



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



Schleswig-Holstein
Landesamt für Umwelt



Landesamt für Umwelt,
Naturschutz und Geologie

Status der Erdbebenüberwachung für Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern

Bericht zur Kooperation 2023

Dr. Christian Weidle^{id}, Olav Cornelius, Dr. Lars Wiesenbergs^{id}

Dipl.-Ing. Detlef Schulte-Kortnack, Prof. Dr. Thomas Meier

*Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,
Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel*

Dipl.-Geophys. Andreas Omlin

*Geologischer Dienst SH, Landesamt für Umwelt,
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek*

Dr. Karsten Obst

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

Beiträge zur seismologischen Überwachung in Norddeutschland

Nº 9, 2024

Weidle, C. et al.: Status der Erdbebenüberwachung für Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern – Bericht zur Kooperation 2023.

ISSN 3052-7236

DOI 10.38071/2025-00975-1

Herausgegeben von

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Veröffentlicht am 5. Juli 2024,
... online am 12. August 2025



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

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Status Stationsnetz 2023	3
2.1 Permanentstationen	3
2.2 Stationsarbeiten in Schleswig-Holsten	5
2.3 Stationsarbeiten in Mecklenburg-Vorpommern	7
2.4 Überwachung von Ozeanparametern mit küstennahen seismischen Stationen	9
2.5 Fazit	10
3 Status Datenzentrum - Erfassung und Auswertung seismologischer Daten	11
4 Ereignisübersicht 2023	14
4.1 Überregionale Seismizität	14
4.2 Seismische Ereignisse in SH und MV	15
4.3 Tektonische Ereignisse	16
4.4 Explosionsereignisse	18
4.5 Geschwindigkeitsmodell für die Kieler Bucht	20
4.6 Andere relevante Ereignisse	23
5 Temporäres Messnetz im Segeberger Kalkberg 2021/22	27
5.1 Auswertung des passiven Experiments	28
5.1.1 Frostinduzierte Ereignisse	30
6 Zusammenfassung	33
Literatur	35
A Ereigniskatalog für 2023	37
B Abbildungsverzeichnis	65
C Tabellenverzeichnis	66

1 Einleitung

Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Geowissenschaften (IfG) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) in Schleswig-Holstein (Landesamt für Umwelt, LfU) und Mecklenburg-Vorpommern (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, LUNG) wird erstmalig ein gemeinsamer Jahresbericht über die Aktivitäten am IfG zur Erdbebenüberwachung in den beiden Bundesländern vorgelegt. Die Kooperation umfasst zum einen die Durchführung und Weiterentwicklung der regionalen, seismologischen Überwachung - darunter fällt der Betrieb der seismologischen Infrastruktur und die seismologische Auswertung. Zum anderen werden deziidierte Forschungsvorhaben zur Untersuchung lokaler Fragestellungen durchgeführt.

Das seismologische Stationsnetz in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern umfasst 17 seismologische Stationen - von Helgoland bis Usedom, welche das Rückgrat der flächendeckenden seismologischen Überwachung bilden. Dariüberhinaus betreibt das IfG mit verschiedenen Kooperationspartnern 21 weitere Stationen in lokal verdichteten Netzen, auf Helgoland, um Bad Segeberg, auf Rügen und in der Region Lubmin.

Die Stationen sind technisch hochwertig und haben eine sehr hohe Datenvollständigkeit. Regelmäßige Wartungen der Stationen (sowohl vor Ort als auch per Fernzugriff) sind eine unverzichtbare Komponente zur Sicherstellung einer hohen Datenverfügbarkeit von allen Stationen. Bedarfsoorientiert wurden Arbeiten zur Modernisierung und Reparatur einzelner Stationen durchgeführt, u.a. musste erstmals ein Bohrlochseismometer geborgen werden und das Rügen-Array wurde um eine zusätzliche Station erweitert (siehe Kapitel 2).

Die seismologische Überwachung mittels eines so umfangreichen Stationsnetzes ist kosteneffizient nur durch automatisierte Datenerfassungs- und auswertesysteme möglich, welche kontinuierlich überwacht und bei Bedarf angepasst werden müssen. Der im Vorjahr implementierte AD-Detektor hat sich als robustes und zuverlässiges Werkzeug etabliert, welches regionale Ereignisse ab etwa Magnitude 2 zuverlässig detektiert. Dennoch werden weiterhin verschiedene Detektoren eingesetzt und eine tägliche, manuelle Datendurchsicht bleibt zur vollständigen Erfassung schwacher Ereignisse nach wie vor unverzichtbar. Um die Datengrundlage zur Auswertung seismischer Ereignisse weiter zu erhöhen, werden tagesaktuelle Wellenformdaten des Raspberryshake-Netzes eingebunden. Details hierzu sind in Kapitel 3 ausgeführt.

In Mecklenburg-Vorpommern gab es im Jahr 2023 zwei Ereignisse, welche als tektonisch eingestuft wurden. Ein Ereignis mit Magnitude 1.6 in der Kadetrinne war bis nach Usedom gut messbar. Das andere Ereignis in der Region um Rostock ist nur ungenau bestimmbar, da es nur an sehr wenigen Stationen registriert wurde. Weitere nennenswerte Ereignisse welche als wahrscheinlich tektonisch einzustufen sind, traten in der südöstlichen Nordsee im Grenzgebiet zwischen der deutschen und dänischen AWZ, etwa 100 km vor der Küste

Süd-Jütlands auf. Tektonische Ereignisse waren in dieser Region bisher nicht bekannt.

Im Sommer 2023 wurde ein starkes seismisches Ereignis in der Lübecker Bucht, im Bereich der marinen Landesgrenze SH-MV detektiert, welches selbst an Stationen in Schottland noch messbar war. Die Auswertung ergab, dass es sich um ein explosives Ereignis gehandelt haben muss, u.a. wurden akustische Signale an Seismometern und Infraschallstationen in der Region gemessen. Details hierzu werden in Kapitel 4 diskutiert. Während neuerlicher Sprengversuche im Sperrgebiet vor Schönhagen (SH) im Herbst 2023, konnten Wellenformen mit sehr hoher qualitativer Ähnlichkeit zu dem vorgenannten Ereignis aufgezeichnet werden, welche die Interpretation einer explosiven Quelle unterstreichen. Anhand der kontrollierten Sprengungen vor Schönhagen wurde ein lokales seismisches P-Wellengeschwindigkeitsprofil abgeleitet, welches von den bisher verwendeten Geschwindigkeitsmodellen in der oberen Kruste stark abweicht. Das lokale Modell sollte die Genauigkeit der seismologischen Lokalisierung weiter verbessern (siehe Kapitel 4).

Bereits im Winter 2021/22 wurde im Segeberger Kalkberg ein temporäres, untertägiges Messexperiment durchgeführt. Die Auswertung der passiv gemessenen Daten ergab einen umfassenden Überblick über die kontinuierlich an der Permanentstation BSEG in der Kalkberghöhle gemessenen Signale. Der weit überwiegende Anteil wird anthropogenen Quellen, vor allem durch Verkehr angeregten Erschütterungen, zugeordnet. Einzelne frostinduzierte Ereignisse konnten mit dem Messnetz in Richtung des Großen Segeberger Sees verortet werden (siehe Kapitel 5).

2 Status Stationsnetz 2023

Das seismologische Stationsnetz umfasst in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern derzeit 38 Installationen. Die Stationen werden im Allgemeinen vom IfG in verschiedenen Konstellationen in Kooperation mit der BGR Hannover, dem GFZ Potsdam und/oder den SGD betrieben; die lokalen Stationsnetze um Bad Segeberg werden im Rahmen der Kooperation mit dem SGD-SH, auf Helgoland in Kooperation mit der BGR und auf Rügen in Kooperation mit der Universität Hamburg betrieben. Die BGR nahm im Sommer 2023 im Rahmen ihres geplanten bundesweiten Starkbebenetzwerks in Rendsburg (SH) eine der ersten Testinstallationen in Betrieb.

2.1 Permanentstationen

Das regionale seismologische Netz mit neun Stationen in Schleswig-Holstein und acht Stationen in Mecklenburg-Vorpommern bildet das Rückgrat der regionalen seismologischen Überwachung. Hiervon wurden 6 Stationen seit Beginn der Kooperation mit dem SGD-SH in 2014 bzw. 5 Stationen seit Beginn der Kooperation mit dem SGD-MV in 2020 eingerichtet. Das regionale Netz wird durch lokale Netze um Bad Segeberg, auf Helgoland und Rügen ergänzt (Abb. 1, Tab. 1, z.B. Weidle et al. [2020]). Die Stationen GOIE (Greifswalder Oie) und NONN (Nonnendorf) werden vom IfG als lokales Netz um Lubmin betrieben, die Station GOIE verfügt aber bisher über keine kontinuierliche Datenübertragung in Echtzeit.

Netzwerk	Station	Breitengrad	Längengrad	Stationsname
GE	HLG	54.18	7.88	UKiel/GEOFON Station Helgoland, Germany
GE	RGN	54.55	13.32	GRSN/GEOFON Station Ruegen, Germany
GQ	RNBSH	54.30	9.67	BGR Station Rendsburg, Germany
GR	BSEG	53.94	10.32	GRSN Station Bad Segeberg
GR	KBON	54.12	11.77	BGR Station Kühlungsborn, Germany
GR	KHUS	54.20	11.05	BGR Station Kellenhusen, Germany
GR	KUDEN	53.97	9.20	BGR Station Kuden, Germany
GR	LNIZ	53.49	14.21	BGR Station Loecknitz, Germany
GR	SCHI	53.34	12.84	BGR Station Schillersdorf, Germany
GR	SKMB	54.72	9.44	GRSN Station Sankelmark Bunker
GR	ZARR	53.55	10.92	GRSN Station Zarrenthin
KQ	BIRK	54.44	10.07	Birkenmoor
KQ	BUESM	54.13	8.88	FTZ Buesum
KQ	MRLW	54.14	12.57	Birdpark Marlow
KQ	PEEM	54.14	13.77	HTM Peenemuende
KQ	QBN	53.72	9.90	Quickborn borehole
KQ	WERLE	53.26	11.68	Werle
GR	HLGA1	54.19	7.87	Helgoland radio tower
GR	HLGA2	54.19	7.89	Helgoland AWI guest house
GR	HLGA3	54.18	7.89	Helgoland harbour
GR	HLGB1	54.18	7.91	Helgoland dune south
GR	HLGB2	54.19	7.91	Helgoland dune north
KQ	BSEA1	53.94	10.34	Stipsdorf
KQ	BSEA2	53.91	10.32	Klein Gladebruegge
KQ	BSEA3	53.94	10.29	WZV Bad Segeberg
KQ	BSEA4	53.96	10.33	Klein Roennau
KQ	BSEA5	53.95	10.37	Quaal
KQ	GOIE	54.24	13.91	Greifswalder Oie
KQ	LID	54.55	13.36	Liddow
KQ	NONN	54.11	13.69	Nonnendorf
KQ	RGNA1	54.55	13.34	Neuenkirchen Sylvin
KQ	RGNA2	54.54	13.35	Neuenkirchen Laase
KQ	RGNA3	54.55	13.33	Neuenkirchen bell tower
KQ	RGNA4	54.56	13.35	Neuenkirchen Grubnow
KQ	RGNA5	54.54	13.34	Neuenkirchen south
KQ	RGNB1	54.52	13.37	Tetzitz
KQ	RGNB2	54.52	13.25	Trent
KQ	RGNB3	54.59	13.31	Schmantevitz

Tabelle 1: Liste der seismologischen Stationen in SH und MV, getrennt nach regionalem Netz (oberer Teil) und lokalen Netzen, sowie temporären Stationen (unterer Teil). Netzwerkcodes: GE: GEOFON (GEOFON Data Centre [1993]); GR: German Regional Seismic Network (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources [1976]); GQ: German Strong Earthquake Network (BGR); KQ: Kiel University Earthquake Monitoring (Christian Albrechts-Universität zu Kiel [2017])

Seismologisches Netz Schleswig-Holstein & Mecklenburg-Vorpommern

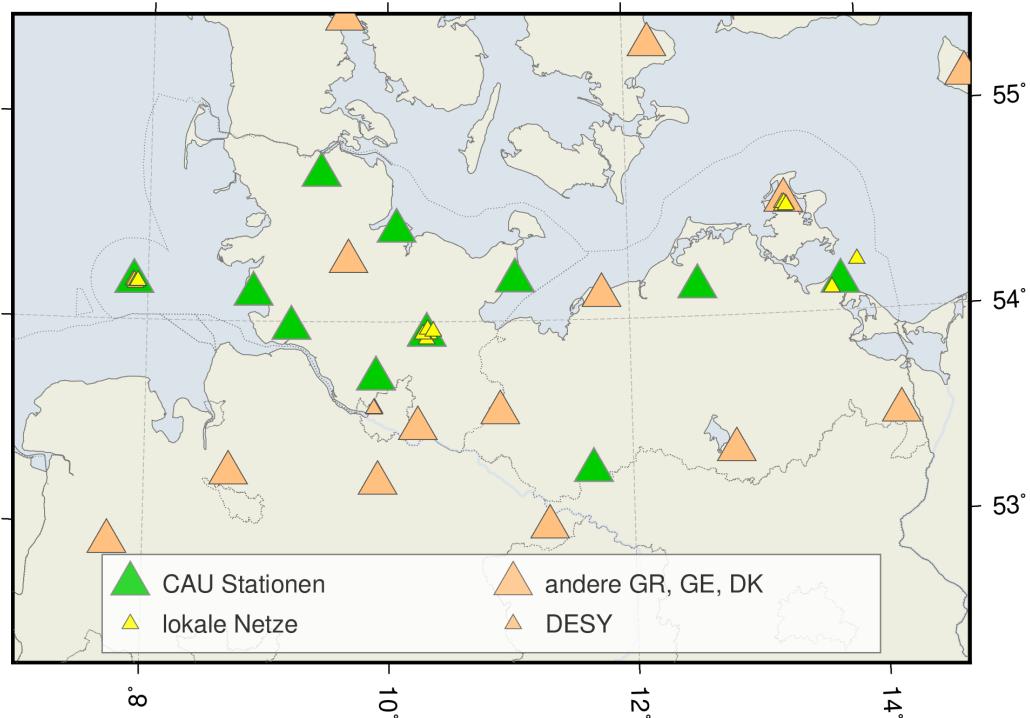


Abbildung 1: Übersicht seismologischer Stationen in Norddeutschland. Permanentstationen (Dreiecke) in SH und MV werden vom IfG (grün), von der BGR und GEOFON (GFZ Potsdam) sowie dem Dänischen Geologischen Dienst (orange) betrieben. Lokale Netze des IfG (gelb) werden in Kooperation mit dem SGD-SH (Bad Segeberg), der BGR (Helgoland) sowie der Univ. Hamburg (Rügen) betrieben.

An den Stationen des regionalen Netzes lief der Betrieb das ganze Jahr über weitgehend störungsfrei, die Datenvollständigkeit an diesen Standorten ist mit wenigen Ausnahmen über 95 %. Diese hohe Datenvollständigkeit ist das Ergebnis regelmäßiger Wartung der Stationen, sowohl vor Ort als auch aus der Ferne, und einer zeitnahen Behebung von auftretenden Fehlern. An der Station Quickborn (SH) wurde im Frühjahr 2023 die Stromversorgung erneuert, um eine Echtzeitdatenübertragung zu ermöglichen, sowie die Datenverfügbarkeit der mit einem Solarpanel betriebenen Station in den Wintermonaten zu verbessern. Leider kam es im Laufe des Jahres zu wiederkehrenden Defekten der Stromversorgung an dieser Station, weshalb die Datenvollständigkeit der Station QBN im Jahr 2023 bei nur rund 70 % liegt.

2.2 Stationsarbeiten in Schleswig-Holsten

Umbau der Station Quickborn - KQ.QBN Im Frühjahr 2023 wurde die Station Quickborn mit einem 200 Wp Solarmodul, einer 105 Ah Lithium-Eisenphosphat (LiFePO4) Batterie, sowie einem Mobilfunkrouter ausgerüstet (s. Weidle et al. [2023b]). Die Erweiterung der Stromversorgung erlaubt eine kontinuierliche Datenübertragung in Echtzeit ans IfG und sollte die Datenverfügbarkeit in den Wintermonaten verbessern. In den

Sommermonaten lief die Station problemfrei, im Herbst kam es allerdings wiederholt zu Defekten am Batteriemanagementsystem. Dies führte zu einem längeren Ausfall. Im Laufe des Winters wurden verschiedene Massnahmen ergriffen, um den Strombedarf zu reduzieren. Hierbei wird auf eine Datenübertragung verzichtet, wenn der Ladestand der Batterie einen bestimmten Schwellwert unterschreitet. Dies geschieht zugunsten einer längeren, durchgehenden lokalen Datenregistrierung. Die Optimierung dieser Parameter bedarf einer laufenden Evaluierung und Anpassung, wozu die Spannung an der Batterie, sowie die Temperatur des Datenrekorders überwacht werden. Problematisch erscheint vor allem die Temperaturempfindlichkeit der Batterie sobald die Außentemperaturen dauerhaft unter ca. 5 Grad fallen. Weitere Maßnahmen zur Stabilisierung der Datenerfassung werden fortlaufend diskutiert.

Reparatur der Station am WZV Bad Segeberg - KQ.BSEA3 Zu Beginn des Jahres 2023 kam es an der Bohrlochstation KQ.BSEA3 zunächst vereinzelt, dann zunehmend zu Datenfehlern, welche auf einen Defekt der Kabelanbindung des Seismometers im Bohrloch an den Datenrekorder hindeuteten. Gemeinsam mit dem SGD-SH wurde das Seismometer am 30.5.2023 aus dem Bohrloch geborgen. Hierbei musste das Bohrloch zunächst ventiliert werden, um den durch das anstehende Grundwasser erzeugten Unterdruck beim Ziehen des Seismometers zu überwinden. Durch eine Undichtigkeit am Sensorstecker war Wasser in das Kabel eingedrungen, wodurch es zu Kurzschlüssen zwischen den Adern des Kabels kam. Am 29.6.2023 wurde der Sensor mit einem neuen Bohrlochkabel wieder installiert, eine Reparatur des defekten Kabels wurde vom Hersteller aus Kulanz übernommen.

Vorbereitung Umbau der Station Büsum - KQ.BUESM Am Standort des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste (FTZ) der CAU Kiel wurde im Jahr 2020 die dort bereits 2008 installierte seismologische Station wieder in Betrieb genommen (Weidle et al. [2021]). Soweit bekannt, wurde das Seismometer damals in einem flachen Schacht in weniger als 2 m Tiefe verbaut. Dies erscheint anhand der Datenqualität plausibel, da diese durch ein relativ hohes Rauschniveau im Frequenzbereich oberhalb etwa 1 Hz geprägt ist. Aufgrund der Erfahrungen an anderen Standorten in SH und MV, ist davon auszugehen, daß eine Installation in einem Bohrloch die Datenqualität in diesem Frequenzbereich deutlich verbessern könnte. Daher wurde mit dem FTZ, sowie der CAU Kiel eine Vereinbarung getroffen, daß auf dem Gelände des FTZ am Standort des jetzigen Seismometers ein bis zu 30 m tiefes Bohrloch erstellt werden kann. Dies soll im Frühjahr 2024 vom SGD-SH ausgeführt und anschließend im Rahmen der Kooperation mit dem IfG neu installiert werden.

Teststation des Starkbebennetzes der BGR in Rendsburg - GQ.RNBSH Der Erdbebendienst des Bundes an der BGR plant seit einigen Jahren die Errichtung eines bundesweiten Starkbebennetzes. Als Zielvorstellung sollen mehrere hundert kurzperiodische Seismometer und Akzelerometer flächendeckend im gesamten Bundesgebiet verteilt

werden. Obwohl das Projekt schon einige Jahre in Planung ist, stehen die ersten praktischen Arbeiten erst am Anfang. Im Jahr 2023 wurden erste Testinstallatoren in Niedersachsen und Baden-Württemberg eingerichtet und im Juni 2023 eine Testinstallation auf dem Gelände des Bundesamts für Strahlenschutz in Rendsburg. Auf dem Parkplatz des Geländes ist in einem ca. 1 m tiefen betonierten Schacht ein Lunitek Sentinel-Geo 6-Kanal-Seismometer verbaut. Die Daten der Station sind frei verfügbar und werden am IfG seit Frühjahr 2024 in die Auswertung miteingebunden. Die Datenqualität der Station wurde noch nicht bewertet, dies ist in den kommenden Monaten geplant. Ein erster Eindruck der Datenqualität suggeriert ein, im urbanen Umfeld erwartbares, recht hohes Rauschniveau.



Abbildung 2: Installation der Station Rendsburg GQ.RNBSH. Die Station wurde von der BGR eingerichtet.

2.3 Stationsarbeiten in Mecklenburg-Vorpommern

Verfestigung der Station Werle - KQ.WERLE Im September 2022 wurden in der Region um den Salzstock Werle, Lkr. Ludwigslust-Parchim, an zwei Standorten Testmessungen für eine permanente seismologische Station durchgeführt (Weidle et al. [2023a]). Auf Basis der Testmessungen wurde im März 2023 der Standort Werle als bevorzugt ausgewählt. Das Seismometer im ehemaligen Feuerwehrhaus wurde mit einem Mobilfunkrouter ausgestattet und die Daten werden in Echtzeit am IfG erfasst und verarbeitet. Das zweite zu Testzwecken installierte Gerät wurde abgebaut und als zusätzliche Station im Rügen-Array eingebunden.

Arbeiten am Rügen-Array - neue Station KQ.RGNA5 Am südlichen Ortsrand von Neuenkirchen (Rügen) konnte eine ehemalige Lagerhalle als weiterer Standort für eine Station im Rahmen des Rügen-Arrays etabliert werden. Diese Ergänzung ist eine wichtige Komponente um die angestrebte kreisförmige Geometrie des inneren Arrays nach Süden zu verbessern (Abb. 3). Eine kreisförmige Anordnung führt zu einer Reduktion der Richtungsabhängigkeit bei der Detektion seismischer Ereignisse mit Array-Verfahren (Weidle et al. [2023a]).

Verstetigung der Station Greifswalder Oie - KQ.GOIE Seit einigen Jahren sind wir bestrebt, im Rahmen der Kooperation mit dem SGD-MV eine permanente seismologische Station auf der Greifswalder Oie einzurichten. Eine dauerhafte Einrichtung der derzeitigen Station im Keller des Inselhofes ist technisch schwierig umsetzbar. Außerdem ist der Inselhof am Südende der Insel unweit des Hauptaggregats zur Stromversorgung des Leuchtturms eine bedeutsame Störquelle. Daher wird ein permanenter Standort am Nordende der Insel, im Bereich des Leuchtturms bevorzugt. Hierzu wurden bereits Gespräche mit dem WSA Stralsund, sowie ein Ortstermin durchgeführt, um die Station dauerhaft auf dem Gelände des Leuchtturms an der Nordspitze der Insel zu etablieren. Im Sommer 2023 wurde vom IfG eine Firma mit der Erstellung einer Bohrung beauftragt, das WSA hat logistische Unterstützung für den Transport des Bohrgeräts auf die Insel zugesagt. Ein erster Termin September 2023 musste aufgrund Personalmangels leider kurzfristig abgesagt werden. Es ist geplant, die Erstellung der Bohrung im Sommer 2024 durchzuführen und anschließend eine Bohrlochstation in Betrieb zu nehmen. Ein Bohrlochseismometer, Sensorkabel und Datenlogger wurden seitens des IfG bereits beschafft.

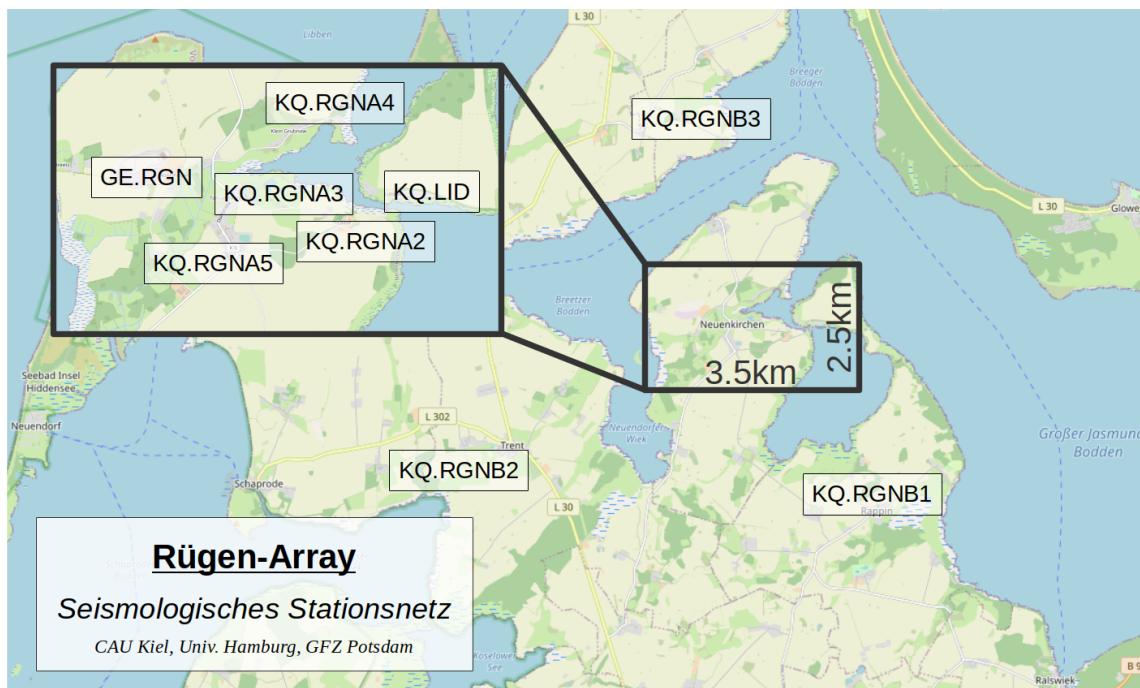


Abbildung 3: Stationskarte des Rügen-Arrays. Die neue Station RGNA5 am Südrand von Neuenkirchen verbessert die nahezu kreisförmige Geometrie des inneren Arrays.

2.4 Überwachung von Ozeanparametern mit küstennahen seismischen Stationen

In der Seismologie ist seit den 1950er Jahren bekannt, dass das weltweit registrierbare seismische Rauschen im Periodenbereich von ca. 3 - 20s weit überwiegend durch dynamische Prozesse in den Ozeanen angeregt wird - die sogenannte Meeresmikroseismik. Darüberhinaus ist vor allem an küstennahen Stationen eine Korrelation von lokal bis regionalen Prozessen in Randmeeren auf das seismische Rauschen auch bei kürzeren Perioden bis ca. 1s beobachtbar (z.B. Wiesenbergs et al. [2023]). Durch den Ausbau der seismologischen Stationen an Nord- und Ostsee ergeben sich somit weitergehende Möglichkeiten, die Zusammenhänge von ozeandynamischen Parametern und dem seismischen Rauschen tiefergehend zu untersuchen.

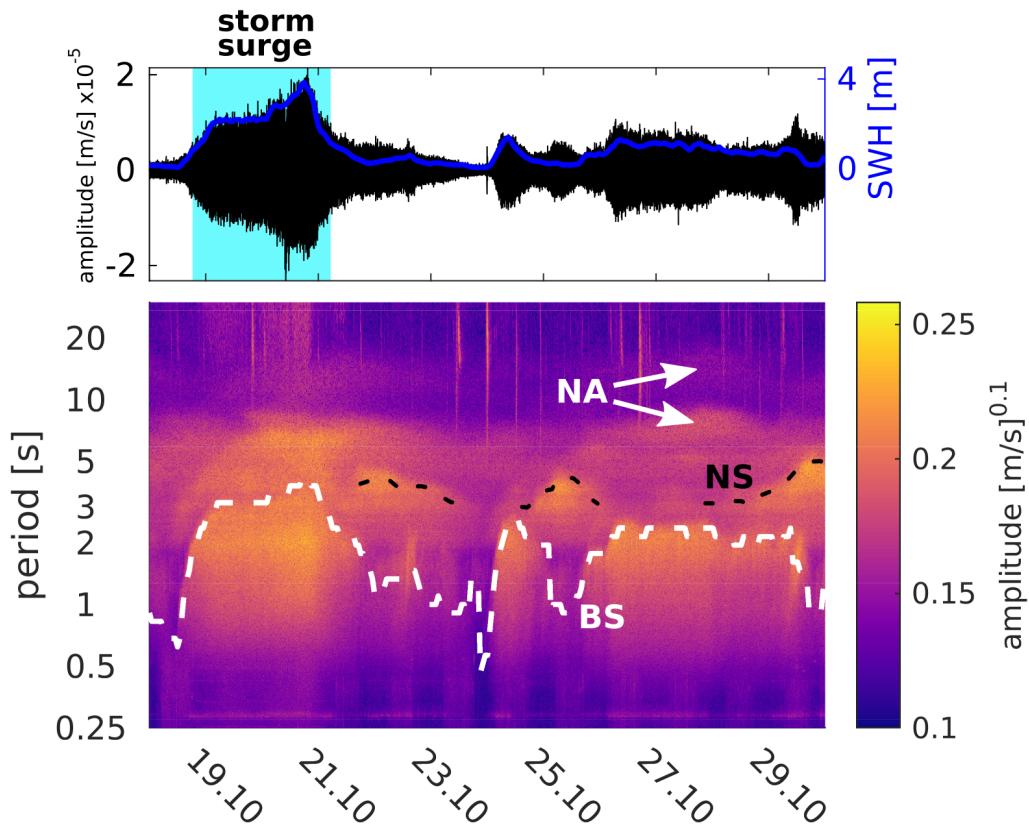


Abbildung 4: Untersuchung der Meeresmikroseismik an der Station Birkenmoor während der Sturmflut im Oktober 2023. (oben) Vertikalkomponente der seismischen Wellenform (schwarz) und signifikante Wellenhöhe (SWH, blau) während und nach der Sturmflut. (unten) Spektrogramm der Wellenform und Interpretation als Zuordnung zu Quellregionen in der südwestlichen Ostsee (BS, weiß), der südöstlichen Nordsee (NS, schwarz) und im Nordatlantik (NA).

Am 19. und 20. Oktober 2023 fand im Zuge eines seltenen Extremwetterereignisses ein Sturmhochwasser statt, welche unter anderem große Bereiche der deutschen Ostseeküste betroffen hat. Dieses Ereignis konnte auf den Seismometern entlang der Küste Schleswig-Holsteins und Mecklenburg Vorpommern sehr gut beobachtet werden. Die zeitlich-räumliche

Variabilität wurde gemeinsam mit lokalen Wellenhöhen und -perioden in den jeweiligen Regionen ausgewertet werden. Abbildung 4 zeigt beispielhaft eine seismische Registrierung an der Station Birkenmoor (SH) über die Dauer von 10 Tagen um das Sturmereignis. Die Amplitude des seismischen Rauschens korreliert sehr stark mit der signifikanten Wellenhöhe (SWH), gemessen in unmittelbarer Nähe vor der Küste. Die Änderung des seismischen Rauschens ist aber nicht nur zeit-, sondern auch frequenzabhängig (Abb. 4 unten). Die Amplituden, welche lokal der Sturmflut zuzuordnen sind, sind im Periodenbereich 1 - 3s deutlich erkennbar und korrelieren mit der maximalen Wellenperiode am Ort der SWH Messung (weiße Linie, BS). Zusätzliche Signale höherer Perioden können der Meeresmikroseismik anderer Regionen zugeordnet werden (Nordsee (NS; 3-6 s Periode), Nord Atlantik (NA; >8 s Periode)). Die schwarze Kurve zeigt die maximale Wellenperiode an der Forschungsplattform FINO3 in der Nordsee. Daten der Wellenparameter stammen aus den Datenzentren des BBundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH; <https://seastate.bsh.de/rave>) und des E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS) [2020].

2.5 Fazit

Der Stationsausbau in SH und MV hat seit Aufnahme der Kooperationen zwischen den SGD und IfG zu einer deutlichen Verbesserung der seismologischen Überwachung in Norddeutschland beigetragen. Die seitdem eingerichteten Stationen sind technisch konsolidiert, befinden sich in hochwertigem Zustand und sind aktuell nur gering störungsanfällig. Seit Anfang des Jahres 2023 verfügen darüberhinaus alle Stationen, mit Ausnahme der Station Greifswalder Oie, über eine Datenübertragung in Echtzeit, wodurch technische Störungen bzw. Datenausfälle schnell erkannt und bedarfsgerecht zeitnah behoben werden können. Zudem reduziert sich der Zeitaufwand für die Stationswartung, da ein Teil der regelmäßigen Überprüfungen per Fernzugriff erledigt werden können.

Zu Beginn des Jahres 2023 wurde die Station Quickborn mit einer neuen, leistungsfähigeren Stromversorgung ausgestattet. Dies soll einen dauerhaften Betrieb der Station auch in den bisher lückenhaften Wintermonaten sicherstellen und ermöglicht gleichzeitig eine Einbindung in die Echtzeitdatenerfassung und -auswertung. Auch diese Maßnahme trägt dazu bei, die Auswerteabläufe am IfG effizienter zu gestalten, da eine unregelmäßige Archivierung und Nachbearbeitung von *offline* registrierten Daten entfällt.

Auch wenn das Stationsnetz einen konsolidierten Status erreicht hat, wird die Leistungsfähigkeit des Netzes zur Erfüllung der Aufgaben eines flächendeckenden Monitorings laufend evaluiert um den weiteren Ausbaubedarf zu bestimmen. Um auch schwache Ereignisse im Landesinneren und Nordwesten von SH zuverlässig detektieren zu können, wird die Einrichtung einer weiteren Station im zentralen Landesinneren, in der Region zwischen Husum und Schleswig vorgeschlagen. Hierzu sollen in 2024 potentielle Standorte identifiziert und Testmessungen durchgeführt werden.

3 Status Datenzentrum - Erfassung und Auswertung seismologischer Daten

Das 2018 am IfG in Betrieb genommene seiscomp-System (GFZ Potsdam and Gempa GmbH [2008]) wurde im vergangenen Jahr weiter ausgebaut und erfasst mittlerweile Daten von 272 global verteilten Stationen in Echtzeit. Im Vergleich zum Vorjahr wurden weitere Stationen im südwestlichen Pazifik eingebunden, um die Anzahl an Fehllokalisierungen von Ereignissen in der Fiji-Tonga Subduktionszone in der automatischen Auswertung zu reduzieren. Ereignisse aus dieser Region stellen aufgrund einer konstruktiven Interferenz verschiedener P-Wellen-Phasen, welche den Erdkern durchlaufen, eine häufige Ursache für fehlerhafte automatische Lokalisierungen von Ereignissen im norddeutschen und nordeuropäischen Raum dar.

Zur Verbesserung der Detektions- und Lokalisierungsfähigkeit in Norddeutschland wurden zwei weitere Stationen am Rande Berlins und in Brandenburg (betrieben von GFZ bzw. BGR) in die Echtzeitauswertung aufgenommen (Abb. 5). Des Weiteren werden Daten von elf Stationen des Raspberryshake-Netzes aus Norddeutschland und Dänemark in die Auswertung miteinbezogen (Abb. 6). Raspberryshake-Stationen sind auf Raspberry-Pi Minicomputern basierende und mit Geofonen ausgestattete Geräte, welche sich vorwiegend an Privatleute oder edukative Einrichtungen wenden. Die Daten des Netzes stehen in Echtzeit nur gegen Lizenz zur Verfügung, als Archivdaten mit einigen Stunden Verzögerung können sie aber frei genutzt werden. Am IfG werden daher Daten von Raspberryshake Stationen kalendertäglich heruntergeladen und in die manuelle, zeitverzögerte Auswertung einbezogen. Die Daten der Raspberryshake Stationen sind qualitativ meist nicht mit den Stationen der regionalen und lokalen Netze vergleichbar, können aber im Einzelfall eine wichtige Ergänzung des Stationsnetzes zur Reduktion der Stationsabstände zum Quellort darstellen.

Im Laufe des Jahres 2023 wurden 3316 Ereignisse automatisch detektiert und lokalisert, 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.

Neben der eigenen Auswertung und Katalogisierung von seismischen Ereignissen, werden Detektionen regelmäßig mit veröffentlichten Ereignislisten aus Niedersachsen, Dänemark und Schweden abgeglichen, um die Vollständigkeit des Ereigniskatalogs für SH & MV sicherzustellen.

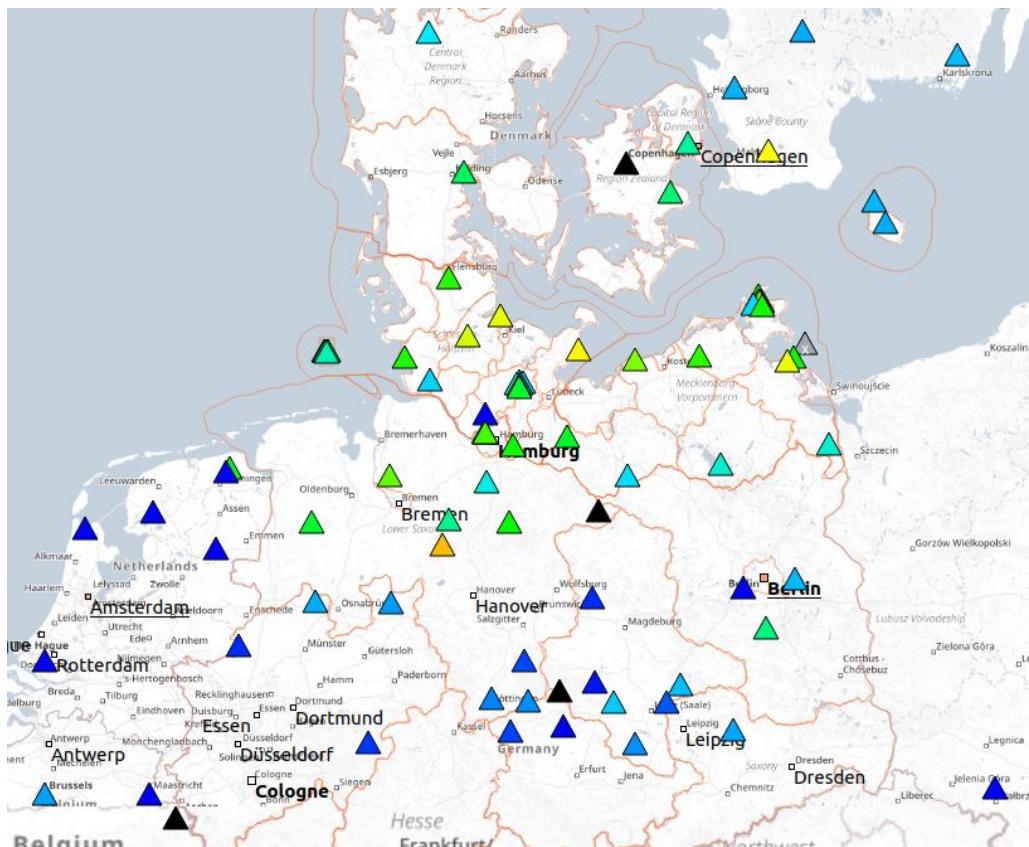


Abbildung 5: Stationskarte der in der automatischen Echtzeit-Überwachung verwendeten Stationen in SH, MV und Umgebung.

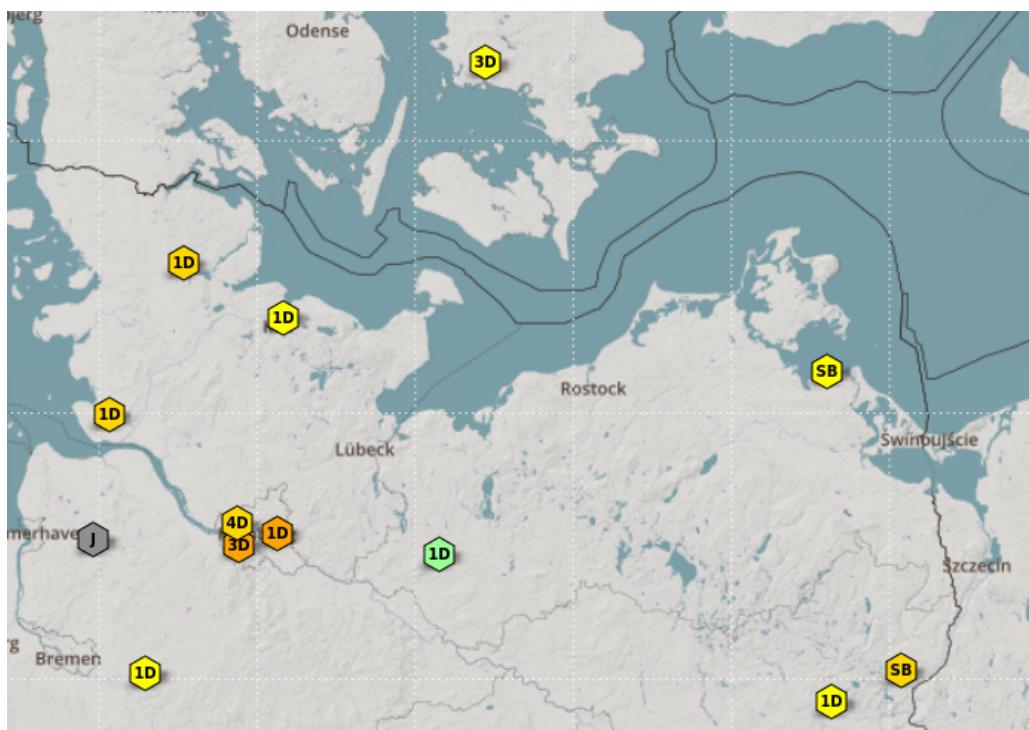


Abbildung 6: Stationskarte des Raspberryshake-Netzes in Norddeutschland und Dänemark. Daten dieser Stationen werden nachträglich in der manuellen Auswertung berücksichtigt.
(Quelle: <https://stationview.raspberryshake.org>)

CAU global detections 2023

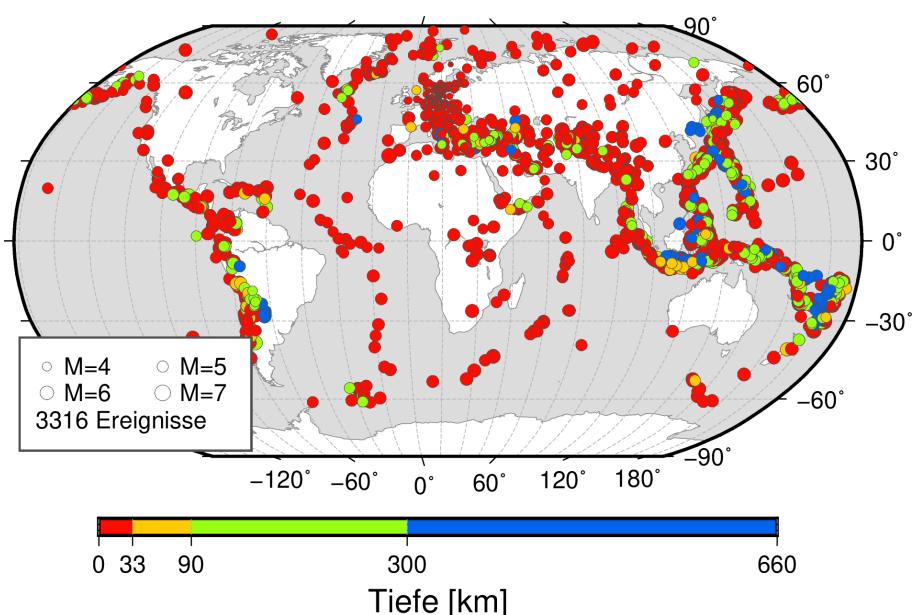


Abbildung 7: Verteilung aller in 2023 am Datenzentrum des IfG detektierten Ereignisse. Der überwiegende Anteil sind global verteilte Ereignisse mit Magnituden > 4.5 , welche vollautomatisch vom System prozessiert wurden.

4 Ereignisübersicht 2023

4.1 Überregionale Seismizität

Zur Betrachtung der überregionalen Seismizität wird der Erdbebenkatalog des European-Mediterranean Seismological Centers EMSC [2024] herangezogen, welcher Ereignisse von verschiedenen europäischen Agenturen sammelt und zu einem konsistenten Erdbebenkatalog harmonisiert (siehe auch Weidle et al. [2019]).

In der zentralen Nordsee gab es einige Ereignisse mit Magnituden bis zu 3.5 (s. Abb. 8). Solche Ereignisse sind in der Nordsee nicht unüblich (s. Weidle et al. [2020]), werden aber nur selten an Land wahrgenommen. Sie treten gelegentlich auch im Grenzbereichs der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) auf. Im Bereich der Gasfelder um Groningen (NL) kommt es immer wieder zu seismischen Ereignissen mit Magnituden bis etwa 3. Im Jahr 2023 sind im EMSC-Katalog drei solcher Ereignisse aufgeführt mit Magnituden bis 2.2, welche auf Helgoland meist gut messbar waren.

EMSC Katalog 2023.01.01 - 2023.12.31

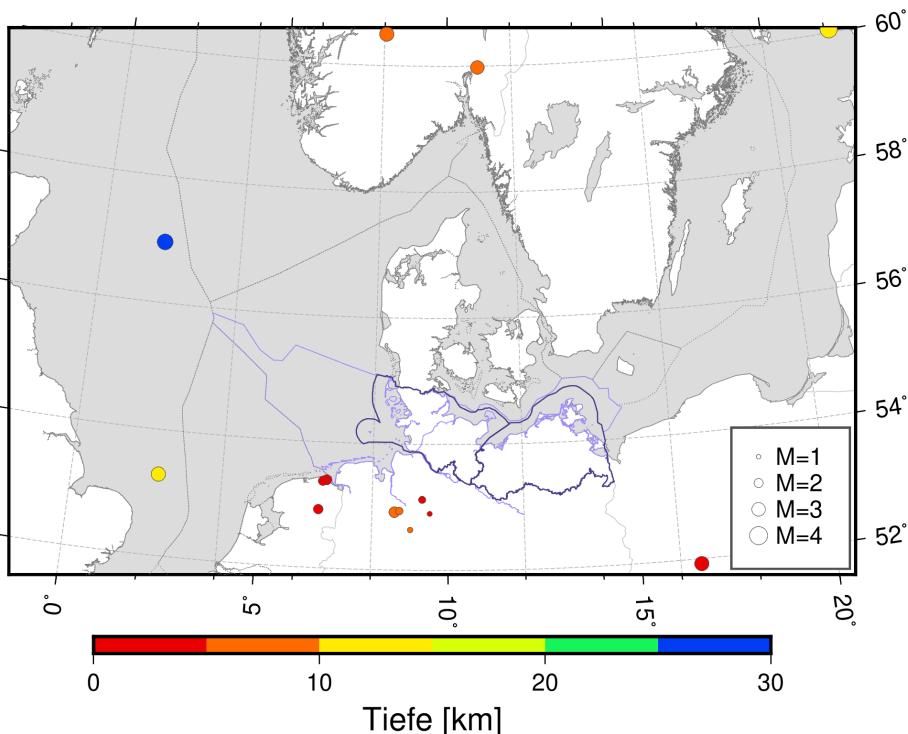


Abbildung 8: Erdbeben im Jahr 2023 in der weiteren Umgebung um Norddeutschland, Quelle: EMSC [2024]. Die Landesgrenzen von SH und MV (dunkelblau) sind ebenso dargestellt, wie die AWZ Grenzen in der Nord- und Ostsee (blau).

Im Bereich der niedersächsischen Gasfördergebiete, v.a. südlich und südöstlich von Bremen, treten regelmäßig schwächere Ereignisse auf. Das stärkste Beben im Jahr 2023 ereignete sich am 23.12. im Landkreis Oldenburg (NDS) mit einer Magnitude von 2.4 (LBEG).

Herdzeit (UTC)	Länge (Ost)	Breite (Nord)	Tiefe (km)	Magnitude
2023-02-12T07:14:13.500000Z	2.31	53.29	12	3.2
2023-04-07T21:26:01.300000Z	1.78	56.96	40	3.5
2023-04-12T16:47:28.000000Z	6.78	53.40	3	2.2
2023-05-09T16:23:32.200000Z	16.53	51.92	1	3.2
2023-07-27T21:38:43.270000Z	9.52	52.90	3	1.1
2023-08-16T10:59:17.740000Z	22.03	60.21	11	3.7
2023-08-28T20:42:51.730000Z	9.01	52.64	5	1.2
2023-08-29T12:13:54.810000Z	22.15	60.05	11	3.8
2023-09-14T02:21:16.900000Z	8.72	52.94	5	1.7
2023-09-15T08:19:02.000000Z	6.68	53.38	3	2.0
2023-09-28T12:21:28.210000Z	9.32	53.12	4	1.6
2023-10-03T10:03:25.380000Z	24.47	60.09	11	3.2
2023-10-26T12:32:43.640000Z	8.06	60.50	9	3.2
2023-10-29T03:11:33.000000Z	6.59	52.93	3	2.1
2023-11-01T14:49:46.380000Z	10.95	59.98	8	3.0
2023-12-23T22:33:41.130000Z	8.59	52.92	5	2.4

Tabelle 2: Erdbeben im Jahr 2023 in der Umgebung von Norddeutschland, Quelle: EMSC [2024].

4.2 Seismische Ereignisse in SH und MV

Seit 1. Juni 2019 werden am IfG systematisch Wellenformen nach seismischen Ereignissen in SH, MV und angrenzenden Regionen ausgewertet. Neben der automatischen Detektion mit dem seiscomp-System (s. Kap. 3), welches vor allem die Erfassung globaler Seismizität abdeckt, hat sich der in 2022 eingeführte *AD-amplitude decay*-Detektor als ein robustes und zuverlässiges Werkzeug zur Detektion schwacher Ereignisse in Norddeutschland und angrenzender Regionen etabliert (Weidle et al. [2023a], Weidle et al. [2023b]).

Der AD-Detektor hat im Jahr 2023 automatisiert 854 Ereignisse detektiert (Abb. 9), wobei jedes einzelne manuell nachbearbeitet und relokaliert wurde. Etwa ein Drittel der Ereignisse konnte telesismischen Ereignissen, vereinzelten Doppeldetektionen desselben Ereignisses, sowie wenigen Fehldetektionen zugeordnet werden. Der in Abb. 9 farbkodierte Q-Wert der automatischen Detektion und Lokalisierung ist ein Mass für die Wellenform-kohärenz an den Stationen für ein Ereignis an einen bestimmten Quellort (Weidle et al. [2023a], Weidle et al. [2023b]). Ereignisse mit $Q > 2$ sind in den meisten Fällen gut bestimmt, bei $Q < 1$ häufen sich Fehllokationen und -detektionen. Der Schwellwert der Detektion liegt bei 0.6. Die automatisierten Detektionsverfahren werden zusätzlich durch eine tägliche, manuelle Durchsicht der Wellenformen nach potentiellen weiteren Ereignissen ergänzt. Dies ist nach wie vor unabdingbar, da die Stationsdichte für eine zuverlässige automatische Detektion schwacher Ereignisse mit Magnituden unter 2 bei weitem nicht ausreicht.

Abbildung 10 fasst den Ereigniskatalog des Jahres 2023 mit 595 detektierten und manuell ausgewerteten seismischen Ereignissen zusammen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in Tabelle 3 nur die tektonischen und einige der im Folgenden genannten nicht-

tektonischen Ereignisse aufgelistet. Der vollständige Katalog für das Jahr 2023 befindet sich im Anhang A. Generell ist anzumerken, dass die Ereignistiefen in den meisten Fällen bei der Lokalisierung fixiert wurden, vor allem bei als Explosion klassifizierten Ereignissen auf eine Tiefe von 0 km. Herdtiefen von Erdbeben in der Nordsee, fernab von seismologischen Stationen, müssen ebenfalls als sehr ungenau bestimmt betrachtet werden.

Der Vergleich des finalen Katalogs (Abb. 10) mit der Detektionsliste des AD-Detektors (Abb. 9) veranschaulicht zum einen den Arbeitsschritt von der automatisierten Detektion zur finalen Lokalisierung und Klassifizierung der Ereignisse, zum anderen enthält der finale Katalog auch weitere Ereignisse, welche im Zuge der manuellen Durchsicht der Wellenformen hinzugefügt wurden (z.B. unbestimmte Ereignisse um Helgoland).

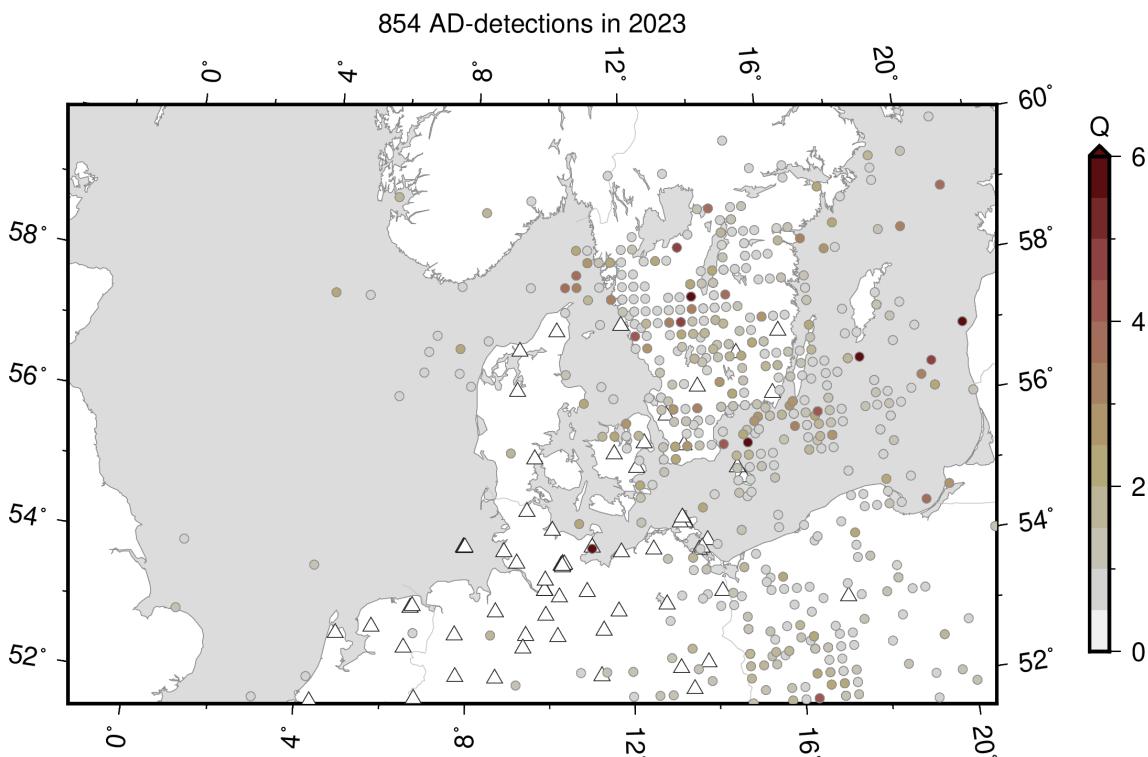


Abbildung 9: Automatisierte Detektionen des AD-Detektors im Jahr 2023. Neben den seismischen Stationen (weiße Dreiecke) sind die Lokationen der Ereignisse (Kreise) dargestellt. Der Q-Wert ist ein Mass für die Wellenformkohärenz an den Stationen für eine seismische Quelle an dem jeweiligen Ort.

4.3 Tektonische Ereignisse

In Mecklenburg-Vorpommern gab es im Jahr 2023 zwei Ereignisse, welchen eine tektonische Ursache zugeordnet wurde. Das Ereignis am 4.2.2023 in der Kadetrinne war an den Stationen im Norden MVs, wie auch am Rügen Array deutlich erkennbar und wurde vom AD-Detektor automatisch detektiert. Der Vergleich der Seismogrammsektionen für die Vertikal- und Transversalkomponente (T-Komponente) (Abb. 11) zeigt sehr deutlich ein hohes S-zu-P Verhältnis der Amplituden auf der T-Komponente. Dies wird als Signatur einer Scherquelle interpretiert wie sie für Erdbeben zu erwarten ist. Signifikant ist auch,

CAU Bulletin 2023 categorical

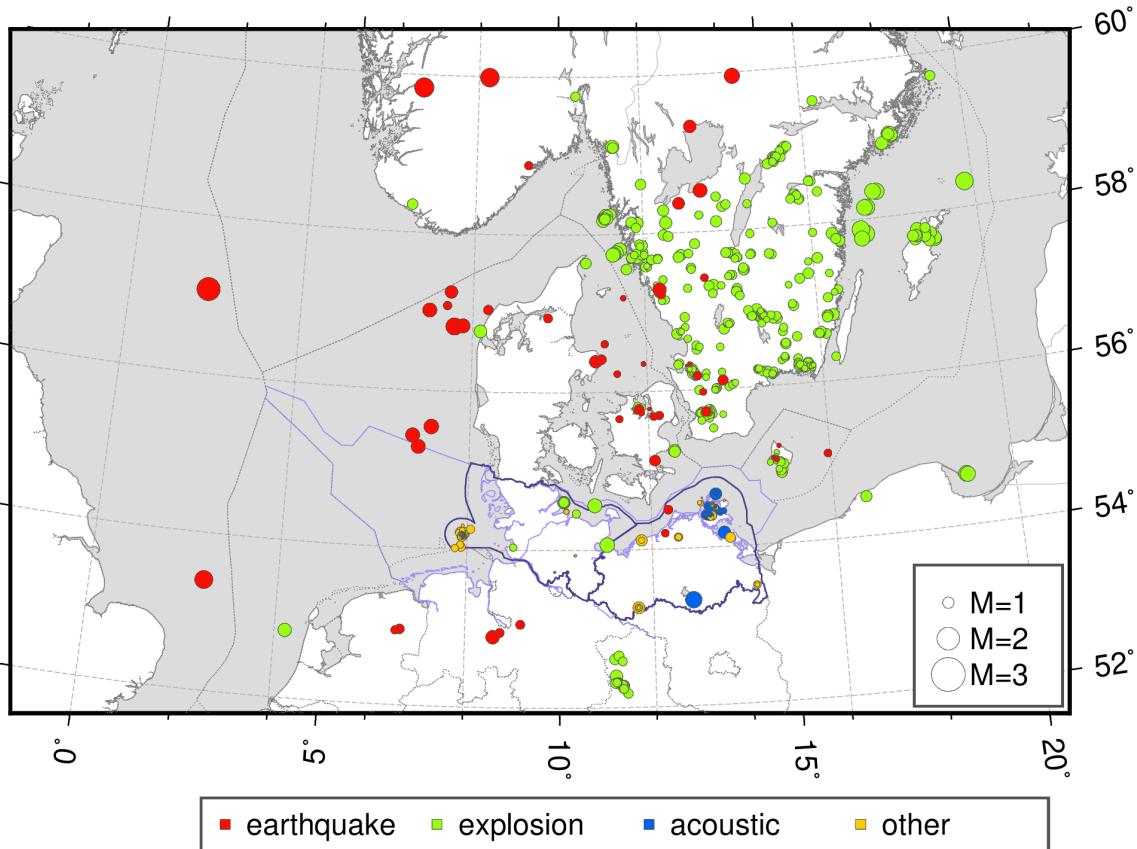
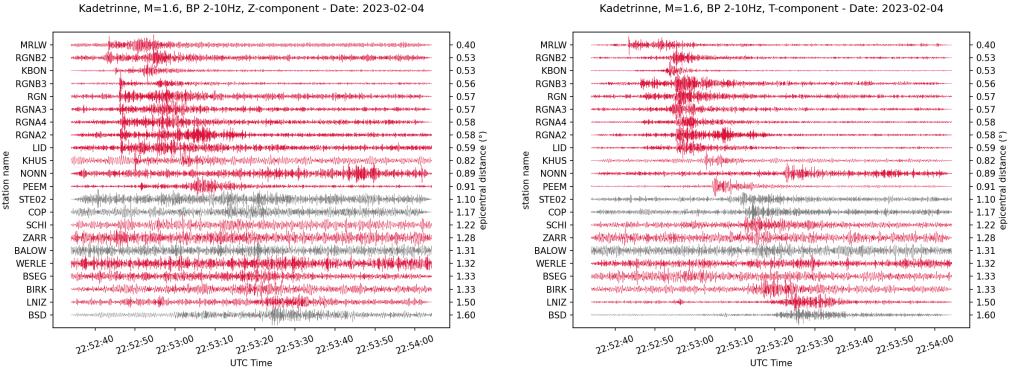


Abbildung 10: Übersichtskarte der in 2023 am IfG detektierten und manuell nachbearbeiteten Ereignisse in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung. Farblich markiert ist der vom Analysten bestimmte Quelltyp.

daß die Scherwellen auch an den dänischen Stationen (STE02, COP, BSD) noch deutlich erkennbar sind. Die Detektion dieses schwachen Ereignisses mit Magnitude 1.6 ist wahrscheinlich durch die nächtliche Uhrzeit kurz vor Mitternacht Ortszeit begünstigt.

Ein zweites Ereignis in der Umgebung von Rostock vom 20.5.2023 ist etwas schlechter bestimmt und konnte auch nur in der manuellen Durchsicht identifiziert werden. Im Vergleich der Wellenformen zeigt sich auch hier ein hohes S-zu-P-Amplitudenverhältnis in der T-Komponente (Abb. 12). Aufgrund der wenigen auswertbaren Registrierungen des Magnitude 1.4 Ereignisses ist die Lokation aber nur ungefähr im Raum Rostock bestimmbar.

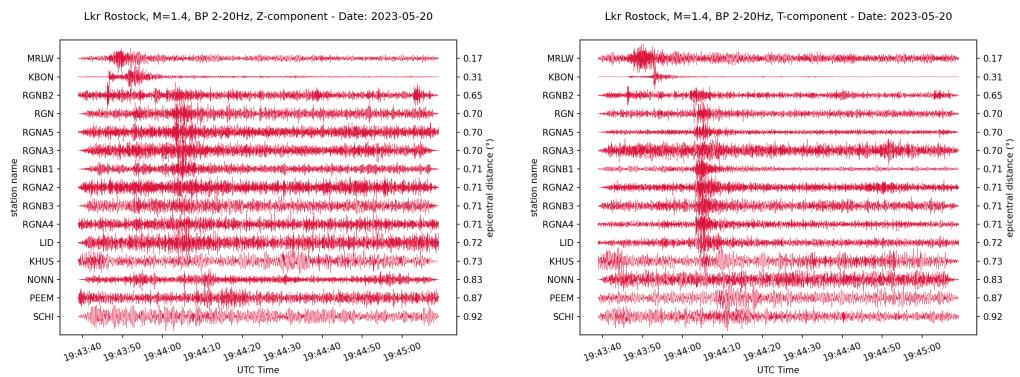
In der Nordsee sind Erdbeben im Bereich des Zentralgrabens mit Magnituden über 4 bekannt, ebenso schwächere Ereignisse in der östlichen Nordsee vor der Küste Nordjütlands. Ein Ereignis am 8.9.2023, sowie zwei weitere am 10.11.2023 ca. 100 km vor der deutsch-dänischen Küste im Grenzgebiet der AWZ sind als ungewöhnlich einzustufen. Die nächsten seismologischen Stationen auf Helgoland sind rund 150 km entfernt, was sowohl eine genaue Lokalisierung, als auch eine Bewertung des Quelltyps erschwert. Da keine



(a) Vertikalkomponente (Z).

(b) Horizontale Transversalkomponente (T).

Abbildung 11: Seismogrammsektion des Erdbebens am 4.2.2023 in der Kadetrinne.



(a) Vertikalkomponente (Z).

(b) Horizontale Transversalkomponente (T).

Abbildung 12: Seismogrammsektion des Erdbebens am 20.5.2023 in der Nähe von Rostock.

Hinweise auf kontrollierte Sprengereignisse vorliegen, werden die Ereignisse vorläufig als Erdbeben bewertet. Die Ereignisse traten im Umfeld von offshore-Windparks auf, weshalb eine Kampfmittelvernichtung nicht ausgeschlossen werden kann. In der Nähe befindet sich auch die Forschungsplattform FINO3 (<https://www.fino3.de>), dort betreibt das Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH) ein Hydrophon. Es wurden Daten des Hydrophons aus den fraglichen Zeiträumen beim BSH angefragt, diese könnten die Bewertungsgrundlage für diese Ereignisse entscheidend verbessern.

4.4 Explosionsereignisse

Im Bereich der Kieler Bucht sind Explosionsereignisse sowohl von militärischen Übungen, als auch von Kampfmittelvernichtungen bekannt. Auch auf dänischer Seite sind Übungen und kontrollierte Detonationen bekannt. In diesem Kontext sind die aufgezeichneten Explosionsereignisse entlang der westlichen Ostseeküste nicht ungewöhnlich (Abb. 10), aber das Ereignis am 1.7.2023 in der Lübecker Bucht ist dennoch als außergewöhnlich einzustufen. Mit einer Magnitude von 2.5 war es deutlich stärker als die beiden registrierten Erdbeben und qualitativ im oberen Bereich der für Sprengereignisse typischen Magnituden. In der Auswertung waren Wellenformen des Ereignisses an Stationen in Schottland und Norwegen auswertbar, man vergleiche die Signalqualität bei Entfernung von bis zu 300 km in Abb.

13 mit den Erdbeben in der Kadetrinne bzw. bei Rostock (Abbn. 11, 12).

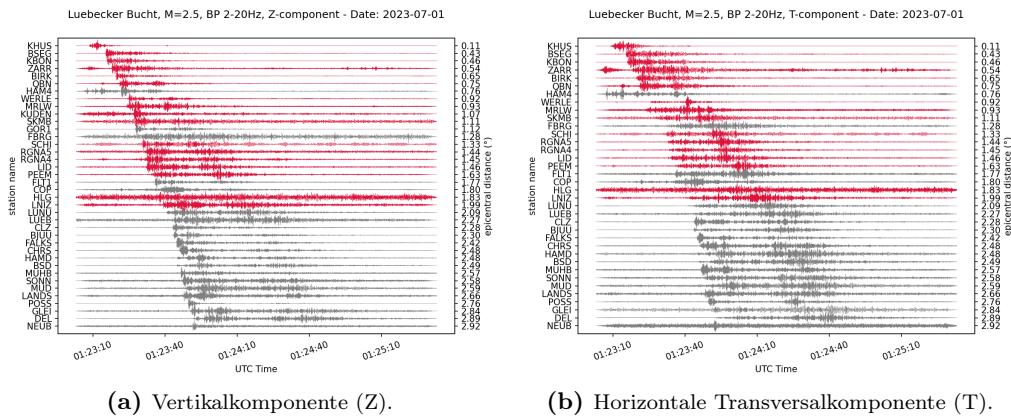


Abbildung 13: Seismogrammsektion des Ereignisses am 1.7.2023 in der Lübecker Bucht.

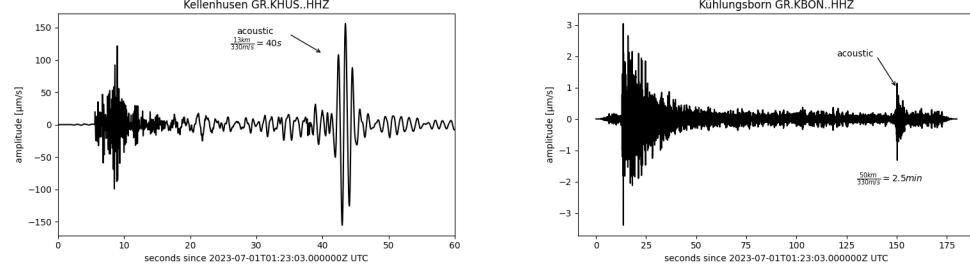


Abbildung 14: Seismogramme der beiden nächstgelegenen Stationen vom Ereignis am 1.7.2023 in der Lübecker Bucht. An beiden Stationen wurden deutliche Signale registriert, die sich mit akustischen Geschwindigkeiten ausbreiteten.

Neben den Registrierungen seismischer Wellen wurden auch akustische Wellen an den nahegelegenen Seismometern in Kellenhusen (Ostholstein), sowie Kühlungsborn (Lkr. Rostock) aufgezeichnet (Abb. 14). Die Kollegen der BGR beobachteten auch akustische Signale an den Infraschall-Arrays in Kühlungsborn und Garstedt (NDS), welche dem Ereignis zugeordnet werden können. In Konsequenz ist eine explosive Quelle die wahrscheinlichste Ursache für das Ereignis.

Das Ereignis und die bestmögliche Lokalisierung wurden umgehend dem Kampfmittelräumdienst SH, sowie der Geschäftsstelle des Expertenkreises Munition im Meer am Umweltministerium in SH gemeldet. Diese leiteten eine Suche nach dem möglichen Sprengtrichter in einem Gebiet von ca. 3×3 km um die Lokalisierung ein. Leider konnte keine morphologische Struktur am Meeresboden dem Ereignis zugeordnet werden und die Suche wurde im Herbst 2023 eingestellt. Aus seismologischer Sicht kann dies als Hinweis gedeutet werden, daß das für die Lokalisierung verwendete Geschwindigkeitsmodell für die obere Kruste unzureichend die geologischen Verhältnisse abbildet. Es ist daher bestrebenswert,

ein spezifisches Geschwindigkeitsmodell für das norddeutsche Becken zu bestimmen. Hierbei können z.B. kontrollierte Sprengereignisse verwendet werden.

In der westlichen Kieler Bucht, genauer im militärischen Sperrgebiet Schönhagen, wurden Ende September 2023 wieder Sprengversuche von der Wehrtechnischen Dienststelle (WTD) der Bundeswehr durchgeführt. Die Versuche wurden im Vorfeld öffentlich angekündigt und wir konnten von der WTD wie schon im Vorjahr (Weidle et al. [2023b]) Informationen zu Sprengzeiten und Ladungsstärken erhalten. Darüberhinaus wurden vom IfG und dem SGD-SH drei weitere temporäre Seismometer entlang der Ostseeküste zwischen Damp und Geltinger Birk installiert, um die Sprengungen im Nahfeld registrieren und auswerten zu können. Kollegen des GEOMAR registrierten die Ereignisse ebenfalls mit fünf Ozeanbodenseismometern, deren Daten aber in der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt wurden.

Neben einer Vielzahl an Referenzsprengungen mit geringen Ladungsstärken von 50 bis 100 g TNT-Äquivalent (TNTeq), wurden auch vier Sprengungen mit Ladungen von ca. 20 bis 112 kg TNTeq durchgeführt. Diese vier Sprengungen konnten am seismologischen Netz detektiert und in der westlichen Kieler Bucht mit einer Genauigkeit von 5-10 km lokalisiert werden. Dies deckt sich mit früheren Beobachtungen zur Lokalisierungsgenauigkeit von Ereignissen in der Kieler Bucht (Weidle et al. [2022], Weidle et al. [2023b]).

Die stärksten Ereignisse entsprechen einer seismischen Magnitude im unteren 2er-Bereich, sind aber auch in Entfernung von bis zu 300 km detektierbar, z.B. im Harz oder in Südschweden (Abb. 15, Stationen CLZ bzw. DEL, ONAU).

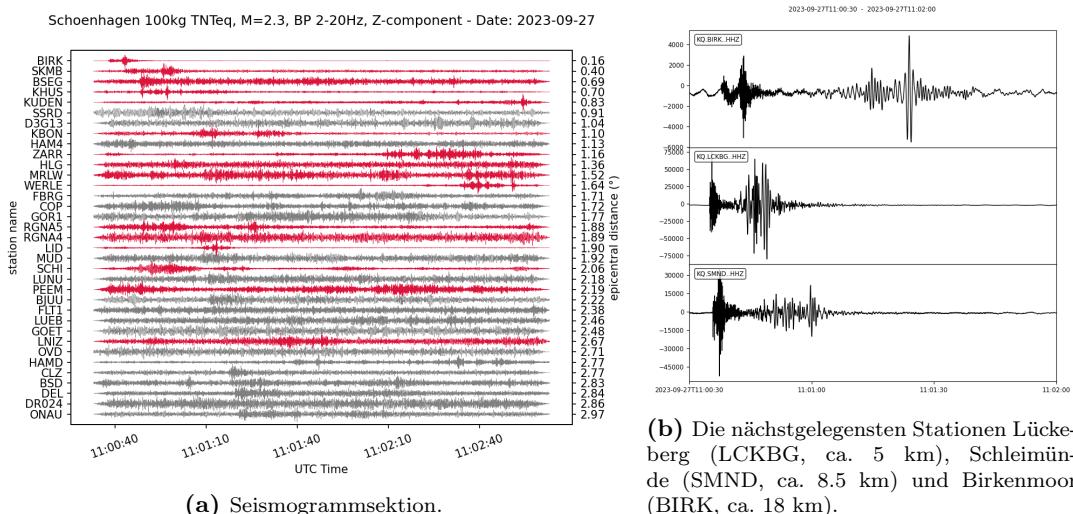


Abbildung 15: Seismogramme einer kontrollierten Sprengung von ca. 100 kg TNT-Äquivalent bei Schönhagen am 27.9.2024.

4.5 Geschwindigkeitsmodell für die Kieler Bucht

In der Auswertung der kontrollierten Sprengungen im Sperrgebiet Schönhagen zeigte sich, daß das verwendete Geschwindigkeitsmodell, bei fixierter Herdlokation, zu hohen Lauf-

zeitresiduen v.a. bei den nächsten seismischen Stationen führte (Abb. 16). Dies lässt sich mit einer unzureichenden Genauigkeit des Geschwindigkeitsmodells für die geologischen Bedingungen im norddeutschen Becken begründen. Das Geschwindigkeitsmodell ist ein seismologisches 1-D Modell der globalen Erdkruste ("ak135", Kennett et al. [1995]), mit P-Wellen-Geschwindigkeiten der oberen Kruste von über 5 km/s. Dies ist für kristallines Gestein, nicht aber für wenig konsolidiertes Sedimentgestein repräsentativ.

Im Folgenden wurden einfache synthetische Geschwindigkeitsmodelle mit einem linearen Gradienten von einem Startwert an der Oberfläche (Tiefe 0 km) und einer variablen "Vereinigungstiefe", bei der das Modell in das Standard 1-D Modell ak135 übergeht, erstellt und für diese Modelle Laufzeitkurven berechnet (Abb. 17, grau). Für die beiden Parameter (Startgeschwindigkeit, Vereinigungstiefe) lassen sich dann in einer Gittersuche das RMS Residuum aus synthetischen und beobachteten Laufzeiten an den nächstgelegenen Stationen Lückeberg, Schleimünde und Birkenmoor berechnen. Das Minimum in Abb. 17 zeigt das beste Modell für die beobachteten P-Wellen-Laufzeiten. Das beste Modell hat eine Startgeschwindigkeit von 2.5 km/s und eine Vereinigungstiefe von 5 km und lässt sich über alle vier Sprengereignisse mit marginalen Unterschieden von ± 0.1 km/s in der Geschwindigkeit bzw. ± 1 km in der Tiefe verifizieren.

Obgleich es sich um ein mittleres, repräsentatives Modell der oberen Kruste in der Kieler Bucht handelt, stimmt das abgeleitete Geschwindigkeitsmodell überraschend gut mit Geschwindigkeitsprofilen überein, welche entlang der schleswig-holsteinischen Ostseeküste in Bohrlöchern gemessen wurden. Das Modell scheint also zumindest für den ostholsteinischen Block repräsentativ zu sein, allerdings deutet sich an, daß das Modell generell für den norddeutschen Raum nutzbar sein könnte.

Im Rahmen der Präsentation des Modells in einem Posterbeitrag auf der Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft im März 2024 stellte sich heraus, dass an der BGR für Lokalisierungen von Ereignissen in Norddeutschland auch ein angepasstes Geschwindigkeitsmodell verwendet wird (Model BGR_HAN in Abb. 17). Dieses stimmt ebenfalls sehr gut mit den Bohrlochprofilen und dem hier abgeleiteten Modell überein. Leider konnte die Quelle für das BGR_HAN Modell bisher nicht rekonstruiert werden (T. Plenefisch, BGR, pers. Komm.).

Das Modell wurde zunächst für P-Wellengeschwindigkeiten angepasst, da die P-Wellen-Einsatzzeiten bei den beobachteten Sprengereignissen sehr präzise bestimmbar waren. In den Seismogrammen sind auch S-Wellenankünfte zu beobachten, allerdings handelt es sich um konvertierte S-Wellen mit einem nicht-impulsiven Einsatz. Sie sind somit weder präzise zu picken, noch repräsentativ für die S-Wellengeschwindigkeit zwischen Sprengort und Station, da der Konversionspunkt unbekannt ist. Zukünftig ist es wünschenswert das Modell um S-Wellengeschwindigkeiten zu erweitern - hierfür bedarf es aber eines hinreichend genau lokalisierbaren Erdbebens im Norddeutschen Becken mit gut bestimmmbaren S-Wellen-

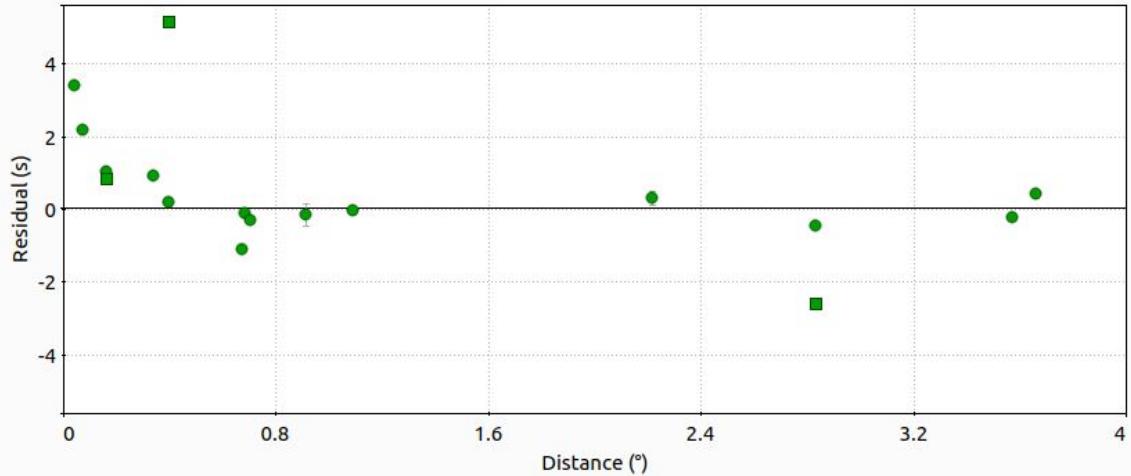


Abbildung 16: Laufzeitresiduen der P- und S-Wellenpicks bei fixierter Herdlokation. Vor allem die nahen Stationen weisen sehr hohe Residuen auf.

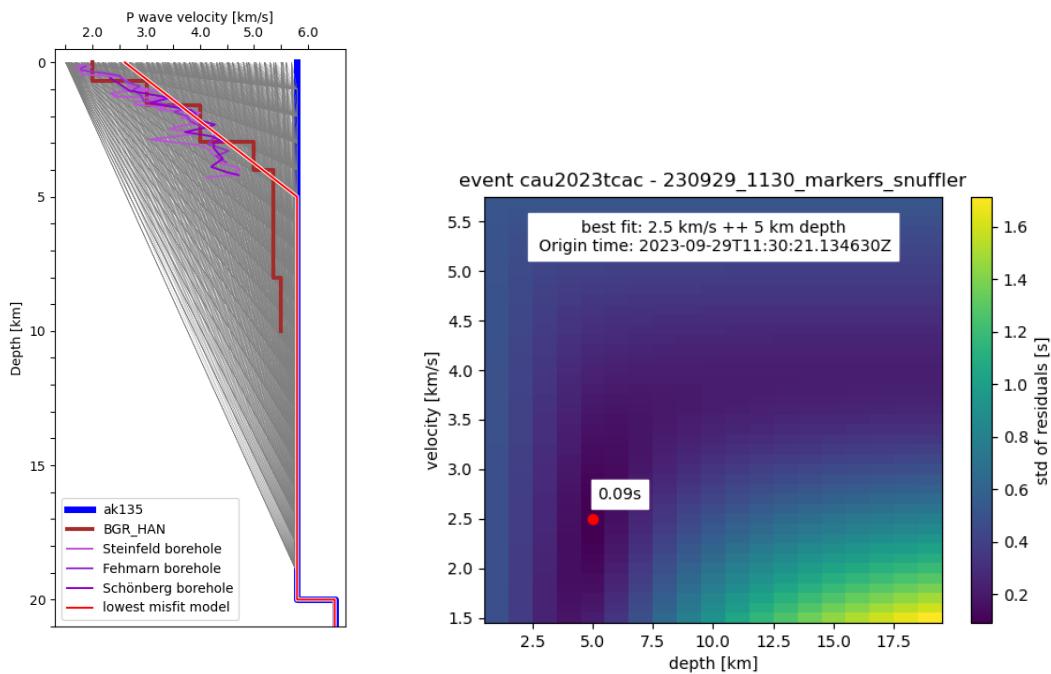


Abbildung 17: Bestimmung eines angepassten P-Wellen-Geschwindigkeitsmodells für Norddeutschland.

Einsatzzeiten. Darüberhinaus könnten gut bestimmte Ereignisse größerer Stärke, für welche auch in größeren Entfernung präzise P-Wellen-Einsatzzeiten bestimmt werden können, dazu genutzt werden, das Geschwindigkeitsmodell in größeren Tiefen für das Norddeutsche Becken zu optimieren.

4.6 Andere relevante Ereignisse

Der Katalog der seismischen Ereignisse 2023 des IfG enthält 595 manuell bearbeitete Ereignisse. Hierbei handelt es sich vor allem um eine Vielzahl nicht-tektonischer Ereignisse in der südwestlichen Ostsee, in SH und MV, sowie in Süd-Skandinavien (Abb. 10). Neben den oben erwähnten Sprengversuchen bei Schönhagen führte die dänische Marine südlich der Insel Langeland in der Kieler Bucht gelegentlich Sprengungen durch (s. auch Weidle et al. [2022]). Dies konnte über den Kontakt zum dänischen Erdbebendienst (GEUS) bestätigt werden.

Mit der Einrichtung des AD-Detektors im vergangenen Jahr (Weidle et al. [2023b], Weidle et al. [2023a]) werden eine Vielzahl an schwächeren seismischen Ereignissen in Dänemark und Schweden detektiert. Vor allem bei letzteren handelt es sich zum weit überwiegenden Teil um Sprengungen in bekannten Steinbrüchen. Als tektonisch einzustufende Ereignisse mit Magnituden bis etwa 2.5 traten im Norden der Insel Seeland, im Norden Jütlands sowie der angrenzenden Nordsee und im Bereich des Kattegat auf. Diese Ereignisse sind häufig tiefer als 10 km und dadurch von Sprengungen unterscheidbar.

Im Bereich der Insel Rügen wurden eine Reihe von akustischen Ereignissen detektiert, welche sich häufig mit Donnerschlägen während Gewittern, Feuerwerksaktivitäten oder vermutlich Überschallflügen erklären lassen. Detektier- und interpretierbar sind diese Ereignisse alleine aufgrund kohärenter Beobachtungen an mehreren Standorten des Rügen-Arrays.

Nicht spezifizierte Ereignisse (Typ 'other' in Abb. 10) sind entweder untypische, nichtlokalisier- und nichtklassifizierbare Signale an Einzelstationen (s. z.B. die Lokationen um die Station Werle im Südwesten bzw. Kühlungsborn im Nordwesten von MV), oder vermutlich anthropogen induzierte Signale auf und um Helgoland. Eine Hypothese für die häufig auf Helgoland beobachtbaren und mit dem lokalen Array verifizierbaren Ereignisse sind Anschläge der Schiffe an die Kaimauer im Bereich des Südhafens. Durch die Station HLGA3 im Südhafen lässt sich diese Umgebung recht gut eingrenzen.

Tabelle 3: Tektonische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung. Der Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin	Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region
2023-01-16 11:40:32	56.8344	7.7734	72.1	2.5	North Sea	
2023-01-17 05:57:43	57.4156	13.4136	1.5	1.4	Sweden	
2023-01-18 05:10:20	56.3930	10.8325	0.0	2.2	Region Midtjylland	
2023-02-03 17:34:02	56.1077	13.7202	12.7	1.8	Sweden	
2023-02-04 22:52:34	54.4955	12.3736	19.8	1.6	Küstenmeer MV, Kadetrinne	
2023-02-05 17:47:16	55.6827	12.1185	17.0	1.4	Region Sjaelland	
2023-02-11 16:44:15	58.3715	12.8811	0.0	2.1	Sweden	
2023-02-12 07:14:13	53.4001	2.4291	6.7	3.2	North Sea	
2023-02-17 12:06:31	56.1787	13.1467	1.8	1.5	Sweden	
2023-02-21 20:58:01	56.6135	11.0448	0.0	1.3	Danmark	
2023-03-08 22:55:26	56.2307	11.3191	1.7	1.2	Danmark	
2023-03-20 19:46:53	56.4182	10.9660	45.9	1.7	Danmark	
2023-03-25 04:57:32	59.9906	8.2552	1.1	3.3	Southern Norway	
2023-03-27 15:49:37	56.3525	11.9250	4.5	0.9	Danmark	
2023-04-03 20:08:19	55.2357	14.8796	0.6	0.8	Greater Bornholm	
2023-04-05 02:00:14	59.9520	14.3716	0.0	2.7	Sweden	
2023-04-07 21:26:00	57.0639	1.8202	81.6	4.1	North Sea	
2023-04-10 12:45:24	57.2879	12.3510	0.0	2.4	Sweden	
2023-04-21 04:09:37	59.3400	13.2459	2.9	2.2	Sweden	
2023-04-30 05:00:25	55.6928	12.2462	13.3	1.5	Region Hovedstaden	
2023-05-04 15:18:06	58.8819	9.2604	0.0	1.5	Southern Norway	
2023-05-12 10:47:19	53.0575	9.1711	15.4	1.6	Niedersachsen	
2023-05-14 10:08:14	55.7769	11.7937	10.0	1.8	Region Sjaelland	

Tabelle 3: Tektonische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Der Ereignistyp wurde durch den Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region
2023-05-20 19:43:39	54.1981	12.2898	10.4	1.4	MV, Lkr. Rostock
2023-06-09 09:26:33	55.7182	13.3000	1.7	1.7	Sweden
2023-06-14 15:19:22	55.9695	13.2539	3.1	1.2	Sweden
2023-07-01 16:06:40	58.5244	13.4192	0.0	2.5	Sweden
2023-07-11 12:03:38	55.0893	14.7491	3.5	0.8	Bornholm
2023-07-27 16:58:48	55.7351	11.8502	9.2	1.1	Danmark
2023-08-04 12:03:40	55.0633	14.8069	2.9	1.0	Bornholm
2023-08-16 23:54:31	55.0915	15.9490	0.0	1.4	Baltic Sea
2023-09-01 06:35:06	56.8230	7.5763	29.4	3.0	North Sea
2023-09-08 08:12:16	55.2854	6.8633	10.0	2.5	North Sea
2023-09-10 01:00:01	57.2200	12.3840	0.0	1.5	Sweden
2023-09-14 02:21:16	52.9510	8.7375	13.5	1.6	Niedersachsen
2023-09-16 05:14:53	57.2597	7.4813	56.3	2.2	North Sea
2023-09-20 03:31:06	57.1921	11.4945	5.4	1.0	Danmark
2023-09-21 19:05:33	55.1228	12.1172	9.9	1.9	Region Sjaelland
2023-10-01 19:55:07	52.9480	6.5366	2.9	1.5	The Netherlands
2023-10-11 20:45:01	55.6598	11.3488	43.3	1.3	Region Sjaelland
2023-10-12 23:51:43	55.7788	12.0222	10.2	0.7	Region Hovedstaden
2023-10-21 03:24:35	57.0191	6.9912	43.3	2.5	North Sea
2023-10-29 03:11:34	52.9625	6.6297	3.0	1.7	The Netherlands
2023-11-04 01:07:42	57.0432	8.3536	9.5	1.7	Danmark
2023-11-08 21:40:42	56.9446	9.7409	0.0	1.6	Region Nordjylland
2023-11-10 13:27:21	55.5448	7.1348	10.0	2.6	North Sea

Tabelle 3: Tektonische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Der Ereignistyp wurde durch den Analysten zugewiesen.

Origin	Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region
2023-11-10 16:25:05		55.4283	6.7255	10.0	2.5	North Sea
2023-11-15 08:36:30		57.0855	7.4017	10.9	1.5	North Sea
2023-12-11 23:36:42		55.7595	11.7653	15.4	1.3	Danmark
2023-12-21 03:09:44		59.8367	6.6116	6.4	3.4	Southern Norway
2023-12-23 22:33:42		52.8942	8.5907	16.0	2.4	Niedersachsen

5 Temporäres Messnetz im Segeberger Kalkberg 2021/22

Das lokale Bad Segeberg Netz wurde 2017 installiert, um seismische Ereignisse in der Umgebung des Segeberger Salzstocks besser detektieren und lokalisieren zu können. Dies ist v.a. vor dem Hintergrund des Ereignisses vom 29. Oktober 1997 - dem Erdbeben bei Quaal - zu sehen (s. Meier and Omlin [2016] für eine ausführliche Auswertung dieses Ereignisses). Das seismologische Stationsnetz umfasst sechs Seismometer (Abb. 18) und die Empfindlichkeit des Netzes zur Detektion sehr schwacher Ereignisse mit Magnituden im Bereich -1 bis 0 konnte bereits nachgewiesen werden (Weidle et al. [2019]).

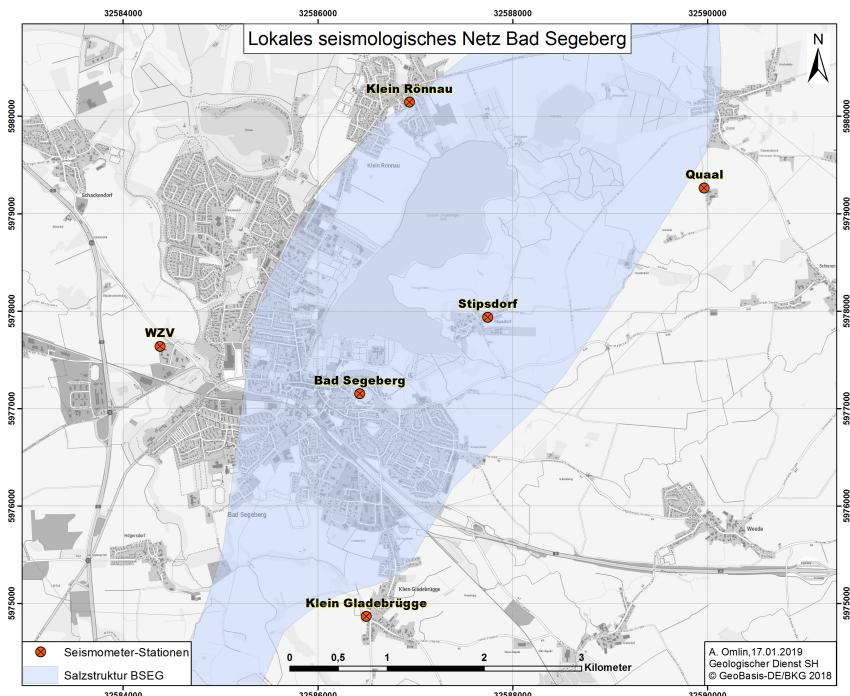


Abbildung 18: Status Bad Segeberg Netz 2021.

Im Zuge der seit Juni 2019 routinemässigen, manuellen täglichen Auswertung von seismischen Wellenformen wurden in unregelmässigen Abständen Ereignisse an der Station BSEG im Kalkberg identifiziert, welche eine qualitativ sehr hohe Ähnlichkeit zueinander und auch zu der Wellenform des 1997er Ereignisses aufweisen (Weidle et al. [2021]). Neben tektonischen Quellen sind auch Verbrüche im Bereich der Höhle eine erwartbare Quelle für seismische Signale. Da diese Ereignisse typischerweise nur an der Station BSEG im Kalkberg beobachtbar sind, konnte deren Ursache und Lokation bisher aber nicht nachgewiesen werden. Ebenso fehlt nach wie vor eine gutes Verständnis über die Ursache und Lokation der in Frostperioden auftretenden Ereignisse um den Kalkberg.

Zur Verbesserung der Datengrundlage wurden von September 2021 bis Ende März 2022 fünf zusätzliche Geofone (4.5 Hz Eigenfrequenz) in der Kalkberghöhle installiert, um ggf. auftretende Ereignisse im Bereich der Höhle besser verorten und charakterisieren zu können (Abb. 19). Die Wahl des Winterhalbjahres für das Experiment begründet sich v.a. darin,

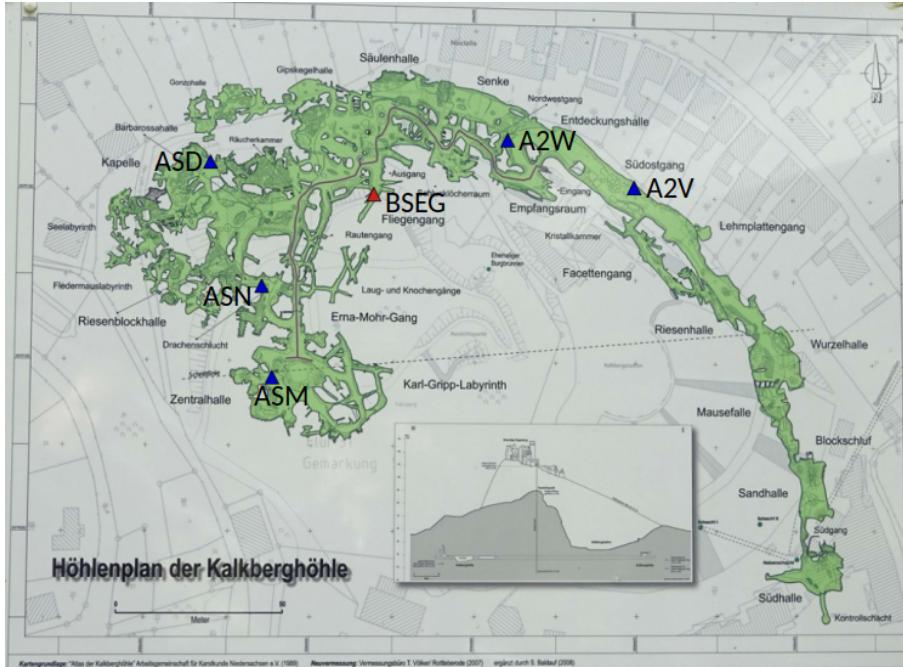


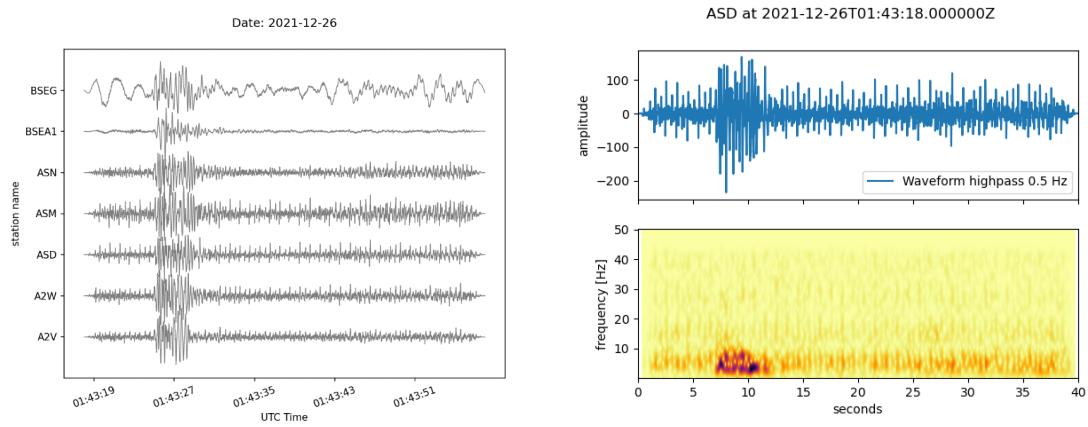
Abbildung 19: Übersichtskarte des Segeberger Kalkbergs. (Schautafel am Ausgang der Höhle (Foto: D. Schulte-Kortnack)). Markiert sind die Position des permanenten Seismometers im Fliegengang (rot) und die im Winterhalbjahr 2021/22 installierten zusätzlichen Geofone (blau).

daß die Höhle in dieser Zeit für Besucher geschlossen ist. Zum anderen ist mit dem Auftreten von Ereignissen mit Frostbezug im Winter zu rechnen (Weidle et al. [2020]). Der Aufbau und ein begleitendes aktives Experiment wurden in Weidle et al. [2023b] dokumentiert.

5.1 Auswertung des passiven Experiments

Eine initiale Auswertung der passiv registrierten Daten mit einem klassischen Detektionsverfahren ergab eine sehr hohe Anzahl von über 3000 Detektionen im Zeitraum September 2021 bis März 2022 (Weidle et al. [2023b]). Auffällig waren regelmäßige Detektionen in den Morgenstunden und, etwas diffuser, auch nachmittags. Die Ursache wurde in Weidle et al. [2023b] aufgrund der Regelmäßigkeit der Detektionen als sehr wahrscheinlich anthropogen interpretiert. Die für die Detektion genutzten Parameter-Einstellungen wurden überprüft und verschiedene Anpassungen vorgenommen, um diese für den Datensatz zu optimieren. Im Ergebnis ergab sich jedoch, dass alternative Einstellungen zu den ursprünglichen Parametern keine signifikante Verbesserung des Detektionsergebnisses lieferten.

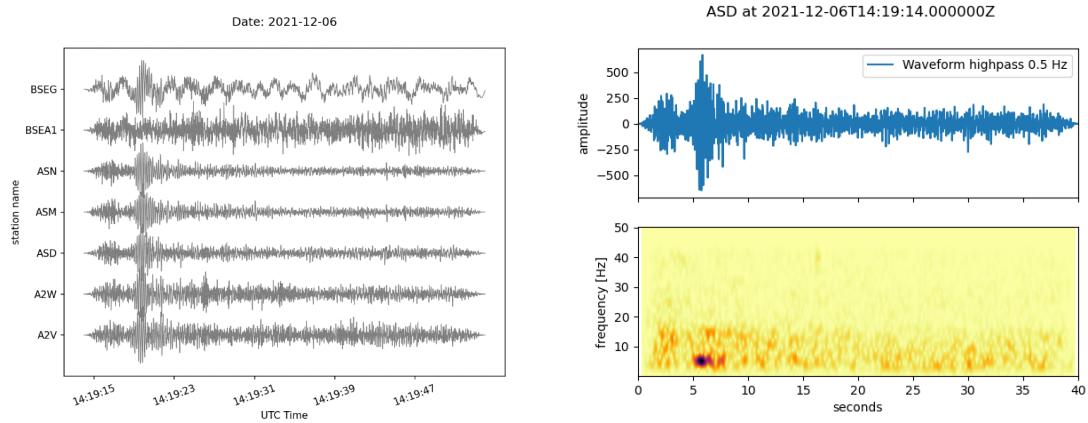
Eine umfassende manuelle Sichtung der aufgezeichneten Wellenformen von September 2021 bis März 2022 ergab eine hohe Anzahl an Wellenformen welche kohärent über das gesamte Messnetz sichtbar waren. Einige Beispiele sind in Abb. 20-22 dargestellt. Die meisten dieser Signale sind aber in Dauer, Amplitude und Frequenzgehalt sehr ähnlich. Insbesondere trifft dies auf Signale zu, welche höchstwahrscheinlich vom Straßenverkehr angeregt werden (Abb. 21). Diese Wellenformen bilden den weit umfassendsten Anteil in den gesamten Detektionen.



(a) Wellenformsektion.

(b) Spektrogramm der Station ASD.

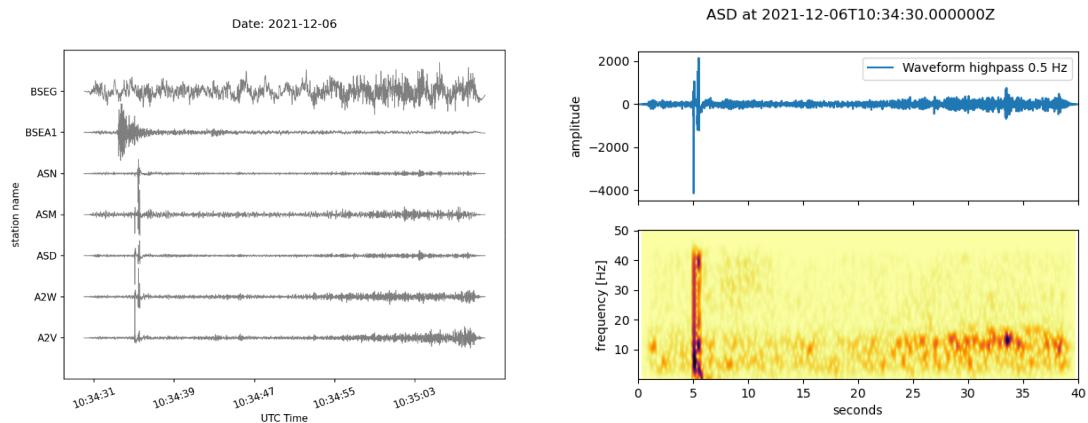
Abbildung 20: Beispiel eines frostinduzierten Ereignisses.



(a) Wellenformsektion.

(b) Spektrogramm der Station ASD.

Abbildung 21: Beispiel eines sehr häufig auftretenden, wahrscheinlich verkehrsinduzierten Signals.



(a) Wellenformsektion.

(b) Spektrogramm der Station ASD.

Abbildung 22: Beispiel einer kohärenten Störung an den temporären Geofonen.

Während einer starken Frostperiode um die Weihnachtstage 2021 traten - aus früheren Jahren bekannte - frostinduzierte Ereignisse auf (Abb. 20). Man beachte die hohe Ähnlichkeit dieser Ereignisse in Dauer, Amplitude und Frequenzgehalt mit den häufigen anthropogenen Signalen in Abb. 21. Dies macht eine automatisierte Diskriminierung dieser Ereignisse am untertägigen Messnetz schwierig. Am stadtweiten permanenten Messnetz lassen sich diese Ereignisse leichter identifizieren und von anthropogenen Störungen unterscheiden (u.a. Weidle et al. [2020], Weidle et al. [2022]).

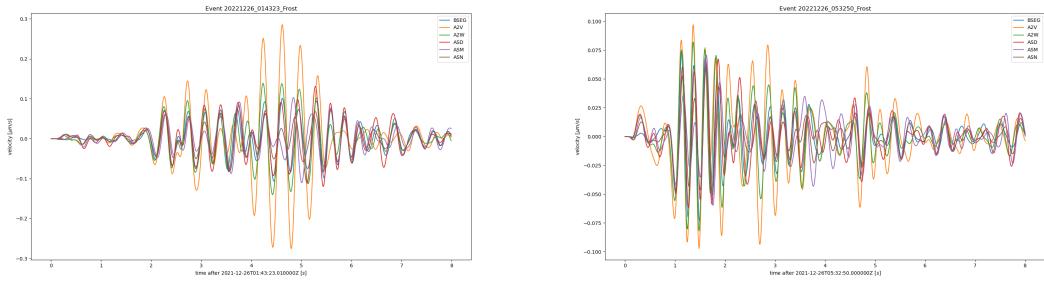
Eine weitere Ursache für Fehldetections bilden kohärente Störungen an den Geofonen des untertägigen Netzes (Abb. 22). Diese haben ihre Ursache vermutlich in elektrisch induzierten Störsignalen auf die jeweils 100m langen Datenkabel, welche die in der Höhle verteilten Geofone mit der zentralen Registrierung an der Station BSEG verbanden. Neben solchen in Abb. 22 gezeigten "glitches" ist auf den, während des aktiven Experiments mit 400Hz abgetasteten Rohdaten auch ein kontinuierliches Brummen bei einer scharfen Frequenz von 50 Hz sichtbar. Dies deutet ebenfalls auf eine elektrische Kopplung des Stromnetzes in die Datenkabel hin, ist aber für die hier gezeigte Auswertung für Frequenzen unterhalb 50 Hz nicht von Bedeutung.

Leider kam es im Winter 2021/22 zu keinen Ereignissen, welche als potentiell tektonischer Natur eingestuft werden könnten. Dies wurde durch Kreuzkorrelation älterer, an der Station BSEG registrierter solcher Ereignisse, mit den Daten im Zeitraum des Experiments bestätigt. Eine Lokalisierung solcher, sporadisch auftretender Ereignisse bleibt somit weiterhin eine offene Frage. Die detektierten frostinduzierten Ereignisse können aber mit dem untertägigen Messnetz genauer betrachtet werden.

5.1.1 Frostinduzierte Ereignisse

Abb. 23 zeigt zwei Beispiele von Ereignissen, welche während der Frostperiode um Weihnachten 2021 auftraten. In diesen beiden, ebenso wie in den meisten weiteren Fällen, sind die Wellenformen an allen Stationen sehr kohärent. Die Maximalamplitude und die Signaldauer sind über alle Ereignisse vergleichbar. Die gezeigten Beispiele zeigen aber auch, dass der Charakter der Wellenformen für verschiedene Ereignisse durchaus variabel ist. Das Ereignis um 5:32 UTC (Abb. 23b) ist z.B. deutlich impulsiver mit hohen Amplituden zu Beginn der Wellenform, im Gegensatz zum Ereignis um 1:43 UTC (Abb. 23a), dessen Amplitudenverhalten eher konstant bis ansteigend ist. Als mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Wellenformen kommen unterschiedliche Herdlokationen oder -mechanismen infrage.

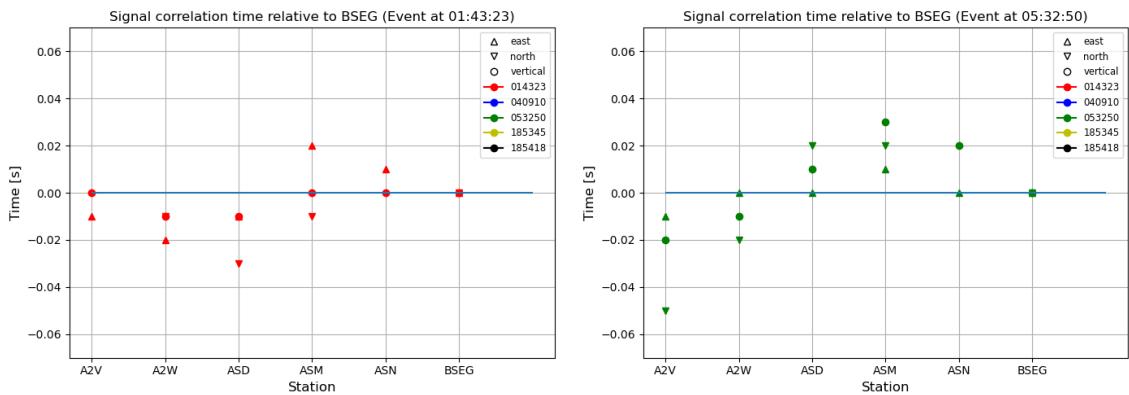
Die hohe Kohärenz der Wellenformen erlaubt es, die Differenzlaufzeiten der seismischen Wellen an den flächig verteilten Stationen zu bestimmen. Dies ist in Abb. 24 für die beiden Beispiele Ereignisse gezeigt, wobei die Relativlaufzeiten durch Kreuzkorrelation der gesamten



(a) Ereignis am 26.12.2021 um 1:43 UTC.

(b) Ereignis am 26.12.2021 um 5:32 UTC.

Abbildung 23: Beispiele zweier frostinduzierter Ereignisse an allen Stationen.



(a) Ereignis am 26.12.2021 um 1:43 UTC.

(b) Ereignis am 26.12.2021 um 5:32 UTC.

Abbildung 24: Relativlaufzeiten am untertägigen Messnetz für zwei frostinduzierte Ereignisse.

Wellenform mit der Wellenform an der Station BSEG im Zentrum des Netzes bestimmt wurden.

Die Ergebnisse zeigen visuell eine starke Streuung, speziell für die separat bestimmte Korrelation für die Vertikal-, Nord- und Ostkomponente der Wellenformen. Es ist aber zu beachten, dass die bestimmten Relativlaufzeiten im Mittel nur im Bereich $\pm 0.02s$ schwanken. Bei einer Abtastrate der Wellenformen von 100 Hz ist die zeitliche Auflösung auf 0.01s limitiert. Im Ergebnis liegt die maximale Differenzlaufzeit über das gesamte Netz somit bei 3-4 samples und somit am Rande der zeitlichen Auflösung.

In beiden gezeigten, wie auch weiteren untersuchten Beispielen, sind die Relativlaufzeiten an A2V und A2W (östlich von BSEG) eher negativ, an ASM und ASN eher positiv. Die Station ASD, nordwestlich von BSEG zeigt variable Relativlaufzeiten. Es ist also möglich, dass die beiden gezeigten Ereignisse an unterschiedlichen Orten angeregt wurden. Insgesamt ist die Ausbreitung der frostinduzierten Signale von nördlich bis östlicher nach westlich und südlicher Richtung zu interpretieren. Dies legt eine Quellregion am südlichen Rand des Großen Segeberger Sees nahe, dessen Südufer sich vom Kalkberg aus in nordwestlicher bis nordöstlicher Richtung erstreckt (Abb. 18).

Fazit Das passive seismologische Experiment in der Segeberger Kalkberghöhle im Winter 2021/22 zeigt in Summe einen umfangreichen Querschnitt seismisch beobachtbarer Ereignisse im Segeberger Kalkberg. Dominiert werden die registrierbaren Signale von anthropogenen Quellen, zuvorderst dem Straßenverkehr. Im Zeitraum des Experiments wurden frostinduzierte Ereignisse als natürliche Quellen identifiziert, welche nördlich bis östlich des Kalkbergs angeregt werden. Das Südufer des Großen Segeberger Sees ist ein anzunehmendes Quellgebiet. Dies würde auch mit früheren Beobachtungen von frostinduzierten Ereignissen zusammenpassen, welche neben dem Kalkberg zumeist auch in Stipsdorf am Südostufer, gelegentlich in Klein-Rönnau am Nordufer des Sees, sowie vereinzelt im Westen der Stadt registriert werden (s. z.B. Weidle et al. [2020], Weidle et al. [2022]).

Das Experiment ist prinzipiell wiederholbar, die benötigte Ausstattung an Geofonen, Datenrekordern, sowie Sensorkabeln und Zeitsynchronisation untertage ist vorhanden und haben technisch einwandfrei funktioniert. Die Auswertung von Relativlaufzeiten im unternägigen Stationsnetz zeigte aber auch, dass eine Abtastrate von 100 Hz die zeitliche Auflösung limitiert und eine höhere Abtastrate anzustreben wäre. Dies ginge zulasten einer reduzierten Speicherkapazität der Datenrekorder, was bei einer Wiederholung des Experiments zu beachten wäre.

6 Zusammenfassung

Das seismologische Stationsnetz in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern bestand im Jahr 2023 aus insgesamt 17 flächendeckend verteilten seismologischen Stationen. Ergänzt wird dieses regionale Netz durch lokale Netze auf Helgoland, um Bad Segeberg, auf Rügen und im Raum Lubmin mit insgesamt 21 weiteren Stationen. Diese werden vom IfG mit verschiedenen Kooperationspartnern betrieben. Wartungs- und Reparaturarbeiten im Jahr 2023 umfassten u.a. die elektrische Erneuerung der Station Quickborn, die Bergung und Neuinstallation einer Bohrlochstation im Bad Segeberg-Netz, sowie die Erweiterung des Rügen-Arrays um einen weiteren, geometrisch günstigen Standort am Südrand Neuenkirchens. Die BGR hat darüberhinaus im Sommer 2023 im Stadtgebiet von Rendsburg eine Teststation im Rahmen ihres geplanten bundesweiten Starkbebenetzes eingerichtet. Eine Auswertung der Datenqualität dieser Station und eine Bewertung des Nutzens für die regionale seismologische Überwachung steht noch aus.

Die kontinuierliche Erfassung und initiale Auswertung der seismologischen Daten erfolgt weitestgehend automatisiert, wobei verschiedene Detektionsverfahren parallel eingesetzt werden. Diese Prozesse erfordern aber trotz automatisierter Abläufe eine kontinuierliche Aufsicht, um technische Probleme frühzeitig erkennen und beheben zu können. Der im Jahr 2022 in Betrieb genommene wellenformbasierte *amplitude decay* (AD) Detektor hat sich als sehr zuverlässig etabliert. Ereignisse mit Magnituden ab etwa 2 erkennt der Detektor in den Landesgebieten von SH, MV und angrenzender Regionen sehr zuverlässig und mit einer geringen Fehldetectionsquote. Dennoch bleibt der Einsatz weiterer Detektionsverfahren, wie auch die manuelle Auswertung weiter unabdingbar. Lokale, schwächere Ereignisse, in etwa Magnituden unter 2, werden nach wie vor überwiegend in der manuellen Durchsicht der täglichen Wellenformen identifiziert. Auch wenn solche Ereignisse meist auf anthropogene oder meterologische Ursachen zurückgeführt werden können, wurde ein tektonisches Ereignis in der Region Rostock erst in der manuellen Durchsicht identifiziert.

Neben dem Ereignis bei Rostock gab es ein zweites tektonisches Ereignis im Küstenmeer von MV in der Kadetrinne. Beide Ereignisse hatten ähnliche Magnituden (1.4 bei Rostock, 1.6 Kadetrinne), das Ereignis in der Kadetrinne konnte aber bis nach Usedom gut registriert werden. Weitere tektonische Ereignisse im Grenzgebiet der deutsch-dänischen AWZ wurden erstmalig beobachtet und sollen zukünftig genauer ausgewertet werden.

Insgesamt umfasst der seismische Ereigniskatalog 2023 für SH und MV 595 manuell ausgewertete Ereignisse. Neben tektonischen Ereignissen im Bereich der Tornquist Zone, der zentralen Nordsee und den Gasfördergebieten in Niedersachsen und den Niederlanden, enthält der Katalog vor allem Sprengereignisse in Südschweden, aber auch im Norden Sachsen-Anhalts. Ein starkes seismisches Ereignis in der Lübecker Bucht konnte an Stationen in Norwegen und Schottland gemessen werden und wird einer explosiven Quelle

zugeordnet. Diese Interpretation stützt sich auf den Charakter der seismischen Wellenform, die Beobachtung von akustischen Wellen an Seismometern und Infraschallstationen in der Region, sowie dem qualitativen Abgleich mit seismischen Wellenformen von kontrollierten Sprengereignissen. Letztere wurden im Herbst 2023 wieder vor Schönhagen (SH) durchgeführt und zur Ableitung eines lokalen seismischen Geschwindigkeitsmodells für die oberste Kruste in der Kieler Bucht genutzt. Das abgeleitete Modell weicht von bisher verwendeten Geschwindigkeitsmodellen stark ab, hat aber gleichzeitig hohe Ähnlichkeit zu bohrlochgestützten Messprofilen in SH. Mit dem neuen Modell soll sich die Lokalisierungsgenauigkeit von seismischen Ereignissen weitere erhöhen. Inwieweit das neue Modell auch regional im norddeutschen Becken nutzbar ist, soll weiter untersucht werden. Hierzu sollen ausgewählte Ereignisse mit dem Modell relokaliert werden. Eine Einbindung von Laufzeitbeobachtungen von weiter entfernten Stationen (höhere Eindringtiefe der seismischen Wellen) kann darüberhinaus genutzt werden, um die Gültigkeit des Geschwindigkeitmodells in größeren Tiefen zu evaluieren.

Die Auswertung des im Winter 2021/22 im Segeberger Kalkberg durchgeföhrten, temporären untertägigen Messexperiments ergab einen umfassenden Überblick über die kontinuierlich an der Permanentstation BSEG in der Kalkberghöhle gemessenen Signale. Der weit überwiegende Anteil konnte anthropogenen Quellen zugeordnet werden, vor allem durch Verkehr angeregten Erschütterungen. Einzelne frostinduzierte Ereignisse konnten mit dem Messnetz in Richtung des Großen Segeberger Sees verortet werden. Als tektonisch interpretierbare Ereignisse traten im Messzeitraum nicht auf, anhand der Erfahrungen mit der untertägigen Installation ist eine Wiederholung des Experiments zukünftig vorstellbar.

Für die Weiterentwicklung des regionalen seismologischen Messnetzes steht ein Ausbau der Station Büsum zu einer Bohrlochstation, die Etablierung einer permanenten Bohrlochstation auf der Greifswalder Oie, sowie Testmessungen zur Erkundung eines neuen Standorts auf dem Darß auf dem Arbeitsprogramm für 2024. Darüberhinaus soll der Erdbebenkatalog für die südwestliche Ostsee mit dem dänischen Katalog abgeglichen und alle Ereignisse anhand von Wellenformdaten soweit möglich konsistent bewertet (tektonisch/explosiv) werden.

Literatur

- Christian Albrechts-Universität zu Kiel. Kiel University Earthquake Monitoring, 2017. URL <http://www.fdsn.org/networks/detail/KQ/>.
- EMSC. European-Mediterranean Seismological Centre. <https://www.emsc-csem.org>, 2024.
- E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). Baltic Sea Wave Analysis and Forecast. <https://doi.org/10.48670/moi-00011>, 2020. Accessed on 05-Jun-2024.
- Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. German Regional Seismic Network (GRSN), 1976. URL <https://www.seismologie.bgr.de/doi/grsn/>.
- GEOFON Data Centre. GEOFON Seismic Network, 1993. URL <https://geofon.gfz-potsdam.de>.
- GFZ Potsdam and Gempa GmbH. The SeisComP seismological software package. <http://www.seiscomp.de>, 2008. Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences and gempa GmbH.
- B. L. N. Kennett, E. R. Engdahl, and R. Buland. Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times. *Geophys. J. Int.*, 122:108–124, 1995. doi: 10.1111/j.1365-246X.1995.tb03540.x.
- LBEG. Niedersächsischer Erdbebendienst - Aktuelle Erdbeben. <https://www.lbeg.niedersachsen.de/erdbebendienst/erdbebenaktuelles/niedersaechsischer-erdbebendienst-ned-128713.html>. Zuletzt abgerufen, 27.4.2023.
- T. Meier and A. Omlin. Bericht zur Forschungskooperation 2015: Ortungsgenauigkeit und Detektion von seismischen Ereignissen in Schleswig-Holstein und Umgebung. Technical report, CAU Kiel, 2016.
- C. Weidle, H. Sudhaus, T. Meier, and A. Omlin. Bericht zur Kooperation 2018 - Status der Erdbebenüberwachung für Schleswig-Holstein und Umgebung - erste Ergebnisse des seismischen Netzes bei Bad Segeberg. Technical report, CAU Kiel, 2019.
- C. Weidle, H. Sudhaus, T. Meier, and A. Omlin. Bericht zur Kooperation 2019 - Status der Erdbebenüberwachung und Auswertungen von Bodenbewegungsdaten für Schleswig-Holstein und Umgebung. Technical report, CAU Kiel, 2020.
- C. Weidle, H. Sudhaus, T. Meier, and A. Omlin. Bericht zur Kooperation 2020 - Status der Erdbebenüberwachung und Auswertungen von Bodenbewegungsdaten für Schleswig-Holstein und Umgebung. Technical report, Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2021.

- C. Weidle, H. Sudhaus, T. Meier, and A. Omlin. Bericht zur Kooperation 2021 - Status der Erdbebenüberwachung und Auswertungen von Bodenbewegungsdaten für Schleswig-Holstein und Umgebung. Technical report, CAU Kiel, 2022.
- C. Weidle, T. Meier, and K. Obst. Bericht zur Kooperation 2022 – Status der Erdbebenüberwachung für Mecklenburg-Vorpommern. Technical report, Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2023a.
- C. Weidle, T. Meier, and A. Omlin. Bericht zur Kooperation 2022 - Status der Erdbebenüberwachung für Schleswig-Holstein und Umgebung. Technical report, CAU Kiel, 2023b.
- L. Wiesenbergs, C. Voigt, C. Weidle, D. Becker, A. Kampmann, and T. Meier. Comparison of long period passive seismic and gravity measurements on the island Heligoland in the German Bight (North Sea). In *XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)*. GFZ German Research Centre for Geosciences, GFZ German Research Centre for Geosciences, 2023. doi: 10.57757/IUGG23-3349.

A Ereigniskatalog für 2023

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung.
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-01-04 13:18:01	54.1785	7.8975	1.0	1.1	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-01-05 14:11:31	57.2623	12.3783	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-01-07 21:38:09	54.1822	7.8912	0.0	0.9	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-01-09 14:09:32	56.2506	15.6809	1.9	2.0	Sweden		explosion
2023-01-10 12:34:24	57.2107	13.5932	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-01-10 13:13:44	58.3200	15.7787	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-01-10 13:33:24	56.2393	15.4917	4.6	1.3	Sweden		explosion
2023-01-13 12:42:14	56.9712	14.3951	0.7	1.7	Sweden		explosion
2023-01-16 11:40:32	56.8344	7.7734	72.1	2.5	North Sea		earthquake
2023-01-16 18:57:46	54.5200	13.2527	11.0	1.6	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-01-17 05:57:43	57.4156	13.4136	1.5	1.4	Sweden		earthquake
2023-01-17 10:50:59	56.8286	13.8913	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-01-17 13:29:25	56.1865	14.7748	1.8	1.4	Sweden		explosion
2023-01-17 18:32:51	54.3963	13.2747	2.0	1.4	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-01-18 05:10:20	56.3930	10.8325	0.0	2.2	Region Middjylland		earthquake
2023-01-18 12:00:01	57.5904	12.0708	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-01-18 12:32:41	56.0134	13.5745	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-01-18 18:29:31	54.4129	13.2270	0.0	1.9	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-01-19 08:56:43	54.4032	13.2128	0.0	1.7	Mecklenburg-Vorpommern		sonic boom
2023-01-19 18:44:51	54.4460	13.3004	5.0	1.7	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-01-20 10:41:55	56.2939	12.9955	0.9	1.6	Sweden		explosion
2023-01-24 07:33:18	54.1974	7.8978	1.1	0.5	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-01-24 08:47:21	54.3988	13.3202	0.0	1.6	Vorpommern-Rügen		acoustic noise

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-01-24 12:32:50	56.6423	16.0450	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-01-27 09:38:21	54.4086	13.2837	1.0	1.9	Vorpommern-Rügen		acoustic noise
2023-01-27 12:07:19	58.5447	16.1018	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-01-27 12:09:22	59.5574	16.3249	5.8	1.8	Sweden		explosion
2023-01-31 11:59:21	58.3814	15.7268	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-01-31 13:56:20	54.3884	13.2687	1.0	1.5	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-02-01 04:18:10	54.1803	7.8921	1.0	1.2	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-02-01 12:37:31	56.5293	15.2057	2.5	1.6	Sweden		explosion
2023-02-02 11:00:11	55.6988	13.2530	3.3	1.1	Sweden		explosion
2023-02-03 12:53:51	56.7253	15.1792	4.2	1.5	Sweden		explosion
2023-02-03 17:34:02	56.1077	13.7202	12.7	1.8	Sweden		earthquake
2023-02-04 22:52:34	54.4955	12.3736	19.8	1.6	Mecklenburg-Vorpommern		earthquake
2023-02-05 15:40:06	59.0136	15.5394	14.8	1.8	Sweden		explosion
2023-02-05 17:47:16	55.6827	12.1185	17.0	1.4	Region Sjaelland		earthquake
2023-02-06 13:14:12	55.6305	13.3717	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-02-08 02:23:50	53.9359	10.3164	0.0	0.2	Segeberg		ice quake
2023-02-08 11:16:49	56.8892	14.7178	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-02-08 11:18:47	57.1446	12.3970	2.8	1.3	Sweden		explosion
2023-02-08 12:27:00	56.2850	12.9819	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-02-08 17:58:16	57.6989	11.7077	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-02-09 12:36:07	57.7494	18.6146	0.0	2.5	Baltic Sea		explosion
2023-02-09 13:07:19	56.3459	12.7438	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-02-09 14:10:07	58.9948	15.5209	24.1	1.9	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-02-10 11:38:42	56.2308	15.4637	1.2	1.4	Sweden	explosion	
2023-02-10 12:04:30	55.6737	13.6802	0.0	1.2	Sweden	explosion	
2023-02-11 16:44:15	58.3715	12.8811	0.0	2.1	Sweden	earthquake	
2023-02-12 07:14:13	53.4001	2.4291	6.7	3.2	North Sea	earthquake	
2023-02-13 11:45:24	54.1900	7.9018	0.0	0.5	Helgoland Umgebung	anthropogenic event	
2023-02-13 12:27:16	54.1886	7.9018	0.0	0.5	Helgoland Umgebung	anthropogenic event	
2023-02-13 13:10:37	54.1826	7.9018	0.0	0.5	Helgoland Umgebung	anthropogenic event	
2023-02-14 11:32:19	55.0220	14.8892	0.0	1.6	Greater Bornholm	explosion	
2023-02-14 11:49:33	55.0337	14.8853	0.0	1.7	Bornholm	explosion	
2023-02-14 12:05:33	54.1824	7.8960	0.0	0.5	Helgoland Umgebung	anthropogenic event	
2023-02-14 12:32:59	55.0065	14.9662	2.8	1.7	Bornholm	explosion	
2023-02-14 14:16:11	57.5795	12.0413	5.1	1.8	Sweden	explosion	
2023-02-15 11:01:21	55.7293	13.4284	0.0	1.5	Sweden	explosion	
2023-02-15 11:00:21	55.7158	13.3823	0.0	1.1	Sweden	explosion	
2023-02-15 11:06:28	54.4155	13.1752	1.0	0.8	Mecklenburg-Vorpommern	sonic boom	
2023-02-15 12:57:25	56.2264	13.0876	0.0	1.4	Sweden	explosion	
2023-02-16 12:39:08	55.7035	13.1751	0.0	1.4	Sweden	explosion	
2023-02-16 12:45:42	57.9791	12.4911	0.0	1.9	Sweden	explosion	
2023-02-16 14:12:45	56.3197	15.4582	0.0	1.6	Sweden	explosion	
2023-02-17 12:06:31	56.1787	13.1467	1.8	1.5	Sweden	earthquake	
2023-02-17 13:03:39	55.0907	14.7995	4.0	0.6	Bornholm	earthquake	
2023-02-18 13:17:34	54.0140	7.7429	0.0	1.3	Schleswig-Holstein	acoustic noise	
2023-02-20 19:44:08	54.1787	7.8950	1.0	1.3	Helgoland Umgebung	acoustic noise	

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-02-20 20:06:51	54.1764	7.8924	1.0	1.2	Helgoland	acoustic noise	
2023-02-21 09:56:14	56.1826	13.1383	0.5	1.3	Sweden	explosion	
2023-02-21 20:58:01	56.6135	11.0448	0.0	1.3	Danmark	earthquake	
2023-02-22 12:00:03	57.5752	12.1040	0.0	1.2	Sweden	explosion	
2023-02-22 12:44:39	56.9774	14.5858	0.0	2.0	Sweden	explosion	
2023-02-23 13:02:20	54.1912	7.8969	0.0	0.6	Helgoland Umgebung	acoustic noise	
2023-02-23 13:27:12	56.1600	14.7207	0.0	1.4	Sweden	explosion	
2023-02-28 13:07:31	58.6275	11.9798	4.3	1.9	Sweden	explosion	
2023-02-28 13:28:33	58.3364	15.7792	0.0	1.9	Sweden	explosion	
2023-03-01 12:57:55	56.2021	13.1101	0.0	1.6	Sweden	explosion	
2023-03-02 12:59:56	56.1549	13.3359	0.0	1.2	Sweden	explosion	
2023-03-02 13:28:25	52.8592	4.2264	0.0	2.4	The Netherlands	explosion	
2023-03-06 17:59:27	57.7343	11.7829	0.0	1.4	Sweden	explosion	
2023-03-07 13:30:30	57.0149	15.4282	0.2	1.5	Sweden	explosion	
2023-03-08 09:44:34	57.5152	14.3405	0.0	1.7	Sweden	explosion	
2023-03-08 11:22:32	56.9427	14.6751	0.0	1.3	Sweden	explosion	
2023-03-08 12:02:12	55.7121	13.2181	0.7	1.9	Sweden	explosion	
2023-03-08 12:13:41	58.2114	11.0820	0.0	2.4	Sweden	explosion	
2023-03-08 12:25:24	58.2040	11.0964	0.0	2.2	Sweden	explosion	
2023-03-08 12:35:17	58.2432	11.1219	0.0	2.3	Sweden	explosion	
2023-03-08 12:43:23	56.2675	15.4499	0.0	1.5	Sweden	explosion	
2023-03-08 13:58:06	58.1752	11.0534	0.0	2.3	Sweden	explosion	
2023-03-08 14:08:18	58.2005	11.0962	0.0	2.3	Sweden	explosion	

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-03-08 14:16:11	58.3512	6.4696	0.0	1.9	Southern Norway		explosion
2023-03-08 14:24:01	58.2128	11.1190	0.0	2.2	Sweden		explosion
2023-03-08 22:55:26	56.2307	11.3191	1.7	1.2	Denmark		earthquake
2023-03-09 11:27:00	56.1816	14.6298	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-03-09 12:52:52	57.6611	15.0296	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-03-09 13:20:41	58.3203	14.5280	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-03-11 11:23:11	54.1805	7.8918	1.0	0.8	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-03-11 15:40:12	59.0081	15.5868	16.8	1.7	Sweden		explosion
2023-03-14 06:09:27	57.8699	17.1946	0.0	3.1	Baltic Sea		explosion
2023-03-14 06:58:37	57.8110	17.2965	0.0	3.2	Baltic Sea		explosion
2023-03-14 09:34:13	57.7551	17.1980	0.0	2.7	Baltic Sea		explosion
2023-03-14 09:42:21	57.1470	16.5201	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-14 13:15:57	58.3405	15.5783	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-15 10:30:40	58.3325	17.6539	0.0	2.9	Sweden		explosion
2023-03-15 10:30:08	55.7477	13.3989	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-15 10:47:10	58.1454	17.3366	0.0	2.8	Sweden		explosion
2023-03-15 11:11:41	58.3373	17.5727	0.0	2.8	Sweden		explosion
2023-03-15 11:18:02	58.1465	17.3857	0.0	2.9	Sweden		explosion
2023-03-15 13:00:10	56.2096	13.3471	2.0	1.4	Sweden		explosion
2023-03-15 14:56:23	57.2095	14.1741	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-03-16 14:06:18	57.8576	16.5022	0.0	2.1	Vorpommern-Rügen		explosion
2023-03-19 16:44:14	54.4811	13.2584	1.0	1.1	Helgoland Umgebung		thunder
2023-03-20 19:45:52	54.1815	7.8975	1.0	0.4			anthropogenic event

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-03-20 19:46:53	56.4182	10.9660	45.9	1.7	Danmark		earthquake
2023-03-21 03:57:43	54.1783	7.8973	1.0	0.1	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-03-21 07:05:06	56.5639	13.1490	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-21 11:39:39	59.0097	18.1304	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-03-21 17:23:10	59.0486	18.1652	0.0	2.2	Sweden		explosion
2023-03-21 19:03:22	59.0563	18.1135	0.0	2.3	Sweden		explosion
2023-03-22 14:26:11	57.1637	14.2181	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-23 06:15:07	54.1791	7.8951	1.0	1.0	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-03-23 12:04:31	56.3248	12.7166	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-23 12:12:41	52.2361	11.3302	0.0	1.6	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-03-23 12:49:09	56.2697	12.9529	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-03-23 14:00:34	57.6902	12.8236	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-03-23 14:10:06	58.8727	15.2882	5.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-25 04:57:32	59.9906	8.2552	1.1	3.3	Southern Norway		earthquake
2023-03-25 18:55:11	54.1778	7.8931	1.0	0.7	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-03-26 23:03:19	53.7230	9.8969	20.0	-0.2	Pinneberg		not locatable
2023-03-27 10:29:51	52.3129	11.2089	0.0	1.8	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-03-27 12:12:30	56.2287	15.4772	2.8	1.5	Sweden		explosion
2023-03-27 15:49:37	56.3525	11.9250	4.5	0.9	Danmark		earthquake
2023-03-28 10:01:18	55.6995	13.3657	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-03-28 11:03:03	58.4065	16.2377	49.8	1.7	Sweden		explosion
2023-03-28 12:08:06	56.8749	15.0426	0.7	1.6	Sweden		explosion
2023-03-29 11:27:54	54.1778	7.8975	1.0	0.8	Helgoland Umgebung		anthropogenic event

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-03-29 11:45:07	56.7951	14.6875	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-03-30 12:00:26	56.0186	13.8509	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-03-31 09:27:08	55.7168	13.2754	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-03-31 11:12:51	52.3114	11.2252	4.6	1.8	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-03-31 11:32:51	56.8955	14.4733	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-03-31 11:54:23	57.8529	11.9917	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-03 11:49:13	57.6976	18.6893	0.0	2.0	Baltic Sea		explosion
2023-04-03 20:08:19	55.2357	14.8796	0.6	0.8	Greater Bornholm		earthquake
2023-04-04 12:01:50	56.6175	16.0242	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-04 12:09:57	57.8930	16.0442	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-04-05 02:00:14	59.9520	14.3716	0.0	2.7	Sweden		earthquake
2023-04-05 11:05:01	56.2679	13.0534	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-04-05 13:03:28	56.1753	13.1047	0.3	1.4	Sweden		explosion
2023-04-05 23:50:48	53.7230	9.8969	20.0	0.0	Pinneberg		not locatable
2023-04-06 04:00:08	58.9624	15.4100	14.3	1.5	Sweden		explosion
2023-04-06 07:47:20	56.7472	12.7982	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-04-07 21:26:00	57.0639	1.8202	81.6	4.1	North Sea		earthquake
2023-04-10 12:45:24	57.2879	12.3510	0.0	2.4	Sweden		explosion
2023-04-11 11:31:36	56.6165	16.0017	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-04-11 13:15:02	57.7666	11.9853	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-04-11 21:58:06	54.1822	7.8975	1.0	0.5	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-04-12 10:02:22	56.8295	16.2191	0.0	2.0	Sweden		explosion
2023-04-12 10:48:36	57.7237	18.4819	0.0	2.0	Baltic Sea		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-04-12 11:55:39	57.7899	16.5792	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-04-12 12:00:15	57.6465	14.2267	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-04-12 13:56:39	56.2192	14.5256	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-04-13 10:21:55	56.8796	14.7273	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-13 11:36:30	56.5967	15.4780	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-13 12:03:01	57.3077	13.7963	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-04-13 12:07:30	58.3515	15.6024	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-14 23:44:39	54.1769	7.8954	1.0	0.3	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-04-16 20:06:47	54.1830	7.8930	0.0	0.8	Helgoland Umgebung		rockslide
2023-04-19 20:53:45	54.1839	7.8932	0.0	0.9	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-04-20 09:24:43	57.6729	14.9700	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-20 11:56:11	57.3090	13.5138	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-04-21 04:09:37	59.3400	13.2459	2.9	2.2	Sweden		earthquake
2023-04-21 11:12:01	56.9896	15.4503	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-04-22 02:10:20	54.1819	7.8922	0.0	0.5	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-04-24 11:02:18	57.6893	18.7480	0.0	2.3	Baltic Sea		explosion
2023-04-25 10:02:18	55.6794	13.3143	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-04-25 10:01:47	55.7087	13.3310	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-04-25 12:03:40	55.0607	14.6973	0.0	1.1	Greater Bornholm		explosion
2023-04-25 13:57:39	57.6691	12.1856	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-04-27 10:49:00	56.2813	12.9752	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-04-27 12:43:45	58.1420	11.8873	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-04-28 06:04:14	56.5096	13.1546	0.0	1.7	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-04-28 10:33:34	55.7469	13.3607	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-04-28 12:05:07	55.9884	13.5278	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-04-30 05:00:25	55.6928	12.2462	13.3	1.5	Region Hovedstaden		earthquake
2023-05-02 13:10:11	58.8073	15.0866	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-05-02 13:30:05	59.0989	11.3225	0.0	1.9	Southern Norway		explosion
2023-05-02 14:35:08	57.5550	11.5842	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-05-04 09:45:29	59.7051	19.3251	0.0	1.8	Baltic Sea		explosion
2023-05-04 10:00:36	56.8645	14.6787	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-05-04 12:13:14	58.0792	11.8377	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-05-04 13:17:00	57.7144	13.9962	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-05-04 15:18:06	58.8819	9.2604	0.0	1.5	Southern Norway		earthquake
2023-05-05 11:37:11	56.9259	12.9127	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-05-09 10:38:25	56.8072	16.2120	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-05-09 15:45:26	54.4187	13.1968	1.0	1.0	Mecklenburg-Vorpommern		sonic boom
2023-05-10 14:21:32	57.6910	11.7164	1.7	1.8	Sweden		explosion
2023-05-11 03:40:39	54.1847	7.8944	0.0	0.4	Helgoland Umgebung		rock burst
2023-05-11 11:41:33	57.8017	18.5205	0.0	2.2	Baltic Sea		explosion
2023-05-11 12:01:31	56.2243	13.0948	0.1	1.5	Sweden		explosion
2023-05-11 21:52:57	54.1806	7.8936	0.0	0.8	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-05-12 10:02:44	58.2110	11.1044	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-05-12 10:45:15	58.1987	11.1596	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-05-12 10:47:19	53.0575	9.1711	15.4	1.6	Niedersachsen		earthquake
2023-05-12 13:05:11	58.2562	11.2331	0.0	2.0	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-05-12 13:07:45	58.2402	11.1495	0.0	2.0	Sweden		explosion
2023-05-12 14:43:09	58.1969	11.0983	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-05-13 12:57:27	54.5018	16.7040	0.0	2.0	Poland		explosion
2023-05-14 10:08:14	55.7769	11.7937	10.0	1.8	Region Sjaelland		earthquake
2023-05-15 10:32:21	52.2719	11.3293	0.0	1.8	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-05-16 10:05:03	55.7080	13.3499	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-05-17 12:36:39	56.2383	15.4629	0.3	1.5	Sweden		explosion
2023-05-17 13:06:01	57.2560	14.1612	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-05-18 10:20:33	54.1771	7.8911	1.1	0.9	Helgoland		anthropogenic event
2023-05-19 10:15:59	54.1800	7.8938	0.0	0.8	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-05-20 19:43:39	54.1981	12.2898	10.4	1.4	Rostock		earthquake
2023-05-21 10:17:08	54.1799	7.8944	0.0	0.5	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-05-22 02:03:11	54.1927	7.8820	0.0	0.6	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-05-22 05:54:21	54.1829	7.8924	0.0	0.4	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-05-22 12:59:42	57.2192	14.1442	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-05-23 10:42:30	56.5291	13.6965	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-05-23 11:29:57	56.1848	14.8890	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-05-24 14:29:41	57.9391	14.5487	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-05-24 22:25:28	54.1807	7.8949	0.0	0.6	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-05-25 12:08:32	56.3119	15.0879	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-05-26 04:32:34	54.6698	13.4236	0.0	2.1	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-05-28 23:30:23	54.5495	13.3277	0.0	0.1	Vorpommern-Rügen		anthropogenic event
2023-05-29 08:52:29	54.1793	7.8934	0.0	0.7	Helgoland Umgebung		anthropogenic event

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-05-29 10:42:10	56.8111	13.9297	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-05-29 13:02:14	56.1807	13.0992	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-05-30 12:30:14	56.0421	13.9283	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-05-30 14:08:02	55.6806	13.4593	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-05-31 10:00:53	55.7167	13.4102	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-05-31 10:01:57	55.7004	13.3013	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-05-31 10:26:31	56.9555	14.6770	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-05-31 12:32:17	56.1962	14.7613	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-06-01 08:56:11	58.0594	15.1009	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-06-01 09:10:45	56.8270	13.9007	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-06-01 10:37:39	57.8054	11.4379	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-06-01 11:01:40	57.7688	11.3562	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-06-01 11:46:05	57.7415	11.2750	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-06-01 12:01:39	57.7501	11.3009	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-06-01 13:17:50	57.6808	12.3301	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-06-02 10:03:20	55.6709	13.4012	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-06-02 11:26:47	58.3056	13.9179	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-06-02 19:35:49	54.5005	13.4118	0.2	1.0	Mecklenburg-Vorpommern		anthropogenic event
2023-06-03 14:40:27	58.9727	15.4700	19.9	2.0	Sweden		explosion
2023-06-04 19:10:36	53.9359	10.3164	10.0	-0.2	Segeberg		rock burst
2023-06-05 09:21:29	57.6615	18.9277	0.0	2.1	Baltic Sea		explosion
2023-06-05 17:01:05	56.3448	15.1784	2.4	1.4	Sweden		explosion
2023-06-07 10:57:11	56.6754	15.1563	0.0	1.6	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-06-08 10:52:16	57.5314	15.8795	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-06-08 11:18:41	56.8016	12.9150	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-06-09 09:26:33	55.7182	13.3000	1.7	1.7	Sweden		earthquake
2023-06-09 15:37:47	53.7230	9.8969	10.0	0.4	Pinneberg		not reported
2023-06-12 12:58:14	56.7194	12.7184	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-06-12 13:33:07	56.2508	15.6715	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-06-13 01:09:02	56.3324	12.9791	14.0	0.8	Sweden		earthquake
2023-06-13 01:33:42	54.3000	7.9000	10.0	0.6	Schleswig-Holstein		not reported
2023-06-13 08:00:06	57.5285	13.1144	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-06-13 12:20:48	56.8907	14.6451	0.4	2.1	Sweden		explosion
2023-06-13 13:09:30	56.8477	14.9535	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-06-13 23:11:35	53.2621	11.6770	10.0	0.7	Ludwigslust-Parchim		not reported
2023-06-14 06:08:25	53.2621	11.6770	10.0	1.2	Ludwigslust-Parchim		not reported
2023-06-14 09:28:12	54.1164	11.7731	10.0	2.0	Landkreis Rostock		not reported
2023-06-14 12:30:19	56.1403	14.8514	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-06-14 13:53:24	57.6736	12.3293	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-06-14 14:10:48	57.6871	11.8455	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-06-14 15:19:22	55.9695	13.2539	3.1	1.2	Sweden		earthquake
2023-06-15 05:12:32	54.5675	10.7726	0.0	2.5	Germany		explosion
2023-06-15 12:02:37	56.2162	13.1154	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-06-16 12:00:22	57.8420	11.9177	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-06-16 12:03:33	59.7563	10.4128	0.0	1.7	Southern Norway		explosion
2023-06-16 12:30:35	56.1890	13.1190	0.0	1.0	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-06-16 22:14:07	53.4935	14.2097	10.0	0.9	Vorpommern-Greifswald		not reported
2023-06-17 12:19:12	53.2621	11.6770	10.0	1.3	Ludwigslust-Parchim		not reported
2023-06-19 09:14:16	54.3984	13.3208	0.0	1.7	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-06-19 09:39:47	54.4131	13.1800	0.0	1.6	Mecklenburg-Vorpommern		sonic boom
2023-06-19 11:06:48	56.6042	16.1478	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-06-19 15:38:10	54.1821	7.9026	0.0	1.9	Helgoland Umgebung		explosion
2023-06-19 20:37:30	54.5112	13.3971	0.0	0.7	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-06-20 07:18:59	56.3152	12.9131	11.7	0.5	Sweden		earthquake
2023-06-20 07:29:40	54.1816	7.8930	0.0	0.4	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-06-20 10:05:50	57.2895	13.0104	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-06-20 10:32:57	54.1823	7.8929	0.0	0.6	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-06-20 15:34:56	54.2031	7.9239	0.0	2.0	Helgoland Umgebung		explosion
2023-06-20 17:01:27	54.1884	7.9120	0.0	1.8	Helgoland-Düne		explosion
2023-06-20 20:33:37	54.5032	13.4122	0.0	1.0	Mecklenburg-Vorpommern		sonic boom
2023-06-21 10:49:26	54.4068	13.2818	0.0	0.8	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-06-21 12:43:37	56.2970	12.9771	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-06-21 16:59:24	54.2120	7.9302	0.0	1.9	Helgoland Umgebung		explosion
2023-06-21 20:00:49	54.1440	12.5720	10.0	1.2	Vorpommern-Rügen		not locatable
2023-06-21 20:51:26	54.1811	7.8963	0.0	0.2	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-06-22 10:26:56	55.7067	13.2629	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-06-22 12:03:42	55.0990	14.7944	0.0	1.0	Bornholm		explosion
2023-06-22 12:07:55	56.2252	14.5539	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-06-22 12:13:50	55.9889	13.5552	0.0	1.3	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-06-25 14:40:03	58.8940	15.3212	6.5	1.5	Sweden		explosion
2023-06-26 10:19:39	57.3113	13.6174	0.0	2.1	Sweden		explosion
2023-06-26 12:23:30	58.2886	12.5057	0.0	2.0	Sweden		explosion
2023-06-26 12:45:36	57.2416	12.3347	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-06-27 02:45:49	58.1207	13.7634	0.0	2.0	Sweden		explosion
2023-06-27 16:27:58	56.3603	15.1565	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-06-28 10:01:29	55.7107	13.2739	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-06-28 11:58:26	56.2289	13.0558	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-06-29 10:59:52	55.6648	13.3483	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-06-29 11:44:31	57.9581	12.6000	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-06-29 12:49:42	56.8443	15.0519	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-06-29 13:22:52	52.2406	11.3211	0.0	1.7	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-06-29 13:50:42	57.6357	14.1581	0.0	1.4			explosion
2023-06-30 04:42:57	54.1945	7.8913	2.0	0.5	Helgoland Umgebung		sonic boom
2023-06-30 11:56:47	56.0639	13.9928	0.0	1.2			explosion
2023-07-01 01:22:58	54.0648	11.0292	0.0	2.6	Schleswig-Holstein		explosion
2023-07-01 16:06:40	58.5244	13.4192	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-07-01 19:48:51	56.7697	8.1821	16.9	2.3	Danmark		earthquake
2023-07-02 07:32:55	54.1832	7.8984	0.0	0.9	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-07-02 13:44:17	54.1164	11.7731	10.0	1.1	Landkreis Rostock		not locatable
2023-07-03 01:53:07	54.1808	7.8963	0.0	1.0	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-07-03 10:35:57	52.6153	11.1530	0.0	1.9	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-07-03 20:19:48	54.1779	7.8928	1.0	1.1	Helgoland Umgebung		anthropogenic event

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-07-04 14:18:58	57.7002	11.7605	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-07-05 07:03:41	56.8389	14.8039	0.5	1.1	Sweden		explosion
2023-07-05 10:56:49	58.5526	16.0646	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-07-05 13:10:08	58.8500	15.2439	0.6	2.0	Sweden		explosion
2023-07-06 09:37:59	57.6745	18.4498	0.0	2.1	Baltic Sea		explosion
2023-07-06 10:55:14	56.2123	13.7055	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-07-06 11:08:45	56.9042	14.4674	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-07-06 11:16:00	52.3122	11.2262	0.0	1.9	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-07-06 11:24:16	56.8584	14.6885	0.2	1.8	Sweden		explosion
2023-07-07 07:30:02	57.6398	10.6332	0.0	1.9	Danmark		explosion
2023-07-11 12:03:38	55.0893	14.7491	3.5	0.8	Bornholm		earthquake
2023-07-12 07:45:52	54.5149	13.3694	0.0	0.8	Vorpommern-Rügen		thunder
2023-07-12 10:40:55	55.7020	13.2918	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-07-12 11:06:55	58.2114	13.3564	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-07-13 09:59:09	55.6729	13.3912	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-07-13 11:56:10	57.6440	18.9154	0.0	2.4	Baltic Sea		explosion
2023-07-15 18:56:22	54.4429	13.5015	0.0	1.3	Vorpommern-Rügen		sonic boom
2023-07-16 21:20:54	54.1792	7.8941	0.0	1.0	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-07-21 05:29:56	57.0570	16.2648	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-07-24 10:56:04	54.1822	7.8949	0.0	0.6	Helgoland Umgebung		anthropogenic event
2023-07-24 21:58:35	54.1806	7.8914	0.0	0.7	Helgoland		anthropogenic event
2023-07-27 16:58:48	55.7351	11.8502	9.2	1.1	Danmark		earthquake
2023-07-29 10:14:01	54.1815	7.8926	0.0	0.5	Helgoland Umgebung		anthropogenic event

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event Type
2023-07-31 11:23:50	54.2083	7.8847	0.0	0.7	Helgoland Umgebung	anthropogenic event
2023-07-31 11:47:20	58.5463	16.0478	0.0	1.7	Sweden	explosion
2023-08-01 06:42:26	58.3199	19.8024	0.0	3.1	Baltic Sea	explosion
2023-08-02 06:25:36	54.1822	7.8941	0.0	0.4	Helgoland Umgebung	anthropogenic event
2023-08-02 10:52:53	56.1871	13.1125	1.5	1.3	Sweden	explosion
2023-08-02 11:46:56	53.4935	14.2097	10.0	1.4	Vorpommern-Greifswald	not locatable
2023-08-04 12:03:40	55.0633	14.8069	2.9	1.0	Bornholm	earthquake
2023-08-09 00:40:48	54.1793	7.8902	1.0	1.1	Helgoland Umgebung	anthropogenic event
2023-08-09 10:57:34	54.4511	13.5774	1.0	1.1	Mecklenburg-Vorpommern	sonic boom
2023-08-12 22:02:52	54.5414	13.3324	1.0	0.3	Vorpommern-Rügen	acoustic noise
2023-08-14 12:42:22	57.6942	14.1587	0.0	1.8	Sweden	explosion
2023-08-15 21:00:22	54.5267	13.3351	0.0	0.6	Vorpommern-Rügen	acoustic noise
2023-08-16 02:14:39	54.5823	13.6053	1.0	0.5	Vorpommern-Rügen	acoustic noise
2023-08-16 23:54:31	55.0915	15.9490	0.0	1.4	Baltic Sea	earthquake
2023-08-17 11:22:57	56.1995	14.6887	0.0	1.5	Sweden	explosion
2023-08-17 11:49:58	56.2356	13.0533	0.0	1.4	Sweden	explosion
2023-08-17 13:59:01	58.1511	11.7265	0.0	1.9	Sweden	explosion
2023-08-17 22:50:35	54.6481	18.9345	0.0	2.8	Poland	explosion
2023-08-19 04:46:14	54.1556	7.8407	0.0	0.8	Helgoland Umgebung	not locatable
2023-08-19 23:52:47	54.6952	13.3904	0.0	0.8	Mecklenburg-Vorpommern	thunder
2023-08-20 00:41:35	54.6506	13.4789	0.0	1.0	Mecklenburg-Vorpommern	thunder
2023-08-21 16:37:34	54.1702	7.8944	4.7	0.4	Helgoland	acoustic noise
2023-08-23 10:57:04	55.7195	13.3017	0.0	1.5	Sweden	explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-08-23 17:39:30	54.1785	7.8738	0.0	0.7	Helgoland Umgebung		rockslide
2023-08-24 10:26:54	57.7575	16.6592	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-08-24 10:32:00	56.3398	15.1600	0.9	1.3	Sweden		explosion
2023-08-24 10:36:20	57.3603	16.3471	23.8	1.4	Sweden		explosion
2023-08-24 11:13:24	57.7077	18.4978	0.0	2.0	Baltic Sea		explosion
2023-08-24 12:51:08	57.4304	14.0698	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-08-24 13:15:46	57.4378	14.0278	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-08-24 14:02:16	58.9311	17.9263	0.0	2.3	Sweden		explosion
2023-08-24 20:16:41	53.9359	10.3164	1.0	0.2	Segeberg		rock burst
2023-08-25 11:12:48	52.3110	11.2018	0.0	1.9	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-08-25 20:31:42	54.5681	13.0603	0.0	0.8	Mecklenburg-Vorpommern		acoustic noise
2023-08-25 21:56:54	54.6292	13.1151	0.0	0.3	Mecklenburg-Vorpommern		acoustic noise
2023-08-26 02:25:00	54.2122	7.8902	2.0	0.3	Helgoland Umgebung		thunder
2023-08-26 02:52:34	54.1875	7.8736	10.0	0.9	Helgoland		rockslide
2023-08-26 03:23:34	54.1954	7.8722	0.0	0.8	Helgoland Umgebung		rockslide
2023-08-28 11:43:24	54.4654	10.3675	0.0	1.5	Schleswig-Holstein		explosion
2023-08-28 12:57:11	57.4099	12.4401	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-08-29 04:00:11	58.8293	15.2183	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-08-29 08:05:13	57.4858	14.3398	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-08-29 08:29:37	54.0360	9.0000	10.0	1.3	Dithmarschen		explosion
2023-08-29 11:00:07	56.1838	15.5907	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-08-30 07:08:50	54.3790	13.2904	0.0	1.1	Vorpommern-Rügen		acoustic noise
2023-08-30 12:54:17	59.0374	18.1081	0.0	2.1	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-08-30 14:11:39	57.7310	12.0149	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-08-30 20:20:17	54.4950	13.4217	0.0	0.7	Mecklenburg-Vorpommern		acoustic noise
2023-08-31 12:02:47	56.7538	13.8065	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-08-31 13:27:44	59.0100	18.1798	0.0	2.3	Sweden		explosion
2023-08-31 13:30:08	56.2192	15.7928	0.0	0.9	Sweden		explosion
2023-09-01 06:35:06	56.8230	7.5763	29.4	3.0	North Sea		earthquake
2023-09-01 12:03:18	55.5070	13.4486	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-09-01 13:10:07	58.8259	15.2325	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-09-02 12:23:00	54.1868	7.8784	0.0	0.4	Helgoland		acoustic noise
2023-09-04 13:21:53	56.6538	12.9591	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-09-05 11:29:20	54.1826	7.8866	3.1	1.0	Helgoland		acoustic noise
2023-09-06 10:27:24	56.8873	14.7384	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-09-06 14:57:21	56.1516	14.8491	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-09-07 11:15:23	57.3540	12.2757	0.0	1.0	Sweden		explosion
2023-09-07 13:21:40	56.2606	13.0528	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-09-07 13:22:24	56.2631	12.9769	0.0	0.9	Sweden		explosion
2023-09-08 08:12:16	55.2854	6.8633	10.0	2.5	North Sea		earthquake
2023-09-08 12:29:28	55.7185	13.2596	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-09-09 06:58:48	54.1764	7.8930	1.0	0.5	Helgoland		acoustic noise
2023-09-09 20:24:18	54.4980	13.4244	0.0	1.0	Mecklenburg-Vorpommern		acoustic noise
2023-09-10 01:00:01	57.2200	12.3840	0.0	1.5	Sweden		earthquake
2023-09-10 06:41:04	54.5499	13.3418	0.0	0.4	Mecklenburg-Vorpommern		acoustic noise
2023-09-11 11:08:40	56.8215	13.9476	0.0	1.6	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-09-11 12:37:37	57.5698	16.0996	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-09-12 10:38:19	57.2209	14.1444	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-09-12 11:05:00	58.4027	15.6681	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-09-12 12:00:11	56.2161	15.7282	9.3	1.2	Sweden		explosion
2023-09-12 13:02:24	52.3207	11.1997	0.0	1.6	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-09-13 11:19:42	56.2790	12.9630	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-09-13 12:05:27	56.2462	15.4479	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-09-14 02:21:16	52.9510	8.7375	13.5	1.6	Niedersachsen		earthquake
2023-09-14 13:10:20	58.8676	15.2940	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-09-16 05:14:53	57.2597	7.4813	56.3	2.2	North Sea		earthquake
2023-09-18 09:19:16	57.6341	18.7786	0.0	2.0	Baltic Sea		explosion
2023-09-19 06:24:52	54.1755	7.8951	2.0	1.1	Helgoland		acoustic noise
2023-09-19 07:00:30	55.7083	13.2818	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-09-19 13:04:10	54.1788	13.5679	3.0	2.2	Mecklenburg-Vorpommern		sonic boom
2023-09-19 22:46:05	54.1802	7.8918	1.0	1.5	Helgoland		acoustic noise
2023-09-20 03:31:06	57.1921	11.4945	5.4	1.0	Danmark		earthquake
2023-09-20 07:54:21	53.3411	12.8447	1.0	2.9	Mecklenburgische Seenplatte		sonic boom
2023-09-20 10:44:53	56.5177	15.2025	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-09-21 08:17:21	57.3828	15.8566	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-09-21 10:07:06	54.1770	7.8912	1.0	0.9	Helgoland		acoustic noise
2023-09-21 10:35:30	57.7192	18.4060	0.0	2.0	Baltic Sea		explosion
2023-09-21 11:17:16	52.3182	11.1889	0.9	1.5	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-09-21 13:00:38	57.7164	12.8771	0.0	2.0	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-09-21 13:15:20	57.7614	11.8361	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-09-21 19:05:33	55.1228	12.1172	9.9	1.9	Region Sjaelland		earthquake
2023-09-22 11:00:47	55.6608	13.3811	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-09-25 13:11:41	56.8326	16.3479	0.0	2.1	Sweden		explosion
2023-09-25 13:11:13	56.8261	16.2342	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-09-26 10:04:30	54.0592	7.8540	0.0	1.3	Schleswig-Holstein		anthropogenic event
2023-09-26 11:09:33	54.6086	10.0972	0.0	1.8	Schleswig-Holstein		explosion
2023-09-26 12:40:03	54.2448	7.8904	0.0	1.0	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-09-26 12:41:37	56.8873	14.6731	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-09-27 11:00:29	54.6086	10.0972	0.0	2.1	Schleswig-Holstein		explosion
2023-09-27 13:04:15	57.7177	13.9479	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-09-27 13:52:05	58.3308	14.0104	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-09-27 14:01:17	54.2095	7.8301	0.0	1.3	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-09-28 10:00:20	57.6511	14.2164	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-09-28 10:25:05	54.6086	10.0972	0.0	2.2	Schleswig-Holstein		explosion
2023-09-28 12:00:12	56.2115	15.5903	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-09-28 13:30:42	56.2069	15.7554	0.0	1.0	Schleswig-Holstein		explosion
2023-09-28 21:18:44	54.5605	13.0820	2.0	1.0	Mecklenburg-Vorpommern		anthropogenic event
2023-09-29 11:30:16	54.6086	10.0972	0.0	2.1	Schleswig-Holstein		explosion
2023-10-01 19:55:07	52.9480	6.5366	2.9	1.5	The Netherlands		induced earthquake
2023-10-02 12:03:39	55.0385	14.7909	0.0	0.9	Greater Bornholm		explosion
2023-10-04 08:08:44	52.3997	11.1771	0.0	2.2	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-10-04 13:44:33	56.1476	14.8386	0.0	1.6	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-10-04 13:58:51	52.5870	11.3184	0.0	1.6	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-10-05 07:01:27	55.7024	13.3587	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-10-05 10:49:30	56.5425	13.2192	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-10-05 10:58:25	56.3040	16.3278	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-10-05 13:00:13	56.1904	15.6283	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-10-06 10:13:53	57.3267	15.6449	0.5	1.8	Sweden		explosion
2023-10-06 10:16:05	55.7269	13.2533	0.5	1.6	Sweden		explosion
2023-10-06 11:28:36	54.0308	7.8727	0.0	1.6	Schleswig-Holstein		acoustic noise
2023-10-06 12:03:37	55.0308	14.6629	0.0	1.1	Greater Bornholm		explosion
2023-10-09 10:36:56	52.6562	11.2388	0.0	1.8	Sachsen-Anhalt		explosion
2023-10-09 11:02:23	57.8042	18.7148	0.0	1.8	Baltic Sea		explosion
2023-10-09 11:44:12	55.6610	13.3165	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-10-09 13:10:12	58.8822	15.2608	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-10-09 13:54:21	56.7467	12.8271	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-10-11 10:50:59	56.8678	14.7752	0.0	1.9	Sweden		explosion
2023-10-11 14:56:53	59.0405	18.1089	0.0	2.5	Sweden		explosion
2023-10-11 16:19:16	59.0189	18.1915	0.0	2.1	Sweden		explosion
2023-10-11 18:34:44	59.0453	18.1479	0.0	2.3	Sweden		explosion
2023-10-12 09:19:51	57.2567	15.3736	0.0	1.2	Region Sjaelland		explosion
2023-10-12 11:00:50	57.6851	14.5449	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-10-12 23:51:43	55.7788	12.0222	10.2	0.7	Region Hovedstaden		earthquake
2023-10-13 11:36:31	56.0117	13.5507	0.0	1.5	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event Type
2023-10-14 21:39:32	54.1785	7.8973	1.0	1.2	Helgoland Umgebung	acoustic noise
2023-10-16 12:31:07	52.3104	11.1568	0.0	1.8	Sachsen-Anhalt	explosion
2023-10-17 10:30:16	54.6400	18.9587	0.0	2.7	Poland	explosion
2023-10-17 13:00:13	56.2306	15.5584	0.0	1.3	Sweden	explosion
2023-10-17 19:42:33	53.2621	11.6770	0.5	2.1	Ludwigslust-Parchim	anthropogenic event
2023-10-18 04:05:21	58.8767	15.4305	0.0	1.6	Sweden	explosion
2023-10-18 11:16:34	56.2844	12.9524	0.0	1.3	Sweden	explosion
2023-10-18 12:03:54	52.2813	11.3368	0.0	1.9	Sachsen-Anhalt	explosion
2023-10-18 14:15:38	57.7245	11.9420	0.0	1.5	Sweden	explosion
2023-10-19 09:56:03	56.2164	13.0905	0.0	1.3	Sweden	explosion
2023-10-19 09:59:59	55.6100	13.1954	0.0	1.4	Sweden	explosion
2023-10-20 22:08:42	54.1863	7.8771	0.0	1.2	Helgoland	rockslide
2023-10-21 03:24:35	57.0191	6.9912	43.3	2.5	North Sea	earthquake
2023-10-23 14:14:32	54.4928	10.1512	0.0	0.9	Schleswig-Holstein	rockslide
2023-10-23 14:41:50	54.4928	10.1512	0.0	1.0	Schleswig-Holstein	rockslide
2023-10-24 08:34:31	52.2827	11.3119	2.2	1.7	Sachsen-Anhalt	explosion
2023-10-24 10:52:16	57.7405	18.7018	0.0	2.0	Baltic Sea	explosion
2023-10-24 17:32:12	54.1786	7.8923	1.0	1.0	Helgoland Umgebung	anthropogenic event
2023-10-26 11:00:02	57.6185	12.0682	0.0	1.8	Sweden	explosion
2023-10-26 12:00:14	56.2199	15.6214	0.0	1.3	Sweden	explosion
2023-10-26 12:03:40	55.1512	14.8191	0.0	1.0	Bornholm	
2023-10-26 22:14:24	54.1785	7.8870	1.0	0.6	Helgoland	anthropogenic event
2023-10-27 12:20:40	56.2226	14.5343	3.2	1.4	Sweden	explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-10-27 12:46:28	56.2201	15.7791	0.0	1.1	Sweden		explosion
2023-10-28 21:16:45	54.1825	7.8900	1.0	0.7	Helgoland		anthropogenic event
2023-10-28 21:32:23	54.1811	7.8879	1.0	0.7	Helgoland		anthropogenic event
2023-10-29 00:32:20	54.1819	7.8885	1.0	0.7	Helgoland		acoustic noise
2023-10-29 03:11:34	52.9625	6.6297	3.0	1.7	The Netherlands		earthquake
2023-11-01 11:47:09	57.6780	14.5246	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-11-01 11:56:44	55.2387	12.5542	0.0	2.2	Danmark		explosion
2023-11-01 12:08:31	55.7779	11.7622	4.8	1.7	Danmark		explosion
2023-11-01 12:34:57	55.2278	12.5618	0.0	2.0	Danmark		explosion
2023-11-01 12:47:51	55.8131	11.7664	0.0	1.6	Danmark		explosion
2023-11-01 13:01:50	55.9942	13.1725	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-11-01 13:22:38	55.7966	11.8543	9.5	1.5	Danmark		explosion
2023-11-02 08:01:16	56.1943	15.5752	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-11-02 13:29:36	57.8500	13.2195	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-11-02 14:38:50	54.2575	8.0716	1.0	1.5	Schleswig-Holstein		acoustic noise
2023-11-02 21:56:55	54.1688	7.8707	0.0	1.2	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-11-03 13:00:04	57.8724	11.9024	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-11-04 01:07:42	57.0432	8.3536	9.5	1.7	Danmark		earthquake
2023-11-05 02:13:23	54.1829	7.8819	3.8	0.8	Helgoland		acoustic noise
2023-11-05 09:43:25	54.5441	13.3418	0.0	0.7	Vorpommern-Rügen		anthropogenic event
2023-11-06 13:13:56	58.4363	13.7861	0.2	1.7	Sweden		explosion
2023-11-07 12:31:23	56.8945	14.6958	0.0	2.2	Sweden		explosion
2023-11-08 21:40:42	56.9446	9.7409	0.0	1.6	Region Nordjylland		earthquake

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-11-09 08:00:14	56.1858	15.5785	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-11-09 12:33:28	57.7387	18.7795	0.0	2.2	Baltic Sea		explosion
2023-11-09 13:43:23	58.1325	12.5547	0.0	2.2	Sweden		explosion
2023-11-10 12:46:18	56.1781	13.1029	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-11-10 13:27:21	55.5448	7.1348	10.0	2.6	North Sea		earthquake
2023-11-10 16:25:05	55.4283	6.7255	10.0	2.5	North Sea		earthquake
2023-11-14 15:18:14	58.6402	14.5162	2.3	2.0	Sweden		explosion
2023-11-15 08:36:30	57.0855	7.4017	10.9	1.5	North Sea		earthquake
2023-11-15 11:47:08	54.9396	14.8530	0.0	1.2	Greater Bornholm		explosion
2023-11-15 12:07:21	54.5547	13.3272	0.0	0.4	Vorpommern-Rügen		acoustic noise
2023-11-15 13:00:56	55.7170	13.2005	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-11-16 12:28:05	57.5491	13.1097	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-11-16 13:00:05	56.6262	16.0122	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-11-17 11:30:52	56.1962	14.6557	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-11-19 11:07:06	54.1808	7.8950	0.0	1.1	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-11-20 12:07:39	56.8412	13.8840	0.3	1.4	Sweden		explosion
2023-11-20 13:10:55	56.2194	15.4556	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-11-21 12:20:36	58.3997	15.6911	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-11-21 13:36:27	54.8949	14.9062	0.0	1.9	Greater Bornholm		explosion
2023-11-21 14:04:06	54.9236	14.8896	0.0	1.8	Greater Bornholm		explosion
2023-11-21 14:29:48	54.9343	14.9303	0.0	1.8	Greater Bornholm		explosion
2023-11-22 08:20:01	59.1118	11.3116	0.0	2.4	Southern Norway		explosion
2023-11-22 09:02:39	56.1707	14.8272	0.4	1.6	Sweden		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-11-22 22:39:30	54.1798	7.8922	1.0	1.3	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-11-24 14:10:06	58.8776	15.2536	0.0	2.3	Sweden		explosion
2023-11-25 04:04:35	54.1440	12.5720	5.0	1.4	Vorpommern-Rügen		not locatable
2023-11-27 11:49:22	56.1896	15.7704	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-11-27 23:28:51	54.1773	7.8775	0.0	1.2	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-11-28 11:00:24	56.2328	13.0442	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-11-28 14:26:41	56.1658	14.8409	0.8	1.4	Sweden		explosion
2023-11-29 12:21:44	56.2088	13.0267	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-12-02 13:41:39	54.1875	7.8736	0.0	0.4	Helgoland		rockslide
2023-12-03 15:21:35	53.9362	10.3392	0.0	0.5	Segeberg		rock burst
2023-12-07 11:26:56	56.8975	14.7392	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-12-07 14:05:23	56.9161	14.7039	0.0	1.8	Sweden		explosion
2023-12-07 14:57:36	57.4177	13.9745	0.0	1.3	Sweden		explosion
2023-12-08 13:19:47	56.6200	15.9633	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-12-09 15:42:34	58.8979	15.2934	3.2	1.6	Sweden		explosion
2023-12-11 13:08:07	57.1170	16.4299	0.0	1.2	Sweden		explosion
2023-12-11 23:36:42	55.7595	11.7653	15.4	1.3	Danmark		earthquake
2023-12-12 10:33:26	57.7311	13.0654	0.0	1.6	Vorpommern-Greifswald		explosion
2023-12-12 13:37:29	54.1108	13.6920	1.1	1.8	Sweden		not locatable
2023-12-13 11:05:04	55.7128	13.4128	0.0	1.6	Sweden		explosion
2023-12-13 12:00:06	56.0532	13.9398	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-12-14 11:41:14	55.7030	13.1685	5.7	1.7	Sweden		explosion
2023-12-14 11:48:43	52.1788	11.4189	0.0	1.7	Sachsen-Anhalt		explosion

Tabelle A.1: Seismische Ereignisse im Jahr 2023 in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung (Fortsetzung).
Ereignistyp wurde durch Analysten zugewiesen.

Origin Time (UTC)	Latitude (North)	Longitude (East)	Depth (km)	Magnitude	Region	Event	Type
2023-12-14 14:12:02	57.7092	14.087	0.0	2.0	Sweden		explosion
2023-12-17 02:05:50	54.2170	7.8547	0.2	1.8	Helgoland Umgebung		rockslide
2023-12-18 12:06:28	56.8917	14.9087	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-12-19 12:51:29	56.2184	13.0340	0.0	1.4	Sweden		explosion
2023-12-19 12:53:57	57.7320	18.8293	0.0	2.1	Baltic Sea		explosion
2023-12-19 20:24:31	54.1783	7.8873	1.0	0.6	Helgoland		acoustic noise
2023-12-20 11:31:35	57.6961	18.7339	0.0	2.6	Baltic Sea		explosion
2023-12-20 13:00:01	57.4923	14.3502	0.0	2.0	Sweden		explosion
2023-12-21 03:09:44	59.8367	6.6116	6.4	3.4	Southern Norway		earthquake
2023-12-21 09:57:27	54.1765	7.8943	1.0	1.4	Helgoland		acoustic noise
2023-12-21 11:27:31	56.8869	14.7620	0.0	1.7	Sweden		explosion
2023-12-21 12:24:03	54.1793	7.8919	1.0	1.6	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-12-21 14:31:38	57.1529	12.4826	0.0	1.5	Sweden		explosion
2023-12-21 22:28:50	54.1440	12.5720	10.0	1.4	Vorpommern-Rügen		not locatable
2023-12-21 23:02:50	54.1440	12.5720	10.0	1.5	Vorpommern-Rügen		not locatable
2023-12-23 22:33:42	52.8942	8.5907	16.0	2.4	Niedersachsen		earthquake
2023-12-25 06:11:13	54.1573	7.8832	5.0	1.6	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-12-26 18:22:06	54.1790	7.8912	1.0	1.1	Helgoland Umgebung		acoustic noise
2023-12-31 23:17:54	54.5442	13.3334	0.0	0.8	Vorpommern-Rügen		anthropogenic event

Abbildungsverzeichnis

1	Übersicht seismologischer Stationen in Norddeutschland. Permanentstationen (Dreiecke) in SH und MV werden vom IfG (grün), von der BGR und GEOFON (GFZ Potsdam) sowie dem Dänischen Geologischen Dienst (orange) betrieben. Lokale Netze des IfG (gelb) werden in Kooperation mit dem SGD-SH (Bad Segeberg), der BGR (Helgoland) sowie der Univ. Hamburg (Rügen) betrieben.	5
2	Installation der Station Rendsburg GQ.RNBSH. Die Station wurde von der BGR eingerichtet.	7
3	Stationskarte des Rügen-Arrays. Die neue Station RGNA5 am Südrand von Neuenkirchen verbessert die nahezu kreisförmige Geometrie des inneren Arrays.	8
4	Untersuchung der Meeresmikroseismik an der Station Birkenmoor während der Sturmflut im Oktober 2023. (oben) Vertikalkomponente der seismischen Wellenform (schwarz) und signifikante Wellenhöhe (SWH, blau) während und nach der Sturmflut. (unten) Spektrogramm der Wellenform und Interpretation als Zuordnung zu Quellregionen in der südwestlichen Ostsee (BS, weiß), der südöstlichen Nordsee (NS, schwarz) und im Nordatlantik (NA).	9
5	Stationskarte der in der automatischen Echtzeit-Überwachung verwendeten Stationen in SH, MV und Umgebung.	12
6	Stationskarte des Raspberryshake-Netzes in Norddeutschland und Dänemark. Daten dieser Stationen werden nachträglich in der manuellen Auswertung berücksichtigt. (Quelle: https://stationview.raspberryshake.org)	12
7	Verteilung aller in 2023 am Datenzentrum des IfG detektierten Ereignisse. Der überwiegende Anteil sind global verteilte Ereignisse mit Magnituden > 4.5 , welche vollautomatisch vom System prozessiert wurden.	13
8	Erdbeben im Jahr 2023 in der weiteren Umgebung um Norddeutschland, Quelle: EMSC [2024]. Die Landesgrenzen von SH und MV (dunkelblau) sind ebenso dargestellt, wie die AWZ Grenzen in der Nord- und Ostsee (blau).	14
9	Automatisierte Detektionen des AD-Detektors im Jahr 2023. Neben den seismischen Stationen (weiße Dreiecke) sind die Lokationen der Ereignisse (Kreise) dargestellt. Der Q-Wert ist ein Mass für die Wellenformkohärenz an den Stationen für eine seismische Quelle an dem jeweiligen Ort.	16
10	Übersichtskarte der in 2023 am IfG detektierten und manuell nachbearbeiteten Ereignisse in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Umgebung. Farblich markiert ist der vom Analysten bestimmte Quelltyp.	17
11	Seismogrammsektion des Erdbebens am 4.2.2023 in der Kadetrinne.	18
12	Seismogrammsektion des Erdbebens am 20.5.2023 in der Nähe von Rostock.	18
13	Seismogrammsektion des Ereignisses am 1.7.2023 in der Lübecker Bucht.	19

14	Seismogramme der beiden nächstgelegenen Stationen vom Ereignis am 1.7.2023 in der Lübecker Bucht. An beiden Stationen wurden deutliche Signale registriert, die sich mit akustischen Geschwindigkeiten ausbreiteten.	19
15	Seismogramme einer kontrollierten Sprengung von ca. 100 kg TNT-Äquivalent bei Schönhagen am 27.9.2024.	20
16	Laufzeitresiduen der P- und S-Wellenpicks bei fixierter Herdlokation. Vor allem die nahen Stationen weisen sehr hohe Residuen auf.	22
17	Bestimmung eines angepassten P-Wellen-Geschwindigkeitsmodells für Norddeutschland.	22
18	Status Bad Segeberg Netz 2021.	27
19	Übersichtskarte des Segeberger Kalkbergs. (Schautafel am Ausgang der Höhle (Foto: D. Schulte-Kortnack). Markiert sind die Position des permanenten Seismometers im Fliegengang (rot) und die im Winterhalbjahr 2021/22 installierten zusätzlichen Geofone (blau).	28
20	Beispiel eines frostinduzierten Ereignisses.	29
21	Beispiel eines sehr häufig auftretenden, wahrscheinlich verkehrsinduzierten Signals.	29
22	Beispiel einer kohärenten Störung an den temporären Geofonen.	29
23	Beispiele zweier frostinduzierter Ereignisse an allen Stationen.	31
24	Relativlaufzeiten am untertägigen Messnetz für zwei frostinduzierte Ereignisse.	31

Tabellenverzeichnis

1	Liste der seismologischen Stationen in SH und MV, getrennt nach regionalem Netz (oberer Teil) und lokalen Netzen, sowie temporären Stationen (unterer Teil). Netzwerkcodes: GE: GEOFON (GEOFON Data Centre [1993]); GR: German Regional Seismic Network (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources [1976]); GQ: German Strong Earthquake Network (BGR); KQ: Kiel University Earthquake Monitoring (Christian Albrechts-Universität zu Kiel [2017])	4
2	Signifikante Erdbeben im Jahr 2023 (EMSC)	15
3	Tektonische Ereignisse in SH, MV und Umgebung (IfG)	24
A.1	Seismische Ereignisse in SH, MV und Umgebung (IfG)	38