

23. Weiterbildungsseminar

FACHTAGUNG RUTSCHUNGEN

FOLGEN - FORSCHUNG - PRAXIS



- Geotechnische Aspekte von Maßnahmen zur Abwehr von Naturgefahren im Kontext der Klimaänderungen
- Photogrammetrische 3D-Analyse als Basis für moderne Sicherungsplanung
- Automatisierte Steinschlag-Suszeptibilitätsberechnungen in Rheinland-Pfalz
- Mixe Reality Tools – Innovative Ansätze der Risikokommunikation aus dem Hochwasserschutz
- Böschungsstabilisierung auf den Philippinen – Herausforderungen bei der Umsetzung und Nutzungsdauer
- Vermessung von Bodenbewegungen – verbesserte Verfahren und Neuerungen in den vergangenen Jahren
- Künstliche Intelligenz und Archive – Digitale Zwillinge analoger Medien
- Vollzug der Bodenschutzgesetze im Zusammenhang mit Massenbewegungen
- Exkursion: Weinlage „Trierer Augenscheiner“ in Trier-Biewer – Erkundung und weitere Vorgehensweise nach Felssturzereignissen in den Jahren 2023 und 2024

21. und 22. Mai 2025

Forschungsstelle Rutschungen an der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz



JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ



Forschungsstelle Rutschungen e.V.
an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz



Zentrum für wissenschaftliche Weiterbildung
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Tagungsleitung:

Prof. Dr. Frieder Enzmann, Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Redaktion und Lektorat:

Dr. Christine Kumerics, Forschungsstelle Rutschungen Mainz

Dr. Manuel Lauterbach, geo-international Dr. Johannes Feuerbach GmbH, Mainz

Organisation:

Dr. Christine Kumerics, Forschungsstelle Rutschungen Mainz

Für den Inhalt der Beiträge sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.

Jede Form der Wiedergabe oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, erfordert die schriftliche Zustimmung der Autoren.

Herausgeber:

F. Enzmann & M. Lauterbach: Fachtagung Rutschungen: Folgen - Forschung - Praxis,
23. Weiterbildungsseminar der Forschungsstelle Rutschungen; Mainz, April 2025

Alle Rechte am Werk liegen bei den Autoren

Forschungsstelle Rutschungen e.V.

an der Johannes Gutenberg-Universität

Mombacher Straße 49-53

D-55122 Mainz

Tel: +49 6131 387071

fsr@geo-international.info

www.forschungsstellerutschungen.de

1. Auflage

Herstellung: freeSPIRIT - das kreativhaus, D-53547 Breitscheid/Verscheid

Fotos/Graphiken: von den Autoren, soweit nicht anders angegeben

Titelbild: Kluft- und Abrissfläche einer Böschungsrutschung an der Mosel, Rheinland-Pfalz

(Fotoaufnahme: M. Lauterbach)

ISSN 2196-2863

5 Böschungsstabilisierungen auf den Philippinen – Herausforderungen bei der Umsetzung sowie der Nutzungsdauer und was wir daraus lernen

DIPL. GEOL. EBERHARD GRÖNER, GEOBRUGG AG, SCHWEIZ UND FSR

DIPL. GEOL. DENNIS GROSS UND DIPL.-ING. ARMIN RODUNER, GEOBRUGG AG, SCHWEIZ

Einleitung

Dieser Artikel befasst sich mit Böschungsstabilisierungen, realisiert mit hochfesten Drahtgeflechten und deren Herausforderungen im Lockergestein und Fels, in den Philippinen.

In den Philippinen spielen, neben den geotechnischen Herausforderungen, das Klima und die Geologie eine entscheidende Rolle für die Nutzungsdauer von flexiblen Böschungsstabilisierungen mit Drahtgeflechten und die damit verbundenen Erscheinungen von Korrosion.

Das feuchttropische Klima der Region in Südostasien, kombiniert mit den geologischen Gegebenheiten durch vulkanische Aktivität, kann die Korrosion von Metallen stark beeinflussen.

An zwei Projekten beschreiben wir die geologischen und geotechnischen Gegebenheiten, wie die Maßnahmen bautechnisch umgesetzt wurden und welche Herausforderungen sich in Bezug auf die Nutzungsdauer ergeben haben.

Zusätzlich zeigen wir, wie diese Erkenntnisse auf den deutschsprachigen Raum übertragen werden können und mit welchen ungünstigen korrosiven Bedingungen wir bei uns rechnen müssen sowie ein möglicher Umgang damit.

Geografische Lage und Geologie

Die Philippinen liegen in Südostasien im westlichen Pazifik und bestehen aus über 7'000 Inseln. Das Land grenzt im Westen an das Südchinesische Meer, im Osten an den Pazifischen Ozean und im Süden an die Celebessee (Abb. 1).

Die Inselkette ist durch tektonische Aktivität und Vulkanismus entstanden. Die Geologie umfasst den vulkanischen Inselbogen mit vielfach Basalt und Andesit Gesteinen, vulkanischen Aschen und deren Verwitterungsprodukten. Tuff und pyroklastische Ablagerungen sind ebenfalls häufig und stammen aus explosiven Vulkanausbrüchen. Zusätzlich kommen Sedimentgesteine wie Kalkstein, Sandstein und Konglomerate vor.



Abb. 1: Übersichtskarte der Philippinen. Zur Orientierung, die Hauptstadt Manila liegt südlich von Luzon oberhalb der Bildmitte.

<https://www.gorama.de/laender/asien/philippinen/landkarte-geografie>.

Als weitere Herausforderung, unter anderem für die Bemessung von Sicherungsbauwerken gegen Naturgefahren, ist die seismische Aktivität auf den Philippinen zu nennen. Allein im März 2025 haben sich über 1'000 Erdbeben mit einer Magnitude zwischen 1 und 5.6 ereignet.

(<https://earthquake.phivolcs.dost.gov.ph/>).

Tabelle 1 zeigt eine Auflistung von zerstörerischen Erdbeben, mit einer Magnitude von 5.0 bis 7.9 in den Jahren von 1968 bis 2022.

Zerstörerische Erdbeben

1968	August 02	Ms7.3	Casiguran Earthquake	
1973	März 17	Ms7.0	Ragay Gulf Earthquake	
1976	August 17	Ms7.9	Moro Gulf Earthquake,	Todesfälle 8000
1983	August 17	Ms6.5	Laoag Earthquake	
1990	Februar 08	Ms6.8	Bohol Earthquake	
1990	Juni 14	Ms7.1	Panay Earthquake	
1990	Juli 16	Ms7.9	Luzon Earthquake,	Todesfälle 1621
1994	November 15	Ms7.1	Mindoro Earthquake	
1996	Mai 27	Ms5.6	Bohol Earthquake	
1999	Juni 07	Ms5.1	Bayugan Earthquake	
2002	März 06	Ms6.8	Palimbang Earthquake,	Todesfälle 15
2003	Februar 15	Ms6.2	Masbate Earthquake	
2003	November 18	Ms6.5	Samar Earthquake,	Todesfälle 1
2004	Oktober 10	Ms6.5	Mindoro Earthquake	
2012	Februar 6	Ms6.9	Visays Earthquake,	Todesfälle 81
2019	April 22	Ms6.1	Luzon Earthquake,	Todesfälle 18
2022	Juli 27	Ms7.0	Abra Earthquake	Todesfälle 6

Tab. 1: Auflistung von zerstörerischen Erdbeben, mit einer Magnitude von 5.0 bis 7.9 in den Jahren von 1968 bis 2022.

Quelle: Schweizerische Botschaft in den Philippinen.

Klimatische Verhältnisse

Das Klima in den Philippinen ist tropisch und wird durch hohe Temperaturen, eine hohe Luftfeuchtigkeit sowie deutlich ausgeprägte Regen- und Trockenzeiten charakterisiert. Der Monsunzyklus prägt das Wettergeschehen und führt zu jahreszeitlichen Schwankungen bei den Niederschlägen. Der jährliche Niederschlag variiert je nach Region zwischen 1'000 mm und 4'000 mm. Die Temperaturen bleiben das ganze Jahr über, relativ konstant zwischen 25 °C und 32 °C. Die Luftfeuchtigkeit liegt meist zwischen 70 und 90 %.

Tropische Wirbelstürme stellen eine weitere Besonderheit dar. Sie führen oft zu intensiven Regenfällen, starken Winden und können dadurch zu erheblichen Schäden nicht nur an der Infrastruktur führen.

Baumaßnahme Batan Insel, Uyugan, Itbud „Nord-Philippinen“

Die Batanes-Inselgruppe liegt zwischen Luzon und Taiwan in jeweils ca. 200 km Entfernung (Abb. 2). Sie besteht aus zehn Hauptinseln. Die größte Insel ist Itbayat mit 95 km².

Die Region wird in zwei vulkanische Ketten unterteilt und umfassen aktive Vulkane wie Mt. Iraya (Batan) und Vulkane deren Aktivität vor 4–2 Millionen Jahren endete.



Abb. 2: Lage der Baumaßnahmen.

Neben den vulkanischen Gesteinen sind die Inseln von Korallenriffen und Kalksteinterrassen umgeben. Diese liegen über dem Meeresspiegel und weisen auf die geologischen Hebungen hin.

Die Sicherungsmaßnahme liegt auf der Batan Insel nahe der Ortschaft Itbud. Die Region wird durch eine Küstenstraße erschlossen (Abb. 3). Hierfür wurden im Projektperimeter die Hänge aus Kalkstein schon vor einigen Jahrzehnten angeschnitten und zusätzlich übersteilt. Durch die fortschreitende Verwitterung lösen sich regelmäßig Steine und teilweise größere Blöcke (Abb. 4).



Abb. 3: Küstenstraße auf der Batan Insel mit einem der Sicherungsbereiche.

Zum Schutz der einheimischen Bevölkerung und aufgrund des Tourismus wurden Sicherungsmaßnahmen für verschiedene Bereiche geplant. Wegen der schlechten Zugänglichkeit und Böschungshöhen von bis zu 100 m wurde eine Planung mit dem TECCO Böschungsstabilisierungssystem gemacht. Aufgrund der Insellage wurde mit einer hohen Korrosivität gerechnet. Verzinkte Stahlbauteile würden zu einer zu geringen und nicht wirtschaftlichen Nutzungsdauer führen. Um die Kosten der Baumaßnahme langfristig zu rechtfertigen und diese in den Kontext einer angemessenen Nutzungsdauer zu setzen, haben sich die Verantwortlichen für das TECCO STAINLESS System von Geobrug entschieden. Hierbei handelt es sich bei allen Bauteilen um korrosionsbeständigen, rostfreien Chromstahl. Auch die in der Region beschaffte Vernagelung besteht aus rostfreiem Stahl.

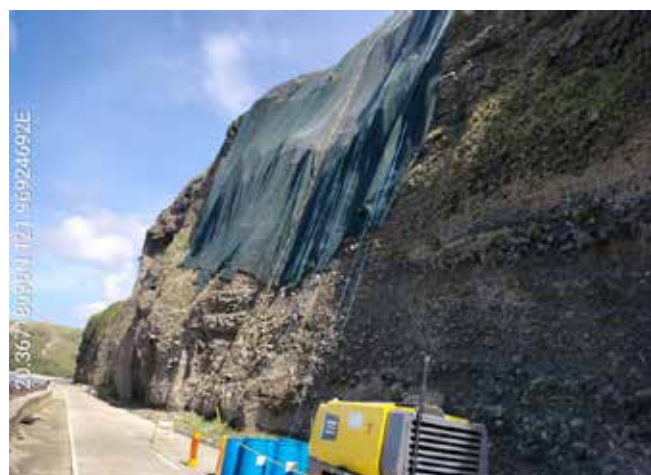


Abb. 4: Sicherungsbereich oberhalb der Küstenstraße und den darunter noch sichtbaren Kalksteinen, hier als Konglomerat ausgebildet.

Durch die Erfahrung unseres lokalen Partners Rebtrade konnte das Personal für diese besondere Baumaßnahme gut geschult werden und die Bohrarbeiten und Montage des Sicherungssystems wurde in ca. 2 – 3 Monaten umgesetzt. Die Sicherungsfläche liegt im Bereich von ca. 10'000 m². Die Länge der Vernagelung liegt in der Regel zwischen 4 – 6 m. Zum Schutz der Arbeiten wurde das TECCO Geflecht mit einer Erosionsschutzmatte vor den Bohrarbeiten verlegt (Abb. 5). Erst danach wurde unter dem Schutz des Geflechts die Vernagelung hergestellt (Abb. 6).



Abb. 5: Verlegen der Geflechte.



Abb. 6: Bohren durch das Geflecht mit einer Bohrlafette auf einen Schlitten montiert.

Baumaßnahme Nasugbu südwestlich von Manila

Die Region Nasugbu liegt in der Provinz Batangas südwestlich von Manila. Touristisch ist die Region durch den Kratersee Lawa ng Taal bekannt. Dieser liegt ca. 30 km vom Projektperimeter entfernt (Abb. 7). Nasugbu liegt am westlichen Rand des Luzon-Vulkangürtels. Zu den vorherrschenden Gesteinen zählen hier vulkanischer Tuff und pyroklastische Ablagerungen von vulkanischen Eruptionen.



Abb. 7: Region Nasugbu am roten Marker. Nordöstlich davon liegt Manila. Südöstlich der Vulkan Kratersee Lawa ng Taal. <https://maps.app.goo.gl/xevPYnKworXjiEjEA>

Durch die Nasugbu Hügelkette wurde die East-West Road gebaut. Hierfür war eine Vielzahl von Hanganschnitten erforderlich. Aufgrund verschieden orientierter Trennflächen haben sich in bestimmten Böschungen Rutschungen ausgebildet (Abb. 8).



Abb. 8: Straßenböschung während der Baumaßnahme in den Ablagerungen von Aschen und Pyroklastischen Strömen. Entlang von Trennflächen bilden sich Rutschungen aus, weshalb die Böschung weiter nach hinten verlegt wird.

Zur Erhöhung der Sicherheit wurde der Böschungsfuß weiter weg von der Straße verlegt. Dadurch ergaben sich größere und eher steilere Böschungen. In einem als kritisch befundenen Bereich mit periodischem Wasseraustritt und dadurch hervorgerufenen Rutschungen wurde eine Planung für eine Netzsicherung mit dem TECCO Böschungsstabilisierungssystem gemacht (Abb. 9).



Abb. 9: Kritische Böschung vor dem Zurücksetzen und Reprofilierung.

Die Bemessung hat als Geflechtabdeckung das TECCO G65/3 ergeben. Die Installation wurde mit dem Korrosionsschutz 95% Zink / 5% Aluminium ausgeführt. Mit diesem Korrosionsschutz hat man in normal Korrosiven Regionen sehr gute Erfahrungen und kann von einer Nutzungsdauer von 50 – 100 Jahren ausgehen. Abbildung 10 zeigt die ausgeführte Installation mit dem zurück verlegten Böschungsfuß.



Abb. 10: Gesicherte Böschung mit dem TECCO Böschungsstabilisierungssystem. Die Rückverlegung am Böschungsfuß beträgt ca. 4 m. Im Bereich der Vegetation ist ein verstärkter Wasseraustritt, was zu Rutschungen geführt hat. Diese wurde durch die Sicherung gestoppt.

Korrosion durch aggressive Umgebungsbedingungen

Kurze Zeit nach Fertigstellung der Baumaßnahme wurde festgestellt, dass sich die Stahlbauteile rostrot verfärbten (Abb. 11). Aufgrund der Qualitätssicherung bei Geobrugg konnte ein fehlerhafter Korrosionsschutz ausgeschlossen werden.



Abb. 11: Korrosionsschaden kurze Zeit nach Fertigstellung der Maßnahme, weshalb Untersuchungen bezüglich der Korrosivität des Bodens und Wassers gemacht wurden.

Untersuchungen der Korrosivität

Um die Ursachen für den Korrosionsschaden herauszufinden, wurden weitere Untersuchungen durchgeführt. Zum einen eine EDX-Untersuchung (auch EDXS oder EDXRF genannt). Dies steht für Energy Dispersive Xray Spectroscopy und ist eine Analysemethode zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Materialien. Sie wurde in Kombination mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) verwendet (Abb. 12 und 13). So wurde festgestellt, dass der Anteil an Schwefel (S) und Eisen (Fe) ungewöhnlich hoch ist (Abb. 13).

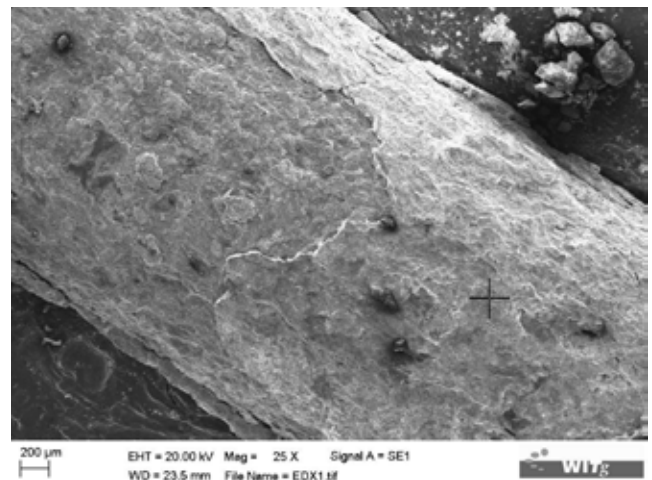


Abb. 12: Foto von den Untersuchungen im Raster Elektronen Mikroskop (REM).

Durch Schwefel in Verbindung mit Wasser können schweflige Säuren mit einem geringen pH-Wert entstehen. Der hohe Eisenanteil könnte durch Wasser aus dem Untergrund eingetragen worden sein. Bei Ausfällung des gelösten Eisens kann es, zumindest zu einer deutlich rostroten Verfärbung kommen.

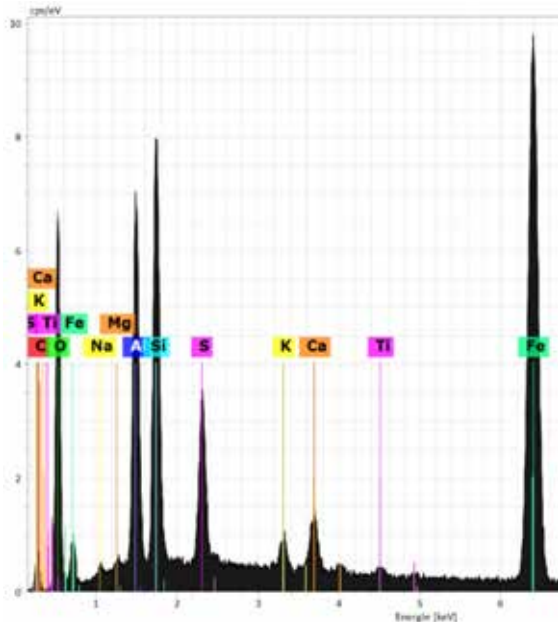


Abb. 13: EDX-Spektroskopie mit Auffälligkeiten bei den Eisen (Fe) und Schwefel (S) gehalten.

Zusätzlich wurde der pH-Wert von Lösungsauszügen des Bodens ermittelt. Abbildung 14 zeigt einen pH-Wert von 3 – 4 mit dem Universalindikatorpapier. Abbildung 15 zeigt die Messung des pH-Wert mit dem pH Meter. Bei den Messungen lag der pH-Wert im Bereich von 3.96 – 4.37.

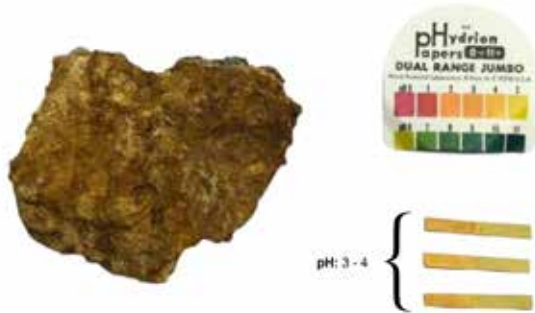


Abb. 14: Bodenprobe und Ermittlung des pH-Wert von 3 – 4 mit Universalindikatorpapier.



Abb. 15: Beispiel einer Messung des pH-Wert mit dem pH Meter.

Die Untersuchungen zur Korrosivität wurden wie folgt zusammengefasst: Das Vorhandensein von Mineralien / Verbindungen wie Schwefel, Eisenoxiden und die Bodenacidität können den beschleunigten Abbau der Zink-Aluminium Beschichtung verursacht haben. Studien haben gezeigt, dass pH-Werte zwischen 3 und 5.5 für verzinkten Stahl ungünstig sind. Weitere Umweltfaktoren wie

- hohe Temperaturen
- hohe Luftfeuchtigkeit (>60 %)
- Schwefelsäuren, die durch Schwefelwasserstoff von Vulkanen entstehen tragen zur Korrosion und Rostbildung von verzinktem Stahl bei. In korrosiven und sauren Umgebungen wird vorgeschlagen Edelstahl (1.4462) statt verzinktem Stahl zu verwenden.

Sanierung der Maßnahme mit TECCO STAINLESS

Um die Rutschung, besonders bei außergewöhnlich ungünstigen Ereignissen wie dem Monsun, zu stabilisieren wurden die Böschung nochmals weiter zurückgelegt und etwas abgeflacht. Danach wurde das TECCO STAINLESS System, aus rostfreiem Stahl, installiert. Die Vernagelung musste komplett neu hergestellt werden und wurde ebenfalls mit rostfreiem Stahl ausgeführt (Abb. 16).



Abb. 16: Installation des TECCO STAINLESS System nach dem Rückbau der korrodierten Sicherungsmaßnahme.

Die Böschung ist nun langfristig gesichert und die Straße wurde uneingeschränkt in Betrieb genommen. Aufgrund der eisenhaltigen Wässer zeigt sich jedoch mittlerweile wieder eine rostrote Verfärbung (Abb. 17). Ein Angriff des Grundmaterials wurde bisher nicht festgestellt. Eine regelmäßige Kontrolle wird deshalb empfohlen.



Abb. 17: Eisenoxidausfällungen an den Wasseraustritten in der TECCO STAINLESS Installation. Foto google street view Jan. 2025.

Schutz vor Korrosion von Drahtgeflechten

Drahtgeflechte gibt es mit verschiedenen Beschichtungen wie Zink, Zink-Aluminium und darüber hinaus in rostfreiem Stahl (1.4462). Diese bieten unterschiedliche Grade an Korrosionsschutz.

Zinkbeschichtungen sind bekannt für ihre gute Korrosionsbeständigkeit in vielen Umgebungen, können jedoch bei längerem Kontakt mit aggressiven Substanzen an Wirksamkeit verlieren.

Zink-Aluminium-Beschichtungen bieten eine verbesserte Beständigkeit gegenüber Korrosion im Vergleich zu reinem Zink und können daher in Umgebungen mit höherem Salzgehalt oder chemischer Belastung effektiver sein.

Rostfreier Stahl 1.4462, auch als Duplexstahl bekannt bietet eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit in aggressiven Umgebungen wie marinen oder chemisch /geo-gen belasteten Gebieten.

Die Auswahl des richtigen Drahtgeflechts für Böschungsstabilisierungen auf den Philippinen sollte daher eine gründliche Bewertung der spezifischen Umwelt- und Umgebungsbedingungen vor Ort sowie der benötigten Lebensdauer und den Kosten beinhalten. Eine sorgfältige Materialauswahl gewährleistet nicht nur die Sicherheit der Bauwerke, sondern erhöht die Nutzungsdauer und minimiert langfristig Instandhaltungskosten.

Vorrausschauende Planung

Die bautechnischen Herausforderungen für Böschungsstabilisierungen mit hochfesten Drahtgeflechten auf den Philippinen unterscheiden sich nicht sehr von denen in Mitteleuropa. Wie bei uns ist erfahrenes Personal für das Arbeiten in übersteilem Gelände erforderlich. Eine sorgfältige Schulung der an der Umsetzung und Installation beteiligten Mitarbeitenden ist deshalb entscheidend.

Zusätzlich ist eine sorgfältige Bemessung der Sicherungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten wichtig. Hier sind Erdbeben durch seismische Aktivität und wassergesättigte Böschungen aufgrund der sehr hohen Niederschläge im Zeitraum des Monsuns und während tropischer Wirbelstürme zu Berücksichtigung.

Grundsätzlich sollte eine Bewertung der Korrosivität im Bereich der Installation gemacht werden. Dies nicht nur in Meer nähe, wo mit korrosiveren Umgebungsbedingungen gerechnet wird. Es empfiehlt sich auch in Abhängigkeit der Geologie abzuschätzen ob aggressive Bergwässer auftreten können, mit z.B. einem niedrigen pH-Wert oder hohem Schwefelgehalt. In z.B. Pyrit führenden Gesteinen kann durch Verwitterung der Schwefel freigesetzt werden.

Die Überprüfung des pH-Wert kann an Wasserauszügen von Bodenproben im Vorfeld der Maßnahme gemacht werden. So können durch einfache Maßnahmen Überraschungen und hohe Kosten durch einen falschen Korrosionsschutz vermieden werden. Auch in Mitteleuropa.