

DIN EN ISO 20074

ICS 75.020

Einsprüche bis 2018-08-08

Entwurf

**Erdöl- und Erdgasindustrie –
Rohrleitungstransportsysteme –
Geologisches Gefährdungsrisikomanagement für Öl- und Gasfernleitungen
(ISO/DIS 20074:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 20074:2018**

Petroleum and natural gas industry –
Pipeline transportation systems –
Geological hazards risk management for onshore pipeline (ISO/DIS 20074:2018);
German and English version prEN ISO 20074:2018

Industries du pétrole et du gaz naturel –
Management des risques géologiques des pipelines de gaz et de pétrole
(ISO/DIS 20074:2018);
Version allemande et anglaise prEN ISO 20074:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-06-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an noeg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 141 Seiten

DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 20074:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN (Niederlande) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 109-00-02 AA „Fernleitungssysteme — Spiegelausschuss zu ISO/TC 67/SC 2“ im DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

**Erdöl- und Erdgasindustrie — Rohrleitungstransportsysteme —
Geologisches Gefährdungsrisikomanagement für Öl- und Gasfernleitungen
(ISO/DIS 20074:2018)**

Industries du pétrole et du gaz naturel — Management des risques géologiques des pipelines de gaz et de pétrole

Petroleum and natural gas industry — Pipeline transportation systems — Geological hazards risk management for onshore pipeline (ISO/DIS 20074:2018)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Abkürzungen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole und Abkürzungen	11
4 Geogefahren-Risikomanagementprogramm einer Rohrleitung	11
4.1 Grundprinzipien	11
4.2 Anforderungen für ein PGMP	12
4.3 Elemente eines PGMP	13
4.3.1 Allgemeines	13
4.3.2 Technische Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs	14
4.3.3 Entwicklungsphase	16
4.3.4 Bauphase	17
4.3.5 Betriebs- und Instandhaltungsphase	20
5 Identifizierung von Risiken	21
5.1 Allgemeines	21
5.2 Geogefahrenverzeichnis	25
5.3 Desktop-Datenauswertung	25
5.4 Auswertung von Fernerkundungsbildern	26
5.5 Felduntersuchung	26
5.5.1 Felduntersuchungstechniken	26
5.5.2 Anwendungsbereich der Felduntersuchung	27
5.5.3 Empfehlungen für die Felduntersuchung	27
5.6 Geotechnische Untersuchung	27
6 Risikobewertung	27
6.1 Allgemeines	27
6.2 Bewertungssysteme und -verfahren	28
6.2.1 Bewertungssysteme	28
6.2.2 Bewertungsverfahren	29
6.3 Bewertung der regionalen Anfälligkeit einer Rohrleitung für Geogefahren	31
6.4 Bewertung einzelner Geogefahren von Rohrleitungen	32
7 Risikominderung	32
7.1 Allgemeines	32
7.2 Minderungsmaßnahmen	33
7.2.1 Physikalische und verfahrenstechnische Minderungsmaßnahmen	33
7.2.2 Kurzzeit- und Langzeit-Minderungsmaßnahmen	34
8 Techniken und Verfahren für das Geogefahren-Risikomanagement	35
9 Datenmanagement	38
Anhang A (informativ) Leitfaden für die Wahl des Trassenverlaufs einer Rohrleitung	39

Anhang B (informativ) Empfehlungen für die Felduntersuchung.....	41
B.1 Zu bestimmende und aufzuzeichnende Angaben zu Geogefahren.....	41
B.2 Bildgebung, Fotografien und Zeichnungen	42
Anhang C (informativ) Klassifizierung geologischer Umweltbedingungen nach Komplexität	43
Anhang D (informativ) Qualitatives Bewertungsverfahren	45
D.1 Grad der Anfälligkeit für Geogefahren	45
D.2 Verwundbarkeitsgrad der Rohrleitung	50
D.3 Klasse der Folgen von Rohrleitungsversagen.....	51
D.4 Einstufung des Risikogrades	52
Anhang E (informativ) Semiquantitatives Bewertungsverfahren.....	53
E.1 Durchführung der Bewertung	53
E.2 Verfahren zur Berechnung des Risikowahrscheinlichkeitsindex.....	54
E.3 Bestimmung der Klasse der Folgen eines Rohrleitungsversagens	56
E.4 Beispiel.....	56
E.4.1 Beispielbeschreibung	56
E.4.2 Risikowahrscheinlichkeitsindex und Risikograd	56
E.4.3 Klasse der Folgen eines Rohrleitungsversagens.....	61
E.4.4 Risikograd	61
Anhang F (informativ) Minderung potenzieller Risiken	62
F.1 Physikalische Minderungsmaßnahmen.....	62
F.2 Verfahrenstechnische Minderungsmaßnahmen	65
F.2.1 Patrouilleninspektion.....	65
F.2.2 Bewusstmachung.....	65
F.2.3 Management von Erdbauarbeiten.....	65
F.2.4 Überwachung	65
Anhang G (informativ) Wichtige Einflussfaktoren ausgewählter Geogefahren.....	69
Literaturhinweise.....	76

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 20074:2018) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 20074:2018 wurde von CEN als prEN ISO 20074:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67, *Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries*, Unterkomitee SC 2, *Pipeline transportation systems* erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 20074 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Dieses Dokument wird von Betreibern und Planern von Rohrleitungen zur Umsetzung und Verbesserung des Geofahren-Risikomanagements für Onshore-Rohrleitungen angewendet.

Es wird angewendet für die ordnungsgemäße und wirksame Identifizierung, Bewertung und Minderung von Geofahren, welche die Sicherheit des Rohrleitungssystems gefährden, um Risiko und unbeabsichtigte Verluste zu verringern. Das Rohrleitungssystem umfasst die Rohrleitung, das RoW sowie alle zugehörigen erdverlegten und oberirdischen Einrichtungen, wie z. B. Armaturen, Zähler, Kompressor- und Pumpstationen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen fest und gibt Empfehlungen zum Geogefahren-Risikomanagement für Rohrleitungen während der Phasen von Auslegung, Bau und Betrieb.

Dieses Dokument muss für alle Betreiber und Rohrleitungssysteme (bestehend sowie in Planung/im Bau befindlich) gelten, sofern der Betreiber nicht eindeutig nachweisen kann, warum das Dokument nicht gelten sollte.

Dieses Dokument gilt für Onshore-Sammel- und Transportleitungen für den Einsatz in der Erdöl- und Erdgasindustrie¹⁾.

Dieses Dokument gilt für alle vernünftigen und glaubhaften natürlichen und durch menschliche Handlungen bedingten Gefährdungen, die ähnlich natürlichen Gefährdungen erscheinen, und mit dem Sammelbegriff „Geologische Gefährdungen“ bzw. „Geogefahren“ bezeichnet werden. Die in diesem Dokument behandelten Geogefahren sind u. a. die Folgenden (nicht nach ihrer Bedeutung angegeben):

- Massenbewegungsprozesse, einschließlich Erdbeben, Felsstürzen, Murgängen, Lawinen, sowie vergleichbare Vorgänge, ob natürlich auftretend oder anthropogen;
- Bodenabsenkung und/oder Bildung von Erdlöchern, ob natürlich auftretend, wie durch Auflösung von Salz- oder Karbonatgesteinsformationen (Karstformation) oder menschenbedingt, wie durch Untertage-Bergbau oder Förderung unterirdischer Fluide, wie z. B. Grundwasser sowie Erdöl und Erdgas;
- seismische Gefährdungen, wie z. B. Bodenbeben, Verwerfungsbruch, Verflüssigung, Durchflussausfälle und laterale Ausbreitung, oder zugehörige Sekundärwirkungen, wie z. B. erdbebenbedingte Erdbeben;
- vulkanische Gefährdungen, wie z. B. Lahare, pyroklastische Ströme, Lavaströme, Dammbruch, sowie vulkanisch bedingte Seismizität (ausgenommen Ascheregen), wenn solche Gefährdungen vernünftigerweise vorhersagbar sind;
- hydrologische Prozesse, wie z. B. Flutung, senkrechte Unterspülung von Flussböden, Flussbettwanderung und Seitenerosion, Ausriss des Wasserlaufs, schnelle Entwässerung von Seen;
- Dauerfrostprozesse/periglaziale Prozesse und geothermale Einwirkungen, wie Frosthebung und Tausetzung;
- Oberflächen- und Verfüllungserosion;
- Ausdehnungs- oder Einsturzprozess aufgrund sich ausdehnender und verformbarer Böden, wie z. B. glaziomarine Tonerden, verformbarer Löss usw.

Dieses Dokument behandelt keine atmosphärischen Einwirkungen, wie z. B.:

- Starkwinde aufgrund von Wirbelstürmen und Tornados sowie vergleichbarer Stürme, mit Ausnahme von Ereignissen, die vernünftigerweise vorhersagbar sind und Geogefahren verursachen, wie z. B. Erdbeben, Erosion usw.;

1) Rohre und Leitungen innerhalb klar definierter Anlagen und Einrichtungen, wie z. B. Pump- und Kompressorstationen, Verarbeitungseinrichtungen oder Raffinerien sind nicht durch dieses Dokument abgedeckt. Es wird angenommen, dass der gesamte Anlagenstandort einer gesonderten Geogefahrenbewertung zur Beurteilung zutreffender natürlicher und vom Menschen verursachter Gefährdungen unterzogen wird. Dennoch kann dieses Dokument nützliche Hinweise zur Bewertung der Bedrohung von Einrichtungen, einschließlich der Rohrleitungen innerhalb der Anlage, durch Geogefahren geben.

- Blitz;
- Wald- oder Buschbrände;
- Ascheregen aufgrund von Vulkanausbrüchen;
- Tsunamis aufgrund seismischer Gefährdungen.

Des Weiteren deckt dieses Dokument keine sogenannten Kettenreaktionen ab, bei denen ein entferntes Ereignis zu einer Ereigniskette führt, wodurch letztendlich eine Geogefahr in der Nähe der Rohrleitung verursacht wird. Behandelt werden ausschließlich Geogefahren mit direktem Einfluss auf die Rohrleitung oder das RoW.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 13623, *Petroleum and natural gas industries — Pipeline transportation systems*

SY/T 6828-2017, *Technical specification for geological hazards risk management of oil and gas pipeline*

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

3.1.1

Bauzeit

Phase, in der die Rohrleitung physikalisch errichtet wird mit Tätigkeiten, die u. a. Mobilisierung von Ausrüstung, Wegerechterkundung sowie Räumung/Rodung/Planierung, Bau von Zugängen, Herstellen des Rohrstrangs, Schweißen und Absenkung, Grabenverfüllung, Tätigkeiten abseits des Wegerechtes wie Erschließung von Leih-, Ablage- und Lagerstandorten, hydrostatische Prüfungen, Erosionsschutz, Rekultivierung, Beräumung, Demobilisierung, Füllen der Rohrleitung und Inbetriebnahme einschließen

3.1.2

Auslegungszeit

Phase, bestehend aus technischer Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs sowie der Entwicklung

3.1.3

dynamisches Management

ein Geogefahren-Managementprozess, der die gesamte Lebensdauer der Rohrleitung abdeckt und anwendbar ist, wenn eine neue Gefährdung festgestellt wird oder sich eine bestehende Gefährdung ändert

Anmerkung 1 zum Begriff: Es ermöglicht die Anpassung des Geogefahren-Managementplans zur Handhabung der neuen oder geänderten Bedrohungsbedingungen.

3.1.4

Geogefahrenverzeichnis

eine Liste, welche alle identifizierten Geogefahren aufführt und während der gesamten Lebensdauer des Rohrleitungsprojekts weitergeführt, ergänzt oder gekürzt werden darf

Anmerkung 1 zum Begriff: Idealerweise wäre das Verzeichnis rechnergestützt und mit einem geografischen Informationssystem (GIS) verbunden.

3.1.5

Anfälligkeit für Geogefahren

Möglichkeit eines Geogefahrenereignisses unter Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit einer Geogefahr

3.1.6

geologisch sensible Bereiche

Bereiche, die potenziell anfällig für Geogefahren sind, wie z. B. Erdbebenverwerfungszonen, mittelgroße und große Flüsse, hohe und steile Hänge, Murgangkorridore, erdbebenanfälliges Gelände, für Karsteinsturz anfällige Bereiche, Abbauhohlräume

3.1.7

hydrologischer Prozess

bezogen auf Prozesse in Zusammenhang mit fließenden Gewässern; d. h. Fluss- und Stromprozesse

3.1.8

einzelne Geogefahr einer Rohrleitung

spezifische Geogefahr, wobei es sich um Erdbeben, Felssturz oder Murgang (oder jede andere Geogefahr mit möglichem Einfluss auf die Rohrleitung) handeln kann

3.1.9

Bodenabsenkung

Absenkung oder allmähliches Setzen der Erdoberfläche mit relativ geringer waagerechter Bewegung

Anmerkung 1 zum Begriff: Mögliche Ursachen sind Karstprozesse, verformbare oder dispersive Böden, Rohrleitungserosion, Aufwärtsbewegung von Untertage-Bergwerken oder andere Prozesse

3.1.10

Langzeitmanagement

Managementtätigkeiten bezüglich Geogefahren einer Rohrleitung mittels Überwachung und wiederkehrender Neubewertung der von Geogefahren ausgehenden Bedrohungsgrade

3.1.11

Massenbewegungsprozess

allgemeiner Begriff für die Ablösung und Abwärtsbewegung von Boden- und Felsmaterial unter direkter Schwerkrafteinwirkung

3.1.12

Betreiber

Person oder Organisation, welche ein Rohrleitungssystem oder Rohrleitungsanlagen besitzt oder betreibt und letztendlich für den Betrieb und die Integrität des Rohrleitungssystems verantwortlich ist

3.1.13

Folge eines Rohrleitungsversagens

Auswirkung auf Gesellschaft und Umwelt sowie Verlust von Leben und Eigentum, finanzieller Verlust, einschließlich der direkt und indirekt folgenden Beschädigungen, negative Auswirkung auf die Unternehmensreputation usw. aufgrund von Undichtigkeit, Beschädigung oder Leistungsabfall eines Rohrleitungssystems, das Geogefahren ausgesetzt ist

3.1.14

Geogefahr einer Rohrleitung

geologische Prozesse oder Phänomene mit dem Potenzial, Schädigung von Rohrleitung oder RoW zu verursachen, einschließlich einzelner und regionaler Geogefahren einer Rohrleitung

3.1.15

Geogefahrenrisiko einer Rohrleitung

Kombination aus der Anfälligkeit für Geogefahr, der Verwundbarkeit der Rohrleitung und der Folge von Rohrleitungsversagen

3.1.16

Bewertung des Geogefahrenrisikos einer Rohrleitung

Prozess der Bewertung des Geogefahrenrisikos einer Rohrleitung und der Feststellung, ob besagte Risiken annehmbar sind oder ob deren Minderung oder ein Eingriff erforderlich ist

3.1.17

Identifizierung des Geogefahrenrisikos einer Rohrleitung

Prozess der Erkennung, Charakterisierung und Beschreibung glaubhafter und wahrscheinlicher Geogefahren mit möglichem Einfluss auf die Rohrleitung oder das Wegerecht

3.1.18

Geogefahren-Risikomanagement einer Rohrleitung

koordinierte Tätigkeit zur Anleitung und Problembehandlung in Verbindung mit dem Geogefahrenrisiko einer Rohrleitung

3.1.19

Geogefahren-Risikomanagementprogramm einer Rohrleitung

eine Reihe von Prozessen und Verfahren zur Anleitung von Betreiberfirmen oder Betreibern zur Durchführung des Geogefahren-Risikomanagements einer Rohrleitung

3.1.20

Geogefahren-Risikominderung einer Rohrleitung

Prozess der Wahl und Umsetzung einer Gegenmaßnahme oder eines Eingriffs gegen das Geogefahrenrisiko einer Rohrleitung zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit eines negativen Ereignisses oder zur Minderung der Folgen eines negativen Ereignisses

3.1.21

Verwundbarkeit der Rohrleitung

Wahrscheinlichkeit, dass ein Rohrleitungssystem aufgrund einer Geogefahr beschädigt wird, wobei abgeschätzt wird, wie wahrscheinlich oder unwahrscheinlich die Beeinflussung des Rohrleitungssystems durch Geogefahren ist und wie beständig es gegenüber einer Beschädigung aufgrund von Geogefahren ist

3.1.22

Betriebszeit

Phase nach der Auslieferung des Rohrleitungssystems an einen Rohrleitungsbetreiber, insbesondere die Betriebs- und Instandhaltungsphase mit Ausnahme der Stilllegungsphase

3.1.23

regionale Geogefahr einer Rohrleitung

Gruppe oder Ansammlung bestehender und potenzieller Geogefahren innerhalb eines festgelegten geografischen Gebietes

3.1.24

Wegerecht

Gebiet, in dem der Betreiber der Rohrleitung nach Abstimmung mit dem Grundeigentümer das Recht zur Durchführung von Arbeiten hat

[QUELLE: ISO 13623:2017, 3.1.19]

3.1.25

seismische Gefährdung

Gefährdungen in Zusammenhang mit Erdbebeneinwirkungen

3.1.26

Fachkraft

eine Fachperson mit Erfahrung in der Beurteilung und dem Management von Geogefahren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Definition der Qualifikationen einer Fachkraft ist standortabhängig, für die Anwendung dieses Dokuments umfasst sie jedoch im Allgemeinen eine Person mit einem Abschluss in Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie, Geotechnik, Geologieingenieurwissenschaften, Bauingenieurwissenschaften oder einem vergleichbaren Abschluss und mindestens 5-jähriger praktischer Berufserfahrung in der Arbeit mit Geogefahren.

3.2 Symbole und Abkürzungen

GIS	geografisches Informationssystem
ILI	Inline-Inspektion
LiDAR	Lichtdetektion und -ortung (en: light detection and ranging)
PGMP	Geogefahren-Risikomanagementprogramm einer Rohrleitung (en: pipeline geohazard risk management program)
RoW	Wegerecht (en: right-of-way)
SME	Fachkraft (en: subject matter expert)

4 Geogefahren-Risikomanagementprogramm einer Rohrleitung

4.1 Grundprinzipien

Ein PGMP ist eine Reihe von Vorgehens- und Verfahrensweisen, eingesetzt für die/das systematische Identifizierung, Beurteilung und Management von Geogefahren, um das Risiko der Beschädigung eines Rohrleitungssystems auf ein annehmbares Niveau zu verringern. Ein PGMP wird über die gesamte Lebensdauer der Rohrleitung von der Planung und Auslegung, über Bau und Betrieb, bis hin zur Stilllegung des Rohrleitungssystems betrieben. Somit sollte das PGMP so ausgelegt und umgesetzt werden, dass kritische Informationen für die Lebensdauer der Rohrleitung erhalten und zugänglich bleiben.

Da eine Vielzahl unterschiedlicher Gruppen an Auslegung, Bau und Betrieb einer Rohrleitung mitwirken, liegt die Gesamtverantwortung für das PGMP beim Betreiber. Der Betreiber muss eine Einzelperson oder eine Organisation (das „PGMP-Team“) für die Umsetzung des PGMP während der und zwischen den verschiedenen Phasen benennen. Das PGMP-Team kann aus Personal des Betreibers oder einer von ihm beauftragten qualifizierten Drittstelle bestehen. Wird eine Organisation durch eine andere ersetzt, ist eine ordnungsgemäße Übertragung der Pflichten des Geogefahren-Risikomanagements sicherzustellen. Wird eine Drittstelle mit dem Geogefahren-Risikomanagement beauftragt, muss der Betreiber durchgehend und eng mit dieser zusammenarbeiten, um sicherzustellen, dass die Interessen und Erfordernisse des Betreibers und aller Interessenvertreter angemessen beachtet und geschützt werden.

Es wird empfohlen, dass das Geogefahren-Risikomanagement während der gesamten Lebensdauer einer Rohrleitung durch dieselbe Organisation durchzuführen ist, wobei es sich entweder um einen Betreiber oder eine von ihm beauftragte Drittstelle handeln kann.

Dynamisches Management von Rohrleitungs-Geogefahren ist erforderlich und neu identifizierte Geogefahren dürfen in besagtes Management einbezogen werden. Die in das dynamische Management einbezogenen Geogefahren werden als Risikomanagementobjekte bezeichnet.

Wenn ein PGMP erforderlich ist, müssen Betreiber ein PGMP für die Lebensdauer der Anlage einrichten und aufrechterhalten. Der Betreiber muss das PGMP während der Lebensdauer der Anlage aktualisieren, sofern und sobald es die Bedingungen erfordern.

Sämtliche Arbeiten in Zusammenhang mit der Identifizierung, Bewertung und Minderung von Geogefahrenrisiken der Rohrleitung müssen von einem Team von SME mit geeigneter Qualifikation durchgeführt werden.

PGMP-Tätigkeiten müssen dokumentiert werden. Geogefahren können sich mit der Zeit ändern und Änderungen im PGMP müssen über die Zeit dokumentiert werden, um sicherzustellen, dass die aktuellsten Daten und Bewertungen identifiziert sind. Veralterte Bewertungen dürfen archiviert oder gelöscht werden.

4.2 Anforderungen für ein PGMP

Das PGMP informiert einen Betreiber darüber, wie Auslegung, Bau und Betrieb der Rohrleitung sicher, umweltbewusst und zuverlässig durchführbar sind.

Das PGMP deckt die Phasen der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs, der Entwicklung, des Baus sowie des Betriebs und der Instandhaltung ab. Es wird empfohlen, das Geogefahren-Risikomanagement als gesondertes Element der Auslegungsphase einer Rohrleitung durchzuführen, beginnend in den frühesten Phasen der Auslegung.

Das Geogefahrenrisiko einer Rohrleitung und somit die Notwendigkeit und der Anwendungsbereich eines PGMP ist aufgrund einer Anzahl natürlicher und vom Menschen verursachter Faktoren von Rohrleitung zu Rohrleitung unterschiedlich. Das Geogefahrenrisiko kann höher sein bei Rohrleitungen, die in Bereichen betrieben werden mit:

- steilem Gelände;
- aktiver Tektonik;
- starken Niederschlägen;
- starker Seismizität;
- geologisch jungem Gelände;
- Vulkanismus;
- wichtigen Flussquerungen;
- geothermischen Schwankungen, wie unterbrochenem Dauerfrost.

Bei diesen Bedingungen kann das Risiko der Beschädigung einer Rohrleitung durch Geogefahren möglicherweise erhöht sein.

Bei einer kurzen Rohrleitung in tektonisch stabilem Gebiet mit minimalen Niederschlägen beispielsweise könnte das Risiko von Geogefahren geringer sein. In diesem Fall könnte der Betreiber nachweisen, dass ein PGMP nicht erforderlich ist. Im Gegensatz dazu wäre das Risiko von Geogefahren bei einer langen Rohrleitung mit einer Betriebslebensdauer von 50 Jahren in einem abgelegenen, steilen, tektonisch aktiven Gebiet in einer tropischen Region vermutlich relativ hoch. In diesem Fall würde der Betreiber sehr wahrscheinlich ein PGMP einrichten.

Aufgrund der großen Unterschiede von Geogefahrenrisiken bei verschiedenen Rohrleitungen ist es nach diesem Dokument erforderlich, dass der Betreiber das Geogefahrenrisiko bestehender und künftiger Rohrleitungen bewertet und bestimmt, ob ein PGMP erforderlich ist.

Kommt ein Betreiber zu dem Ergebnis, dass für eine(n) bestimmte(n) Rohrleitung oder Rohrleitungsabschnitt kein PGMP erforderlich ist, muss diese Schlussfolgerung dokumentiert werden. Eine solche Dokumentation ist nach diesem Dokument erforderlich. Die Dokumentation muss ein Bericht sein unter dem Titel:

Nachweis, dass ein Geogefahren-Managementprogramm nicht erforderlich ist für [Bezeichnung der Rohrleitung]

Sie muss eine uneingeschränkte Erörterung der vorstehend in 4.2 aufgeführten Punkte enthalten, einschließlich einer Erläuterung, warum die Geogefahrenrisiken so gering sind, dass ein PGMP nicht erforderlich ist. Der Bericht ist in Zusammenarbeit mit geeigneten Fachkräften mit einschlägiger Erfahrung in dem Bereich und der Art der geologischen Bedingungen, in denen die Rohrleitung verlegt ist bzw. wird, zu erstellen.

Kommt ein Betreiber zu dem Ergebnis, dass ein PGMP erforderlich ist, muss er ein PGMP-Team aufstellen, um das angemessene PGMP zu planen und umzusetzen, beginnend in den frühesten Phasen der Projektentwicklung.

4.3 Elemente eines PGMP

4.3.1 Allgemeines

Zur Verhinderung und Verringerung von Risiken aufgrund Geogefahren muss das PGMP während der gesamten Lebensdauer einer Rohrleitung unter Anleitung des PGMP-Teams angewendet werden. Das PGMP deckt vier miteinander verbundene Prozesse ab:

- **Identifizierung** potenzieller Geogefahren;
- **Beurteilung** der Schwere der Geogefahren;
- **Minderung** der von den Geogefahren ausgehenden Bedrohung;
- **Langzeitmanagement** von Geogefahren durch Überwachung und wiederkehrende Neubeurteilung der von Geogefahren ausgehenden Bedrohungsgrade.

Die vier Prozesse sind in veränderlichem Umfang über die gesamte Lebensdauer der Rohrleitung erforderlich.

Zur Veranschaulichung der Anwendung dieser vier Prozesse werden in diesem Dokument vier Phasen der Lebensdauer einer Rohrleitung betrachtet:

- technische Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs;
- Entwicklung;
- Bau;
- Betrieb und Instandhaltung.

Jede dieser Phasen wird nachstehend unter Veranschaulichung der vier Prozesse innerhalb jeder Phase erörtert.

Ein typisches PGMP folgt dem Flussdiagramm in Bild 1.

4.3.2 Technische Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs

In dieser Phase müssen die Auswirkungen von Geogefahren vollständig betrachtet werden, um die Anforderungen für die Wahl des Trassenverlaufs zu erfüllen. Da die wirksamste Maßnahme zur Minderung von Geogefahren die Vermeidung ist, bietet diese Phase dem Betreiber eine wichtige Gelegenheit, das Gesamtrisiko von Geogefahren für das Projekt zu verringern.

Anhang A enthält Leitlinien für die Wahl des Trassenverlaufs unter Berücksichtigung von Geogefahren.

Während dieser Phase muss das PGMP den Grundsätzen von Identifizierung, Beurteilung, Minderung und Langzeitmanagement folgen:

Identifizierung: Es wird ein Verständnis der regionalen Geogefahren geschaffen und bestimmt, ob ein regionaler Bedrohungsgrad von Geogefahren die Weiterentwicklung eines PGMP erfordert. Für die anfänglichen Gebietsalternativen sollten schwerwiegende Geogefahren und geologisch sensible Bereiche, wie z. B. Erdbebenverwerfungszonen, mittelgroße und große Flüsse, hohe und steile Hänge, Murgangkorridore, erdrutschenanfälliges Gelände, für Karsteinsturz anfällige Bereiche, Abbauhohlräume, identifiziert werden. Regionale und örtliche Fernerkundungsdatensätze werden beschafft und erforderlichenfalls ergänzt durch Baugrunduntersuchung. LiDAR-Daten in Kombination mit fachmännischer Auswertung haben sich als äußerst wertvolles Werkzeug bei der Identifizierung von Geogefahren während dieser Phase erwiesen.

Beurteilung: Geogefahren werden entlang der geplanten Korridore entsprechend ihres Bedrohungsgrades für die geplante Rohrleitung eingestuft. Bei einigen Geogefahren wird möglicherweise festgestellt, dass sie ausreichend schwerwiegend sind, um kritische Bedingungen zu verursachen, was dazu führen könnte, dass ein potenzieller Korridor ausgeschlossen wird. Andere Geogefahren bergen weniger schwere Risiken. Standorte, Profile und Schwere der Geogefahren sind in einer GIS-Datenbank zusammenzufassen, daraus muss das Geogefahrenverzeichnis (5.2) erstellt werden, das über die gesamte Projektdauer bestehen bleibt.

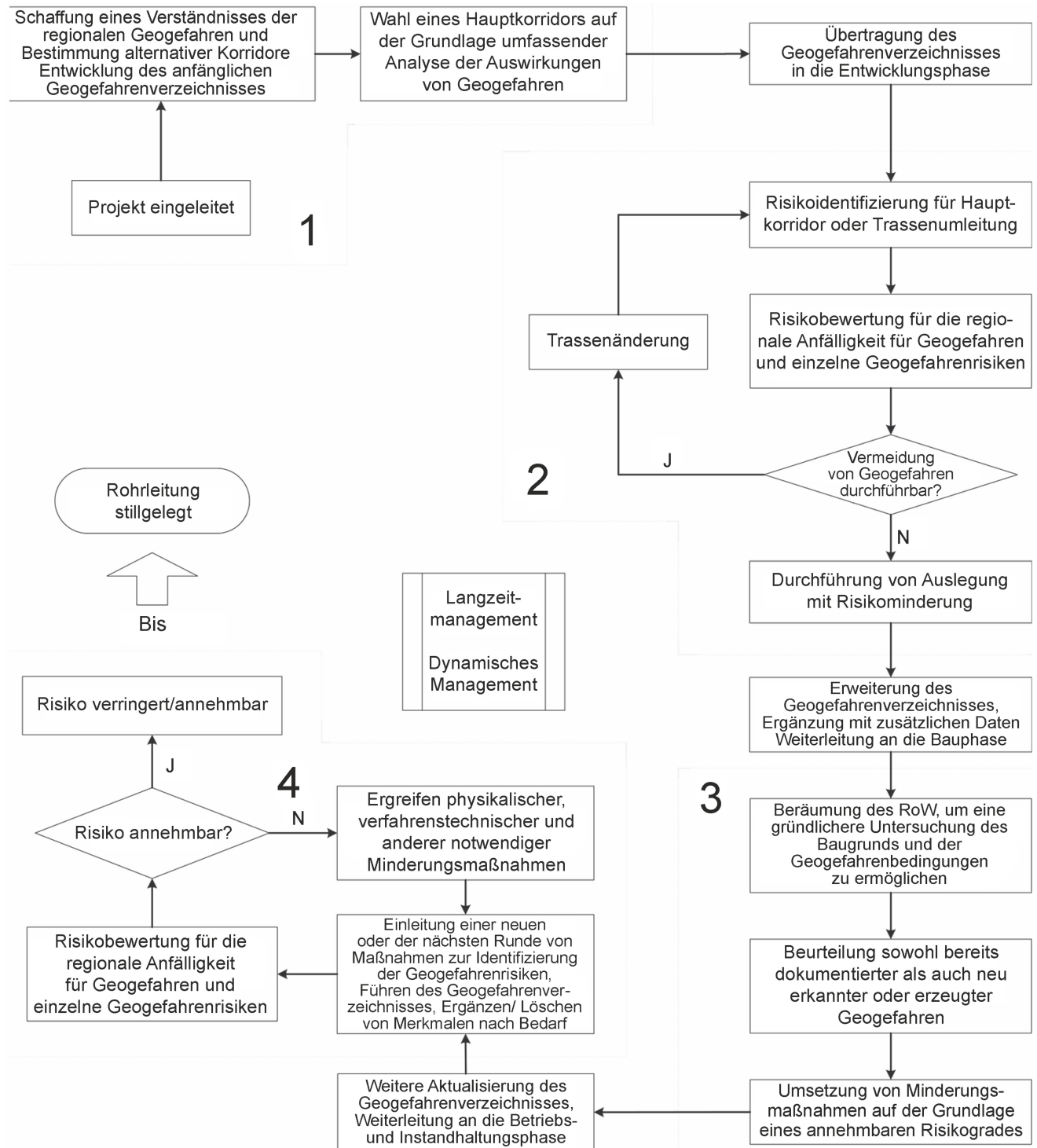
Minderung: Das primäre Mittel zur Minderung von Geogefahren in dieser Phase ist die Vermeidung. Eine wichtige Verantwortung des PGMP-Teams in dieser Phase ist die eindeutige Bewertung und Präsentation von Geogefahren und Risiken gegenüber dem weiteren Projektteam. Die Quantifizierung der Auswirkungen von Geogefahren auf Auslegung, Bau und Betriebsvorgänge ist nützlich, um die Risiken vollständig zu definieren. Bei der Wahl des endgültigen Korridors müssen die Auswirkungen von Geogefahren gegen andere Betrachtungen hinsichtlich Auslegung, Bau und Betrieb abgewogen werden. Während dieser Phase darf der Betreiber auch andere Minderungsmaßnahmen in Betracht ziehen; z. B. beanspruchungsbasierte Auslegung der Rohrleitung.

Langzeitmanagement: Da noch keine Anlage existiert, besteht das Geogefahren-Langzeitmanagement in dieser Phase aus der Erstellung des Geogefahrenverzeichnisses und der zugehörigen GIS-Datenbank sowie deren Weiterleitung an die Entwicklungsphase.

Die empfohlenen Verfahrensweisen zur Umsetzung in dieser Phase sind wie folgt:

- a) Schaffung eines Verständnisses der regionalen Geogefahren und Bestimmung alternativer Korridore.
- b) Wahl eines Hauptkorridors. Die Bewertung der regionalen Anfälligkeit für Geogefahren (6.3) und der einzelnen Geogefahrenrisiken (6.4) wird für den Hauptkorridor empfohlen.
- c) Nach der Wahl des Hauptkorridors dürfen die Entwicklungsphasen beginnen.

ANMERKUNG Während dieser Phase erfolgen auch umfangreiche Arbeiten der Rohrleitungsauslegung, wie z. B. rohrleitungsbezogene hydraulische Untersuchungen, Betrachtungen der Bauverfahren, Bewertungen von Logistik und Beschaffung sowie andere Tätigkeiten.



Legende

- 1 Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs
- 2 Entwicklungsphase
- 3 Bauphase
- 4 Betriebs- und Instandhaltungsphase

Bild 1 — PGMP-Flussdiagramm

4.3.3 Entwicklungsphase

Die Entwicklung darf von einer anderen Einheit als dem Betreiber ausgeführt werden. Diese Phase umfasst im Vergleich zur vorangegangenen Phase typischerweise ein größeres Projektteam, mehr Ressourcen, gesteigerte Fähigkeit und Komplexität der Feldarbeit sowie stärker definierte Projektziele. Alle diese Tätigkeiten können vorteilhaft für das PGMP sein.

Das PGMP muss wieder den vier primären Grundsätzen folgen:

Identifizierung: Die Identifizierung beginnt mit dem in der vorangegangenen Phase erstellten Geogefahrenverzeichnis, welches durch zusätzliche Untersuchungen, sowohl mittels Fernerkundung als auch des Baugrunds, erweitert wird. Sowohl der geplante Hauptkorridor der Rohrleitung als auch potenzielle Trassenänderungen, zusätzliche und vorübergehende Einrichtungen, wie Steinbrüche, Lager und Zufahrtsstraßen, die für den Rohrleitungsbau erforderlich sein können, sollten betrachtet werden.

Beurteilung: Bestehende Einträge des Geogefahrenverzeichnisses müssen erneut eingestuft werden, wenn neue Daten vorliegen, und alle zusätzlichen Einträge zu Geogefahren müssen eingestuft werden. Programme zur Sammlung von Feld- und Fernerkundungsdaten müssen teilweise so ausgelegt werden, dass sie diese Beurteilung ermöglichen. Fern- und Bodenüberwachung von Geogefahren dürfen ebenfalls während dieser Phase beginnen. Es dürfen Neigungsmesser an Stellen mit Bodenbewegungen aufgestellt und Überwachungspläne erstellt werden. Niederschlags- und Flussströmungsmessgeräte dürfen mit steigender Zugänglichkeit des Standorts ebenfalls aufgestellt werden. Die Beurteilung der Geogefahrenrisiken, insbesondere für den Bau, muss vom PGMP-Team in Abstimmung mit den Fachkräften für die Projektdurchführung durchgeführt werden.

Minderung: Die Hauptmaßnahme zur Minderung von Geogefahrenrisiken bleibt die Vermeidung. In dieser Phase sind Trassenänderungen zur Vermeidung von Geogefahren in Abstimmung mit anderen Projektzielen, wie z. B. Konstruierbarkeit, Kosten, Betrachtungen in Zusammenhang mit Umwelt und Interessenvertretern, einzusetzen. Während dieser Phase dürfen auch andere Minderungsmaßnahmen auf dem Wegerecht, wie z. B. Baugrundverstärkung und Bodenentwässerungen, entwickelt werden. Das Einbeziehen von Minderungsmaßnahmen, wie beanspruchungsbasierte Auslegung und Lichtwellenleiterüberwachung, in die Systemauslegung muss ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Langzeitmanagement: Das Geogefahren-Langzeitmanagement in dieser Phase besteht in der Weiterentwicklung des Geogefahrenverzeichnisses und der zugehörigen GIS-Datenbank sowie deren Weiterleitung in die Bauphase. Standorte und Daten von Überwachungsstellen sowie Pläne für Minderungsmaßnahmen für RoW und Rohrleitungen müssen ebenfalls in die Bauphase überführt werden.

Beachtenswert ist Folgendes:

- Anforderungen an das Geogefahren-Risikomanagement von Rohrleitungen sind als eine der Grundlagen für die Optimierung des Auslegungsprogramms der Rohrleitung und die Entscheidungsfindung anzusehen, gemeinsam mit anderen Faktoren der Rohrleitungsauslegung, welche in der Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs bestimmt werden.
- Jede identifizierte Geogefahr muss bewertet werden, um ihre Auswirkung auf die Rohrleitung und den Umweltschutz zu bestimmen.
- Minderungsmaßnahmen sind für Geogefahren vorzuschlagen, deren ungeminderte Auswirkung unannehmbar ist.

Die empfohlenen Verfahrensweisen zur Umsetzung in dieser Phase sind wie folgt:

- a) Beginn der Identifizierung von Risiken für den in der Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs gewählten Hauptkorridor oder für alternative Korridore, die von der Auslegungsabteilung oder als Ergebnis der Abstimmung mit der Öffentlichkeit/Interessenvertretern vorgeschlagen wurden.
- b) Durchführung der Risikobewertung für die regionale Anfälligkeit für Geogefahren und einzelne Geogefahrenrisiken.
- c) Wiederholung der vorstehenden Schritte a) und b), bis alle identifizierten Geogefahren einen annehmbaren Risikograd aufweisen, erzielt durch Trassenänderung oder Anwendung angemessener Minderungsmaßnahmen.
- d) Erstellung einer PGMP-Schnittstelle mit dem Konstrukteur. Werden die Entwicklung und der Bau von derselben Einheit durchgeführt, wird es sich hierbei um eine interne Schnittstelle handeln.
- e) Diese Phase sollte wiederholt werden, falls sich das Eintrittspotenzial von Geogefahren während oder nach der Beurteilung signifikant ändert, z. B. durch menschliche Tätigkeiten (z. B. Bergbau oder Straßenbau), starke Stürme (z. B. einen tropischen Wirbelsturm) oder ein starkes Erdbeben.

4.3.4 Bauphase²⁾

Der Bau von Rohrleitungen in Bereichen, die anfällig für Geogefahren sind, birgt erhöhte Risiken für das Personal. Der Rohrleitungskonstrukteur sollte während der Ausschreibungsphase auf den Risikograd von Geogefahren hingewiesen werden. Insbesondere das erstellte Ausschreibungspaket sollte die im Rahmen des PGMP vom Konstrukteur erwarteten Pflichten beschreiben.

Der Bau einer Rohrleitung in einer Geogefahrenumgebung ist eine einmalige Phase während der Lebensdauer der Anlage und somit eine einmalige Phase des PGMP. Einige wichtige Betrachtungen umfassen Folgendes:

- Der relativ hohe Personalstand auf dem RoW während der Bauphase führt zu einem erhöhten Risiko von Personenschäden aufgrund von Geogefahren.
- Zuerst ist das RoW vollständig zu beräumen, um eine gründlichere Untersuchung der Baugrund- und Geogefahrenbedingungen zu ermöglichen und einige Merkmale am Boden untersuchen zu können, die zuvor lediglich durch Fernerkundung identifiziert wurden.
- Die Verfügbarkeit von Personal, Maschinen und logistischer Unterstützung, wie Transport und Lager, ist relativ hoch.
- Die RoW-Oberfläche wird vom Großteil der stabilisierenden Vegetation beräumt, was die Identifizierung und Beurteilung von Geogefahren ermöglicht, aber möglicherweise Erosion und Instabilität fördert.
- Die Vorbereitung des RoW wird umfangreiche Erdbewegungsarbeiten insbesondere in steilem Gelände erfordern, welche potenziell zusätzliche Geogefahren verursachen, wie z. B. steile Einschnitte sowie unverdichtete Aufschüttungs- und Verfüllungsbereiche.

2) Dieser Abschnitt ist so geschrieben, als wenn der Rohrleitungsplaner und der Konstrukteur unterschiedliche Einheiten wären. Wenn sie zu einer Einheit gehören, können einige der Leitlinien für Schnittstellen weiterhin gelten, obwohl diese Schnittstellen für die Einheit intern und nicht extern zwischen Einheiten sind. In beiden Fällen liegt es letztlich in der Verantwortung des Bedieners, durch das PGMP-Team sicherzustellen, dass das PGMP ordnungsgemäß von der Entwicklung in die Bauphase überführt wird.

- Das Ausfräsen des Rohrleitungsgrabens bietet eine einmalige Gelegenheit, die geotechnischen Untertagebedingungen entlang des RoW zu beurteilen.
- Die Verfügbarkeit von Personal von Maschinen bedeutet, dass die Bauphase wahrscheinlich der ideale Zeitpunkt für die Umsetzung der Maßnahmen zur Minderung der Geogefahren ist.

Die vier PGMP-Prozesse der Identifizierung, Beurteilung, Minderung und des Langzeitmanagements sind für die Bauphase anwendbar und nachstehend beschrieben:

Identifizierung: Die Identifizierung während der Bauphase beginnt mit dem in den vorangegangenen Phasen erstellten Geogefahrenverzeichnis. Dieses Verzeichnis muss dem Konstrukteur übergeben werden, typischerweise in Form von GIS-Formdateien und/oder rechnergestützten Konstruktionszeichnungen (CAD, en: computer aided design). Das Gestaltungspersonal des Konstrukteurs muss mit dem Protokoll für die Aufrechterhaltung bestehender und das Hinzufügen neuer Merkmale vertraut gemacht werden. Konstruktionszeichnungen, wie z. B. Ausrichtungsblätter, sollten die bestehende Geogefahren-Datenbank widerspiegeln.

Der Anwendungsbereich des PGMP während des Baus muss jedes vom Konstrukteur verwendete Profil abseits des RoW, einschließlich Zufahrtsstraßen und Steinbrüchen, umfassen.

Das PGMP-Team muss eine formelle Schnittstelle mit dem Konstrukteur einrichten, um die Aufsicht über das PGMP zu behalten. Früh im Prozess ist dafür zu sorgen, dass der angemessene Grad an Fachkunde hinsichtlich Geogefahren während des Baus verfügbar ist. Solche Fachkunde kann aus dem PGMP-Team und dem qualifizierten Personal des Auftragnehmers bestehen.

Aufsichtspersonen und Maschinenbediener, Fahrer und Arbeiter verbringen den Großteil der Zeit auf dem RoW und befinden sich in den „vordersten Linien“ bei der Identifizierung von Geogefahren. Sofern für das Gelände angemessen, müssen auch die Aufsichtspersonen und Ausrüstungsbediener des Auftragnehmers bezüglich Geogefahren ausgebildet werden. Derartiges Personal sollte Ausbildung zu persönlichen Sicherheitsrisiken aufgrund von Geogefahren und zur Identifizierung neuer Geogefahren erhalten.

Sämtliches Personal, das auf dem RoW anwesend sein darf, sollte hinsichtlich grundlegender Geogefahrenrisiken ausgebildet werden.

Aktualisierungen bestehender sowie neu identifizierte Geogefahren sind in der PGMP-Datenbank aufzuzeichnen.

Beurteilung: Während der Bauphase muss die Beurteilung sowohl für bereits dokumentierte als auch für neu erkannte oder erzeugte Geogefahren durchgeführt werden. Die Beurteilung darf von Mitgliedern des PGMP-Teams und dem Personal des Konstrukteurs vorgenommen werden, soweit angemessen. Einige wichtige Betrachtungen umfassen:

- Während der Entwicklungsphase kartierte Erdrutsche müssen weiterer Beurteilung während der RoW-Beräumung unterzogen werden, um den zugewiesenen Bedrohungsgrad auf den neuesten Stand zu bringen. Es dürfen Neigungsmesser an Stellen von Erdbewegungsarbeiten aufgestellt und Überwachungspläne erstellt werden.
- Veränderungen der Oberflächenentwässerung und der Vegetationsdecke während des Baus können die Stabilität bestehender Merkmale verringern.
- Während des Baus erzeugte Abraumhalden, Aufschüttungen und Erdschnitte müssen hinsichtlich der Bedrohung sowohl für das Baupersonal als auch für Anlagen abseits des RoW, wie z. B. Gebäude und Siedlungen in für Geogefahren vermutlich anfälligen Gebieten, beurteilt werden.

- Zur Unterstützung des Baus entwickelte Steinbrüche müssen unter dem Gesichtspunkt der Geogefahren beurteilt werden. Dies schließt kleinere Merkmale wie Felsstürze sowie größere globale Instabilitäten ein. Insbesondere letztere haben das Potenzial, sich aus dem RoW zu bewegen und auf benachbarte Gemeinden auszuwirken. Jeder für den Rohrleitungsbau genutzte Steinbruch muss über einen Steinbruch-Managementplan verfügen, der den Anforderungen des jeweiligen Landes entspricht.
- Aufgrund der Verfügbarkeit von Ressourcen kann die Bauphase möglicherweise die beste Gelegenheit für das PGMP-Team zur Beurteilung von Geogefahren durch eingreifende Untersuchungen, wie z. B. geotechnische Bohrungen, sein.

Minderung: Die Bauphase ist vermutlich der ideale Zeitpunkt für die Minderung bekannter Geogefahren, da die Verfügbarkeit von Personal und Maschinen auf einem Höhepunkt ist.

Maßnahmen zur Minderung bekannter Geogefahren sind als Teil der Grundausslegung umzusetzen. Beispiele umfassen technische Spaltenübergänge an bekannten aktiven Verwerfungen, Verstärkungen bekannter instabiler Hänge und zusätzliche Aufstellung von geplanten Vermessungsmarken und Überwachungsmessgeräten, wie z. B. Neigungsmessern.

Minderungsmaßnahmen können auch für während des Baus identifizierte Geogefahren erforderlich sein.

Minderungsmaßnahmen können Stabilisierungs- und/oder Entwässerungsarbeiten einschließen.

Alle baulichen Maßnahmen zur Minderung von Geogefahren müssen in den Bestandszeichnungen dokumentiert werden.

Langzeitmanagement: Während der Bauphase bezieht sich „Langzeitmanagement“ auf die Überwachung und das Management während der Anwesenheit des Konstrukteurs auf dem RoW vor Übergabe der fertiggestellten Anlage.

Die Stabilität von Einschnitten, Zufahrtsstraßen, Abbauwänden von Steinbrüchen, Abraumhalden und sonstigen potenziell instabilen Bereichen kann möglicherweise wiederkehrende Überwachung und Minderung während der Bauphase erfordern. Bauanlagen, wie z. B. Steinbrüche, die während der Betriebs- und Instandhaltungsphase nicht gebraucht werden, müssen ordnungsgemäß geschlossen und gesichert werden. Sofern angemessen, müssen Überwachungspläne für diese Bereiche erstellt werden.

Das Geogefahrenverzeichnis des Projekts wird während der Bauphase weiter ergänzt durch neu identifizierte Geogefahren, Neubeurteilung bestehender Geogefahren, Minderungsmaßnahmen und Überwachungsergebnisse. Dieses erweiterte Geogefahrenverzeichnis wird an die Betriebs- und Instandhaltungsphase weitergeleitet. Bestandsdokumentationen des Baus und Daten zu Schweißstellen und Qualität der Rohre sind ebenfalls relevante Daten für das PGMP.

Der Übergang vom Bau zu Betrieb und Instandhaltung ist ein bedeutender Meilenstein eines Projekts und zieht erhebliche Änderungen von Personal und Organisationen nach sich. Das PGMP-Team muss während dieses Übergangs eng eingebunden sein, um sicherzustellen, dass die Geogefahrendaten und Überwachungspläne genauestens an die Betriebsorganisation weitergeleitet werden und Durchgängigkeit des PGMP erzielt wird.

Die empfohlenen Verfahrensweisen zur Umsetzung in dieser Phase sind wie folgt:

- a) Beräumung des RoW.
- b) Beurteilung sowohl bereits dokumentierter als auch neu erkannter oder erzeugter Geogefahren.
- c) Umsetzung von Minderungsmaßnahmen auf der Grundlage des annehmbaren Risikogrades.

4.3.5 Betriebs- und Instandhaltungsphase

Das Geogefahren-Risikomanagement in dieser Phase muss wieder den vier primären Grundsätzen folgen:

Identifizierung: Die Identifizierung wird mit dem in den vorangegangenen Phasen erstellten Geogefahrenverzeichnis fortgeführt. Während der Betriebs- und Instandhaltungsphase wird die wiederkehrende Überwachung der Rohrleitung aus der Ferne und am Boden vermutlich das vorherrschende Mittel zur Identifizierung jeglicher neuer Geogefahren sein, die während der Lebensdauer der Rohrleitung entstehen. Insbesondere während des Beginns der Betriebsvorgänge muss das PGMP-Team jegliche neuen Geogefahren, wie z. B. aus den Baumaßnahmen resultierende Einschnitte und Abraumhalden, identifizieren. Unmittelbar nach dem Bau ist die Vegetationsdecke des RoW möglicherweise nicht vollständig ausgebildet. Das ist vorteilhaft unter dem Gesichtspunkt der Identifizierung von Geogefahren, aber auch unvorteilhaft unter dem Gesichtspunkt der RoW-Erosion.

Beurteilung: Die während des Projektbeginns eingeleiteten Überwachungspläne müssen zur Beurteilung identifizierter Geogefahren im Verzeichnis angewendet werden. Ablesungen des Neigungsmessers, Inspektion am Boden, Inline-Inspektion, wiederholte Geländeerkundung und Satellitenüberwachung sind alles anwendbare Techniken. Falls Bodenbewegung festgestellt wird, dürfen Rohrspannungsanalysen zur besseren Beschreibung der tatsächlichen Auswirkung der Geogefahr auf das Rohr sowie zur Bestimmung des Zeitpunkts und Umfangs jeglicher erforderlicher Minderungsmaßnahmen vorgenommen werden. Das PGMP-Team muss darüber hinaus alle möglichen Auswirkungen von Geogefahren auf die Umwelt abseits des RoW betrachten.

Minderung: Sobald die Rohrleitung verlegt ist, ist Vermeidung nicht länger eine Minderungsoption. Minderungsmaßnahmen und Eingriffe während der Betriebs- und Instandhaltungsphase dürfen RoW-Entwässerung, Stabilisierung von Hängen, Bodenabtrag, Wasserlaufmanagement und andere Maßnahmen in Abhängigkeit von der jeweiligen Geogefahr einschließen. Die laufende RoW-Instandhaltung kann möglicherweise der Notwendigkeit kostenaufwändigerer Minderungsmaßnahmen vorbeugen.

Langzeitmanagement: Das Langzeitmanagement von Geogefahren in dieser Phase besteht aus der weiteren Ergänzung des Geogefahrenverzeichnisses und der zugehörigen GIS-Datenbank sowie allen vorstehend aufgeführten Maßnahmen. Gegen Ende der Lebensdauer einer Anlage sind angemessene Stilllegungspläne zu erstellen, um die Langzeit-Stabilität des RoW nach Betriebsende sicherzustellen.

Beachtenswert ist Folgendes:

- Anwendung des PGMP, das in früherer Phase erstellt wurde, sofern vorhanden. Ist kein PGMP verfügbar, muss ein betriebsspezifisches PGMP entwickelt werden.
- Dynamisches Management muss zur Identifizierung, Bewertung und Minderung von Risiken der während der Betriebsvorgänge verursachten oder verschärften Geogefahren angewendet werden.
- Die während der Entwicklungs- und der Bauphase identifizierten Geogefahren sowie die zugehörigen Minderungsmaßnahmen müssen vor der Inbetriebnahme der Rohrleitung bestätigt werden.
- Der Geogefahren-Risikomanagementzyklus der Rohrleitung sollte entsprechend der Entwicklung verschiedener Geogefahren sowie in Kombination mit den Geschäftserfordernissen, festgelegten Plänen und sozialen Verantwortungen der Rohrleitungsbetreiberfirma bestimmt werden.
- Treten Ereignisse ein, welche das Geogefahrenrisiko ändern können, wie aufgrund menschlicher Tätigkeiten (z. B. Bergbau oder Straßenbau), starker Stürme (z. B. einen tropischen Wirbelsturm) oder eines starken Erdbebens, sollte so schnell wie vernünftig eine neue Runde Geogefahren-Risikomanagement erfolgen.

Die empfohlenen Verfahrensweisen zur Umsetzung in dieser Phase sind wie folgt:

- a) Beginn der Identifizierung von Risiken.
- b) Durchführung der Risikobewertung für die regionale Anfälligkeit für Geogefahren und einzelne Geogefahrenrisiken.
- c) Bewertung, ob das Risiko für die regionale Anfälligkeit der Rohrleitung für Geogefahren oder einzelne Geogefahren der Rohrleitung annehmbar ist.
- d) Entwicklung und Umsetzung der Risikominderung entsprechend dem Risikograd.
- e) Wiederholung der vorstehenden Schritte a), b), c) und d), bis der Risikograd des Rohrleitungssystems auf ein annehmbares Maß verringert ist.

Das PGMP ist zu beenden, wenn die Rohrleitung stillgelegt wird.

5 Identifizierung von Risiken

5.1 Allgemeines

Die Identifizierung von Risiken ist eine Hauptstufe des Geogefahren-Risikomanagements einer Rohrleitung und die Grundlage für die Durchführung der Risikobewertung. Sie sollte den Anforderungen der Risikobewertung in den verschiedenen Phasen der Rohrleitung entsprechen. Die technischen Empfehlungen für die Arbeiten in den verschiedenen Phasen sind in Tabelle 1 detailliert aufgeführt.

Die Identifizierung von Risiken darf mittels Desktop-Datenauswertung (5.3), Auswertung von Fernerkundungsbildern (5.4) und Felduntersuchung (5.5) erfolgen.

Bei geologisch sensiblen Bereichen oder komplizierten Geogefahren sollten, falls die Ergebnisse der Desktop-Datenauswertung, die Auswertung von Fernerkundungsbildern sowie nicht eingreifende Felduntersuchungen die Anforderungen der Risikobewertung nicht erfüllen können, geeignete geotechnische Untersuchungen (5.6) durchgeführt werden.

Die größte Senkung von Kosten in Zusammenhang mit dem Bau und der Langzeit-Instandhaltung aufgrund von Geogefahren kann während der Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs sichergestellt werden. Projektplaner sollten die folgende Reihe von Tätigkeiten zur Umsetzung dieser Phase durchführen:

- Frühestmögliches Heranziehen von SME, die mit den lokalen Geogefahren vertraut sind, um eine Liste der Arten glaubhafter Geogefahren zu erstellen, die entlang des geplanten Trassenverlaufs vorliegen können. Das wird die in dieser Phase zu berücksichtigenden Arten von Geogefahren bestimmen. Eine in der Arktis gebaute Rohrleitung beispielsweise sollte Dauerfrost als Teil des Gefahrenkatalogs berücksichtigen, was hingegen bei einer in den Tropen gebauten Rohrleitung nicht notwendig wäre.
- Bestimmung der Breite des Korridors, für den der Identifizierungsprozess ausgeführt werden sollte. Diese Breite kann in Abhängigkeit vom Gelände und von den vorliegenden Geogefahren schwanken. Die Korridorbreite sollte mindestens der Korridorbreite des Trassenverlaufs entsprechen und idealerweise in einem Abstand ausgeführt werden, der dem Abstand entspricht, innerhalb dessen Gefährdungen, die außerhalb des/der geplanten Trassenverlaufs/-verläufe entstehen, die Trasse beeinflussen könnten, wie Erdbeben mit langem Auslauf. In dieser Phase darf die Korridorbreite für den Identifizierungsprozess in der Größenordnung von 5 km bis 10 km liegen, abhängig von der Art der Geogefahr: der Beurteilungskorridor für Erosion und Bergbauabsenkung wird sehr schmal sein, wohingegen er für seismische und pyroklastische Bedrohungen möglicherweise viel breiter sein kann.
- Die Wirksamkeit der Identifizierung von Geogefahrenrisiken kann erheblich durch Fernerkundungsbilder verbessert werden.

In der Entwicklungsphase und der Bauphase:

- Die Korridorbreite für den Identifizierungsprozess darf in der Größenordnung von 1 km bis 2 km liegen, abhängig von den identifizierten Geogefahren.
- Standortspezifische Gefahrenuntersuchungen (5.5.1) sollten für alle in der Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs identifizierten Gefahren mit hohem Risiko für sämtliche von den Bauabteilungen berichteten verursachten Geogefahren durchgeführt werden.
- Während der Phase der Trassenverlaufswahl identifizierte Bereiche hoher Anfälligkeit sollten im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit stehen.
- Soweit für das jeweilige Projekt angemessen, sollte die Aufzeichnung der Formationslithologie, die während des Aushebens eines Rohrleitungsgrabens freigelegt wird, in Betracht gezogen werden.

In der Betriebs- und Instandhaltungsphase:

- Die Korridorbreite für den Identifizierungsprozess darf in der Größenordnung von 0,5 km bis 1 km liegen, abhängig von den jeweiligen Geogefahrbedrohungen.
- Die folgenden Daten müssen zusätzlich zu den in 5.3 festgelegten erfasst werden:
 - Bestandsdaten in der Auslegungs- und Bauzeit;
 - im Verlauf des Geogefahren-Risikomanagements in der Auslegungs- und Bauzeit erfasste Daten (sofern vorhanden);
 - während des vorangegangenen Geogefahren-Risikomanagements erfasste Daten (sofern vorhanden).
- Geogefahren entlang des gesamten Rohrleitungssystems sollten hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und Wiederkehrperiode angemessen analysiert sowie entsprechend dem/der vorangegangenen Risikomanagement oder Risikobewertung in der Auslegungs- und Bauzeit abgeschätzt und zusammengefasst werden.

Tabelle 1 — Technische Empfehlungen für die Risikoidentifizierung

Technische Empfehlungen	Auslegungs- und Bauzeit		Betriebszeit
	Technische Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs	Entwicklungsphase Bauphase	Betriebs- und Instandhaltungsphase
Ziel der Risiko-identifizierung	— Auflistung der Arten von Geogefahren, die entlang des Trassenverlaufs vorliegen können — Trassenalternativen zur Vermeidung von Geogefahren (sofern möglich)	Erfüllung der Anforderungen der Risikobewertung in diesen Phasen	Erfüllung der Anforderungen der Risikobewertung in dieser Phase
Identifizierungs-objekte	— Schwere Geogefahren — Geologisch sensible Bereiche	— Geogefahren, welche die Integrität des Rohrleitungssystems gefährden — Geogefahren, die durch Rohrleitungsbauarbeiten verursacht werden, oder potenzielle Bereiche, in denen Geogefahren durch Rohrleitungsbauarbeiten verursacht werden können — Geologisch sensible Bereiche	— Während der detaillierten Auslegung und der Bauzeit identifizierte Geogefahren — Während der Betriebszeit neu identifizierte Geogefahren — Geologisch sensible Bereiche
Genauigkeit der Identifizierung	Während der Gefahrenidentifizierung nach Landkarten, wie z. B. topografische Karten und Fernerkundungsbilder, wird ein Maßstab von 1 : 10 000 ~ 1 : 50 000 empfohlen	— Ein angemessener Maßstab (z. B. kann 1 : 10 000 für relativ harmlose Bereiche geeignet sein) für Landkarten, die bei der Felduntersuchung eingesetzt werden — Ein angemessener Maßstab (z. B. kann 1 : 2 000 für relativ harmlose Bereiche geeignet sein) für Landkarten, die bei geotechnischer Untersuchung eingesetzt werden	— Ein angemessener Maßstab (z. B. kann 1 : 10 000 für relativ harmlose Bereiche geeignet sein) für Landkarten, die bei der Felduntersuchung eingesetzt werden — Ein angemessener Maßstab (z. B. kann 1 : 2 000 für relativ harmlose Bereiche geeignet sein) für Landkarten, die bei geotechnischer Untersuchung eingesetzt werden

Technische Empfehlungen	Auslegungs- und Bauzeit		Betriebszeit
	Technische Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs	Entwicklungsphase Bauphase	Betriebs- und Instandhaltungsphase
Identifizierungsverfahren	— Auswertung von Daten (Landkarten, Text) — Auswertung von Fernerkundungsbildern (Satelliten-, Luftaufnahmen) — Felduntersuchung, soweit angemessen — Geotechnische Untersuchung, sofern erforderlich — Befragung von Anwohnern und Interessenvertretern	— LiDAR — Auswertung von Fernerkundungsbildern (Satelliten-, Luftaufnahmen) — Felduntersuchung auf Grundlage der Desktop-Datenauswertung — Geotechnische Untersuchung, sofern erforderlich	— Felduntersuchung auf Grundlage der Desktop-Datenauswertung — Fernüberwachung und -identifizierung durch Luft- und Raumfahrt erkundung — Geotechnische Untersuchung, sofern erforderlich — Bewertung des Rohrleitungsverhaltens mittels ILI-(Geometrie-)Werkzeug
Datenerfassung	— Landkarten, wie topografische Karten, hydrogeologische Karten, Karten der geologischen Struktur und Kurven seismischer Bodenbewegungsparameter — Text, wie z. B. geologische Daten, Richtlinien und Vorschriften, soziale und ökonomische Daten sowie sonstige verwandte Daten — Sonstige notwendige Texte und Landkarten	— Landkarten — LiDAR und andere Fernerkundungsbildgebung — Ergebnisse vorangegangener Phase — Materialien in Zusammenhang mit geologisch sensiblen Bereichen, die nicht vermieden werden können — Sonstige notwendige Texte und Landkarten	— Landkarten — Bestandsdaten der Entwicklungs- und der Bauzeit — Sonstige notwendige Texte und Landkarten
Ergebnisse	— Empfehlungen für alternative Rohrleitungstrassen — vorläufig sortierte Bereiche, die anfällig für Geogefahren und vermutete Geogefahren sind — Empfehlungen für Auslegung und Bau	Aufzeichnung der Identifizierungsobjekte (siehe Anhang B)	Aufzeichnung der identifizierten Objekte (siehe Anhang B)

5.2 Geogefahrenverzeichnis

Ein Geogefahrenverzeichnis ist zu erstellen, welches alle identifizierten Geogefahren auflistet. Dieses Verzeichnis muss während der gesamten Lebensdauer des Rohrleitungsprojekts geführt werden.

Die Entwicklung einer Standardvorlage für das Füllen des Geogefahrenverzeichnisses wird empfohlen. Idealerweise wäre das Verzeichnis rechnergestützt und mit einem GIS verbunden.

Die Angaben im Verzeichnis sollten, sofern angemessen, Folgendes einschließen [10]:

- Bezeichnung und eindeutige Identifikation der Geogefahr;
- Standort der Geogefahr;
- Geogefahrenprozess/-art (z. B. Erdbeben, Bodenabsenkung, Erdloch, Erosion, Unterspülung, Seismik usw.);
- Prozessrate;
- potenzielle Einwirkungen oder Auswirkungen von Geogefahren auf das Rohrleitungssystem;
- Auslösemechanismen von Geogefahren;
- steuernde Parameter;
- beitragende Parameter oder Faktoren (z. B. Sekundärereignisse mit möglichem Einfluss auf die Entstehung oder Schwere einer Geogefahr);
- Beziehungen zu und mögliche Zusammenhänge mit anderen Geogefahren;
- Einschränkungen von Geogefahren (z. B. räumliche oder physikalische Faktoren, welche Entstehung, Ausmaß oder Schwere einer Geogefahr begrenzen können);
- Identifizierungskriterien.

Die tatsächliche Datenstruktur des Verzeichnisses und die enthaltenen Datenfelder werden von der Anlage, der Geogefahrenumgebung und weiteren Projektanforderungen abhängig sein.

5.3 Desktop-Datenauswertung

Die Menge der erfassten und ausgewerteten Daten sollte für die Identifizierung vorläufiger geologischer Umgebungsbedingungen entlang des RoW ausreichen, einschließlich des regionalen geologischen Hintergrunds, der Geomorphologie, der Formationslithologie, des geologischen Aufbaus, hydrometeorologischer Bedingungen, Erdbeben und Verwerfungen, geschätzter potenzieller Geogefahrenarten und potenzieller sozioökonomischer Auswirkungen der Beschädigung einer Rohrleitung auf Grundlage des zuvor bestimmten sozioökonomischen Status entlang des RoW. Die Identifizierung von Geogefahrenrisiken sollte durch die angemessene Erfassung, Organisation und Überprüfung von durch das Projektteam und externe Parteien vorbereiteten Daten unterstützt werden. Beispiele externer Parteien, die möglicherweise Daten vorbereitet haben, welche für die Identifizierung von Geogefahrenrisiken maßgebend sind, umfassen Regierungsbehörden oder akademische Institutionen. Erfasste Daten sollten (u. a.) Folgendes umfassen:

- Daten in Zusammenhang mit der Rohrleitung und Stationen (z. B. Pumpstation, Kompressorstation, Ventilstation), wie Werkstoff und Durchmesser der Rohrleitung, Wanddicke, Schweißverfahren und Stationsfunktionen;
- geologische, hydrologische und sonstige zugehörige Daten, wie aktive Verwerfungen, seitliche und senkrechte Unterspülungswerte sowie ähnliche Angaben;

- Fernerkundungsbilder oder von anderen erfasste Bilder (nicht speziell für das Projekt erfasst; siehe 5.4);
- frühere Kartierung durch andere (typischerweise durch Regierungsbehörden oder akademische Institutionen), wie Verwerfungskartierung, frühere Erdrutschkartierung, hydrografische Datensätze, bekannte Bereiche von Absenkung und Untertage-Bergbau, probabilistische Karten seismischer Gefährdungen, Bodenkartierung und vergleichbare Bezugsdaten;
- Verteilung mineralischer Bodenschätze und Bergbaurecht;
- sozioökonomisches Umfeld;
- Dokumente, wie auf Geogefahren bezogene Gesetze, Vorschriften und Pläne, verfasst durch Regierungsbehörden;
- menschliche Tätigkeiten (z. B. Bergbau oder Straßenbau).

5.4 Auswertung von Fernerkundungsbildern

Die Wirksamkeit der Identifizierung von Geogefahrenrisiken kann erheblich verbessert werden durch Erfassung projektspezifischer Fernerkundungsbilder, wie z. B. LiDAR-Luftaufnahmen und Satellitenaufnahmen, insbesondere in der Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs. Diese Verfahren können auch selektiv angewendet werden in den Phasen von Entwicklung, Bau sowie Betrieb und Instandhaltung, um eine stärkere Verfeinerung und Identifizierung des oberflächlichen Ausmaßes der Gefahr zu erzielen.

5.5 Felduntersuchung

5.5.1 Felduntersuchungstechniken

Die folgenden Felduntersuchungstechniken können einzeln oder in Kombination mit anderen nützlich sein bei der Durchführung des PGMP:

- Lufterkundung des Trassenverlaufs und/oder der Korridore zur Identifizierung und Bewertung von Geogefahren;
- standortspezifische Gefährdungsuntersuchungen als detaillierte Vor-Ort-Untersuchung durch Fachpersonal auf einzelne spezifische oder vermutete Geogefahren in einem kleinen Abschnitt oder einem landseitigen Gebiet/Standort, der/das weitere Untersuchung erfordert;
- geophysikalische Erkundungen (Bodenradar, elektromagnetische Leitfähigkeit des Geländes, Bildgebung mit elektrischem Widerstand, Refraktionsseismik/Akustik);
- eingreifende Untersuchungen, einschließlich Suchschnitten, Probebohrungen und zugehörigen Boden-Laborprüfungen;
- Messgerät zur Überwachung der Rohrleitungsintegrität und der Eigenschaften einer Geogefahr, wie z. B. Neigungsmesser an Hängen bei Erdrutschen, Radarreflektoren und Dauerreflektoren bei Erdrutsch- oder Bodenabsenkungsprozessen, Verformungsmessung, Lichtwellenleitermessung, elastische geführte Wellen für die Rohrleitungsintegrität. Zu weiteren Überwachungsverfahren siehe 7.2.1;
- sonstige wirksame Mittel, wie Luft-LiDAR.

5.5.2 Anwendungsbereich der Felduntersuchung

Der Anwendungsbereich der Felduntersuchung kann das gesamte Rohrleitungssystem umfassen, Teilabschnitte, einzelne Geogefahren, geologisch sensible Bereiche oder andere Problembereiche.

5.5.3 Empfehlungen für die Felduntersuchung

Zu Empfehlungen für die Felduntersuchung zur Risikoidentifizierung siehe Anhang B.

5.6 Geotechnische Untersuchung

Der Zweck geotechnischer Untersuchungen ist das Dokumentieren der detaillierten technischen und geologischen Bedingungen von Geogefahren und somit das Bereitstellen der für die Risikobewertung erforderlichen Daten. Geotechnische Untersuchungen dürfen Desktop-Datenauswertung, Auswertung von Fernerkundungsbildern und Felduntersuchungen ergänzen.

6 Risikobewertung

6.1 Allgemeines

Ziel einer Geogefahren-Risikobewertung ist die Bewertung der Wahrscheinlichkeit und Folgen eines Rohrleitungsversagens aufgrund von Geogefahren sowie die Feststellung, ob Maßnahmen zur Minderung des Risikos erforderlich sind. Dies kann Maßnahmen zur Minderung und Behebung umfassen, um das Eintreten oder das Ausmaß von Gefährdungsereignissen zu verringern, welche zu einem Versagen der Rohrleitung führen können, oder die Folgen solcher Ereignisse zu mildern. Eine Reihe von Risikobewertungsverfahren ist verfügbar, aber die Schlüsselemente sind bei allen Verfahrensweisen gleich:

- a) Gefahrenidentifizierung, einschließlich Ausmaß und Häufigkeit des Ereignisses (Abschnitt 5).
- b) Wahrscheinlichkeit von Rohrleitungsversagen als Ergebnis des Eintritts einer Gefahr.
- c) Analyse der Folgen von Rohrleitungsversagen.
- d) Risikoabschätzung auf der Grundlage von b) und c).
- e) Risikobeurteilung zur Feststellung der Bedeutung des abgeschätzten Risikos.

Die Risikobewertung vereint Risikoabschätzung und Risikobeurteilung, um zu bestimmen, ob Maßnahmen zur Verringerung des Risikos erforderlich sind. Als Teil der Risikobewertung erfolgen Betrachtungen der verfügbaren Optionen für die Minderung und Verringerung des Risikos, einschließlich der Kosten möglicher Maßnahmen. Das Risikomanagement, einschließlich Entscheidungen über angemessene Minderungsmaßnahmen, wird in Abschnitt 7 behandelt.

Die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit eines Rohrleitungsversagens aufgrund eines Geogefahrenereignisses ist eine Herausforderung. In einigen Fällen kann der Versagensmechanismus in Konstruktionsmodellen simuliert werden, dafür ist jedoch die Festlegung repräsentativer Eingabeparameter erforderlich, wie z. B. bodenbedingte Einschränkungen und Dehnungsverhalten von Rohrleitungen. Qualitative Beurteilungen von Rohrleitungsversagen beruhen regelmäßig auf dem erwarteten Ausmaß von Bodenverschiebung.

Bei der Analyse der Folgen wird eine Reihe möglicher Versagensarten betrachtet, wie z. B. der Verlust des Einschlusses der Rohrleitung, das vermutete Verhalten des Produkts nach dem Versagen und die potenzielle Auswirkung auf die Umwelt. Die detaillierte Bewertung zur Abschätzung einer Gefahrenzone kann durchgeführt werden, wenn Betriebsdaten der Rohrleitung vorliegen, unter Einsatz von Ausström- und Verteilungsmodellierung sowie Berechnung der Wärmestrahlung. Die Folgen werden für Bereiche wie Sicherheit, Umwelt, Wirtschaft und Reputation bewertet.

Die Risikobeurteilung umfasst eine Bewertung, ob der Risikograd für die Kombination aus der Wahrscheinlichkeit des Rohrleitungsversagens und den anschließenden Folgen annehmbar ist. Ein annehmbarer Risikograd darf durch Vorschriften oder durch den Betreiber unter Anwendung von Industrienormen oder besten Praktiken bestimmt werden.

Die Risikobewertung ist auf der Grundlage der Risikoidentifizierung durchzuführen und dient als Basis für die Risikominderung. In Abhängigkeit von den Umständen sollte sie in zwei Stufen umgesetzt werden, wobei erstens die Bewertung der regionalen Anfälligkeit der Rohrleitung für Geogefahren (6.3) und zweitens die Risikobewertung für einzelne Geogefahren einer Rohrleitung (6.4) betrachtet werden.

6.2 Bewertungssysteme und -verfahren

6.2.1 Bewertungssysteme

Ein PGMP sollte (ein) geeignete(s) Bewertungssystem(e) zur Bewertung oder Berechnung der Risiken aufgrund von Geogefahren anwenden. Bewertungssysteme können grob in qualitative, semiquantitative und quantitative Verfahren unterteilt werden.

Die Bestimmung der Arten und Verfahren von Bewertungssystemen sind Elemente von kritischer Bedeutung für ein wirksames Geogefahrenmanagement, da das Bewertungssystem die Art der Datenerfassung sowie die während der Identifizierungs- und Beurteilungsprozesse angewendeten Verfahren sowie letztlich die Reaktion auf bekannte und potenzielle Geogefahren bestimmt. Vor Beginn der Identifizierungs- und Beurteilungsprozesse sollte ein Bewertungssystem bestimmt werden.

Betreiber oder Dritte, die ein PGMP umsetzen, sollten bei der Wahl und Anwendung eines Bewertungssystems Folgendes berücksichtigen:

- Die Art der vermutlich entlang der Rohrleitungstrasse(n) vorliegenden Geogefahren. Gegebenenfalls darf für jede Art von Gefährdung ein gesondertes Bewertungssystem angewendet werden (d. h. gesonderte Systeme für Erdbeben, hydrotechnische Gefährdungen, Absenkung usw.).
- Die entlang der Rohrleitungstrasse vorliegenden örtlichen geologischen Bedingungen sollten berücksichtigt werden. Ein Bewertungssystem, das für ein Gebiet angemessen ist, kann für ein anderes ungeeignet sein. Betreiber von Rohrleitungen, die durch mehrere geologische Umgebungen verlaufen, brauchen möglicherweise mehrere Bewertungssysteme, um diesen örtlichen Unterschieden, auch für eine einzelne Art von Geogefahr, Rechnung zu tragen.
- Die Arten von Daten, die realistischerweise während der Identifizierungs- und Beurteilungsprozesse erfasst werden können. Bewertungssysteme sollten nicht auf der Datenerfassung beruhen, sofern die Erfassung dieser Daten im Verlauf der Auslegung oder des Betriebs der Rohrleitung schwierig oder unwahrscheinlich ist.
- Den Stand der Praxis für jede Gefährdungsart hinsichtlich der Entscheidung, ob qualitative, semiquantitative oder quantitative Bewertungssysteme angewendet werden. Für einige Gefährdungsarten ist der Stand der Wissenschaft nicht bis zu dem Punkt fortgeschritten, an dem quantitative oder wenigstens semiquantitative Bewertungen durchführbar sind. Es ist wichtig, die Grenzen des derzeitigen Standes der Praxis vor Anwendung eines Bewertungssystems klar zu verstehen. Versuche der Umsetzung eines semiquantitativen oder quantitativen Systems mit unvollständigen Daten oder unvollständigem Verständnis von Gefährdungsmechanismen kann zu verfälschten Ergebnissen führen, die weniger zuverlässig sind als eine gut dokumentierte und rigorose qualitative Bewertung, die durch kompetente SME durchgeführt wurde.
- Die verfügbaren Arten von Minderungs- und Überwachungsoptionen. Bei wenigen Optionen ist ein relativ einfaches Bewertungssystem ausreichend. Sind hingegen viele Reaktionsmöglichkeiten anwendbar, muss das Bewertungssystem ausreichend komplex sein, um diese vielfältigen Optionen zu berücksichtigen.

- Die Rohrleitungseigenschaften, wie z. B. Durchmesser, Klasse, Werkstoff, Produkt, Wanddicke und Schweißverfahren.
- Die Folgen von Auswirkungen der Rohrleitung auf die Umwelt und den Rohrleitungsbetrieb.

6.2.2 Bewertungsverfahren

Verfahren zur Risikobewertung werden als qualitativ, semiquantitativ und quantitativ eingestuft, Tabelle 2. Das angemessene Bewertungsverfahren sollte für verschiedene Rohrleitungsphasen und Arbeitsanforderungen gewählt werden.

Bekanntlich werden mitunter die für die verschiedenen Verfahrensweisen verwendeten Begriffe unterschiedlich definiert, insbesondere bei Bewertungsprogrammen in qualitativen Verfahren und Abschätzungen der Ereigniswahrscheinlichkeit in semiquantitativen Programmen.

Die Einheitlichkeit der in der Geogefahren-Risikobewertung verwendeten Terminologie und Definitionen ist erstrebenswert. Dadurch werden Probleme beim Vergleich der Untersuchungen durch unterschiedliche Praktiker, insbesondere in derselben Umgebung oder an demselben Standort, auf ein Mindestmaß verringert.

Tabelle 2 — Beschreibung von Verfahren der Geogefahren-Risikobewertung

Verfahren	Anwendungsbereich	Vorteile	Nachteile
Qualitativ	Wahrscheinlichkeit und Folgen der Gefährdung, qualitativ ausgedrückt. Risiko, gewöhnlich Klassen in einem Matrixformat zugeordnet.	Beruhend auf Beobachtung, Erfahrung und Schlussfolgerung. Ermöglicht den grundlegenden Vergleich unterschiedlicher Risikograde.	Das Verfahren ist subjektiv. Fachkundige Beurteilung ist erforderlich zur Durchführung der Bewertungen und zur Verringerung von Uneinheitlichkeit zwischen Vergleichen.
Semi-quantitativ	Numerische Abschätzungen der relativen Bedeutung der Schlüsselparameter zur Kontrolle der Geogefahrenmechanismus sowie zur Zuordnung von Gewichtungsfaktoren. Bedrohungs- und Folgenklassen sind einer qualitativen Matrix ähnlich, allerdings mit numerischen Bereichen.	Robuster und weniger subjektiv als qualitative Verfahren. Systematische Klassifizierung von Schlüsselfaktoren für die einfache und rasche Beurteilung der Geogefahr. Bietet Überprüfung und Priorisierung von Risiken. Kann für GIS-Datenerfassungs- und -Verarbeitungsverfahren angepasst werden.	Gilt gewöhnlich für spezifische Regionen und ist nicht einfach auf unterschiedliche geografische oder geologische Umgebungen übertragbar. Fachkundige Beurteilung ist erforderlich zur Sicherstellung der Einheitlichkeit zwischen Bewertungen.

Verfahren	Anwendungsbereich	Vorteile	Nachteile
Quantitativ	Technische und statistische Modelle werden zur Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit und Folge eines Ereignisses verwendet.	Angesehen als objektiv und als unterstützend für den rigorosen Vergleich relativer Risiken. Robuste Verfahrensweise zur Verringerung der Unsicherheit und Erhöhung des Vertrauens in die Bewertungsergebnisse für die Entscheidungsfindung.	Sehr aufwändig hinsichtlich Datendefinition und -auswertung. Die Signifikanz oder Schwäche der Annahmen im Mechanismus oder in den Daten kann innerhalb der Auswertung unklar oder verborgen sein. Einige Gefährdungsarten können unter Anwendung bestehender Technologie/Wissenschaft angesichts der Zeitvorgaben und Einschränkungen von Rohrleitungsprojekten nicht wirksam quantifiziert werden.

Ein Beispiel eines qualitativen Verfahrens ist in Anhang D und ein Beispiel eines semiquantitativen Verfahrens ist in Anhang E angegeben.

Es gibt kein einzelnes empfohlenes Verfahren zur Bewertung des Geogefahrenrisikos. Die Wahl des geeigneten Verfahrens wird vom Quantifizierungsgrad abhängen, der für die Festlegung des annehmbaren Risikos und des verfügbaren Umfangs detaillierter Informationen erforderlich ist. Die folgenden Faktoren sollten bei der Wahl des am besten geeigneten Verfahrens berücksichtigt werden:

- Festlegung des Zwecks der Risikobewertung in Zusammenhang mit der Bedeutung der Entscheidungen, die auf Grundlage der Ergebnisse zu treffen sind;
- der Anwendungsbereich der Bewertung beruhend auf:
 - der Art der Gefährdung(en) (z. B. wird sich das Verfahren für Erdbeben vom Verfahren für Flussquerungen unterscheiden);
 - dem geografischen Gebiet (z. B. können die Größe des Untersuchungsgebiets und die geologischen oder topografischen Unterschiede verschiedene Verfahrensweisen erfordern);
 - der Zeitdauer (z. B. ein einzelnes Gefährdungsereignis oder die Einwirkung während der Betriebsdauer);
- die Ressourcen und die Zeit, die für die Bewertung zur Verfügung stehen und den Anwendungsbereich beeinflussen;
- die Verfügbarkeit historischer Daten oder geplanter Untersuchungen zur Unterstützung der Bewertung;
- die Phase des Projekts (z. B. Planung, Wahl des Trassenverlaufs, Entwicklung, Bau, Betrieb);
- die Elemente, die nachteiligen Auswirkungen von Rohrleitungsversagen ausgesetzt sind (z. B. Personen, Eigentum, Umwelt);
- die Art der beteiligten Unsicherheiten;
- die Annahmen in der Bewertung.

Das Hauptaugenmerk der Bewertung von Risiken aufgrund von Geogefahren liegt gewöhnlich auf der Identifizierung von Gefährdungen und der Wahrscheinlichkeit von Versagen; diese ist besonders gebräuchlich während der Auslegung der Rohrleitung. Daher werden häufig qualitative oder semiquantitative Verfahren aufgrund der Datenverfügbarkeit und der Zeitbegrenzungen angewendet. Bei der Analyse der Folgen unter Anwendung dieser Verfahren würden gewöhnlich Verfahrensweisen zur Einstufung der Folgenklasse eines Rohrleitungsversagens nach Tabelle D.3 und Tabelle E.3 für qualitative bzw. semiquantitative Verfahren angewendet.

Die Ausgereiftheit, Wirksamkeit und Durchführbarkeit angewendeter quantitativer Bewertungsverfahren sollte bei deren Anwendung vollständig betrachtet werden. ASME B31.8S enthält Beispiele für Datensätze, die für jeden Abschnitt erfasst und überprüft werden sollten, bevor eine Risikobewertung durchgeführt werden kann. Fehlen die Daten, sind konservative Annahmen für die Durchführung der Risikobewertung zu verwenden, oder der Abschnitt ist alternativ in eine höhere Kategorie zu priorisieren, ausgehend von den zu erwartenden konservativen Annahmen der fehlenden Daten. Beispiele für Daten können u. a. Folgendes einschließen:

- Rohrverbindungsverfahren (z. B. mechanisches Verbinden, Acetylschweißen, Lichtbogenschweißen);
- Topografie und Bodenbedingungen (z. B. instabile Hänge, Gewässerquerungen, Wassernähe, Anfälligkeit für Bodenverflüssigung);
- Erdbebenverwerfungen (z. B. Lage und Art, Umfang, Verschiebung, Wiederkehrperiode);
- Bodenbeschleunigungsprofil nahe Verwerfungszonen (z. B. mehr als 0,2g Beschleunigung);
- Bodeneigenschaften (z. B. Stratigrafie, jahreszeitliche Frosttiefe, Grundwasser);
- Jahr der Verlegung;
- Rohrklasse, -durchmesser und -wanddicke [Berechnung der inneren Spannung zusätzlich zur äußeren Belastung; die Gesamtspannung darf 100 % der festgelegten Mindeststreckgrenze (en: specified minimum yield strength, SMYS) nicht überschreiten].

Empfehlungen und Einzelheiten für Bewertungsverfahren sind angegeben in Lee and Jones (2014); Australian Geomechanics Society (2000); van Westen, Alkema, Damen, Kerle and Kingma (2011); Rizkalla (2008); Esford, Porter, Savigny, Muhlbauer and Dunlop (2004); Lekakakis, Boone, Strassburger, Li, and Duffy (2015); Jing, Hao, Han, Wu (2009).

6.3 Bewertung der regionalen Anfälligkeit einer Rohrleitung für Geogefahren

Gebiete regionaler Anfälligkeit einer Rohrleitung für Geogefahren können nützlich sein, wenn eine sehr lange Rohrleitung betrachtet wird, welche viele unterschiedliche Gelände und physiologische Gebiete quert. Innerhalb dieser Gebiete können vergleichbare Geogefahren vorliegen und gemeinsame Eigenschaften aufweisen. Die Anfälligkeit darf in drei Stufen unterteilt werden (Gebiete hoher, moderater und geringer Anfälligkeit) auf Grundlage der Komplexität der geologischen Umgebungsbedingungen und der Bedrohungen durch einzelne Geogefahren; erforderlichenfalls können sie weiter unterteilt werden. Die Grundsätze der Gebietseinteilung sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Grundsätze der Gebietseinteilung für die regionale Anfälligkeit einer Rohrleitung für Geogefahren

Anfälligkeitsgrad	Risikobeschreibung
Gebiet hoher Anfälligkeit	Unannehmbares Risiko: Geologische Umgebungsbedingungen sind komplex, und zahlreiche einzelne Geogefahren mit starkem Einfluss auf die Rohrleitung werden während ihrer gesamten Lebensdauer auftreten
Gebiet moderater Anfälligkeit	Bedingt annehmbares Risiko: Geologische Umgebungsbedingungen sind mittelschwer, und einzelne Geogefahren mit starkem Einfluss auf die Rohrleitung können während ihrer gesamten Lebensdauer auftreten
Gebiet geringer Anfälligkeit	Annehmbares Risiko: Geologische Umgebungsbedingungen sind einfach, und einzelne Geogefahren mit starkem Einfluss auf die Rohrleitung sind während ihrer gesamten Lebensdauer unwahrscheinlich
ANMERKUNG Anhang C.	Zur vorgeschlagenen Einstufung nach der Komplexität geologischer Umgebungsbedingungen siehe

6.4 Bewertung einzelner Geogefahren von Rohrleitungen

Der Betreiber sollte ein Klassifizierungssystem für Geogefahrenrisiken in Übereinstimmung mit seiner Risikomatrix oder anderen Mitteln des Risikomanagements entwickeln. Risiken dürfen beispielsweise in vier Kategorien eingestuft werden, wie in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4 — Beispiel-Einstufungskategorien für einzelne Geogefahrenrisiken

Risikograd	Risikobeschreibung
Sehr hoch	Unannehmbares Risiko, das sofort verringert werden muss
Hoch	Unannehmbares Risiko, das innerhalb begrenzter Zeit verringert werden muss
Moderat	Bedingt annehmbares Risiko, muss weiterhin Gegenstand der Aufmerksamkeit sowie der aktiven Überwachung und Bewertung bleiben
Gering	Annehmbares Risiko, sollte weiterhin Gegenstand der Aufmerksamkeit bleiben

7 Risikominderung

7.1 Allgemeines

Vernünftigerweise durchführbare Minderungsmaßnahmen sollten angewendet werden, bis das abgeschätzte Risiko auf ein annehmbares Maß verringert ist.

Die Entscheidung über gewählte Verfahren zur Minderung von Geogefahren sollte in Zusammenarbeit mit Geogefahren-SME, Rohrleitungsplanern, Baufachkräften und Betriebspersonal getroffen werden und unter Anwendung der folgenden wichtigen Grundsätze umgesetzt werden:

- Vor Umsetzung einer Minderungsmaßnahme sollte ein klares Verständnis der Gefährdungseigenschaften, einschließlich Grenzen, Bewegungsgeschwindigkeit, Tiefe und Mechanismus, vorliegen. Die

gewählte Minderungsmaßnahme muss die tatsächlichen Eigenschaften der Gefährdung behandeln. Diese Informationen sollten während der Beurteilungsphase gesammelt werden.

- Das gewählte Verfahren muss standort- und gefährdungsspezifisch sein.
- Das gewählte Verfahren muss geeignet sein für Ort, Zeitpunkt der Umsetzung, Geländebedingungen und muss die Verfügbarkeit von Ausrüstung, Zugänglichkeit und andere Betrachtungen berücksichtigen, die dazu führen können, dass Verfahren in einem Gebiet geeignet und in einem anderen ungeeignet sind.
- Minderungsmaßnahmen, welche regelmäßige Instandhaltung oder Folgemaßnahmen erfordern, sollten in schwer zugänglichen Bereichen vermieden werden.

Minderung sollte weitestmöglich während der Bauphase erfolgen. Kosten und Aufwand für die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen sind gewöhnlich während des Baus viel geringer als während des Betriebs.

Die Optionen für die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen während der Betriebs- und Instandhaltungsphase können begrenzter sein als während der Bauphase aufgrund von Zugangseinschränkungen und der Schwierigkeit beim Transport schwerer oder spezialisierter Ausrüstung zu abgelegenen Standorten. Bei der Planung sollte die jeweilige Einfachheit oder Schwierigkeit des Transports von Ausrüstung an einen Standort, der Minderungsmaßnahmen erfordert, berücksichtigt werden.

7.2 Minderungsmaßnahmen

7.2.1 Physikalische und verfahrenstechnische Minderungsmaßnahmen

Ausgehend von der Zielsetzung der Minderungsmaßnahmen darf die Rohrleitung gegen Geogefahren durch eine Kombination physikalischer und verfahrenstechnischer Minderungsmaßnahmen am Standort jeder identifizierten Geogefahr geschützt werden. Beispiele für potenzielle physikalische und verfahrenstechnische Minderungsmaßnahmen sind in Anhang F angegeben.

- Der Nachweis ist zu erbringen, dass die physikalischen Minderungsmaßnahmen das RoW und/oder die Rohrleitung gegen die festgelegte Geogefahr schützen. Der Zweck physikalischer Minderungsmaßnahmen ist die Verhinderung von Versagen aufgrund einer identifizierten Geogefahr, indem entweder der Kontakt mit der Rohrleitung physikalisch verhindert oder ein angemessener Eindringwiderstand im Rohr selbst vorgesehen wird. Typische physikalische Minderungsmaßnahmen umfassen die Verstärkung oder den Schutz des Rohrkörpers, die Verhinderung von Geogefahren, die grabenlose Verlegung, Vermeidung oder Trassenänderung usw.; Tabelle F.1 enthält Beispiele für physikalische Minderungsmaßnahmen.
- Der Nachweis ist zu erbringen, dass die verfahrenstechnischen Minderungsmaßnahmen die Häufigkeit der Geogefahr wirksam verringern. Der Zweck verfahrenstechnischer Minderungsmaßnahmen ist die Minimierung der Wahrscheinlichkeit einer Geogefahr, welche das Potenzial hat, eine Rohrleitung zu beschädigen und ohne Kenntnis des Betreibers einzutreten, sowie die Maximierung der Wahrscheinlichkeit, dass sich Personen, die eine derartige Geogefahr verursachen, sowohl des Vorhandenseins der Rohrleitung als auch der möglichen Folgen ihrer Beschädigung bewusst sind. Typische verfahrenstechnische Minderungsmaßnahmen umfassen Patrouilleninspektionen, Bewusstmachung, Management von Erdarbeiten, Überwachung usw. Beispiele für Überwachungsverfahren sind in Tabelle F.3 angegeben.

ANMERKUNG Weitere Angaben sind AS 2885.1 zu entnehmen.

Die Minderung von Geogefahrenrisiken sollte nach Tabelle 5 erfolgen.

7.2.2 Kurzzeit- und Langzeit-Minderungsmaßnahmen

Physikalische Minderung kann weiter grob in zwei Hauptkategorien unterteilt werden:

- Kurzzeit-Minderungsmaßnahmen, die für die Verringerung des Risikos für eine Rohrleitung oder ein RoW in Zusammenhang mit der Geogefahr vorgesehen sind, aber das Risiko aufgrund der Geogefahr nicht vollständig beseitigen. Ein Beispiel für eine Kurzzeit-Minderungsmaßnahme ist das Ausgraben des betroffenen Rohrleitungsabschnitts zur Entlastung der Dehnungsakkumulation im Rohr.
- Langzeit-Minderungsmaßnahmen, die für die wirksame (bei ordnungsgemäßer Ausführung) Beseitigung der Geogefahr als Bedrohung, wie geotechnische Stabilisierung eines instabilen Berghangs.

Es sollte eindeutig festgestellt werden, ob das gewählte Verfahren die Kurzzeit-Minderung oder die Langzeit-Minderung zum Ziel hat.

Bei Anwendung einer Kurzzeit-Minderungsmaßnahme ist ein Prozess zur Überwachung der Geogefahr und zur Identifizierung der Bedingungen, welche zusätzliche Minderungsmaßnahmen erfordern, zu erstellen.

Bei Anwendung einer Langzeit-Minderungsmaßnahme ist ein Prozess zur Bestätigung ihrer Wirksamkeit oder, falls sie nicht funktioniert, zur Ergreifung angemessener Korrekturmaßnahmen zu erstellen.

Die Anwendung von Minderungsmaßnahmen sollte auf dem betreiber-/rohrleitungsspezifischen Klassifizierungssystem beruhen.

Tabelle 5 — Grundsätze der Minderung von Geogefahrenrisiken

Risikograd einzelner Geogefahren	Grundsätze
Sehr hoch	— Durchführung physikalischer oder verfahrenstechnischer Minderungsmaßnahmen zur Behandlung der Anfälligkeit für Geogefahren, der Verwundbarkeit der Rohrleitung oder der Folgen eines Rohrleitungsversagens, zur Verringerung des Risikos auf ein moderates oder geringeres Maß nach Tabelle 4. — Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Rohrleitung. Anpassung des Rohrwerkstoffs, der Wanddicke und der Schweißverfahren zur Steigerung der Rohrleitungsintegrität. — Das Risiko muss sofort bei der Anwendung der Minderungsmaßnahmen verringert werden. — Durchführung einer neuen oder der nächsten Runde des Risikoidentifizierungs- und -bewertungsverfahrens, bis die Risiken auf ein geringes Maß gesenkt sind.
Hoch	— Durchführung physikalischer oder verfahrenstechnischer Minderungsmaßnahmen zur Behandlung der Anfälligkeit für Geogefahren, der Verwundbarkeit der Rohrleitung oder der Folgen eines Rohrleitungsversagens, zur Verringerung des Risikos auf ein moderates oder geringeres Maß, nach Tabelle 4. — Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Rohrleitung. Anpassung des Rohrwerkstoffs, der Wanddicke und der Schweißverfahren zur Steigerung der Rohrleitungsintegrität. — Das Risiko muss innerhalb begrenzter Zeit nach der Anwendung der Minderungsmaßnahmen verringert werden. — Durchführung eines neuen oder der nächsten Runde des Risikoidentifizierungs- und -bewertungsverfahrens, bis die Risiken auf ein geringes Maß gesenkt sind.
Moderat	— Durchführung verfahrenstechnischer Minderungsmaßnahmen zur Verringerung des Risikos auf ein geringes Maß nach Tabelle 4. — Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Rohrleitung. Anpassung des Rohrwerkstoffs, der Wanddicke und der Schweißverfahren zur Steigerung der Rohrleitungsintegrität. — Durchführung eines neuen oder der nächsten Runde des Risikoidentifizierungs- und -bewertungsverfahrens, bis die Risiken auf ein geringes Maß gesenkt sind.
Gering	— Entwicklung eines Risikomanagementplans zur Verhinderung der Verschärfung von Geogefahren. — Bei Verschärfung von Geogefahren ist rechtzeitig eine neue Runde von Risikoidentifizierungs- und -bewertungsverfahren durchzuführen.

8 Techniken und Verfahren für das Geogefahren-Risikomanagement

Für das Geogefahren-Risikomanagement von Rohrleitungen angewendete Techniken und Verfahren sollten hinsichtlich der technischen Durchführbarkeit, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und anderer Aspekte betrachtet werden, um die optimale Wahl zu treffen. Tabelle 6 enthält Beispiele für Techniken und Verfahren, die für verschiedene Phasen der Lebensdauer einer Rohrleitung geeignet sind.

Tabelle 6 — Techniken und Verfahren

Phase	Techniken und Verfahren		Auslegungs- und Bauphase			Betriebsphase
			Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs	Entwicklungsphase	Bauphase	Betriebs- und Instandhaltungsphase
Risiko-identifizierung	Desktop-Datenauswertung (5.3)		●	●	●	●
	Auswertung von Fernerkundungsbildern (5.4)		●	●	●	●
	Felduntersuchung (5.5)	Lufterkundung	◐	◐	◐	◐
		Standortspezifische Gefahrenuntersuchungen	◐	●	●	●
		Geophysikalische Erkundungen	◐	◐	◐	◐
		Eingreifende Untersuchungen	◐	●	●	●
		Überwachung	◐	◐	◐	◐
	Geotechnische Untersuchung (5.6)		◐	●	●	●
Risiko-bewertung	Qualitative Bewertung (siehe Anhang D)		●	●	●	●
	Semiquantitative Bewertung (siehe Anhang E)		●	●	●	◐
	Quantitative Bewertung		◐	◐	◐	◐

Phase	Techniken und Verfahren		Auslegungs- und Bauphase			Betriebsphase
			Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs	Entwicklungsphase	Bauphase	Betriebs- und Instandhaltungsphase
Risiko-minderung	Physikalische Risiko-minderungsmaßnahmen (siehe Anhang F)	Verstärkung und Schutz des Rohrkörpers	○	◐	◐	●
		Verhinderung von Geofahren	○	◐	◐	◐
		Grabenlose Verlegung	○	◐	◐	/
		Vermeidung oder Trassenänderung	●	●	●	◐
	Verfahrens-technische Risiko-minderungsmaßnahmen (siehe Anhang F)	Patrouilleninspektion	/	/	/	●
		Bewusstmachung	/	/	/	●
		Management von Erdarbeiten	/	/	●	●
		Überwachung	●	●	●	●
ANMERKUNG 1 ● bedeutet, dass das Element geeignet ist.						
ANMERKUNG 2 ◐ bedeutet, dass das Element selektiv einsetzbar ist oder sofern technische und ökonomische Bedingungen es zulassen.						
ANMERKUNG 3 ○ bedeutet, dass das Element vermutlich nicht geeignet oder nicht notwendig ist.						
ANMERKUNG 4 / bedeutet, dass das Element nicht anwendbar ist.						

9 Datenmanagement

Ein PGMP sollte (eine) Datenbank(en) für Erfassung, Management und Auswertung von Daten führen, welche als Teil dieses Programms erfasst wurden. Die Entwicklung von Standardvorlagen wird für das Füllen der Datenbanken empfohlen. Ebenfalls empfohlen wird das Führen dieser Datenbanken über die Lebensdauer des Rohrleitungssystems mit angemessenen Aktualisierungen, damit sie mit der jeweils aktuellen Technologie funktionieren. Idealerweise sollte das Datenmanagement ein räumliches Datenbankformat aufweisen, d. h. ein GIS.

Die Datenbank(en) sollte(n) mindestens die folgenden Elemente für jede identifizierte Geogefahr enthalten:

- die Angaben des Geogefahrenverzeichnisses nach 5.2;
- die/das resultierende Klassifizierung oder Risikobewertungsergebnis aus der Anwendung des Bewertungssystems;
- das jeweilige Datum der Identifizierung und der Beurteilung;
- die Arten der für die Gefährdung durchgeführten Minderung und Überwachung (sofern zutreffend);
- die Intervalle, in denen gefährdungsspezifische Überwachung erfolgt (sofern zutreffend);
- Links zu oder Zusammenfassungen von Einzelheiten der für die Gefährdung erfolgten Minderung (sofern zutreffend);
- Links zu oder Zusammenfassungen der für die Gefährdung erfolgten Überwachung (sofern zutreffend);
- Links zu Fotografien, E-Mails, Berichten und anderen einschlägigen Informationen zur Gefährdung.

Die Datenbank(en) sollte(n) auch die folgenden Angaben für jeden dem PGMP unterliegenden Bereich enthalten (nicht gefährdungsspezifisch):

- das Datum früherer Bewertungen (d. h. Identifizierungs- und Beurteilungsprozesse);
- den durch diese Bewertungen abgedeckten Bereich (Länge entlang des Rohrleitungssystems und Korridorbreite);
- die bei diesen Bewertungen betrachteten Gefährdungen;
- die Abstände, in denen nicht gefährdungsspezifische Überwachung (z. B. ILI oder Fernerkundung) erfolgt;
- falls der Betreiber über mehrere Bewertungssysteme für eine bestimmte Gefährdungsart verfügt, das/die angewendete(n) Bewertungssystem(e);
- das planmäßige Datum der nächsten Neubewertung.

Anhang A (informativ)

Leitfaden für die Wahl des Trassenverlaufs einer Rohrleitung

Bei der Wahl des Trassenverlaufs einer Rohrleitung sind die Festlegungen nach ISO 13623 zu befolgen, und die Auswirkungen von Geogefahren sind ebenfalls vollständig zu betrachten. Spezielle Bereiche der Trassenbetrachtung umfassen u. a. Folgendes:

- Erdrutschmasse, instabile schroffe Hänge, Felssturzbereiche und Strömungswege von Murgängen sind zu vermeiden, wenn Rohrleitungen bergige und stark hügelige Gebiete queren.
- Wenn die Verlegung von Rohrleitungen auf geneigter Fläche die Verfüllung mit und den Aushub von Boden erfordert, muss die neue Neigung den Anforderungen an die Hangstabilität entsprechen, andernfalls muss die Auslegung mit Risikominderung erfolgen. Rohrleitungen sollten in ungestörten Böden verlegt werden, nicht in verfüllten Böden.
- Rohrleitungen, die durch eine Erdbebenverwerfungszone oder eine aktive Verwerfung verlaufen, sind möglichst zu vermeiden, andernfalls muss die Auslegung mit Risikominderung erfolgen.
- Rohrleitungen sollten in Talregionen verlegt werden, sofern nicht in der Nähe von Gelände, das anfällig für Flutung oder Überschwemmung ist.
- Flussquerungen können einen signifikanten Einfluss sowohl auf die Kosten einer Rohrleitung als auch auf die Gesamtleitungslänge haben. In Literaturhinweis [9] sind die Grundregeln für die Wahl des Trassenverlaufs an Flussquerungen wie folgt aufgeführt:
 - Viele Rechtssysteme fordern die grabenlose Verlegung von Rohrleitungen mit Flussquerungen, ausgenommen geologische Bedingungen schließen grabenlose Verfahren aus.
 - Es ist wichtig, das am besten geeignete Flussbett zu finden. Felsuntergrund erfordert kostenaufwändige Sprengungen, während sehr schluffige Flussbetten umfangreiche Aushubarbeiten erfordern können.
 - Rohrleitungen sollten Flüsse gewöhnlich rechtwinklig queren, um die Querungsbreite zu minimieren und Querneigungen an den Zugängen zu vermeiden.
 - Aktive Seitenerosion kann zur Freilegung und Beschädigung der Rohrleitung sowie zu Auswirkungen auf die Umwelt führen.
 - Flussabschnitte mit schneller Strömung sollten vermieden werden, da sie den Bau erschweren können.
 - Die Querung sollte in einem geraden Flussabschnitt liegen, um aktive Seitenerosion zu minimieren.
 - Bei Flussquerungsabschnitten sind, zusätzlich zur natürlichen Erosion durch den Fluss, mögliche Veränderungen des Flussbetts aufgrund menschlicher Tätigkeiten und anderer Faktoren während des Rohrleitungsbetriebs ebenfalls zu berücksichtigen.

- In Dauerfrostgelände sollte die Rohrleitungstrasse weitestmöglich Gebiete meiden, die Eiskeile, Eishügelbereiche sowie Hänge mit eisreichem Boden enthalten.
- Bereiche mit Absenkung oder Anhebung des Bodens, Randbereiche von Bodenverformung und ein bestimmter Bereich außerhalb des Randbereiches sind weitestmöglich zu vermeiden, wenn Rohrleitungen erdverlegt werden müssen, wenn sie Bereiche von Bodenabsenkung und verformbarer Böden queren.
- Interessenvertreter der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Fischereiwirtschaft, Bergbauindustrie und anderer menschlicher Tätigkeitsfelder innerhalb des geplanten Korridors der Rohrleitungstrasse sind hinzuzuziehen, um Vorschläge für die Wahl des Trassenverlaufs der Rohrleitung einzuholen.

Anhang B (informativ)

Empfehlungen für die Felduntersuchung

B.1 Zu bestimmende und aufzuzeichnende Angaben zu Geogefahren

B.1.1 Die folgenden Angaben zu von Geogefahren beeinflussten Bereichen sollten einschließlich u. a. der Folgenden erfasst und aufgezeichnet werden:

- Verlegetrasse und Bauverfahren der Rohrleitung;
- Eigenschaften der Bodenverfüllung des Rohrleitungsgrabens;
- räumliches Verhältnis zwischen der Rohrleitung oder Station und der Gefährdung;
- technische geologische Bedingungen der Gefährdung;
- Empfindlichkeit der Gefährdung gegenüber Niederschlag, Niederschlagsbedingungen und Oberflächensickerbedingungen;
- Empfindlichkeit der Gefährdung gegenüber Bodenbewegungen aufgrund von Erdbeben;
- aktuelle Nachweise von Verformung und vorhergesagte Entwicklungstrends der Gefährdung;
- die Möglichkeit des Verursachens sekundärer Geogefahren;
- sonstige erforderliche Angaben.

B.1.2 Die folgenden Angaben sollten ebenfalls während der frühen Projektphasen, wie der Phase der technischen Vorbereitung und Wahl des Trassenverlaufs, bestimmt und aufgezeichnet werden:

- bestehende Erdöl- und Erdgasrohrleitungen in oder nahe dem geplanten RoW;
- erdverlegte Anlagen der Versorgungswirtschaft, Kommunikationskabel und Versorgungskabel im geplanten RoW;
- erdüberdeckte historische Relikte sowie unterirdische Tunnel oder Gruben oder Quellen in der Nähe des RoW.
- Untersuchung der Auswirkung der Gefährdung auf die Rohrleitung; Bewertung der/des möglichen Art und Ausmaßes der Auswirkung auf die Rohrleitung und zugehörige Einrichtungen.