erdbebentätigkeit in Südwestdeutschland in den Jahren 1800-1950. Dissertation, Technische Hochschule Stuttgart 1954.
- [19] *Gilardone, F.*: *Beamtenverzeichnis und Statistik des königl. bayerischen Regierungsbezirks der Pfalz*. Speyer: Daniel Kranzbühler'sche Verlagsdruckerei 1870.
- [20] *Rothé, J.-P., Schneider, G.*: *Catalogue des Tremblement de Terre du Fossé Rhéna*n (1021-1965).

- Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Landeserdbebendienst Baden-Württemberg, Stuttgart, 1968.
- [21] *Rudloff, A., Leydecker, G.*: Ableitung von empirischen Beziehungen zwischen der Lokalbebenmagnitude und makroseismischen Parametern, Ergebnisbericht, BGR, Hannover, 2002.
- [22] *Sponheuer, W.*: Untersuchungen zur Seismizität von Deutschland, Veröff. Inst. Bodendynamik und Erdbebenforschung Jena 72 (1962), 23–52.
- [23] *Ahorer, L.*: Seismicity and neotectonic structural activity of the Rhine Graben System in Central Europe. In: A. R. Ritsema und A. Gürpınar (eds) Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea area. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company 1983, 101–111.
- [24] *Grünthal, G., Wahlström, R., Stromeyer, D.*: The unified catalogue of earthquakes in central, northern, and northwestern Europe (CENEC)-updated and expanded to the last millennium. *J. Seismol.* 13 (2009), 517–541.
- [25] *Stromeyer, D., Grünthal, G., Wahlström, R.*: Chi-square regression for seismic strength parameter relations, and their uncertainties, with applications to an Mw based earthquake catalogue for central, northern and northwestern Europe. *J. Seismol.* 8 (2004), 143–153.
- [26] *Leydecker, G.*: Erdbebenkatalog für Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 bis 2008. *Geol. Jahrb. Reihe E, E59.* Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung 2011.
- [27] *Schwarz, J., Beinertsdorf, S., Meidow, H., Ahorer, L.*: Magnitudenorientierter Erdbebenkatalog für deutsche und angrenzende Gebiete. EK DAG – erweiterter Ahorer-Katalog. Version 1.0 (März 2010). <http://www.edac.biz/erdbebenkatalog.html>, 2010.
- [28] *Sponheuer, W.*: Die Tiefen der Erdbebenherde in Deutschland aufgrund makroseismischer Berechnungen. *Ann. Geofis.* 11 (1958), 157–167.
- [29] *Schneider, G.*: Erdbebenkatalog SW-Deutschlands 1800-1965. Manuskript, 1977.
- [30] *Sieberg, A.*: Erdbeben. In: B. Gutenberg (ed) *Handbuch der Geophysik* 4 (1932), 552ff.
- [31] *Ziegler, P. A.*: *Geological atlas of Western and Central Europe*, 2nd ed. Shell, 1990, 239ff, 56 enclosures.
- [32] *Doehl, F., Olbrecht, W.*: An isobath map of the Tertiary base in the Rhinegraben. In: Illies, J.H. & Fuchs, K. (eds) *Approaches to Taphrogenesis*. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung 1974, 71–72 & 1 map.
- [33] *Bartz, J.*: Quartär und Jungtertiär II im Oberrheingraben im Großraum Karlsruhe. *Geol. Jb. A63* (1982), 237.
- [34] *Brüstle, W., Schmücking, B., Witzel, M.*: Zuordnung von Verwaltungsgebieten zu den Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen der Neufassung von DIN 4149 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“. Erdbebenzonen und Geologische Untergrundklassen. Gemarkungen in Rheinland-Pfalz CD-ROM. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2005.
- [35] *Sirovich, L.*: A simple algorithm for tracing synthetic isoseismals. *Bull. Seis. Soc. Am.* 86 (1996), 4, 1019–1027.
- [36] *Wessel, P., Smith, W. H. F.*: New, improved version of Generic Mapping Tools released, *Eos Trans. AGU* 79 (1998), 579.

Autor:

Dr. rer. nat. Dipl. Geophys. Andreas Barth

Karlsruher Institut für Technologie

Geophysikalisches Institut

Hertzstr. 16

76187 Karlsruhe

Email: a.barth@kit.edu

preprint