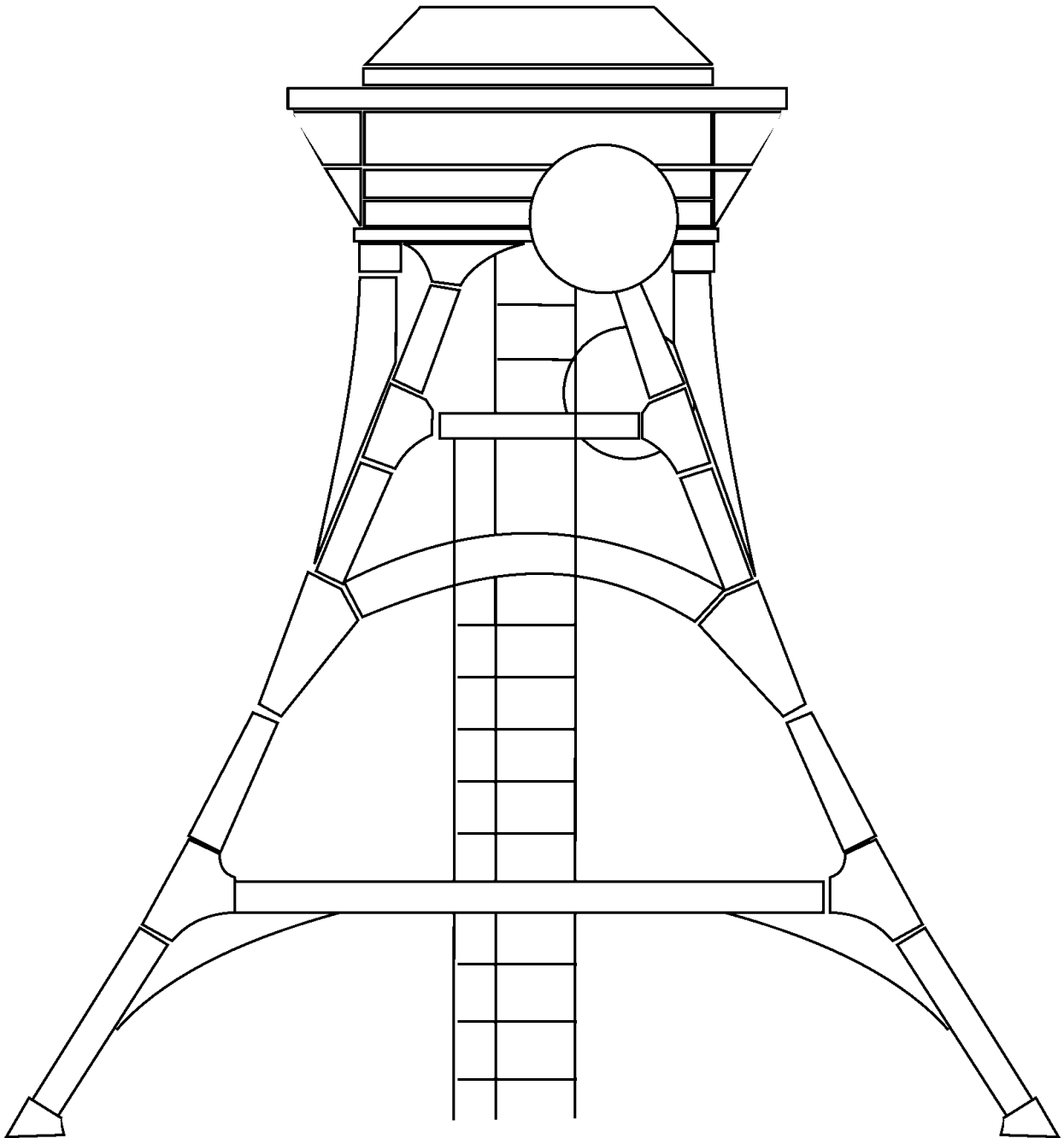


K-UTEC

SALT TECHNOLOGIES



Seismische Überwachung



KUTEC AG Salt Technologies

Am Petersenschacht 7
99706 Sondershausen
Deutschland

Telefon: +49 – (0)3632 - 610 - 0
Fax: +49 – (0)3632 - 610 - 105
e-Mail: kutec@k-utec.de
web: www.k-utec.de

Vorstand: Dr. Heiner Marx
Dr. Markus Pfänder

Abteilung Geophysik:

Telefon: +49 – (0)3632 - 610 - 171
Fax: +49 – (0)3632 - 610 - 105
e-Mail: gy@k-utec.de

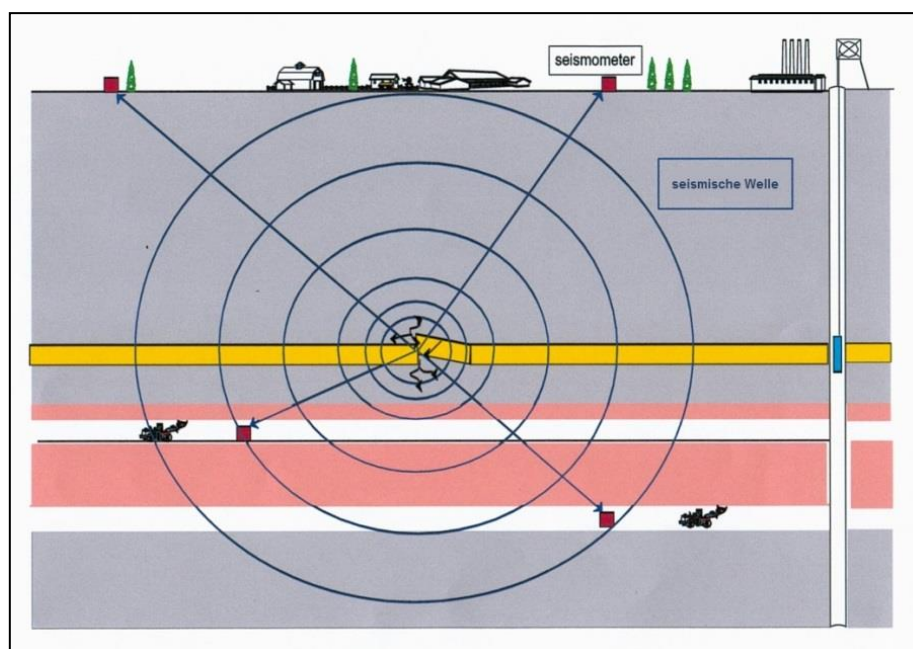
Seismisches Überwachungssystem

Einleitung

Ein seismisches Monitoringsystem besteht aus mehreren im Überwachungsgebiet verteilten, Seismometerstationen sowie einer zentralen Registrier- und Auswertestation.

Die Anordnung der Seismometer richtet sich dabei in erster Linie nach den Anforderungen des Überwachungsauftrages, der geologischen Situation, der Zugänglichkeit und den Möglichkeiten der Signalübertragung. Um die Quelle der seismischen Ereignisse sicher zu lokalisieren, sollte das zu überwachende Gebiet von den Seismometern räumlich lückenlos umschlossen werden. Damit ein Ereignis geortet werden kann, muss es jedoch von mindestens vier Seismometern registriert werden. Da energieschwache Ereignisse häufig nicht im ganzen Überwachungsgebiet registriert werden, sollte die Seismometerdichte ausreichend groß gewählt werden. Typische Standorte für Seismometer sind untertägige Auffahrungen, Bohrlöcher, sowie Keller und Fundamente übertägiger Gebäude.

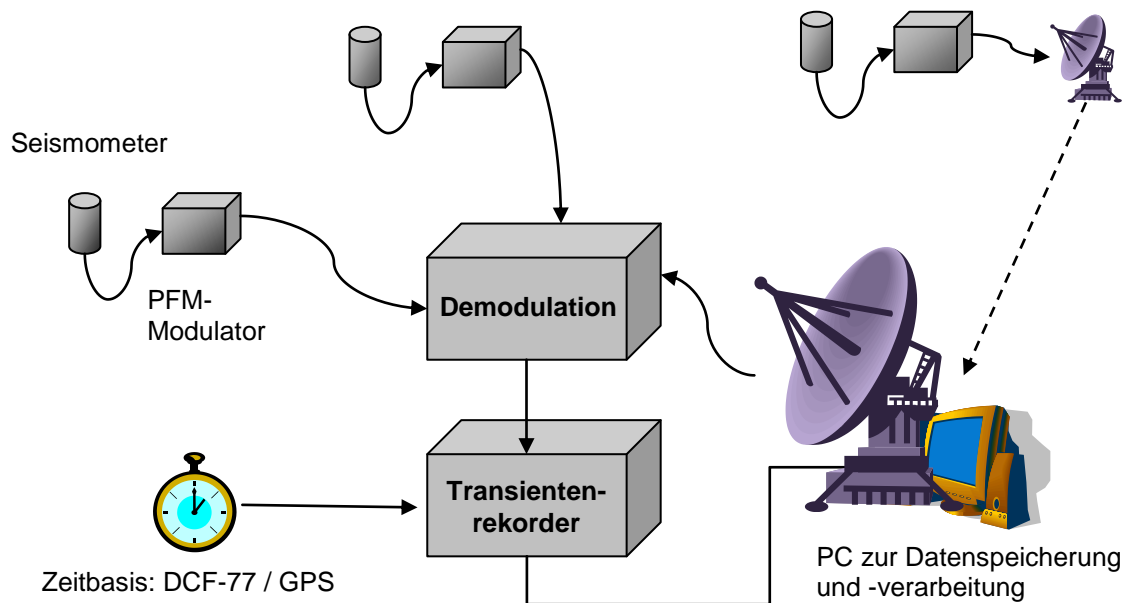
Für die Herdlokalisierung sind in der Regel vertikal orientierte Einkomponentenseismometer ausreichend. Diese sollten eine hohe Empfindlichkeit besitzen und gut an das Gebirge angekoppelt sein. Zur zusätzlichen Bestimmung der Magnitude und Herdparameter (Größe der Herdfläche, Versatz, Spannungsabfall, seismisches Moment, usw.) ist jedoch die Installation von mindestens einem 3D-Geophon im zu überwachenden Gebiet notwendig.



Seismische Erschütterungen werden von Seismometern unter und über Tage registriert. An Hand dieser Daten können Herdort, Magnitude und andere Herdparameter bestimmt werden.

Signalübertragung

Für die Signalübertragung von den einzelnen Seismometern zur zentralen Registrierstation stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung (z. B. Signalkabel, Telefonkabel, Funk; analog oder digital). Speziell für die Anwendung im Bergbau, bzw. bei sehr langen Kabelwegen hat sich die Übertragung der Messwerte mittels Puls-Frequenz Modulation (PFM) bewährt. Einige der von K-UTEC entwickelten Modulatoren dieses Typs sind auch für den Einsatz in schlagwettergefährdeten Gruben zugelassen (nach EG-Baumuster-Prüfbescheinigung vom IBExU Institut für Sicherheitstechnik, Zertifikat I M2 EEx ia I). Übertragen wird die Signalübertragung mithilfe lokaler LAN / WLAN Netzwerke oder per digitaler Übertragung via 4G-Mobilfunknetz gewährleistet.



Schematische Darstellung eines Überwachungssystems und seiner Komponenten: Die seismischen Signale werden an mehreren verteilten Seismometern registriert und per Puls-Frequenz-Verfahren an die Registrierzentrale weitergeleitet. Dort werden sie demoduliert und automatisch vorausgewertet. Die identifizierten Ereignisse werden dann auf einem PC gespeichert und können dort weiterverarbeitet werden.

Datenaufzeichnung

Die Daten aller Seismometer laufen in der Registriereinheit zusammen, werden demoduliert, zur weiteren Auswertung aufbereitet und gespeichert.

Mit einem Transientenrecorder wird eine Vielzahl von Eingangskanälen zeitgleich und kontinuierlich abgetastet. Das von der K-UTEC verwendete System gestattet über den integrierten Signalprozessor neben dem online - Zugriff für die Steuerung der Anlage, Datenabruf und Auswertung die Definition umfangreicher Triggerfunktionen. Das System ist



damit beispielsweise auch in der Lage beim Überschreiten voreingestellter Schwellen Alarmmeldungen per SMS oder Email zu versenden. Um die anfallenden Datenmengen zu begrenzen, werden automatisch aus dem einlaufenden kontinuierlichen Datenstrom nur die seismischen Ereignisse extrahiert und gespeichert.

Dies bedeutet, dass einzig relevante seismische Ereignisse mit gewünschter Abtastrate und einer angemessenen Zeitspanne vor und nach dem Ereignis gespeichert werden. Auf dem Speicher der Transientenrekorder stehen die Daten jedoch noch für 2 bis 4 Tage in der vollen Samplingrate zur Verfügung und können außerdem als Tagesplot in geringerer Samplingrate auf dem PC gespeichert werden.

Durch den modularen Aufbau dieses Messsystems, die Kombinierbarkeit mehrerer Transientenrecorder, das heißt, die mögliche Erhöhung der Anzahl der Eingangskanäle und die vielfältigen Konfigurationsmöglichkeiten der Steuerungssoftware ist es außerdem möglich, zusätzlich zu den seismischen Registrierungen auch andere Messwerte (z. B. von Gasmeldern, Flüssigkeitspegeln, Konvergenzmessungen, Temperaturmessungen) zu erfassen und aufzuzeichnen oder diese sogar zu kontrollieren. Das von der K-UTEC meistgenutzte System trägt den Namen **K-UTECGeoLog** und besitzt Anschlüsse für 4 bzw. 8 Kanäle.

Die Speicherung der Ereignisdateien kann sowohl auf einem via Netzwerk (Ethernet) mit dem Transientenrecorder verbundenen PC (Erfassungsrechner) als auch einer im Transientenrecorder anschließbaren Wechselfestplatte erfolgen. Dies ermöglicht auch den zeitweise autonomen Betrieb des Messsystems ohne PC. Zur Identifizierung und zur zeitlichen Einordnung der registrierten Ereignisse ist eine möglichst genaue absolute Zeitbasis erforderlich, was durch eine Synchronisation des Timers im Transientenrecorder mittels eines DCF-77 oder GPS-Moduls realisiert wird.

Triggerfunktionen:

Die Triggerfunktionen werden innerhalb der Steuerungssoftware des Transientenrekorders definiert und festgelegt. Mögliche Triggerfunktionen können ein einfacher Schwellwert oder das Verhältnis des Kurz- und Langzeitdurchschnitts sein. Die verschiedenen Seismometer werden meist in Triggergruppen zusammengefasst, sodass die Datenaufzeichnung ausgelöst wird, wenn die Bedingungen für eine oder mehrere Gruppen erreicht werden. Alle Eingangskanäle werden kontinuierlich überwacht und in einem Ringspeicher aufgezeichnet. Bei Erreichen bzw. Überschreiten der eingestellten Triggerschwellen werden die Daten aus dem Ringspeicher in ein Dateisystem auf die Festplatte kopiert. Dieser Vorgang erlaubt



dabei das Speichern eines angemessenen Zeitraumes vor und nach dem Ereignis (Pre-/Post-trigger). Von besonderer Bedeutung ist das Zeitfenster vor dem eigentlichen Triggerzeitpunkt. Dies stellt sicher, dass sowohl der Beginn des seismischen Ereignisses als auch kleinere Vorereignisse vollständig aufgezeichnet werden. Die Länge des Pre-trigger Zeitfensters kann dabei frei gewählt werden und ist einzig durch die Anzahl der genutzten Eingangskanäle und die Größe des Ringspeichers limitiert.

Datenspeicherung:

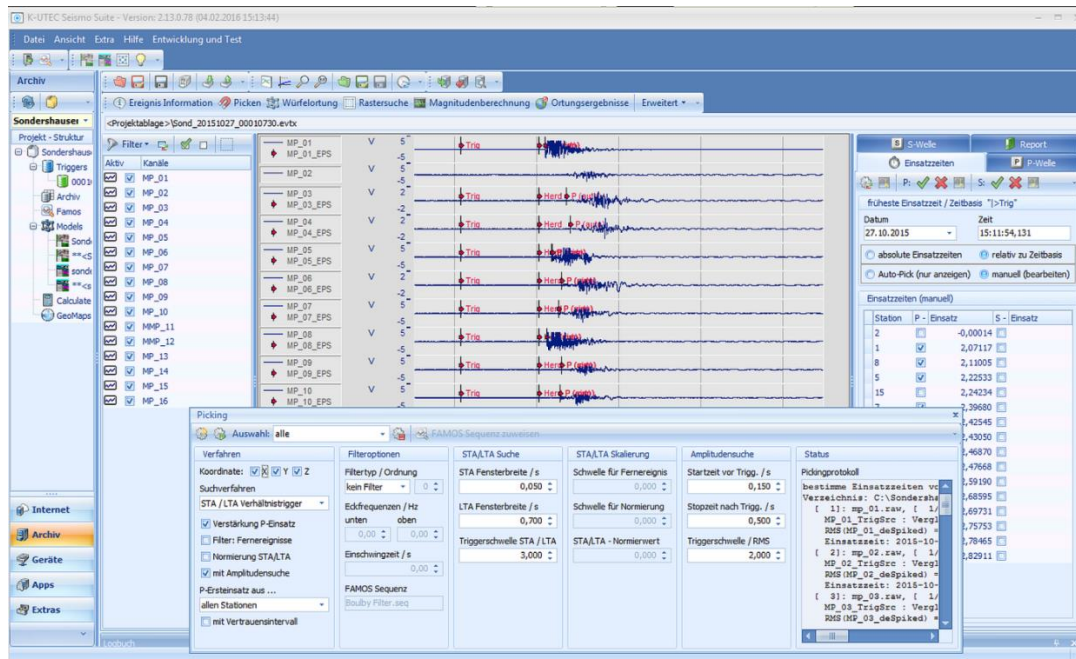
Die Datenspeicherung erfolgt auf einem externen Server oder einem lokalen Server auf der Festplatte eines normalen PC. Die vorverarbeiteten Daten können weiterhin auf anderen Backup-Systemen gespeichert werden.

Datenverarbeitung und Interpretation:

Die Kontrolle und Darstellung der registrierten Ereignisse kann direkt am Erfassungsrechner erfolgen. Um einen ungestörten Messablauf zu gewährleisten, ist es jedoch ratsam, die weiterführende Auswertung wie Herdortung, Magnitudenberechnung usw. auf einem anderen Rechner durchzuführen.

Mit dem Überwachungssystem werden neben den seismischen Vorgängen im Überwachungsgebiet auch Sprengungen über und unter Tage sowie entfernte Ereignisse, wie z. B. stärkere Erdbeben und Gebirgsschläge erfasst. Bei der weiteren Auswertung ist deshalb die richtige Identifizierung des Ereignistyps von besonderer Bedeutung, um Fehlinterpretationen bei der Bewertung der Seismizität im Überwachungsraum vorzubeugen.

Sowohl für die Vorverarbeitung als auch für die Alarmierung und das manuelle Bewerten nutzt die K-UTEC das eigene Softwarepaket SeismoSuite.



Bestimmung der Einsatzzeiten an den Seismometerstationen mit SeismoSuite

Ortung der seismischen Ereignisse:

Für die Lokalisierung der seismischen Ereignisse steht ein von K-UTEC entwickeltes Ortungsprogramm zur Verfügung, welches im SeismoSuite Softwarepaket integriert wurde. Wesentlich bei der Bestimmung der Herdkoordinaten ist die genaue Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen. Diese werden aus geologischen Modellen oder eigenen Messungen abgeleitet.

Bewertung der Seismizität:

Seismische Ereignisse, tektonisch oder durch Bergbau induziert, treten nur sporadisch auf. Deshalb kann eine aussagekräftige Bewertung nur über einen längeren Zeitraum erfolgen. Die K-UTEC bietet Ihnen mit ihrer langjährigen Erfahrung auf diesem Gebiet eine umfangreiche Betreuung sowohl bei der Planung und dem Aufbau seismischer Überwachungssysteme, als auch bei der Interpretation der Ereignisse und der Bewertung der Seismizität.

Datenaufzeichnung und Verarbeitungszentrale:



Transientenrekorder



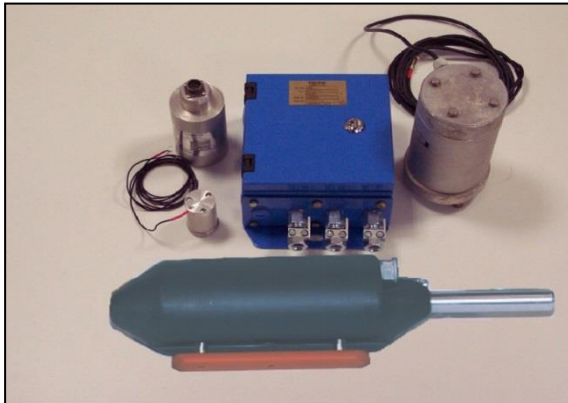
Transientenrekorder als
Regalsystem mit 48
Kanälen

Technische Eigenschaften des PFM-Modulators:

- Stromversorgung: 12 V, 24 V, 42 V oder 230 V
- nahezu alle Seismometertypen anschließbar
- bis zu 72 dB Dynamikbereich
- Glasfaser möglich

Optional:

- intrinsischer Schutz vor explosiven Gasen gemäß EN 50014 und EN 50020, EEx-ia-I (nur 12 V Stromversorgung)



PFM-Modulator und verschiedene Seismometertypen

- Seismometer ATEX-zertifiziert



- Seismometer Typ Seis L-10B/Ex
- geschwindigkeitsproportionaler Sensor mit Ökötyp Prüfbescheinigung IBEXU15ATEX1131 X
- Technische Daten:
- $-20^{\circ}\text{C} < T < +60^{\circ}\text{C}$
- Frequenzbereich: $4,5 \text{ Hz} < f < 1000 \text{ Hz}$
- Sensitivität ca. 95 V/m/s

- Aufbau an der Oberfläche



- Zum Schutz vor zivilisatorischen Noise werden die Seismometer in Bunker gestellt.
- Anschluss der Kabel über Leerrohre zum Datenlogger für Diebstahlschutz



Demodulationseinheit mit integriertem Transientenrekorder



Datenstation mit Solarstromversorgung und 4G-Datenverbindung

Ausgewählte Referenzen der letzten Jahre in der seismischen Überwachung der K-UTEC

- Cleveland Potash Limited, Boulby Mine (Großbritannien)
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 2009-2011
 - Überwachung von bergbauinduzierter und natürlicher Seismizität, seit 2009
- Wacker Chemie GmbH Salzbergwerk Stetten
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 2002
 - Seismische Überwachung des Versatzbetriebes und der natürlichen Seismizität, seit 2002
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- NDH-E mbH Bleicherode
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 1994
 - Seismische Überwachung und Beratung der Einlagerungen von Versatzstoffen, seit 1994
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 1981
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- NDH-E mbH (ehem. GVV mbH) Sollstedt
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 1995
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 1995 bis zur Eingliederung ins NDH-E mbH Bleicherode System
 - Seismische Überwachung und Beratung der Einlagerungen von Versatzstoffen
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- LMBV KSE (ehem. GVV mbH) Volkenroda
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 2003
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 2003
 - Überwachung der kontrollierten Flutung
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- VNG Kirchheilingen
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 2002 und neu 2019
 - Überwachung der Erschütterungen in der Umgebung eines Gasspeichers nach DIN 4150-3
- Premogovnik Velenje (Slowenien)



- Planung, Bau und Installation eines schlagwettergeschützten Überwachungssystems für eine Lignitgrube
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 2016
- GTS mbH Teutschenthal, Angersdorf und Salzmünde
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität
 - Beratung bei der Einlagerung von Versatzstoffen
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- GSES mbH Sondershausen
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 1987
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 1987
 - Seismische Überwachung und Beratung der Einlagerungen von Versatzstoffen, seit 1994
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- LMBV KSE (ehem. GVV mbH) Bischofferode
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 1995
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 1995
 - Überwachung der kontrollierten Flutung
 - Überwachung der Erschütterungen nach DIN 4150-3
- K+S AG Unterbreizbach/Merkers
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems, Erneuerung 2017-18
 - Technische Unterstützung und Beratung
- esco Bernburg
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 2000
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität, seit 2000
- K+S AG Zielitz
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems 1999
 - Überwachung der natürlichen Seismizität
 - Technische Unterstützung
- LMBV
 - Installation zahlreicher Überwachungssysteme seit 2009
 - Messtechnische Überwachung zur Erfassung dynamischer und stationärer Vorgänge im Bereich Nachterstedt / Concordiassee
 - Messtechnische Überwachung einer einzelnen Innenkippe in Schlabendorf
 - Messtechnische Überwachung von Braunkohlekippen in der Lausitz



- Überwachung der Sprengverdichtungsarbeiten in verschiedenen Gebieten der ehemaligen Braunkohletagebaue Lausitz
- Nouryon – Hengelo (Niederlande)
 - Installation eines seismischen Überwachungssystems mit Geophonen und Hydrophonen in einem Kavernenfeld in 2016
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität
- DBE / ERA Morsleben
 - Planung, Bau und Installation eines seismischen Überwachungssystems in 2005 für die Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität
 - Erneuerung des Überwachungssystems in 2016
 - Technische Unterstützung
- Bayernwerk Natur GmbH
 - Installation eines Vibrationsüberwachungssystems mit Alarmierungsfunktion in einer geothermischen Anlage in 2016
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität
- Kehmstedt
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität während der Laugung
- Staßfurt
 - Überwachung der natürlichen und bergbauinduzierten Seismizität während der Laugung
- Friedenshall
 - Überwachung der kontrollierten Flutung