

Status der Erdbebenüberwachung für Mecklenburg-Vorpommern

Bericht zur Kooperation 2021

Dr. Christian Weidle , Dipl.-Ing. Detlef Schulte-Kortnack, Prof. Dr. Thomas Meier
*Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,
Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel*

Dr. Karsten Obst
*Geologischer Dienst MV, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie,
Goldberger Straße 12b, 18273 Güstrow*

Beiträge zur seismologischen Überwachung in Norddeutschland

Nº 06, 2022

Weidle, C. et al.: Status der Erdbebenüberwachung für Mecklenburg-Vorpommern:
Bericht zur Kooperation 2021.

ISSN 3052-7236

DOI 10.38071/2025-00972-5

Herausgegeben von

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Veröffentlicht am 1. Juni 2022,

... online am 11. August 2025



Dieses Dokument ist unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Status Stationsnetz 2021 | 3 |
| 2.1 | Permanent-Stationen | 3 |
| 2.1.1 | Seismologische Station in Marlow | 3 |
| 2.1.2 | Seismologische Station in Peenemünde | 7 |
| 3 | Status Datenzentrum - Erfassung und Auswertung seismologischer Daten | 10 |
| 4 | Ereignisübersicht 2021 | 14 |
| 4.1 | Überregionale Seismizität | 14 |
| 4.2 | Seismische Ereignisse in M-V | 14 |
| 4.3 | Spengungsereignisse vor Rügen | 18 |
| 4.4 | Andere relevante Ereignisse | 19 |
| 5 | Das Spannungsfeld in Norddeutschland | 23 |
| 6 | Zusammenfassung | 25 |
| | Literatur | 27 |
| A | Ereigniskatalog für 2021 | 28 |
| B | Abbildungsverzeichnis | 35 |
| C | Tabellenverzeichnis | 36 |

1 Einleitung

Die Erfassung und Bewertung seismischer Ereignisse im Rahmen der Beurteilung von Geogefahren fällt auf Landesebene dem LUNG M-V als zuständiger Fachbehörde zu. Dies schliesst in M-V insbesondere die Bewertung aktiver Störungszonen, u.a. zur Beurteilung der Standortsicherheit kerntechnischer Anlagen und im Zuge der Endlagersuche für radioaktive Abfälle, sowie die Erfassung und Ortung von Rutschungen und Küstenabbrüchen ein. Um die seismologische Überwachung in M-V grundsätzlich zu verbessern, wurde im Sommer 2020 eine Kooperationsvereinbarung zwischen dem Geologischen Dienst im LUNG M-V und dem Institut für Geowissenschaften (IfG) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel geschlossen.

Im Rahmen der Zusammenarbeit wurden in Weidle et al. [2021] Vorarbeiten des IfG im Vorlauf der Kooperation zur Erweiterung des Stationsnetzes, wie auch erstmalig ein Katalog der im Jahr 2020 detektierten seismischen Ereignisse für M-V vorgestellt. Darauf aufbauend konnte in 2021 das seismologische Stationsnetz dauerhaft um zwei weitere seismologische Stationen in Marlow und Peenemünde erweitert werden (siehe Kapitel 2).

Im Rahmen der regelmäßigen und systematischen Datenauswertung aller in Echtzeit zur Verfügung stehenden Daten am IfG, hat sich das Datenakquisitions- und -auswertesystem konsolidiert und wird regelmäßig um neue seismologische Stationen außerhalb von M-V erweitert. Durch bilateralen Datenaustausch mit dem dänischen geologischen Dienst GEUS können mittlerweile neun (statt vorher drei) Stationen aus Dänemark verwendet werden. Hinzu sind in 2021 zusätzliche Echtzeitdaten aus Hamburg und dem nördlichen Niedersachsen aufgenommen worden. Neben der automatisierten Datenerfassung und -erstauswertung, wird anhand eines Beispiels die routinemäßige manuelle Auswertung diskutiert. Diese bleibt zur vollständigen Erfassung schwacher Ereignisse unersetzbar (siehe Kapitel 3).

Im Jahr 2021 aufgetretene tektonische Ereignisse mit Relevanz für M-V sind v.a. ein Erdbeben mit Magnitude 2.9 in Niedersachsen, sowie ein schwaches Ereignis mit einer Magnitude von etwa 1.4 vor der Küste Rügens. Während das stärkere Ereignis zuverlässig vom landesweiten Stationsnetz des IfG in Norddeutschland detektiert wurde, war das Ereignis vor Rügen nur an einer Station nachweisbar. Dies verdeutlicht den hohen Stellenwert, den der Ausbau der seismologischen Messinfrastruktur aktuell hat. Nur mit einem hinreichend dichten Stationsnetz können schwache seismische Ereignisse landesweit zuverlässig detektiert und ausgewertet werden. Anhand von Sprengungen der dänischen Marine in der nördlichen Kieler Bucht konnte für diese Region eine Genauigkeit der seismologischen Lokalisierung auf ca. 5 – 10 km im marinen Bereich quantifiziert werden (siehe Kapitel 4).

Bei der Charakterisierung von Seismizität spielt die Beschreibung des Spannungszustands der Erdkruste eine wichtige Rolle. Dieser lässt sich vor allem aus Bohrlochdaten

und Herdmechanismen von Erdbeben ableiten. Für Norddeutschland ist das großräumige Spannungsfeld konsistent abbildbar, allerdings ist die Datengrundlage hierfür sehr heterogen, speziell in M-V. Die Implikationen für M-V und das Potential, wie sich durch den Stationsausbau die Datenlage verbessern lässt, werden in Kapitel 5 diskutiert.

2 Status Stationsnetz 2021

Das seismologische Stationsnetz umfasst Ende des Jahres 2021 in Mecklenburg-Vorpommern fünf permanente und acht temporäre Installationen (Abb. 1). Die Permanentstationen werden vom IfG, der BGR (Hannover) bzw. dem GFZ Potsdam betrieben, die temporären Stationen vom IfG im Rahmen der Kooperation mit dem LUNG.

2.1 Permanent-Stationen

Neben der, seit 1995 vom GFZ Potsdam betriebenen, seismologischen Station auf Rügen und zwei weiteren, von der BGR betriebenen Stationen in Zarrentin und Löcknitz, konnten im Rahmen der Kooperation IfG – LUNG in 2021 zwei weitere seismologische Stationen in M-V dauerhaft etabliert werden. Auf Basis der in Weidle et al. [2021] diskutierten Vorarbeiten, wurden zu Beginn des Jahres 2021 zwei Standorte für dauerhafte seismologische Stationen in Marlow und Peenemünde ausgewählt. Im Mai 2021 erfolgte die technische Umrüstung der vom IfG zu Testmessungen bereitgestellten Infrastruktur zu permanenter Instrumentierung mit Geräten der BGR. Die beiden neuen Standorte verstärken v.a. die Überwachung des Nordostens von M-V im Bereich bekannter Störungssysteme entlang der Ostseeküste und um das Zwischenlager Lubmin.

Hinzu kommen zwei weitere Seismometer in Nonnendorf und auf der Greifswalder Oie, welche zunächst vorläufig etabliert wurden und mit der Station Peenemünde ein lokales seismisches Netz um Lubmin bilden (Abb. 1).

Mit Ausnahme der Station auf der Greifswalder Oie werden die Daten aller dieser Stationen in Echtzeit ans IfG übertragen, dort automatisiert erfasst und initial ausgewertet. Die automatisierte Auswertung wird durch eine manuelle Auswertung ergänzt, wie in Kapitel 3 näher erläutert.

Trotz der bereits erzielten Erfolge beim Stationsausbau besteht weiterhin großer Bedarf für eine Verdichtung des Stationsnetzes. In enger Koordination mit dem IfG, wurden von der BGR bereits zwei neue Bohrungen in Kühlungsborn und Schillersdorf (Abb. 1) abgeteuft, die Instrumentierung in den Bohrlöchern steht noch aus. Vom IfG wurde zum Jahresende 2021 eine Erweiterung der permanenten Station auf Rügen mit zusätzlichen Stationen zu einem lokalen Netz initiiert, welches im Laufe des Jahres 2022 vollständig ausgebaut werden soll. Darüberhinaus haben wir uns in der Kooperation darauf verständigt, in 2022 Testmessungen für einen zukünftigen Standort im Raum Werle, Lkr. Ludwigslust-Parchim im Bereich des dortigen Salzstocks, durchzuführen.

2.1.1 Seismologische Station in Marlow

In Marlow wurde im Sommer 2020 zwischen dem IfG und dem Vogelpark Marlow eine Gestattungsvereinbarung über die Einrichtung und den Betrieb einer seismologischen Station auf dem Gelände des Vogelparks geschlossen. Noch im November 2020 wurde ein 30 m tiefes Bohrlochs auf dem Gelände des Vogelparks erstellt (Weidle et al. [2021]). Im Mai

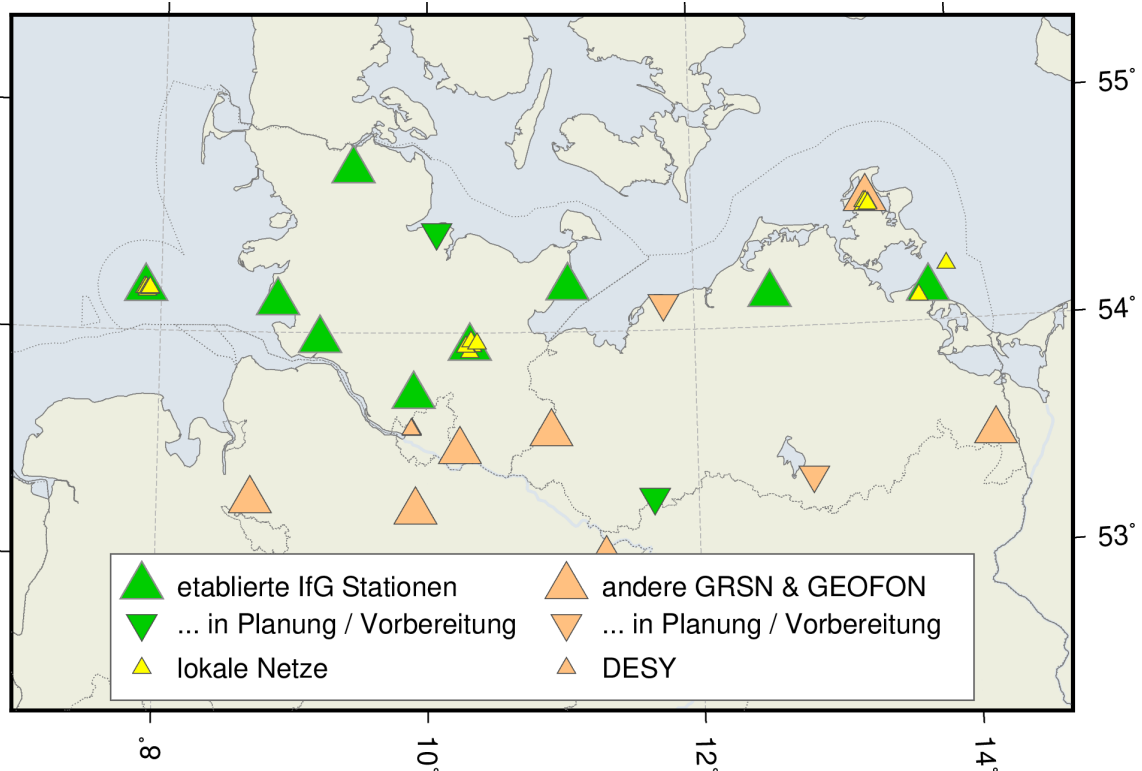


Abbildung 1: Übersicht seismischer Stationen in Norddeutschland. Permanentstationen (Dreiecke) in SH und M-V werden vom IfG (grün) und der BGR und GEOFON (GFZ Potsdam) (orange) betrieben. Das lokale Netze auf Rügen (gelb) wurde Ende des Jahres 2021 vom IfG im Rahmen der Kooperation installiert.

2021 wurde zusammen mit der BGR ein Seismometer samt Aufzeichnungseinheit und Datenübertragung installiert, wobei sowohl die Komponenten, als auch die Datenübertragung in Echtzeit von der BGR bereitgestellt werden. Dies ist aus zweierlei Hinsicht vorteilhaft, da zum einen eine Instrumentierung aus aktuellen Projektmitteln der Kooperation nicht realisierbar ist, zum anderen sichert die Kooperation mit der BGR auch den langfristigen Betrieb der Station unabhängig von zusätzlichen Investitionen seitens des IfG oder des LUNG.

Die Messstation befindet sich auf dem Betriebshof des Vogelparks neben einer Wintervoliere (Abb. 2a). Die Endteufe des Bohrlochs beträgt 30 m unter Gelände, wobei in den oberen 10 m feinsandiges, anschließend bis 17 m schluffiges Material und darunter Geschiebemergel angetroffen wurde. Der Grundwasserspiegel liegt bei etwa 9 m. Es wurde ein Breitbandseismometer mit 120s Eckperiode in kompakter Bauart (Nanometrics Trilium Compact Posthole, TC120PH) installiert. Durch das Gehäuse und die wasserdichte Steckverbindung kann das Gerät in dem mit Grundwasser gefüllten Bohrloch betrieben werden (Abb. 2d). Der Bohrlochschaft ist mit einem etwa 3 m langen Leerrohr mit dem Eingangsbereich der Voliere verbunden (Abb. 2c), dort konnte die zugehörige Elektronik wetterfest untergebracht werden (Abb. 2b).



(a) Wintervoliere.



(b) Elektronischschrank mit Digitalisierer (orange), GPS- und Mobilfunkantenne (oben).

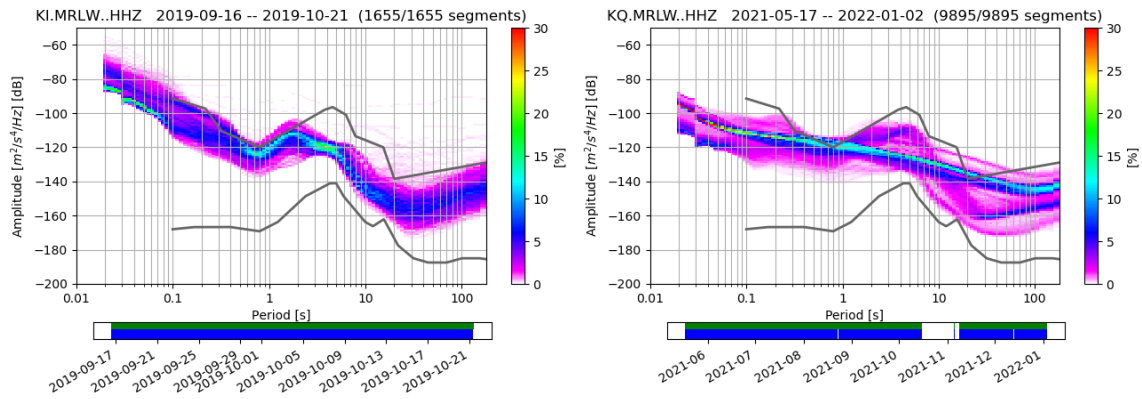


(c) Bohrlochkopf und Leerrohr zur Voliere.



(d) Seismometer Nanometrics Trillium Compact 120PH.

Abbildung 2: Die seismologische Station im Vogelpark Marlow.
Fotos: D. Schulte-Kortnack und C. Weidle



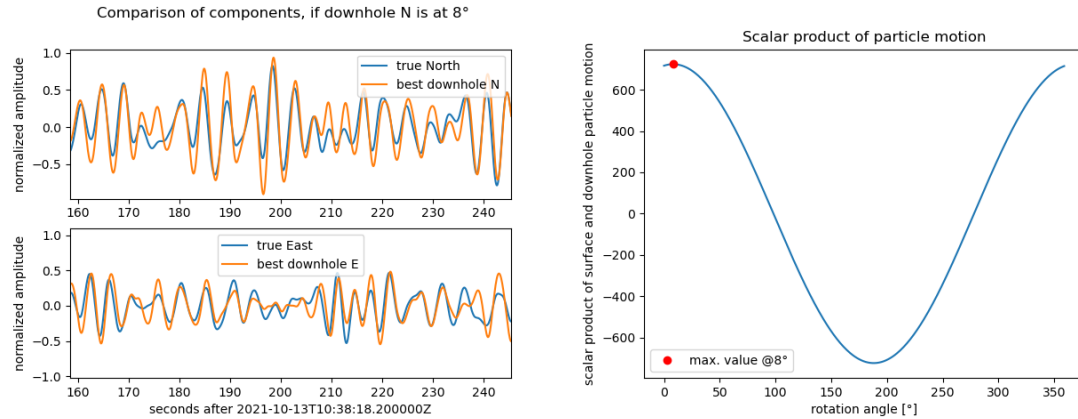
(a) Testmessung im Jahr 2019 mit Güralp CMG-3T.

(b) Seit Installation im Mai 2021 mit TC120PH.

Abbildung 3: Vergleich der Leistungsdichtespektren (PPSD) für die Vertikalkomponente der Station KQ.MRLW im Vogelpark Marlow.

Die Station Marlow ist Teil des seismologischen Netzes des IfG mit der internationalen Netzwerkkennung 'KQ' und der Stationskennung 'MRLW'. Im Nachgang an die Installation wurden Qualitätsprobleme bei den seismischen Daten festgestellt, welche aber im Laufe des Sommers behoben werden konnten. Dies zeigt sich deutlich in den für die Qualitätskontrolle betrachteten Leistungsdichtespektren (Probabilistic Power Spectral Densities, PPSPD nach Peterson [1993], siehe auch Weidle et al. [2021]) welche aus den kontinuierlichen Wellenformen regelmässig berechnet werden (Abb. 3). In Abb. 3b sind deutlich Störungen zu erkennen, welche im Oktober 2021 final behoben werden konnten. Seitdem sind die Spektren um -120 dB bei niedrigen und um -160 dB bei hohen Perioden zu beobachten. Im Vergleich mit der Testinstallation in der Voliere im Sommer 2019 (Abb. 3a, Weidle et al. [2021]) ist neben einer Verbesserung des Rauschpegels bei langen Perioden vor allem eine Reduzierung des Rauschpegels bei Perioden um 0.1 s hervorzuheben. Dieser Periodenbereich ist für die seismologische Überwachung besonders bedeutsam, da in diesem Periodenbereich seismische Wellen von schwachen Ereignissen angeregt werden. Durch die Bohrlochinstallation konnte der Pegel des kontinuierlichen Hintergrundrauschens von etwa -100 dB bei der Testmessung in der Voliere auf unter -120 dB gesenkt werden. Dieser Wert ist für Stationen im Norddeutschen Becken typisch und wird nur an wenigen Standorten in Norddeutschland unterschritten. Insofern lässt sich festhalten, daß die Einrichtung einer Bohrlochstation am Standort Marlow eine deutlich verbesserte Datenqualität für die seismologische Überwachung ermöglicht.

Da bei einer Bohrlochinstallation die Ausrichtung der Horizontalkomponenten des Seismometers immer unbekannt ist, wurde bei einem weiteren Besuch im Oktober 2021 über ca. 30 Minuten eine Vergleichsmessung mit einem weiteren Seismometer im Eingangsbereich der Voliere durchgeführt. Dieses wurde mit einem Kreiselkompass exakt eingenordet und ein Vergleich der an der Oberfläche registrierten Wellenformen mit denen im Bohrloch erlaubt eine Bestimmung des Rotationswinkels der Horizontalkomponenten im Bohrloch gegen die Nordrichtung (Abb. 4). Hierzu werden die Horizontalkomponenten der Bohrloch-



(a) Wellenform Oberfläche (blau) gegen Bohrloch (orange), Nord- (oben) und Ostkomponente (unten) nach Rotation der besten Anpassung. (b) Skalarprodukt der rotierten Horizontalkomponenten im Bohrloch gegen die "wahre" Nord-/Ostrichtung an der Oberfläche.

Abbildung 4: Bestimmung der azimuthalen Orientierung der Horizontalkomponenten im Bohrloch für die Station KQ.MRLW in Marlow.

station über alle Rotationswinkel mathematisch variiert und jeweils das Skalarprodukt mit den Horizontalkomponenten der Oberflächenstation ("wahres" Nord/Ost) bestimmt (Abb. 4b). Für die Station MRLW ergibt sich, daß die N-Komponente im Bohrloch um 8° im Uhrzeigersinn verdreht ist. Rotiert man die Horizontalkomponenten im Bohrloch um diesen Winkel gegen den Uhrzeigersinn, zeigen die Wellenformen im Bohrloch und an der Oberfläche die beste Übereinstimmung (Abb. 4a).

2.1.2 Seismologische Station in Peenemünde

Im Raum Lubmin erschien in der Betrachtung von vier potentiellen Standorten in Weidle et al. [2021] der Standort im Historisch-Technischen Museum (HTM) Peenemünde als sinnvollste und am einfachsten zu realisierende Option. Die ursprünglich zu Testzwecken installierte Station im Keller des Kraftwerkgebäudes konnte im Wesentlichen als langfristige Station erhalten bleiben. Hierzu wurde zwischen dem HTM und dem IfG eine Gestattungsvereinbarung geschlossen, welche den dauerhaften Betrieb einer seismologischen Station gewährleistet. Im Mai 2021 wurden daraufhin die für die Testmessung installierten Geräte des IfG durch Infrastruktur der BGR ersetzt (Abb. 5).

Es wurde ein hochwertiges Breitbandseismometer Streckeisen STS2.5 mit einer Eckperiode von 120 s installiert. Das Instrument ist somit vergleichbar mit dem bisherigen Güralp CMG-3T und die ohnehin gute Datenqualität hat sich durch den Umbau nicht wesentlich verändert. Dies zeigt sich im Vergleich der PPSD Darstellung für die Vertikalkomponente der Station KQ.PEEM für die Jahre 2020 und 2021 (Abb. 6). Die leichte Verbesserung bei langen Perioden ist auf eine bessere Abschirmung des Seismometers gegen Luftdruck- und Temperaturschwankungen durch eine - nach dem in Abb. 5c abgebildeten Aufbau hinzugefügte - zusätzliche Isolierung des Seismometers zurückzuführen. Der Standort hat sich als sehr günstig erwiesen. Es konnte mit relativ geringem Aufwand eine sehr gute



(a) Aussenansicht des Kraftwerkgebäudes.



(b) GPS Antenne an der Rückseite des Gebäudes.

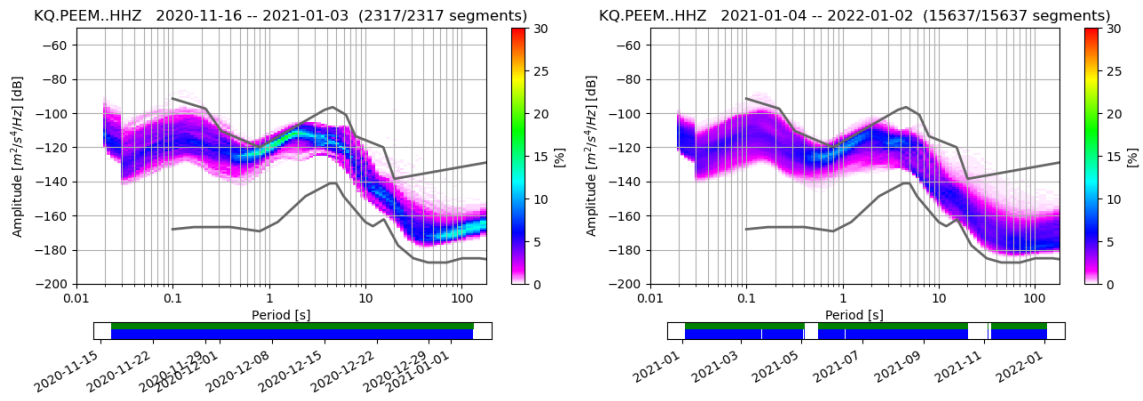


(c) STS2-Seismometer auf Granitsockel, rechts Schaltschrank.



(d) Schaltschrank mit Mobilfunkantenne.

Abbildung 5: Die seismologische Station im HTM Peenemünde.
Fotos: D. Schulte-Kortnack und C. Weidle



(a) Jahr 2020 mit Güralp CMG-3T.

(b) Jahr 2021 mit STS2.5 seit Mai 2021.

Abbildung 6: Vergleich der Leistungsdichtespektren (PPSD) für die Vertikalkomponente der Station KQ.PEEM im HTM Peenemünde.

Datenqualität erhalten werden. Im hochfrequenten Bereich ist sie mit der Station Marlow vergleichbar und im tieffrequenten Bereich kann sie als sehr gut angesehen werden.

Die aktuell noch laufenden Messungen an den Standorten Nonnendorf und Greifswalder Oie sollen bis auf weiteres fortgeführt und auf eine eventuelle Verstetigung geprüft werden. Die Station Greifswalder Oie erfordert gegenwärtig wegen der autarken Stromversorgung, der lokalen Registrierung ohne Datenübertragung und der isolierten Lage - die Insel ist nur in den Sommermonaten mit öffentlichem Schiffsverkehr zu erreichen - einen relativ hohen Wartungsaufwand. Dieser könnte bereits durch die Einrichtung einer Echtzeitdatenübertragung deutlich reduziert werden, da nicht nur die Daten, sondern auch der Status der Installation kontinuierlich übermittelt würden und so eine Wartung bedarfs- und zielgerichtet erfolgen kann. Dies soll im Rahmen der Arbeiten im Jahr 2022 weiterverfolgt werden.

3 Status Datenzentrum - Erfassung und Auswertung seismologischer Daten

Die automatisierte Erfassung und Erstauswertung der seismologischen Daten erfolgt am IfG mit einem seiscamp-System (GFZ Potsdam and Gempa GmbH [2008]), welches im vergangenen Jahr weiter ausgebaut wurde. Es erfasst mittlerweile Daten von 221 global verteilten Stationen in Echtzeit. Im Laufe des Jahres 2021 wurden 2281 Ereignisse automatisch detektiert und lokalisiert, der weit überwiegende Anteil davon teleseismische Ereignisse mit Magnituden > 4.5 (siehe Abb. 7). Die Erfassung global verteilter Wellenformdaten und die automatische Detektion und Lokalisierung global messbarer Ereignisse ist notwendig, um zwischen lokalen Ereignissen in Norddeutschland und teleseismischen Ereignissen unterscheiden zu können.

Der bereits etablierte bilaterale Datenaustausch mit dem Datenzentrum des dänischen geologischen Dienstes (GEUS, Kopenhagen) konnte im vergangenen Jahr intensiviert werden. Die dänischen Kollegen haben Daten von weiteren Stationen in Dänemark freigegeben und mit nun sechs statt vorher zwei Stationen in Jütland und Seeland hat sich die Datenverfügbarkeit im nördlichen Umfeld von M-V deutlich verbessert (Abb. 8). Dies stärkt die Überwachung für den nördlichen Teil von M-V und den südwestlichen Ostseeraum erheblich. Darüberhinaus konnten Daten von drei seismologischen Stationen (eine davon derzeit außer Betrieb), welche das DESY Synchrotronzentrum in Hamburg-Bahrenfeld betreibt, und eine Station der BGR in Undeloh (Lüneburger Heide, NDS) in die automatische Datenverarbeitung eingebunden werden.

Für den internen Gebrauch wurde ein automatisiertes "Alert"-System eingerichtet, welches bei der automatischen Detektion von Ereignissen eine E-Mail an Mitarbeiter des IfG versendet. Diese E-Mail wird für alle Ereignisse global mit Magnituden grösser 6, für regionale Ereignisse bis zu 27° Epizentraldistanz und Magnituden grösser 5, und alle Ereignisse in einer Epizentraldistanz kleiner gleich 11° ausgelöst. Bei Ereignissen im Umkreis von weniger als 8° Epizentraldistanz, verschickt das System auch SMS-Textnachrichten. Im Jahr 2021 wurden so etwa 200 "alert"-emails und etwa 25 SMS Nachrichten versendet, u.a. für die Ereignisse in Niedersachsen, Groningen (NL) und der südlichen Nordsee (s. Kapitel 4). Auf Basis dieses Systems kann zukünftig eine Meldekette ans LUNG und ggf. weiterer Behörden eingerichtet werden. Hierzu wird in 2022 ein erster Vorschlag entwickelt und getestet.

Trotz der weitgehend automatisierten Erfassung und Erstauswertung der seismologischen Daten ist die manuelle Durchsicht von Wellenformen an den permanenten Stationen in M-V weiterhin unabdingbar, um die Vollständigkeit seismischer Ereignisse mit kleinen Magnituden sicherzustellen und die Qualität der automatischen Meldungen zu überprüfen. In der tagesaktuellen Auswertung werden hierzu sogenannte 'helicorder'-Darstellungen ge-

nutzt, die eine schnelle Übersicht über die Wellenformen eines Tages liefern. Mit Hilfe von Detektionsmarkern können potentielle Ereignisse leicht erkannt und nachbearbeitet werden. Abb. 9 zeigt ein Beispiel für den 14.04.2021. Im April, vor der Installation der neuen Bohrlochstation in Marlow, war noch ein Gerät zu Testmessungen in Gresenhorst (Gem. Marlow) installiert, welches hier dargestellt ist (Station GRES in Abb. 9).

In der Darstellung der Wellenformen fällt zunächst ein Tag-Nacht-Rhythmus auf, mit einer Vielzahl von transienten Signalen in den Tagstunden. Diese transienten Signale sind meist auf vorbeifahrende Fahrzeuge zurückzuführen, da die meisten Stationen an wenig befahrenen Straßen liegen. Die Station RGN bei Neuenkirchen auf Rügen war im vergangenen Jahr besonders stark von Störungen durch Verkehr betroffen, da aufgrund einer Baustelle eine Umleitungsstrecke direkt an der seismologischen Station vorbei führte. Zum Jahresende 2021 hat sich die Situation mit dem Ende der Bautätigkeiten hier wieder erheblich verbessert. Ebenso kommt es leider an derselben Station unregelmäßig zu - wahrscheinlich elektrisch induzierten - Störsignalen. Hierzu sind wir mit den Stationsbetreibern am GFZ Potsdam im Austausch, wie die Ursache dieser Störungen zu erkennen und ggf. zu beheben ist.

Um 16:35 Uhr (UTC, Ortszeit 18:35 Uhr) gab es eine Sprengung in der Nähe von Bornholm. Dieses Ereignis wurde von der automatischen Detektion nicht erkannt, kann aber in der manuellen Durchsicht recht leicht erkannt werden.

Neben der Auswertung der eigenen, erhobenen Daten und Erstellung eines jährlichen Ereigniskatalogs, werden Detektionen regelmäßig mit veröffentlichten Ereignislisten aus Niedersachsen, Dänemark und Schweden abgeglichen, um die Vollständigkeit des Ereigniskatalogs für M-V sicherzustellen.

CAU global detections 2021

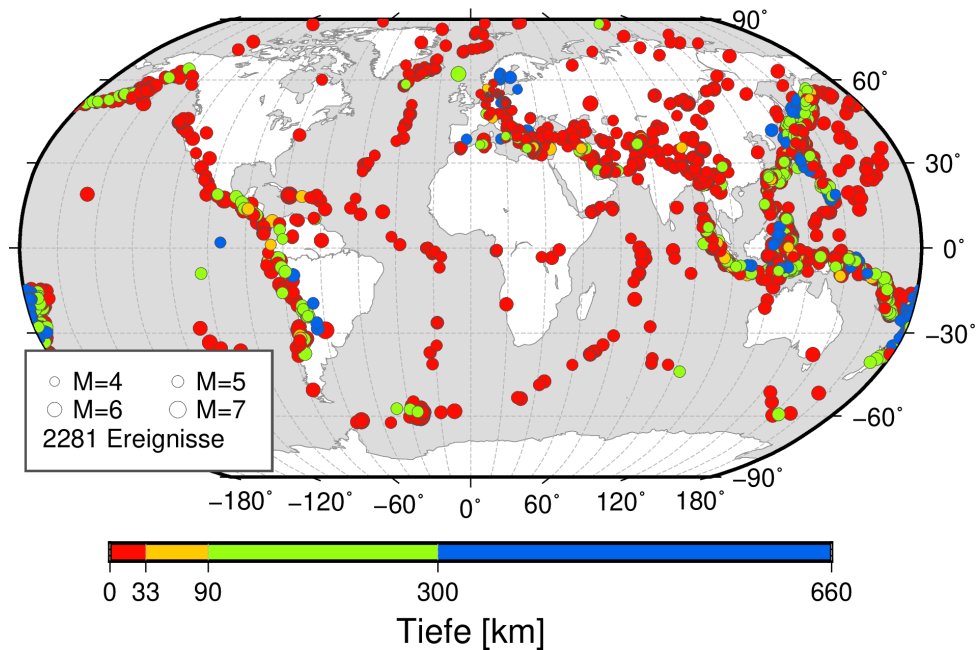


Abbildung 7: Verteilung aller in 2020 am Datenzentrum des IfG detektierten Ereignisse. Der überwiegende Anteil sind global verteilte Ereignisse mit Magnituden > 4.5 , welche vollautomatisch vom System prozessiert wurden.

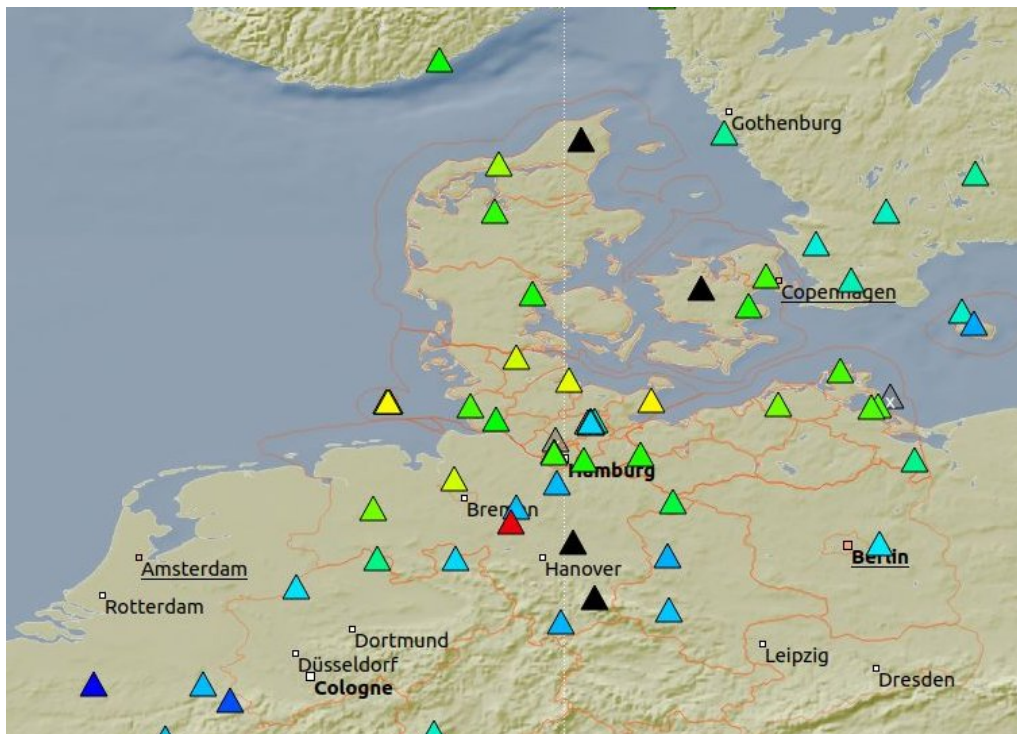


Abbildung 8: Bildschirmaufnahme der in der automatischen Echtzeit-Überwachung verwendeten seismologischen Stationen in M-V und Umgebung. Die Farben geben den aktuellen (zum Zeitpunkt der Aufnahme) Amplitudenwert des seismischen Rauschens von niedrig (blau) zu erhöht (grün-gelb) wieder. Schwarze Stationen lieferten zum Zeitpunkt der Aufnahme keine Daten, rote Stationen deuten auf Datenprobleme hin.

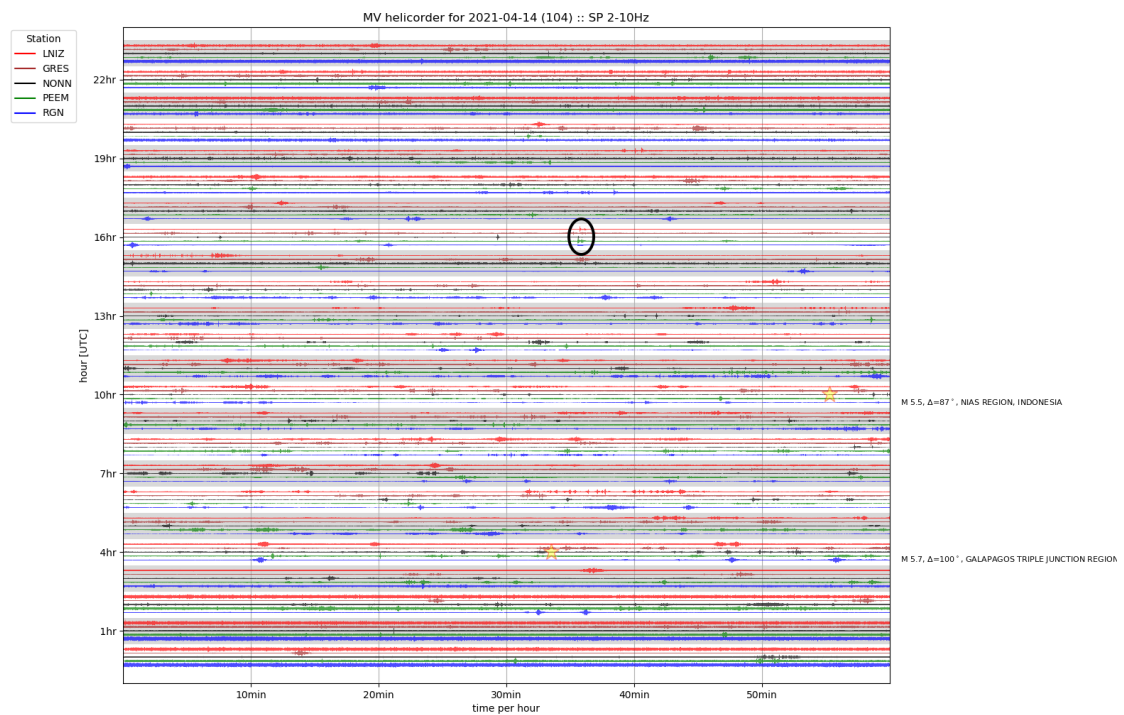


Abbildung 9: Helicorder Darstellung zur manuellen Durchsicht von täglichen Wellenformen. Wellenformen an den Stationen RGN, PEEM, NONN, GRES, LNIZ, 2-8 Hz bandpass-gefiltert. Herdzeit von "bekannten" Erdbeben nach EMSC [2021]. Markiert ist eine Sprengung bei Bornholm (DK, schwarzer Kreis).

4 Ereignisübersicht 2021

4.1 Überregionale Seismizität

Zur Betrachtung der überregionalen Seismizität wird der Erdbebenkatalog des European-Mediterranean Seismological Centers EMSC [2021] herangezogen, welcher Ereignisse von verschiedenen europäischen Agenturen sammelt und zu einem konsistenten Erdbebenkatalog harmonisiert (siehe auch Weidle et al. [2021]).

Das in Mecklenburg-Vorpommern am deutlichsten messbare Erdbeben ereignete sich am 13. September 2021 im Landkreis Verden (NI) (Abb. 10, Tab. 1). Das Ereignis mit Magnitude 2.9 steht vermutlich in Zusammenhang mit der Erdgasförderung in der Region, ebenso wie das Magnitude 2.0 Ereignis vom 21. Juli 2021. In dieser Region traten in den vergangenen Jahren wiederholt Erdbeben mit Magnituden zwischen 2 und 3 auf, welche mit der Gasförderung in Verbindung gebracht werden (s. Weidle et al. [2021]).

Darüberhinaus verzeichnet der überregionale Erdbebenkatalog weitere Ereignisse aus bekannten Quellregionen. In der südlichen Nordsee gab es am 20. August 2021 ein Erdbeben der Magnitude 3.5. Solche Ereignisse bis Magnituden von zum Teil über 4 sind in der zentralen Nordsee nicht unüblich, werden aber nur selten von der Bevölkerung an Land wahrgenommen. Sie treten unweit des Grenzbereichs der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) auf (s. Abb. 10). Im Bereich der Gasfelder um Groningen (NL) kommt es ebenfalls immer wieder zu seismischen Ereignissen mit Magnituden bis etwa 3.

| Herdzeit (UTC) | Länge (Ost) | Breite (Nord) | Tiefe (km) | Magnitude |
|-----------------------------|-------------|---------------|------------|-----------|
| 2021-01-12T18:48:00.000000Z | 1.85 | 53.06 | 10 | 2.3 |
| 2021-01-17T03:04:43.300000Z | 11.05 | 58.70 | 15 | 2.4 |
| 2021-04-28T19:46:26.000000Z | 6.68 | 53.36 | 3 | 2.3 |
| 2021-06-11T23:29:27.000000Z | 6.76 | 53.34 | 3 | 2.1 |
| 2021-06-19T01:03:55.000000Z | 6.72 | 53.32 | 3 | 2.3 |
| 2021-07-01T15:38:14.000000Z | 6.81 | 53.30 | 3 | 2.2 |
| 2021-07-21T20:49:28.500000Z | 8.81 | 52.84 | 4 | 2.0 |
| 2021-08-20T20:36:19.700000Z | 4.52 | 54.73 | 5 | 3.5 |
| 2021-09-13T01:22:52.200000Z | 9.23 | 53.09 | 8 | 2.9 |
| 2021-10-04T02:59:08.000000Z | 6.75 | 53.35 | 3 | 2.5 |
| 2021-10-04T20:47:42.000000Z | 6.76 | 53.36 | 3 | 2.3 |
| 2021-11-16T00:46:48.000000Z | 6.76 | 53.31 | 3 | 3.2 |

Tabelle 1: Erdbeben im Jahr 2021 in der Umgebung von M-V, Quelle: EMSC [2021].

4.2 Seismische Ereignisse in M-V

Seit Beginn der Kooperation werden am IfG systematisch Wellenformen aus M-V und benachbarter Stationen nach seismischen Ereignissen ausgewertet. Neben der automatischen Detektion im Seiscomp-System erfolgt eine tägliche, manuelle Durchsicht der Wellenformen nach potentiellen Ereignissen (siehe Kapitel 3). Dies ist nach wie vor unabdingbar, da

EMSC Katalog 2021.01.01 - 2021.12.31

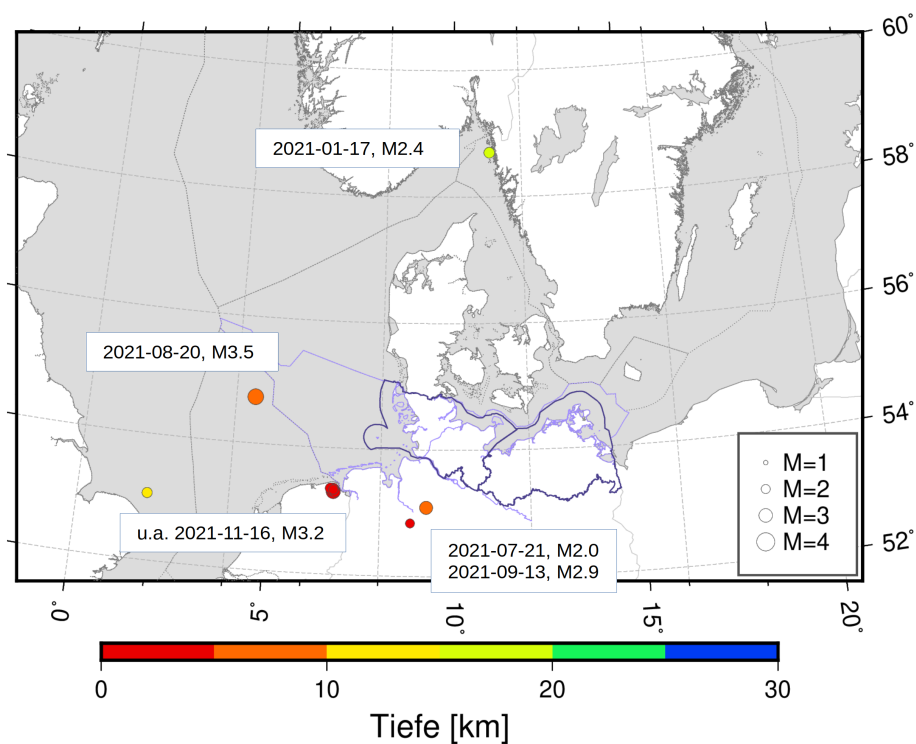


Abbildung 10: Ereignisse in Norddeutschland und Umgebung im Jahr 2021, Quelle: EMSC [2021]. Die Landesgrenzen von SH und MV (dunkelblau) sind ebenso dargestellt, wie die AWZ Grenzen in der Nord- und Ostsee (blau) nach Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (s. Wikipedia [2021]).

CAU Bulletin 2021 categorical

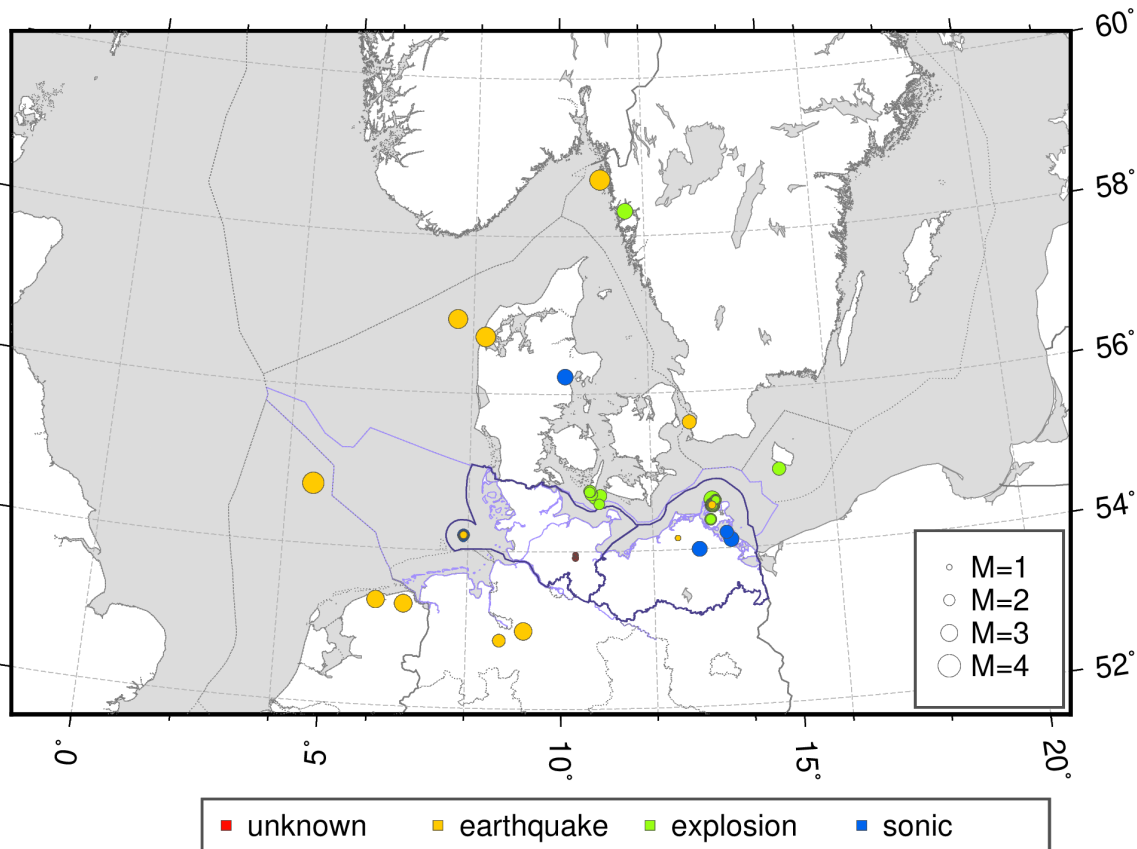


Abbildung 11: Übersichtskarte der in 2021 am IfG detektierten und manuell nachbearbeiteten Ereignisse in Norddeutschland und Umgebung. Farblich markiert ist der vom Analysten bestimmte Quelltyp.

die Stationsdichte für eine zuverlässige und vollständige automatische Detektion schwacher Ereignisse nicht ausreicht. Abbildung 11 fasst den Katalog des Jahres 2021 mit 102 detektierten und manuell ausgewerteten seismischen Ereignissen zusammen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in Tabelle 2 alle tektonischen und ausgewählte nicht-tektonische Ereignisse gelistet. Der vollständige Katalog für das Jahr 2021 befindet sich im Anhang A. Generell ist anzumerken, dass die Ereignistiefen in den meisten Fällen bei der Lokalisierung fixiert wurden, typischerweise auf eine Tiefe von 0 bzw. 10 km.

Neben einer Reihe von Sprengungen, welche v.a. im August 2021 an der Station Rügen (RGN) detektiert wurden und zeitlich mit angekündigten Schießübungen der Marine korrelierten, sind im Nordosten M-Vs auch einzelne atmosphärische Ereignisse detektiert worden. Diese lassen sich durch Relativlaufzeiten zwischen den Stationen RGN, Nonnendorf (NONN) und Peenemünde (PEEM), welche etwa der akustischen Schallgeschwindigkeit entsprechen, identifizieren. Die Ursache für diese Ereignisse, welche bereits in der Vergangenheit beobachtet wurden (Weidle et al. [2021]) ist unbekannt.

Am 18.8.2021 wurde auf einem Internetportal ein Erdbeben vor Rügen gemeldet, welches anhand der verfügbaren seismologischen Aufzeichnungen schnell als Falschmeldung

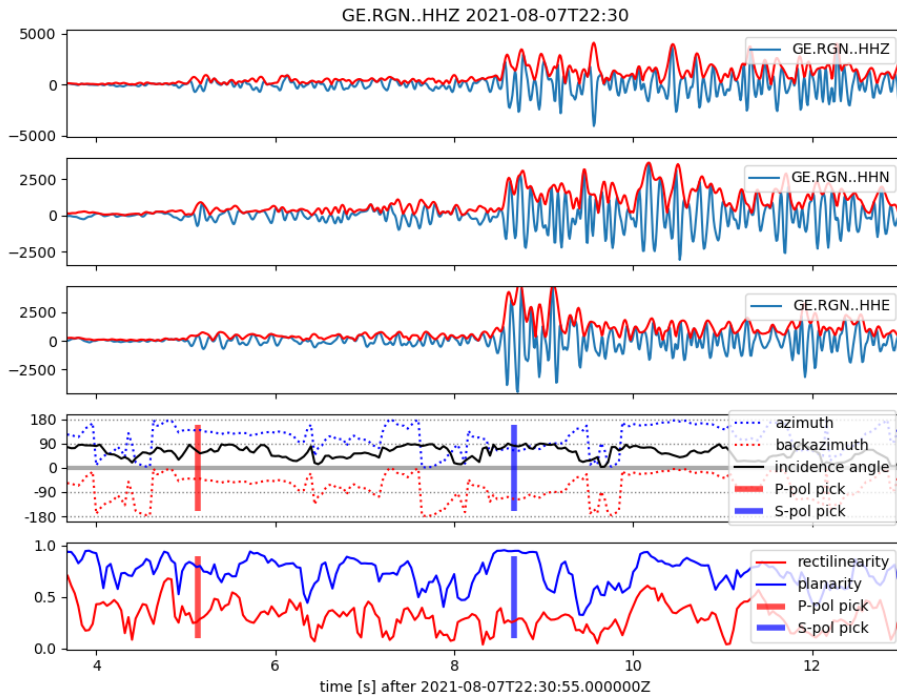


Abbildung 12: Das Ereignis vom 8.8.2021, 0:31 Uhr Ortszeit (UTC+2) aufgezeichnet auf Rügen und Auswertung der Polarisation der Wellenform an der Station RGN. Von oben nach unten: Z-, Nord- und Ost-Komponente, Polarisationsparameter, Geradlinigkeit und Ebenheit der Polarisationsparameter.

identifiziert werden konnte. Die Tatsache, dass diese Meldung von der Presse aufgegriffen wurde, unterstreicht die Bedeutung einer kontinuierlichen, zuverlässigen seismologischen Überwachung.

Am 8.8.2021 wurde gegen 0:31 Uhr Ortszeit (7.8.2021 22:31 UTC, s. Abb. 12) an der Station Rügen ein Ereignis registriert, das mit hoher Wahrscheinlichkeit als tektonisch zu bewerten ist. Ein Ersteinsatz etwa bei Sekunde 5 in Abb. 12 an der Station RGN wird ca. 3.5 s später von einer zweiten Phase gefolgt. Interpretiert man die beiden Phasen als P- und S-Welleneinsatz ergäbe sich eine Epizentralentfernung von etwa 30 km. Eine Auswertung der Polarisation der Wellenform (Abb. 12) zeigt einen Einfall der P-Phase mit Backazimuth leicht unterhalb der Nulllinie (rote gepunktete Linie), also aus N bis NNW. Der Einfallswinkel ("incidence angle", schwarze Linie) ist nahe 90° und sub-horizontal. Der S-Welleneinsatz zeigt eine Polarisation im Backazimuth unterhalb von -90° und somit senkrecht zur Polarisation der P-Welle. Dies ist ein deutliches Zeichen, daß es sich bei den beiden Phasen tatsächlich um eine P- und eine S-Welle handelt. Für das Ereignis wurde eine Magnitude von 1.4 bestimmt, wobei dieses Ereignis nur an der Station RGN beobachtet und ausgewertet werden konnte. Aufgrund der nur ungefähr bestimmbarer Quelllokation ist die Magnitude als "ungefähr" einzustufen, mit einer geschätzten Unsicherheit von etwa ± 0.4 .

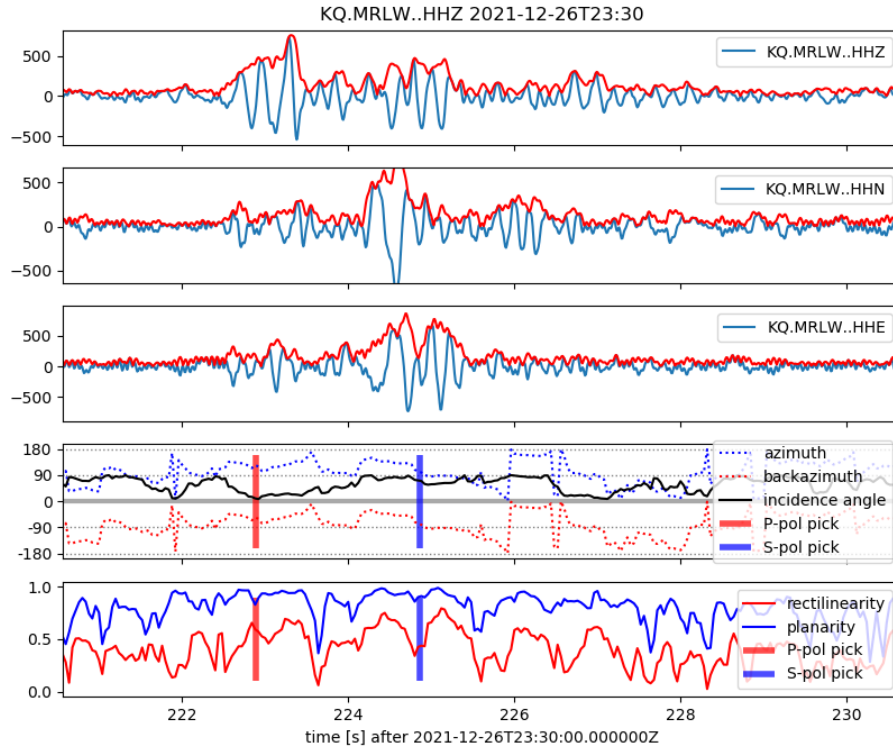


Abbildung 13: Das Ereignis vom 27.12.2021, 0:33 Uhr Ortszeit (UTC+1) aufgezeichnet an der Station MRLW und Auswertung der Polarisation. Von oben nach unten: Z-, Nord- und Ost-Komponente, Polarisationsparameter, Geradlinigkeit und Ebenheit der Polarisationsparameter.

Ein weiteres, potentiell tektonisches Ereignis mit einer Magnitude von etwa 1 wurde am 27.12.2021 um 0:33 Uhr (Ortszeit, 26.12.2021 23:33 UTC, s. Tabelle 2) an der Station Marlow (MRLW) registriert. Sowohl die Wellenform als auch die Polarisationsanalyse (Abb. 13) lassen aber keinen eindeutigen Schluß auf die Quelle zu. Einerseits sind die Einfallswinkel der beiden identifizierbaren Phasen senkrecht zueinander ($\sim 0^\circ$ bzw. $\sim 90^\circ$ für die 'P'- und 'S'-Phase, schwarz), zum anderen ist der Backazimuth (rot gepunktet) nahezu gleich bei etwa -90° , also ein Einfall von Westen.

Neben einer möglichen tektonischen Ursache, könnte es sich auch um eine Frostsprengung im oberflächennahen Nahbereich um die Station handeln. Um die Weihnachtstage 2021 war es sehr kalt mit Tiefsttemperaturen um -10° und aus der Region um Bad Segeberg in Schleswig-Holstein sind solche Ereignisse bereits bekannt. Allerdings treten diese dort während Frostperioden stark gehäuft auf - mehrere hundert Ereignisse in wenigen Tagen - wohingegen in MRLW nur dieses eine Ereignis identifiziert werden konnte.

4.3 Sprengungsereignisse vor Rügen

Im Sommer 2021 wurden eine Reihe von Ereignissen auf Rügen detektiert, welche als Sprengungsereignisse interpretiert wurden. Zum einen zeigen die Wellenformen einen typischen

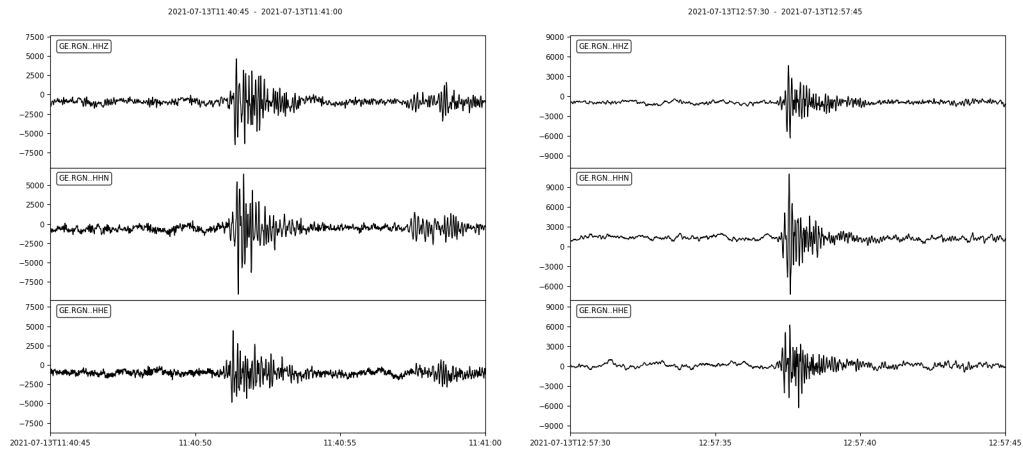
Charakter mit einem einfachen Phaseneinsatz (nur P-, keine S-Welle) und einer relativ kurzen Wellenform von nur wenigen Sekunden Länge (Abb. 14). Darüberhinaus korreliert der Zeitraum in dem solche Ereignisse beobachtet wurden mit einer Periode ausgewiesener Schießgebiete vor Arkona und in der Pommerschen Bucht. Entsprechend ist die Deutung als Sprengungsereignisse, bzw. allgemeiner formuliert, als Detonationsereignisse die wahrscheinlichste Erklärung für solche Ereignisse. Eine Unterscheidung der Detonationsart (z.B. Beschuss submarin, Sprengung am Meeresboden, Vernichtung von Kampfmitteln) ist nicht möglich. Die Amplitude der Ereignisse suggeriert Magnituden im Bereich von etwa 1.5 bis 2, für Sprengungen im marinen Bereich typische Werte. Allerdings hängt die Magnitudenbestimmung von der Quellokation ab, welche im Bereich der Schießgebiete angenommen wurde.

Neben dem oben beschriebenen tektonischen Ereignis und gelegentlichen Sprengungsereignissen können speziell auf Rügen auch Felsabbrüche entlang der Steilküste eine mögliche Quelle für seismische Ereignisse darstellen. In all diesen Fällen ist mit der Station RGN aber sowohl eine Bestimmung der Quelllokation, als auch eine Zuordnung des Quelltyps in vielen Fällen schwierig. Daher wurde der Ausbau des Stationsnetzes um die bestehende Station Rügen mit einem lokalen seismischen Netz empfohlen (Weidle et al. [2021]). Dieses verbessert die Datengrundlage für zukünftige Detektion und ermöglicht eine genauere Quantifizierung seismischer Quellen auf Rügen und in der näheren Umgebung, speziell der südlichen Ostsee. Erste Testinstallationen für das lokale Netz wurden Ende des Jahres 2021 vorgenommen, eine detaillierte Beschreibung hierzu und erste Auswertung erfolgt in 2022.

4.4 Andere relevante Ereignisse

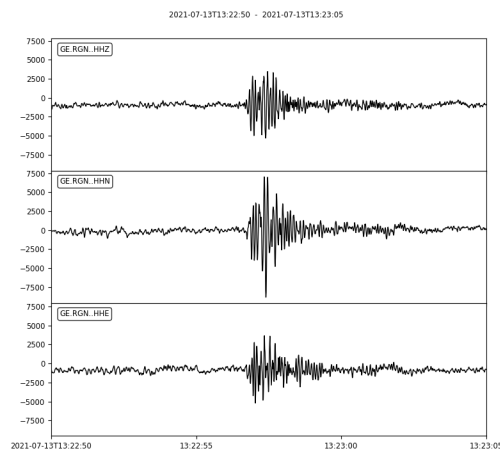
Der Katalog der seismischen Ereignisse 2021 des IfG weicht vom EMSC Katalog durch eine Vielzahl nicht-tektonischer, v.a. Sprengungsereignisse in der südwestlichen Ostsee und in SH und M-V ab (vgl. Abb. 10 und 11).

Am 15. und 16. November 2021 führte die dänische Marine südlich der Insel Langeland in der Kieler Bucht Sprengungen durch. Über den geologischen Dienst Dänemarks (GEUS) konnten wir die von der dänischen Marine berichteten Lokationen der Sprengungen mit den am IfG bestimmten seismologischen Lokalisierungen abgleichen. Von sechs Sprengungen konnten fünf detektiert und bis auf 5 km genau lokalisiert werden. Für zwei Ereignisse lag die Lokalisierungsgenauigkeit bei 10 bzw. 12 km. Für die Ereignisse wurden Magnituden von 2 bis 2.4 bestimmt, ein typischer Wert für Sprengungsereignisse im marinen Bereich. Eine zuverlässige und vollständige Erfassung solch schwacher Ereignisse ist nur mit einem regelmässigen und dichten Stationsnetz möglich und die genannten Beispiele unterstreichen die Bedeutung des im Rahmen der Kooperation begonnenen Stationsausbaus in M-V.



(a) Sprengung um 11:40 Uhr (UTC).

(b) Sprengung um 12:57 Uhr (UTC).



(c) Sprengung um 13:22 Uhr (UTC).

Abbildung 14: Wellenformen von wahrscheinlichen Sprengungsereignissen nördlich von Rügen am 13. Juli 2021.

Tabelle 2: Tektonische und selektierte nicht-tektonische seismische Ereignisse im Jahr 2021 in M-V und Umgebung. Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

| Herdzeit (UTC) | Breite (Nord) | Länge (Ost) | Tiefe (km) | Magnitude | Region | Typ |
|---------------------|---------------|-------------|------------|-----------|------------------|-------------------|
| 2021-01-13 00:13:08 | 56.7203 | 8.2828 | 56.9 | 3.5 | Denmark | earthquake |
| 2021-01-16 19:23:31 | 56.9381 | 7.6323 | 74.4 | 3.4 | North Sea | earthquake |
| 2021-01-17 03:04:45 | 58.7176 | 10.9689 | 7.2 | 3.6 | Sweden | earthquake |
| 2021-02-01 15:07:24 | 58.3147 | 11.5592 | 0.0 | 2.8 | Sweden | explosion |
| 2021-02-11 09:22:23 | 54.1061 | 13.6928 | 0.0 | 2.7 | NW-Mecklenburg | atmospheric event |
| 2021-02-25 17:45:16 | 54.2000 | 13.6000 | 0.0 | 2.4 | NW-Mecklenburg | atmospheric event |
| 2021-03-10 19:15:13 | 54.7544 | 10.6415 | 0.0 | 1.9 | Danmark | explosion |
| 2021-04-14 16:35:15 | 54.9600 | 14.8240 | 0.0 | 2.4 | Greater Bornholm | explosion |
| 2021-05-17 09:20:35 | 55.6165 | 12.8909 | 2.1 | 2.5 | Denmark | earthquake |
| 2021-06-19 01:03:52 | 53.3412 | 6.0709 | 5.0 | 3.1 | The Netherlands | earthquake |
| 2021-06-26 11:23:15 | 54.3700 | 13.2669 | 0.0 | 2.1 | Rügen | explosion |
| 2021-06-30 07:21:37 | 54.3700 | 13.2669 | 0.0 | 1.8 | Rügen | explosion |
| 2021-08-07 22:30:59 | 54.5500 | 13.3100 | 0.0 | 1.4 | Rügen | earthquake |
| 2021-08-13 11:48:32 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.6 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 11:49:52 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 1.8 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 11:51:40 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.3 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 12:39:08 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.5 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 13:05:38 | 54.5477 | 13.3214 | 11.0 | 2.1 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 13:22:32 | 54.5477 | 13.3214 | 0.0 | 2.5 | Rügen | explosion |
| 2021-08-20 20:36:21 | 54.7624 | 4.5700 | 10.5 | 3.8 | North Sea | earthquake |
| 2021-09-13 01:22:54 | 52.9890 | 9.2114 | 15.3 | 3.1 | Niedersachsen | earthquake |
| 2021-11-15 10:00:14 | 54.7074 | 10.8746 | 5.7 | 2.3 | Germany | explosion |

Tabelle 2: Tektonische Ereignisse im Jahr 2021 in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Der Ereignistyp wurde durch den Analysten zugewiesen.

| Origin Time (UTC) | Latitude (North) | Longitude (East) | Depth (km) | Magnitude | Region | Event Type |
|---------------------|------------------|------------------|------------|-----------|--------------------|------------|
| 2021-11-15 11:51:04 | 54.7669 | 10.6472 | 1.1 | 2.2 | Danmark | explosion |
| 2021-11-15 13:15:16 | 54.7285 | 10.6776 | 8.1 | 2.3 | Danmark | explosion |
| 2021-11-15 15:36:46 | 54.6855 | 10.7638 | 8.2 | 2.4 | Germany | explosion |
| 2021-11-16 00:46:48 | 53.3055 | 6.6633 | 5.0 | 3.2 | The Netherlands | earthquake |
| 2021-11-16 17:12:58 | 54.6011 | 10.8479 | 11.0 | 1.9 | Germany | explosion |
| 2021-12-24 23:41:36 | 54.2000 | 7.9000 | 10.0 | 1.3 | Helgoland Umgebung | earthquake |
| 2021-12-26 23:33:40 | 54.1474 | 12.5402 | 10.0 | 1.0 | Rügen | earthquake |

5 Das Spannungsfeld in Norddeutschland

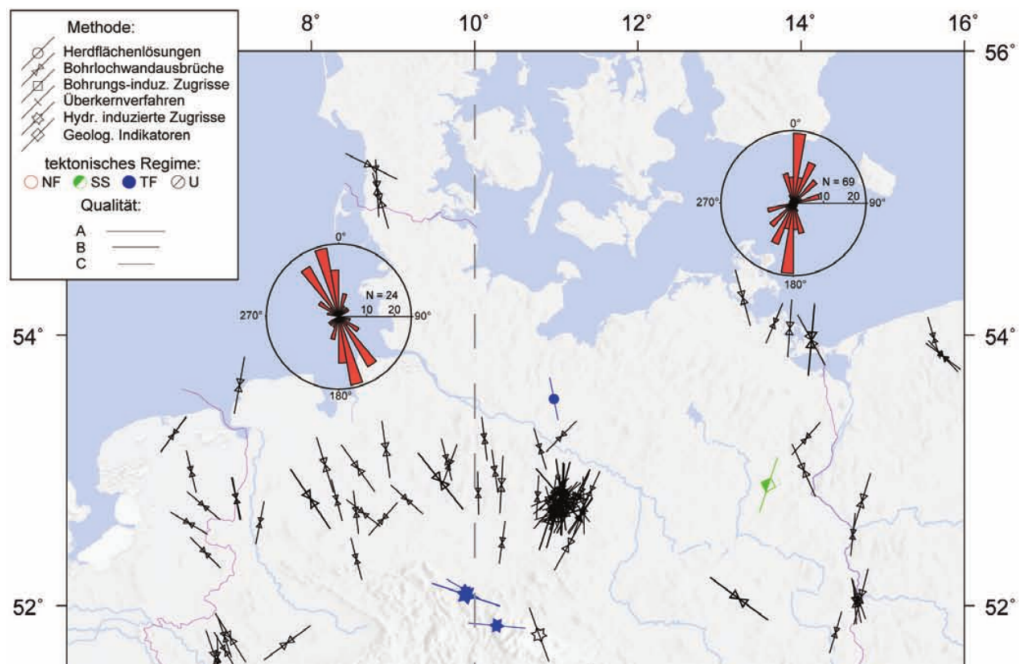
Eine grundsätzliche Fragestellung in der Charakterisierung von Seismizität ist die Beschreibung des Spannungszustands an geologischen Störungen. Störungssysteme in der Erdkruste sind an der Erdoberfläche durch geologische Kartierung meistens sehr gut bekannt (Abb. 15c), andererseits ist die Datengrundlage für die Beschreibung des Spannungszustandes regional sehr unterschiedlich (Abb. 15a). Verfahren, die den Spannungszustand in der Erdkruste beschreiben, stützen sich in großem Maße auf Messungen von Bohrlochwandausbrüchen und die Bestimmung von Herdmechanismen von Erdbeben (z.B. Reiter et al. [2015]). Im 'World-Stress-Map' – Projekt (WSM, Heidbach et al. [2018]) werden Informationen über das Spannungsfeld der Erdkruste weltweit gesammelt und in einer Datenbank homogenisiert.

Ein Ausschnitt der WSM für Norddeutschland (Abb. 15a) zeigt eine generelle Nord-Süd Ausrichtung der horizontalen Hauptspannung. Dies ist konsistent mit den wenigen verfügbaren Herdmechanismen von Erdbeben für den norddeutschen Raum und die südliche Ostsee. Diese zeigen ein kompressives Spannungsfeld mit überwiegend Blattverschiebungsmechanismen (Abb. 15b, 15c).

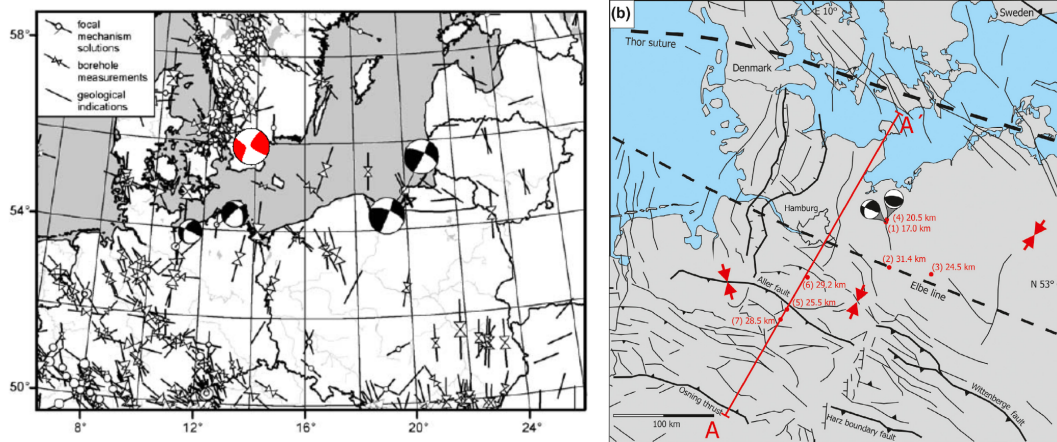
Reiter et al. [2015] diskutieren im Norddeutschen Becken eine Rotation der Hauptspannungsrichtung von NNW im Nordwesten zu NNE im Nordosten. Als mögliche Ursachen werden Änderungen der Krustenstruktur, Unterschiede in der postglazialen Hebungsgeschichte oder Änderungen der Steifigkeit der Erdkruste im Übergang zum osteuropäischen Kraton diskutiert. Ein wichtiger Aspekt ist eine potentielle Entkopplung des sub-salinaren vom supra-salinaren Spannungsfeld durch die Zechstein-Evaporite. Speziell im supra-salinaren Spannungsfeld sind Abweichungen vom großräumigen tektonischen Spannungsfeld durch lokale Strukturen, z.B. Topographie oder den Dichtekontrast um die Salzstöcke, zu erwarten (Reiter et al. [2015]).

Die konsistente Interpretation des Spannungsfeldes in Norddeutschland impliziert auch für Mecklenburg-Vorpommern ein generell Nord-Süd kompressives Spannungsregime, allerdings sind kaum Datenpunkte aus MV enthalten. Diese dünne Datenlage erlaubt es insbesondere nicht, lokale Abweichungen des großräumigen Spannungsfeldes, bspw. in der Umgebung der Salzstöcke, abzubilden. Mit Bezug auf Herdmechanismen liegt das zum einen an der generell niedrigen Seismizität im Norden, zum anderen gibt es für die wenigen tektonischen Ereignisse (Leydecker [2011]) aufgrund des ehemals sehr lichten Stationsnetzes kaum instrumentelle Aufzeichnungen. Somit war eine Interpretation des Bruchmechanismus bisher erst für wenige Ereignisse in Norddeutschland möglich (Abb. 15b, 15c). Der Stationsausbau in MV bildet also neben all den in vorigen Abschnitten diskutierten Aspekten der seismologischen Überwachung auch die Datengrundlage, um bei zukünftigen bedeutsamen Ereignissen Interpretationen des Bruchmechanismus und letztlich über den

Spannungszustand an Störungssystemen in M-V vorzunehmen.



(a) Ausschnitt der Spannungskarte für Deutschland von Reiter et al. [2015]. Die Rosendiagramme summieren Orientierungsdaten westlich und östlich von 10° östlicher Länge.



(b) Grünthal et al. [2008] (deren Abb. 10), ergänzt durch (c) Karte der Störungen in Norddeutschland und Herdmechanismen aus Brandes et al. [2019] (deren Abb. 1b).

Abbildung 15: Überblick verschiedener Studien zum Spannungszustand der Erdkruste in Norddeutschland. Horizontale Hauptspannungsrichtungen in (a) und (b) sind ergänzt durch Herdmechanismen von Erdbeben in (b) und (c).

6 Zusammenfassung

Die Zusammenarbeit zwischen dem Geologischen Dienst im LUNG M-V und dem Institut für Geowissenschaften (IfG) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bildet die Grundlage für eine systematische Überwachung der Seismizität in Mecklenburg-Vorpommern. Hierzu zählen der Betrieb eines seismologischen Stationsnetzes, eine kontinuierliche Erfassung und Auswertung seismologischer Daten und eine Evaluierung und Klassifizierung beobachteter Ereignisse. Auf allen Feldern konnten seit Beginn der Zusammenarbeit in 2019 und der Etablierung der Kooperation in 2020 große Fortschritte erzielt werden.

Das seismologische Stationsnetz in Mecklenburg-Vorpommern bestand im Jahr 2021 aus insgesamt sieben seismologischen Stationen, wobei fünf das landesweite Stationsnetz und zwei weitere ein lokales Netz um Lubmin abbilden. Die Stationen Marlow und Peenemünde konnten auf Basis der Vorarbeiten zur Kooperation in 2021 permanent etabliert werden. Sie liefern bereits einen wichtigen Beitrag in der landesweiten seismologischen Überwachung. Mit zunehmender Zahl an Stationen steigt auch der Aufwand für Betrieb und Wartung der Stationen, dieser zahlt sich aber durch eine sehr hohe Datenverfügbarkeit aus. Neben technischen Aspekten spielt auch die Qualitätskontrolle der seismologischen Daten eine wichtige Rolle im alltäglichen Betrieb des Messnetzes. In der Abdeckung seismologischer Stationen bestehen aber weiterhin große Lücken in zentralen Teilen von M-V, sowie auch im Südwesten des Landes. Hierzu wird die Prüfung weiterer Standorte empfohlen. Im ersten Schritt soll hierbei die Region um den Salzstock Werle untersucht werden, um mögliche tektonische Aktivität, z.B. infolge von Salzbewegungen dokumentieren zu können.

Die Erfassung und Erstauswertung der seismologischen Daten erfolgt weitestgehend automatisiert, erfordert aber kontinuierliche Aufsicht, um technische Probleme frühzeitig erkennen und beheben zu können. In vielen Fällen ist dies durch eine Datenanbindung der meisten Stationen per Fernwartung möglich, womit Besuche einzelner Stationen auf das notwendige Mass reduziert werden. Es ist daher grundsätzlich erstrebenswert, noch nicht online verfügbare Stationen durch Aufrüstung mit Mobilfunkmodems an die Echtzeitdatenübertragung anzubinden.

Die automatisierte Auswertung hat Ereignisse mit Magnituden ab etwa 3 zuverlässig erfasst, für schwächere Ereignisse und die Überprüfung der automatischen Auswertung bleibt eine manuelle Auswertung aber unabdingbar. Der sorgfältige Betrieb der Stationsnetze mit kontinuierlicher Wartung und Qualitätskontrolle resultiert in einer hohen Datenverfügbarkeit und -qualität, welche es ermöglichen, auch schwache Ereignisse mit Magnituden um 1 detektieren zu können. Dies konnte für einzelne Ereignisse im Norden von M-V gezeigt werden. Es ist aber auch wichtig zu betonen, daß die Magnitudenschwelle der Vollständigkeit seismologischer Ereignisse - oberhalb derer alle Ereignisse erfasst werden - aufgrund der weiterhin bestehenden Lücken im Stationsnetz räumlich stark variabel ist. In Zukunft soll

die Magnitude der Vollständigkeit regelmäßig quantifiziert und dessen Entwicklung durch den Ausbau des Stationsnetzes dargestellt werden.

Der Ereigniskatalog für Mecklenburg-Vorpommern enthält einige Ereignisse aus bekannten Quellregionen, z.B. der zentralen Nordsee und den Gasfördergebieten in Niedersachsen und Groningen (NL). Neben der Dokumentation seismischer Ereignisse in M-V liefert er aber auch einen wichtigen Beitrag zur umfassenden, regionalen Charakterisierung der Seismizität im südlichen Ostseeraum und bildet das Bindeglied zwischen den Katalogen der Erdbebendienste der Länder in Deutschland und der nationalen Dienste in Dänemark und Schweden. Ein Ereignis vor Rügen mit einer Magnitude um 1.4 am 8.8.2021 ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit als tektonisch einzustufen und gibt einen Hinweis auf rezente Seismizität in der südlichen Ostsee. Die Mehrzahl der registrierten Ereignisse ist anthropogenen Ursprungs, v.a. Sprengungen. Diese sind im täglichen Betrieb hilfreich da sie nicht nur eine regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit der seismologischen Überwachung ermöglichen, sondern auch genutzt werden können, um die Genauigkeit der seismologischen Lokalisierung zu quantifizieren. Für die Kieler Bucht konnte anhand von Sprengungsereignissen mit bekannter Lokation eine Genauigkeit in der seismologisch bestimmten Epizentrallokation von unter 10 km ermittelt werden. Im Rahmen der Charakterisierung eines detektierten seismischen Ereignisses ist die Unterscheidung zwischen tektonischen, anderen natürlichen (z.B. Steinschlag, Donner) und anthropogenen Quellen (z.B. Sprengungen) nicht selten herausfordernd und stellt daher einen unersetzlichen Teil der manuellen Auswertung dar.

Vor dem Hintergrund der geologischen Kenntnisse um Störungssysteme entlang der vorpommerschen Küste, des beobachteten Ereignisses mit wahrscheinlich tektonischem Ursprung im August 2021, sowie wiederkehrender Sprengungen u.a. in den militärischen Gebieten vor Rügen, soll die langjährig bestehende Station in Neuenkirchen auf Rügen um ein lokales Netz ergänzt werden. Hierzu wurden in Kooperation mit der Universität Hamburg bereits im Dezember 2021 sechs zusätzliche Seismometer zu Testmessungen installiert. Diese Teststationen sollen in 2022 zu einem lokalen Netz ausgebaut und in die Datenerfassung und -auswertung am IfG eingebunden werden. Sie werden bei der Detektion, Lokalisierung und Charakterisierung seismischer Ereignisse im Norden M-Vs einen wichtigen Schritt nach vorne ermöglichen.

Ein wesentlicher Nebeneffekt der Charakterisierung von Seismizität ist die Beschreibung des Spannungszustands in der Erdkruste. Zwar ist der großräumige Spannungszustand in Norddeutschland bekannt, aber in M-V bestehen aufgrund der geringen Datenlage Unsicherheiten bei der Beschreibung lokaler Abweichungen, wie sie bspw. entlang von Salzstöcken entstehen können. Der Ausbau des Stationsnetzes in der Kooperation LUNG-IfG in den letzten Jahren liefert bereits eine verbesserte Datengrundlage, um bei zukünftigen Ereignissen Indizien über den Spannungszustand der Erdkruste auch in M-V lokal ableiten zu können.

Literatur

- C. Brandes, T. Plenefisch, D. C. Tanner, N. Gestermann, and H. Steffen. Evaluation of deep crustal earthquakes in northern Germany - Possible tectonic causes. *Terra Nova*, 31(2):83–93, feb 2019. doi: 10.1111/ter.12372.
- G. Ekström, M. Nettles, and A. M. Dziewonski. The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200–201(0):1 – 9, 2012. ISSN 0031-9201. doi: 10.1016/j.pepi.2012.04.002. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031920112000696>.
- EMSC. European-Mediterranean Seismological Centre, 2021. URL <https://www.emsc-csem.org>.
- GFZ Potsdam and Gempa GmbH. The SeisComP seismological software package, 2008. URL <http://www.seiscomp.de>. Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH.
- G. Grünthal, D. Stromeier, K. Wylegalla, R. Kind, R. Wahlström, X. Yuan, and G. Bock. The Mw 3.1–4.7 earthquakes in the southern Baltic Sea and adjacent areas in 2000, 2001 and 2004. *Journal of Seismology*, 12(3):413–429, apr 2008. doi: 10.1007/s10950-008-9096-0.
- O. Heidbach, M. Rajabi, X. Cui, K. Fuchs, B. Müller, J. Reinecker, K. Reiter, M. Tingay, F. Wenzel, F. Xie, M. O. Ziegler, M.-L. Zoback, and M. Zoback. The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744:484–498, oct 2018. doi: 10.1016/j.tecto.2018.07.007.
- G. Leydecker. Erdbebenkatalog fuer Deutschland mit Randgebieten fuer die Jahre 800 - 2008 (Earthquake catalogue for Germany and adjacent areas for the years 800 to. *Geologisches Jahrbuch*, E 59, 2011.
- J. Peterson. Observations and Modeling of Seismic Background Noise. Technical Report 93-322, USGS, Albuquerque, New Mexico, 1993.
- K. Reiter, O. Heidbach, J. Reinecker, B. Müller, and T. Röckel. Spannungskarte Deutschland 2015. *Erdöl Erdgas Kohle*, 131(11):437–442, 2015.
- C. Weidle, T. Meier, and K. Obst. Bericht zur Kooperation 2020 – Status der Erdbebenüberwachung für Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung. Technical report, Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2021.
- Wikipedia. Ausschließliche Wirtschaftszone, 2021. URL https://de.wikipedia.org/wiki/Ausschlie%C3%9Fliche_Wirtschaftszone.

A Ereigniskatalog für 2021

Tabelle A.1: Tektonische und selektierte nicht-tektonische seismische Ereignisse im Jahr 2021 in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung. Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

| Herdzeit (UTC) | Breite (Nord) | Länge (Ost) | Tiefe (km) | Magnitude | Region | Typ |
|---------------------|---------------|-------------|------------|-----------|--------------------|-------------------|
| 2021-01-01 10:22:05 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.4 | North Sea | sonic blast |
| 2021-01-02 15:04:29 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.4 | North Sea | sonic blast |
| 2021-01-13 00:13:08 | 56.7203 | 8.2828 | 56.9 | 3.5 | Denmark | earthquake |
| 2021-01-16 01:54:05 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 2.1 | North Sea | sonic blast |
| 2021-01-16 19:23:31 | 56.9381 | 7.6323 | 74.4 | 3.4 | North Sea | earthquake |
| 2021-01-17 03:04:45 | 58.7176 | 10.9689 | 7.2 | 3.6 | Sweden | earthquake |
| 2021-01-23 18:13:12 | 54.0000 | 13.0000 | 0.0 | 2.7 | Germany | meteorite |
| 2021-01-31 01:35:32 | 53.9359 | 10.3139 | 0.0 | 0.6 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-01-31 22:51:40 | 53.9612 | 10.3228 | 0.0 | 0.6 | Germany | ice quake |
| 2021-01-31 23:27:42 | 53.9612 | 10.3228 | 0.0 | 0.6 | Germany | ice quake |
| 2021-02-01 00:19:36 | 53.9612 | 10.3228 | 0.0 | 0.6 | Germany | ice quake |
| 2021-02-01 15:07:24 | 58.3147 | 11.5592 | 0.0 | 2.8 | Sweden | explosion |
| 2021-02-11 09:22:23 | 54.1061 | 13.6928 | 0.0 | 2.7 | NW-Mecklenburg | atmospheric event |
| 2021-02-11 22:38:28 | 53.9394 | 10.3434 | 0.0 | 0.5 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-12 01:10:00 | 53.9361 | 10.3169 | 1.0 | 0.8 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-12 01:31:31 | 53.9612 | 10.3228 | 0.0 | 0.9 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-12 22:23:31 | 53.9612 | 10.3228 | 0.0 | 1.0 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-13 00:36:05 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.6 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-13 01:07:53 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.6 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-13 03:18:54 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.6 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-13 05:13:50 | 53.9612 | 10.3228 | 0.0 | 0.5 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-13 16:10:37 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 1.1 | Segeberg | ice quake |

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2021 in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

| Origin Time (UTC) | Latitude (North) | Longitude (East) | Depth (km) | Magnitude | Region | Event Type |
|---------------------|------------------|------------------|------------|-----------|--------------------|-------------------|
| 2021-02-13 19:57:28 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.4 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-13 22:59:08 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.8 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-13 23:48:20 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.7 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-13 23:55:56 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.5 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-14 00:07:18 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.6 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-14 00:18:33 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.3 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-14 01:15:46 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.9 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-14 01:48:20 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 1.1 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-14 02:18:32 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.5 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-14 04:03:42 | 53.9491 | 10.3265 | 0.0 | 0.6 | Segeberg | ice quake |
| 2021-02-14 16:09:09 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.8 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-15 01:45:32 | 53.9200 | 10.3200 | 0.0 | 0.7 | Northern Friesland | ice quake |
| 2021-02-25 17:45:16 | 54.2000 | 13.6000 | 0.0 | 2.4 | NW-Mecklenburg | atmospheric event |
| 2021-03-10 19:15:13 | 54.7544 | 10.6415 | 0.0 | 1.9 | Danmark | explosion |
| 2021-03-18 02:42:52 | 54.1781 | 7.9058 | 0.0 | 1.1 | Northern Friesland | sonic blast |
| 2021-03-18 04:27:26 | 54.1758 | 7.9076 | 0.0 | 1.1 | Northern Friesland | sonic blast |
| 2021-03-27 19:58:14 | 56.2200 | 10.1100 | 0.0 | 2.8 | Denmark | meteorite |
| 2021-04-07 04:31:00 | 54.1700 | 7.9000 | 0.0 | 1.6 | Northern Friesland | sonic blast |
| 2021-04-09 22:11:13 | 54.1800 | 7.9000 | 0.0 | 1.2 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-04-10 00:17:42 | 53.9315 | 10.3195 | 0.0 | 0.2 | Northern Friesland | rock burst |
| 2021-04-14 16:35:15 | 54.9600 | 14.8240 | 0.0 | 2.4 | Greater Bornholm | explosion |
| 2021-05-17 09:20:35 | 55.6165 | 12.8909 | 2.1 | 2.5 | Denmark | earthquake |
| 2021-06-05 21:04:52 | 54.1838 | 7.8973 | 0.0 | 0.9 | Helgoland Umgebung | sonic blast |

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2021 in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

| Origin Time (UTC) | Latitude (North) | Longitude (East) | Depth (km) | Magnitude | Region | Event Type |
|---------------------|------------------|------------------|------------|-----------|------------------------|-------------|
| 2021-06-17 23:55:47 | 53.9356 | 10.3170 | 0.0 | -0.1 | Segeberg | rock burst |
| 2021-06-19 01:03:52 | 53.3412 | 6.0709 | 5.0 | 3.1 | The Netherlands | earthquake |
| 2021-06-26 11:23:15 | 54.3700 | 13.2669 | 0.0 | 2.1 | Rügen | explosion |
| 2021-06-30 07:21:37 | 54.3700 | 13.2669 | 0.0 | 1.8 | Rügen | explosion |
| 2021-07-04 17:25:17 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 0.7 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-07-06 13:59:05 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.5 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-07-09 22:59:32 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.7 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-12 05:47:10 | 54.1874 | 7.8954 | 0.0 | 1.6 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-07-12 14:16:29 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.7 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-13 11:40:49 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.6 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-13 12:57:35 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.5 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-13 13:22:55 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.5 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-14 09:53:51 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.3 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-07-17 09:21:07 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 2.0 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-19 06:34:18 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.6 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-19 14:06:28 | 54.6126 | 13.3956 | 0.0 | 1.7 | Mecklenburg-Vorpommern | explosion |
| 2021-07-21 20:49:27 | 52.8675 | 8.7015 | 19.1 | 2.3 | Niedersachsen | earthquake |
| 2021-07-31 21:37:56 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.7 | Helgoland Umgebung | NULL |
| 2021-08-06 12:49:58 | 54.6244 | 13.3170 | 0.0 | 2.9 | Rügen | explosion |
| 2021-08-06 13:04:00 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.3 | Rügen | explosion |
| 2021-08-07 11:45:01 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.6 | Rügen | explosion |
| 2021-08-07 11:47:51 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.6 | Rügen | explosion |
| 2021-08-07 22:09:02 | 54.5500 | 13.3100 | 0.0 | 1.1 | Rügen | explosion |

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2021 in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

| Origin Time (UTC) | Latitude (North) | Longitude (East) | Depth (km) | Magnitude | Region | Event Type |
|---------------------|------------------|------------------|------------|-----------|--------------------|-------------|
| 2021-08-07 22:30:59 | 54.5500 | 13.3100 | 0.0 | 1.4 | Rügen | earthquake |
| 2021-08-13 11:48:32 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.6 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 11:49:52 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 1.8 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 11:51:40 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.3 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 12:39:08 | 54.5510 | 13.3200 | 0.0 | 2.5 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 13:05:38 | 54.5477 | 13.3214 | 11.0 | 2.1 | Rügen | explosion |
| 2021-08-13 13:22:32 | 54.5477 | 13.3214 | 0.0 | 2.5 | Rügen | explosion |
| 2021-08-20 20:36:21 | 54.7624 | 4.5700 | 10.5 | 3.8 | North Sea | earthquake |
| 2021-08-25 02:45:21 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.0 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-08-25 03:10:30 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 0.9 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-09-07 00:12:28 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.1 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-09-13 01:22:54 | 52.9890 | 9.2114 | 15.3 | 3.1 | Niedersachsen | earthquake |
| 2021-09-23 12:58:46 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.7 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-10-04 06:27:27 | 54.2000 | 7.9000 | 10.0 | 1.6 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-11-01 21:32:34 | 54.2000 | 7.9000 | 0.0 | 1.5 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-11-15 10:00:14 | 54.7074 | 10.8746 | 5.7 | 2.3 | Germany | explosion |
| 2021-11-15 11:51:04 | 54.7669 | 10.6472 | 1.1 | 2.2 | Danmark | explosion |
| 2021-11-15 13:15:16 | 54.7285 | 10.6776 | 8.1 | 2.3 | Danmark | explosion |
| 2021-11-15 15:36:46 | 54.6855 | 10.7638 | 8.2 | 2.4 | Germany | explosion |
| 2021-11-16 00:46:48 | 53.3055 | 6.6633 | 5.0 | 3.2 | The Netherlands | earthquake |
| 2021-11-16 17:12:58 | 54.6011 | 10.8479 | 11.0 | 1.9 | Germany | explosion |
| 2021-12-04 00:50:28 | 54.2000 | 7.9000 | 10.0 | 1.5 | Helgoland Umgebung | sonic blast |
| 2021-12-24 23:41:36 | 54.2000 | 7.9000 | 10.0 | 1.3 | Helgoland Umgebung | earthquake |

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2021 in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

| Origin Time (UTC) | Latitude (North) | Longitude (East) | Depth (km) | Magnitude | Region | Event Type |
|---------------------|------------------|------------------|------------|-----------|--------------------|------------|
| 2021-12-25 23:22:41 | 53.9395 | 10.3205 | 10.0 | 0.6 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-25 23:35:02 | 53.9395 | 10.3205 | 10.0 | 0.4 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-26 01:40:25 | 53.9395 | 10.3205 | 10.0 | 0.2 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-26 02:54:20 | 53.9395 | 10.3205 | 10.0 | 0.4 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-26 05:32:48 | 53.9458 | 10.3161 | 10.0 | 0.8 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-26 22:11:20 | 53.9458 | 10.3161 | 10.0 | 0.9 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-26 23:33:40 | 54.1474 | 12.5402 | 10.0 | 1.0 | Rügen | earthquake |
| 2021-12-27 01:09:31 | 53.9458 | 10.3161 | 10.0 | 0.7 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-27 01:15:17 | 53.9458 | 10.3161 | 10.0 | 0.5 | Segeberg | ice quake |
| 2021-12-31 09:41:44 | 54.1857 | 7.8967 | 10.0 | 1.4 | Helgoland Umgebung | explosion |
| 2021-12-31 11:37:57 | 54.1857 | 7.8967 | 10.0 | 1.8 | Helgoland Umgebung | explosion |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Übersicht seismischer Stationen in Norddeutschland. Permanentstationen (Dreiecke) in SH und M-V werden vom IfG (grün) und der BGR und GEO-FON (GFZ Potsdam) (orange) betrieben. Das lokale Netze auf Rügen (gelb) wurde Ende des Jahres 2021 vom IfG im Rahmen der Kooperation installiert. | 4 |
| 2 | Die seismologische Station im Vogelpark Marlow. Fotos: D. Schulte-Kortnack und C. Weidle | 5 |
| 3 | Vergleich der Leistungsdichtespektren (PPSD) für die Vertikalkomponente der Station KQ.MRLW im Vogelpark Marlow. | 6 |
| 4 | Bestimmung der azimuthalen Orientierung der Horizontalkomponenten im Bohrloch für die Station KQ.MRLW in Marlow. | 7 |
| 5 | Die seismologische Station im HTM Peenemünde. Fotos: D. Schulte-Kortnack und C. Weidle | 8 |
| 6 | Vergleich der Leistungsdichtespektren (PPSD) für die Vertikalkomponente der Station KQ.PEEM im HTM Peenemünde. | 9 |
| 7 | Verteilung aller in 2020 am Datenzentrum des IfG detektierten Ereignisse. Der überwiegende Anteil sind global verteilte Ereignisse mit Magnituden > 4.5 , welche vollautomatisch vom System prozessiert wurden. | 12 |
| 8 | Bildschirmaufnahme der in der automatischen Echtzeit-Überwachung verwendeten seismologischen Stationen in M-V und Umgebung. Die Farben geben den aktuellen (zum Zeitpunkt der Aufnahme) Amplitudenwert des seismischen Rauschens von niedrig (blau) zu erhöht (grün-gelb) wieder. Schwarze Stationen lieferten zum Zeitpunkt der Aufnahme keine Daten, rote Stationen deuten auf Datenprobleme hin. | 12 |
| 9 | Helicorder Darstellung zur manuellen Durchsicht von täglichen Wellenformen. Wellenformen an den Stationen RGN, PEEM, NONN, GRES, LNIZ, 2-8 Hz bandpass-gefiltert. Herdzeit von "bekannten" Erdbeben nach EMSC [2021]. Markiert ist eine Sprengung bei Bornholm (DK, schwarzer Kreis). . . | 13 |
| 10 | Ereignisse in Norddeutschland und Umgebung im Jahr 2021, Quelle: EMSC [2021]. Die Landesgrenzen von SH und MV (dunkelblau) sind ebenso dargestellt, wie die AWZ Grenzen in der Nord- und Ostsee (blau) nach Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen (s. Wikipedia [2021]). . . . | 15 |
| 11 | Übersichtskarte der in 2021 am IfG detektierten und manuell nachbearbeiteten Ereignisse in Norddeutschland und Umgebung. Farblich markiert ist der vom Analysten bestimmte Quelltyp. | 16 |
| 12 | Das Ereignis vom 8.8.2021, 0:31 Uhr Ortszeit (UTC+2) aufgezeichnet auf Rügen und Auswertung der Polarisation der Wellenform an der Station RGN. Von oben nach unten: Z-, Nord- und Ost-Komponente, Polarisationsparameter, Geradlinigkeit und Ebenheit der Polarisationsparameter. . . . | 17 |

| | | |
|----|--|----|
| 13 | Das Ereignis vom 27.12.2021, 0:33 Uhr Ortszeit (UTC+1) aufgezeichnet an der Station MRLW und Auswertung der Polarisationsparameter. Von oben nach unten: Z-, Nord- und Ost-Komponente, Polarisationsparameter, Geradlinigkeit und Ebenheit der Polarisationsparameter. | 18 |
| 14 | Wellenformen von wahrscheinlichen Sprengungsereignissen nördlich von Rügen am 13. Juli 2021. | 20 |
| 15 | Überblick verschiedener Studien zum Spannungszustand der Erdkruste in Norddeutschland. Horizontale Hauptspannungsrichtungen in (a) und (b) sind ergänzt durch Herdmechanismen von Erdbeben in (b) und (c). | 24 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Signifikante Erdbeben im Jahr 2021 (EMSC) | 14 |
| 2 | Seismische Ereignisse in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (IfG) . . | 21 |
| A.1 | Seismische Ereignisse in Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (IfG) . . | 29 |