Landesamt für Straßenbau
Sachsen-Anhalt
Herrenstraße 20
06108 Halle / Saale

Handlungsempfehlungen zur ingenieurgeologischen Erkundung und bautechnischen Beherrschung von Karsterscheinungen bei Straßenbauvorhaben für den Dienstaufsichtsbereich des Landesamtes für Straßenbau Sachsen-Anhalt

(IEBB Karst Sachsen-Anhalt, 2003)

- September 2003 -

Autoren:

Dipl.-Geol. Ralph Porsche, Dessau

unter Mitwirkung von:

BOR Dipl.-Ing. Gerd Schmidt, Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt, Halle

Dipl.-Ing. Stefan Thurm, Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt, Halle

Dipl.-Geol. Günther Strobel, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle

Dipl.-Geol. Jürgen Heckner, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle

Dipl.-Geol. Ulrich Herold, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, Halle

Inhalt

0. Glossar ... 3
1. Allgemeines ... 5
2. Grundlagen ... 6
2.1 Karsttypen und Karstformen ... 6
2.2 Einflussfaktoren für die Ausbildung von Karstformen ... 6
2.3 Regionale und stratigraphische Risikopotentiale ... 7
3. Ingenieurgeologische Erkundung ... 7
3.1 Regelabfrage beim LAGB ST ... 7
3.2 Erkundungsstufen ... 8
3.2.1 Erkundungsstufe 1 (Archivrecherche) ... 8
3.2.2 Erkundungsstufe 2 (Geotechnische Untersuchung) ... 9
4. Kennzeichnung der Gefährdungsklassen und Ableitung von Folgemaßnahmen ... 10
5. Bautechnische Sicherung ... 11
5.1 Straßen ... 11
5.1.1 Teilsicherung ... 12
5.1.2 Vollsicherung ... 12
5.2 Ingenieurbauwerke ... 12
5.2.1 Teilsicherung ... 12
5.2.1 Vollsicherung ... 13
5.3 Sicherungsentwurf ... 13
6. Überprüfungen / Kontrollen ... 13
6.1 Baubegleitende Untersuchungen ... 13
6.2 Geotechnische Überwachung nach Fertigstellung der Baumaßnahme ... 14

Anhang:

A.1 Subrogene Erdfall- und Senkungsgebiete im Land Sachsen-Anhalt

A.2 Regionale Verteilung der Erdfälle in Sachsen-Anhalt

B Fachbehörden

C Ingenieurgeologische Erkundung: Erkundungsstufen

D Ingenieurgeologische Erkundung: Untersuchungsaufgaben

E Ingenieurgeologische Erkundung: orientierende Bewertungsparameter

F Literatur

0. Glossar

Ablaugung, die flächenhafte → Subrosion leicht löslicher Gesteine, insbesondere von Salzablagerungen, die zur Bildung mehr oder weniger ebener Ablaugungsflächen führt. Bei horizontaler Lage als Salzspiegel, bei geneigter Lage als Salzhang bezeichnet.

Anhydrit, [griech. „wasserfrei"], ein gesteinsbildendes Mineral ($CaSO_4$). Anhydrit kommt in Salzlagern und gesteinsbildend vor allem im Zechstein vor. Durch Wasseraufnahme erfolgt der Übergang in → Gips.

Auslaugung, allgemeiner Begriff für die durch Wässer hervorgerufene chemische Lösung leicht wasserlöslicher Sulfat- und Chloridgesteine. Nach WEBER (1930) unterscheidet die von Störungszonen ausgehende irreguläre Auslaugung von der vom Schichtausstrich ausgehenden regulären Auslaugung.

Doline, [slowenisch „Tal"], eine überwiegend geschlossene, trichterförmige Hohlform in der Erdoberfläche von Karstgebieten. Mit rundem, elliptischem oder unregelmäßigem Umriss, bei Durchmessern von 10 bis 1.500 m und Tiefen bis 300 m. Dolinen entstehen durch den Einsturz von Hohlräumen.

Dolomit, ein gesteinsbildendes Mineral ($CaMg[CO_3]_2$), das durch geochemische Prozesse aus Kalkstein entstanden ist.

Einsturzkessel, Einsturztrichter, siehe → Doline

Erdfall, eine rundliche oder längliche, trichterförmige Senke an der Erdoberfläche, verursacht durch plötzlichen Deckensturz eines unterirdischen, durch Auswaschung oder Auslaugung entstandenen Hohlraumes in Gips, Salz, Kalkstein u.a..

Evaporite, Salzgesteine, Eindampfungsgesteine.

fossil, Erscheinungen und Bildungen der geologischen Vergangenheit (z.B. fossiler → Karst). Gegenteil → rezent.

Gips, ein gesteinsbildendes Mineral ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) sehr geringer Härte. Gips kommt in vielen Salzlagerstätten zusammen mit Steinsalz vor.

Halit, gesteinsbildendes Mineral; Steinsalz (NaCl).

Hydratation, die Aufnahme von Kristallwasser, die zur Volumenvergrößerung des betreffenden Gesteins oder zur Sprengung des Nachbargesteins führt. (z.B. Umwandlung von → Anhydrit in → Gips)

Kalkstein, vorwiegend aus Kalziumkarbonat ($CaCO_3$) bestehendes, sehr verbreitetes Sedimentgestein.

Karren (auch Schratten), Karsterscheinungen, chemische Auslaugungs-, in geringem Umfang auch mechanische Spülformen von Oberflächen- und Schmelzwasser an der Oberfläche von Kalkgesteinen. Teilweise mehrere Meter tief.

Karst, [slowenisch: Kras „steiniger Boden"], zusammenfassende Bezeichnung für Erscheinungen und Oberflächenformen in Gebieten mit wasserlöslichen Gesteinen.

Karstquelle, im → Karst austretende, in ihrer Schüttung und chemischen Zusammensetzung des Wassers oft stärker schwankende Quelle.

Karsttrichter, siehe → Doline.

Karstwasser, Wasser in Hohlräumen verkarsteter Gesteine.

Korrosion, die chemische Zerstörung (Auslaugung) des Gesteins durch eindringendes Wasser. (siehe auch → Lösungsverwitterung).

Lösungsverwitterung, die Lösung wasserlöslicher Gesteine in Wasser und der Vorgang der → Hydratation.

Residualgebirge, [lat. residuum „Rückstand"], der bei der Auslaugung von Salzgesteinen durch das Grundwasser gebildete, nur noch partiell lösliche Rückstand aus Gips, Ton und anderen schwer löslichen Gesteinen. Infolge Vorherrschens von Gips über Salzstöcken als Gipshut bezeichnet.

rezent, Bezeichnung für Lebewesen, Bildungen und Erscheinungen der Gegenwart (z.B. rezenter Karst). Gegenteil → fossil.

Schlotten / Karsthöhlen, durch die auslaugende Tätigkeit des Niederschlagswassers im Ausgehenden löslicher Gesteine entstandene, meist steilstehende Vertiefungen, die besonders im Bereich von Klüften und Spalten durch deren Erweiterung gebildet werden.

Senkungswanne / Senkungskessel, Senkungsstrukturen über unterirdischen Hohlräumen z.T. mit Randspalten (Zerrspalten) als Folge von Zugspannungen und Pressungszone als Folge von Druckspannungen im Zentrum.

Steinsalz, → Halit , ein gesteinsbildendes Mineral (NaCl).

Subrosion, [lat. sub „unter", rodere „benagen"], die unterirdische Abtragung von Gesteinen durch Sicker- und Grundwasser, die zur Bildung von Hohlräumen und Geländesenkungen an der Erdoberfläche führt. Subrosion kann chemisch (Auslaugung) und hydromechanisch (→ Suffosion) wirken.

Suffosion, unterirdische Erosion infolge der Umlagerung des Feinkornanteils in Lockergesteinen durch fließendes Wasser.

Verkarstung, der kontinuierlich oder phasenhaft ablaufende natürliche Auflösungs- oder Zersatzprozess von leicht löslichen Gesteinen durch Wasser, begleitet von mechanischen Vorgängen wie Erosion oder Versturz.

Versinkung, das Eindringen von Wasser in den Untergrund durch Trennfugen und Hohlräume (Wasserverlust von Flüssen in Karstgebieten).

1. Allgemeines

Das Phänomen Karst umfasst die Gesamtheit aller geologischen Formen im Untergrund und an der Erdoberfläche, welche durch abgeschlossene oder noch andauernde Lösungsprozesse wasserlöslicher Gesteine entstanden sind oder noch entstehen.

Die Verkarstung resultiert aus dem Prozess der kontinuierlich oder phasenhaft verlaufenden Auflösung von wasserlöslichen Gesteinen (z.B. Salze, Gips, Anhydrit, Kalkstein). In deren Folge ergeben sich im Untergrund oder an der Erdoberfläche Karstformen (bruchlose Senkungen, Spalten, Erdfälle), welche signifikante Beeinträchtigungen bzw. Schädigungen von Bauwerken und eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit bewirken können.

Besonders im mittleren und südlichen Teil des Landes Sachsen-Anhalt ist lokal mit negativen Beeinflussungen der Tragfähigkeit des Untergrundes (Hohlräume, verminderte Verbandsfestigkeit / Auflockerungen) durch verkarstbare Gesteine zu rechnen. An besonders exponierten Standorten sind kritische / unkontrollierte Verformungen der Geländeoberfläche durch die Bildung von Erdfällen, Dolinen und Spalten möglich.

Nach Angaben des Landesamtes für Geologie und Bergwesen wurden in Sachsen-Anhalt im Zeitraum 1960 bis 2002 mehrere Hundert karstbedingte Erdeinbrüche (Erdfälle) behördlich registriert. Es handelt sich dabei überwiegend um Folgewirkungen der Subrosion von Sulfatgesteinen mit den wenig lösungsresistenten mineralischen Hauptgemengteilen Gips und (seltener) Anhydrit. Eine lokale Übersicht zum Erdfallgeschehen in Sachsen-Anhalt enthält Anhang A.

Diese - bundesweit betrachtet - besondere Situation Sachsen-Anhalts bedingt, dass straßenbauliche Trassenführungen solche ingenieurgeologischen Konfliktbereiche nicht immer mit vertretbaren Folgekosten umgehen können.

Bei Planungen zu Straßenneubauten oder Verlegungen in derartig geprägten Gebieten sind Notwendigkeit und Sinnfälligkeit präventiver Gefahrenabwehrmaßnahmen bzw. bauliche Sicherungen sorgsam zu prüfen und erforderlichenfalls vorzusehen.

Die vorliegenden Handlungsempfehlungen sollen dem Sachbearbeiter der Straßenbauverwaltung sowie dem Baugrundgutachter Unterstützung bei der Wahl der Erkundungsstrategie und bei der Bewertung der dargestellten Georisiken geben. Ziel ist eine ortsbezogene Gefährdungsabschätzung (Risikoanalyse) als Grundlage für eine fachlich fundierte Entscheidung über die Notwendigkeit von straßenbautechnischen Sicherungsmaßnahmen.

Die endgültige Entscheidung über die Art und Notwendigkeit von Sicherungsmaßnahmen erfolgt stets unter Beteiligung folgender Stellen:

- Straßenbaulastträger
- Landesamt für Straßenbau, Halle, Dezernat 24 (LAS ST)
- Landesamt für Geologie und Bergwesen, Halle (LAGB ST)
- Baugrund- bzw. Sondergutachter

Die Adressen sind im Anhang B aufgeführt.

2. Grundlagen

2.1 Karsttypen und Karstformen

Verkarstungsprozesse sind stets an das Vorhandensein wasserlöslicher Gesteine im Untergrund gebunden. Entsprechend der unterschiedlichen Wasserlöslichkeit ergeben sich verschiedene Karsttypen (Tabelle 1):

Gestein	Löslichkeit	Karsttyp	überwiegende Karstformen
Salze • Steinsalz • Kalisalz	sehr leicht	**Chloridkarst**	• Hohlräume • Senkungen
Sulfate • Gips • Anhydrit	leicht bis mittel	**Sulfatkarst**	• Hohlräume • Senkungen • Erdfälle • Einbrüche
Karbonate • Kalkstein • Dolomit	schwer	**Karbonatkarst**	• Hohlräume • Erdfälle • Einbrüche

Tabelle 1: Wasserlösliche Gesteine und Karsttypen; Handlungsempfehlung Karst LAS ST

2.2 Einflussfaktoren für die Ausbildung von Karstformen

Art und zeitlicher Verlauf der Verkarstungsprozesse unterliegen einer Vielzahl von Einflussfaktoren. Nur die umfassende Untersuchung dieser Faktoren erlaubt eine hinreichend genaue Risikoabschätzung für das Bauwerk.

Als wichtigste Einflussgrößen gelten:

- Art, Mächtigkeit, Tiefenlage und strukturelle Ausbildung des löslichen Gesteins
- Art, Mächtigkeit, strukturelle Ausbildung und Festigkeit des Deckgebirges
- klimatische, hydrologische, hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse
- vorhandene Karstformen
- anthropogene Einflüsse (Bergbau, Wasserhaltungen)

2.3 Regionale und stratigraphische Risikopotentiale

Wasserlösliche Gesteine kommen schwerpunktmäßig in bestimmten geologischen Systemen und Regionen mit nachstehenden Gefährdungspotentialen vor (Tabelle 2):

System	Abteilung	Stufe	wasserlösliches Gestein	Region	Gefährdungs-potential
Trias	Keuper	**Mittlerer Keuper**	• Gips	Finne, Harzvorland	überwiegend gering bis mittel
Trias	Muschelkalk	**Mittlerer Muschelkalk**	• Gips • Kalkstein	Naumburger Mulde, nördliches Harzvor-land	überwiegend gering bis mittel
Trias	Buntsand-stein	**Oberer Buntsandstein**	• Gips • Anhydrit • Steinsalz	Naumburger, Quer-furter und Mansfel-der Mulde, Harz-nordrand, nördliches Harzvorland, Wefer-lingen-Schöne-becker Triasplatte	überwiegend mittel bis hoch
Perm	**Zechstein**	-	• Kalisalz • Steinsalz • Gips • Anhydrit • Kalkstein	Sangerhäuser und Mansfelder Mulde, Bottendorfer Hö-henzug, Harzvor-land, Staßfurt-Egel-ner Sattel, Altmark, Allertal	überwiegend hoch

Tabelle 2: Regionale und stratigraphische Risikopotentiale; Handlungsempfehlung Karst LAS ST

3. Ingenieurgeologische Erkundung

- Im Ergebnis der ingenieurgeologischen Erkundung von Karsterscheinungen müssen verbleibende Unwägbarkeiten für das zu beurteilende Gefahrenpotential (= Schadensausmaß x Eintrittswahrscheinlichkeit) soweit bekannt sein, dass **begründet** entschieden werden kann, ob lediglich ein gesellschaftlich tolerierbares Restrisiko oder eine ordnungsrechtliche Gefahrenlage besteht.
- Die empfohlenen Handlungen sowie Art, Umfang und Bewertungshinweise der ingenieurgeologischen Erkundung werden nachfolgend dargestellt.
- Anhang: C, D, E

3.1 Regelabfrage beim LAGB ST

- Bei **allen** Bauvorhaben erfolgt grundsätzlich eine Regelabfrage beim Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB ST) als Träger öffentlicher Belange (TÖB).
- Finden sich in der TÖB - Stellungnahme des LAGB keine Hinweise auf Georisiken durch Karst sind diesbezüglich keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
- Ausnahme: Im Zuge der Baugrunduntersuchung werden Hinweise auf eine Karstgefährdung festgestellt.

- **empfohlene Handlungen:**

- Bei Hinweisen auf eine Karstgefährdung sollte eine Änderung der Linienführung in Erwägung gezogen werden.
- Wenn sich durch die TÖB - Stellungnahme des LAGB oder die Ergebnisse der Baugrunduntersuchung Hinweise auf ein Georisiko durch Karst ergeben und wenn keine Möglichkeit zur Trassenverlegung besteht, müssen genauere Untersuchungen der Untergrundverhältnisse entspr. Abschnitt 3.2 erfolgen.
- Mit den Untersuchungen muss ein Fachgutachter mit ausgewiesenen Kenntnissen für den Sachbereich Karstrisiken beauftragt werden.
- In das Vergabeverfahren für die notwendigen gutachterlichen Leistungen sowie evtl. notwendige Erkundungsarbeiten sind zwingend folgende Stellen einzubeziehen:

- Straßenbaulastträger
- Landesamt für Straßenbau, Sachsen-Anhalt
- Landesamt für Geologie und Bergwesen, Sachsen-Anhalt

3.2 Erkundungsstufen

3.2.1 Erkundungsstufe 1 (Archivrecherche)

- Im Rahmen der Erkundungsstufe 1 erfolgt eine vertiefte, sachspezifische Kenntnisstandsanalyse in Form einer Archivrecherche.

- **empfohlene Handlungen:**

- Es sind Archivdaten (Karstkataster, vorhandene Gutachten, Altbohrungen, Spezialkarten) des LAGB und der Landesstraßenbauverwaltung sowie Chroniken und Archive der Kommunen und Landkreise zu nutzen.
- Die Untersuchungsergebnisse der Erkundungsstufe 1 müssen in Berichtsform mit folgenden Kernaussagen vorgelegt werden:

- lokalspezifische Darstellung der karstrelevanten Sachverhalte nach Anhang D
- lokalspezifische Bewertung der Karsterscheinungen nach Anhang E
- wenn bereits möglich: Festlegung der Gefährdungsklasse nach Abschnitt 4

- bei Gefährdungsklasse 2 – 4:

- Art, Größe und zeitlicher Verlauf der Senkungs- oder Bruchformen
- Geometrie des möglichen Bruchkörpers (kreisförmig, spaltenförmig, Durchmesser, Spaltenbreite)
- Vorschlag zur Art der bautechnischen Sicherungsmaßnahmen
- bei ungenügendem Kenntnisstand: Darstellung und Kostenschätzung für notwendige, weiterführende geotechnische Untersuchungen im Rahmen der Erkundungsstufe 2

3.2.2 Erkundungsstufe 2 (Geotechnische Untersuchung)

- Wenn aus den Archivdaten (Erkundungsstufe 1) keine hinreichend genaue Abschätzung des Karstrisikos möglich ist, muss eine Spezialuntersuchung der Karstproblematik, gesondert oder als Teil der geotechnischen Erkundung (Baugrundgutachten) erfolgen.

▪ **empfohlene Handlungen:**

- Festlegung von Art und Umfang der geotechnischen Untersuchungen auf Grundlage der Empfehlungen des Untersuchungsberichtes der Erkundungsstufe 1, unter Einbeziehung der Entscheidungsträger gem. Punkt 3.1.
- geeignete Untersuchungsverfahren (Auswahl):

- Kartierung der Karstmorphologie / tektonische Messungen
- Luft- und Satellitenbildauswertungen
- geophysikalische Messungen (Seismik, Geoelektrik, Elektromagnetik, Gravimetrie, Georadar, geophysikalischen Bohrlochmessungen)
- Kernbohrungen nach DIN 4021
- Ramm- und Drucksondierungen nach DIN 4094
- Kamerabefahrungen von Bohrlöchern und Hohlräumen
- Grundwassermessstellen; geohydraulische / hydrochemische Untersuchungen

- Die Untersuchungsergebnisse der Erkundungsstufe 2 müssen in Berichtsform mit folgenden Kernaussagen vorgelegt werden:

- lokalspezifische Darstellung der karstrelevanten Sachverhalte nach Anhang D
- lokalspezifische Bewertung der Karsterscheinungen nach Anhang E
- Festlegung der Gefährdungsklasse nach Abschnitt 4

- bei Gefährdungsklasse 2 – 4:

- Art, Größe und zeitlicher Verlauf der Senkungs- oder Bruchformen
- Geometrie des möglichen Bruchkörpers (kreisförmig, spaltenförmig, Durchmesser, Spaltenbreite)
- Vorschlag zu Art und Umfang der bautechnischen Sicherungsmaßnahmen

4. Kennzeichnung der Gefährdungsklassen und Ableitung von Folgemaßnahmen

In Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse der ingenieurgeologischen Erkundung werden Gefährdungsklassen festgelegt. Die Gefährdungsklassen weisen die zu erwartenden Beanspruchungen des Bauwerkes durch Karstwirkungen sowie grundlegende bautechnische Sicherungsmaßnahmen aus. Zur Festlegung der Gefährdungsklasse muss eine **begründete** Beantwortung folgender Fragen möglich sein:

1. **Welche Karstwirkungen können im Bereich des geplanten Bauwerkes auftreten?**
2. **Welche Beanspruchungen des Bauwerkes sind in Folge der Karstwirkungen möglich?**

Die Ermittlung der Gefährdungsklasse erfolgt nach Tabelle 3 durch den Baugrund- oder Sondergutachter als Empfehlung.

Die planerisch maßgebliche Gefährdungsklasse wird im Rahmen einer Abschlussberatung durch folgende Fachgremien festgelegt:

- Straßenbaulastträger
- Landesamt für Straßenbau, Sachsen-Anhalt
- Landesamt für Geologie und Bergwesen, Sachsen-Anhalt
- Baugrund- bzw. Sondergutachter

Die Festlegung der Gefährdungsklasse muss mit Vorlage der Entwurfsplanung abgeschlossen sein.

Folgende Gefährdungsklassen werden unterschieden:

Gefährdungsklasse	**mögliche Karstwirkungen**	**mögliche Beanspruchung des Bauwerkes durch Karstwirkung**	**bautechnische Sicherungsmaßnahmen**
Gefährdungsklasse 0	• nicht zu erwarten	nicht zu erwarten	nicht erforderlich
Gefährdungsklasse 1	• ungleichmäßige und gleichmäßige, bruchlose Senkungen < 1 – 5 mm/a	vernachlässigbar	nicht erforderlich
Gefährdungsklasse 2	• ungleichmäßige und gleichmäßige, bruchlose Senkungen > 5 mm/a • Erdfälle, Zerrspalten, grabenartige Bruchformen mit Durchmesser bzw. Spaltenbreite ≤ 5,0 m	relevant	Teilsicherungsprinzip
Gefährdungsklasse 3	• Erdfälle, Zerrspalten, grabenartige Bruchformen mit Durchmesser bzw. Spaltenbreite ≥ 5,0 m	erheblich	Vollsicherungsprinzip
Gefährdungsklasse 4	• Erdfälle, Zerrspalten, grabenartige Bruchformen mit Durchmesser bzw. Spaltenbreite ≥ 20,0 m im Bereich vorgezeichneter Schwächezonen bei nicht einschätzbarem Georisiko	funktions- und bestandsgefährdend	Empfehlung zum Nutzungsverbot

Tabelle 3: Gefährdungsklassen und bautechnische Sicherungsmaßnahmen; Handlungsempfehlung Karst LAS ST

5. Bautechnische Sicherung

Bei Erkennen einer Gefahrenlage (Gefährdungsklassen 2 bis 4) müssen bautechnische Vorsorgemaßnahmen zur Gewährleistung der dauerhaften Gebrauchstauglichkeit der geplanten baulichen Anlage und der öffentlichen Sicherheit getroffen werden.

Die sicherste Variante ist die Umgehung karstgefährdeter Abschnitte. Bei Notwendigkeit muss der gefährdete Bereich auf kürzestem Weg gequert werden.

5.1 Straßen

Grundsätzlich werden zwei Lösungsansätze betrachtet:

a) Prinzip der Teilsicherung

- Im Ereignisfall (Erdfall, Senkung) wird ein plötzlicher Einbruch der Fahrbahn verhindert; definierte Verformungen im Fahrbahnbereich (Nutzungseinschränkungen) werden zugelassen. Die Sanierung erfolgt nach einer festzulegenden Warnzeit, während der die Konstruktion nicht versagen darf.

b) Prinzip der Vollsicherung

- Der Ereignisfall führt zu keinerlei Nutzungseinschränkungen des Baukörpers. Eine Sanierung der Straße – infolge des Ereignisfalles - ist nicht notwendig.

5.1.1 Teilsicherung

Aus wirtschaftlichen Gründen wird das Prinzip der Teilsicherung für die Mehrzahl der Fälle maßgeblich sein. Es ergeben sich folgende Sicherungsvarianten:

- Bewehrung des Straßenbaukörpers (Dammes) mit Geokunststoffen
- flexible Fahrbahnkonstruktionen
- Dammerhöhungen im Senkungszentrum
- höhere Verdichtung der gefährdeten Dammabschnitte
- Abdichtung von Entwässerungsanlagen
- Aufspreizen der Fahrbahn
- Deckgebirgsverfestigungen
- Sprengen, Verfüllen, Verpressen oberflächennaher Hohlräume
- Für die Bewehrung des Straßenkörpers mit Geokunststoffen gelten die „Handlungsempfehlungen für den Einsatz von Geokunststoffen zur Sicherung bruchgefährdeter Straßenbereiche in Altbergbau- und Subrosionsgebieten für den Dienstaufsichtsbereich des Landesamtes für Straßenbau Sachsen-Anhalt“ (GSbS Sachsen-Anhalt, 2001).

5.1.2 Vollsicherung

Eine „vollständige“ Sicherung ist nur in Ausnahmefällen (sehr hohe Bruchgefährdung / Gefahrenabwehr) notwendig. Es ergeben sich folgende Sicherungsvarianten:

- Bau einer Brücke über den gesamten bruchgefährdeten Bereich
- Einbau einer entsprechend bewehrten, durchgehenden Betonplatte unterhalb des Straßenkörpers

5.2 Ingenieurbauwerke

Für Ingenieurbauwerke gelten die Kategorien Teil- und Vollsicherung nur bedingt. Die gewählte Sicherungsvariante kann mehrere der u.a. Maßnahmen umfassen.

5.2.1 Teilsicherung

Als Beispiele für konstruktive Sicherungsmaßnahmen (Teilsicherung) für Ingenieurbauwerke werden aufgeführt:

- injektionsverfestigte Gründungsschichten
- Anordnung breiter Bewegungsfugen
- waagerecht und senkrecht nachstellbare Lager
- statisch unbestimmte Durchlaufkonstruktionen bei $\Delta s < 1/1.000$ der Stützweite L
- statisch bestimmte Konstruktionen mit Drei- oder Vierpunktlagerung bei $\Delta s > 1/1.000$ der Stützweite L (Kette von Einzelbrücken)

- zusätzlich nachstellbare Rollenlager
- allseitig bewegliche Punktkipplager

5.2.1 Vollsicherung

- Tiefgründung (Pfähle) in nicht verkarstbaren Gesteinen
- Gründungsroste, Gründungsplatten zur Vergrößerung der Fundamentflächen
- stärkere Dimensionierung von Pfeilern und Widerlagern
- Überbauten aus Stahl oder Spannbeton

5.3 Sicherungsentwurf

- Der Sicherungsentwurf wird nach der Festlegung der Gefährdungsklasse gem. Abs. 4 / Tabelle 3 durch ein geotechnisches Ingenieurbüro den Sondergutachter oder Bauwerksplaner mit ausgewiesener Kompetenz für das jeweilige Spezialgebiet erarbeitet.
- Die Bemessungsgrundlagen zur bautechnischen Sicherung des Bauwerkes werden im Rahmen der ingenieurgeologischen Erkundung (Abschnitt 3) ermittelt.
- In die Erarbeitung des Sicherungsentwurfes sind zwingend folgende Stellen einzubeziehen:

- Straßenbaulastträger
- Landesamt für Straßenbau, Sachsen-Anhalt
- Landesamt für Geologie und Bergwesen, Sachsen-Anhalt
- Baugrund- bzw. Sondergutachter
- Bauwerksplaner

6. Überprüfungen / Kontrollen

6.1 Baubegleitende Untersuchungen

Besonders in karstgefährdeten Bereichen ist eine Überprüfung der tatsächlich vorhandenen geotechnischen Verhältnisse auf Übereinstimmung mit dem Baugrundmodell unverzichtbar.

Es ergibt sich eine Vielzahl möglicher baubegleitender Messungen. Art und Umfang der Messungen werden durch den geotechnischen Sachverständigen vorgeschlagen. Die Entscheidung erfolgt im Zuge der Erstellung des Sicherungsentwurfes, unter Einbeziehung der maßgeblichen Stellen gem. Punkt 5.

Als Mindestumfang erfolgt in jedem Fall die visuelle Beurteilung des aufgeschlossenen Baugrundes durch den geotechnischen Sachverständigen / Baugrundgutachter im Rahmen einer oder mehrerer Baugrubenabnahmen. Die Baugrubenabnahmen sind zu protokollieren.

Weitere karstschadensrelevante, geotechnische Messungen sind z.B.:

- geodätische Messungen
- Messungen von Setzungen, Verschiebungen
- Extensometermessungen
- Inklinometermessungen
- Fissurometermessungen
- Porenwasserdruck- und Erddruckmessungen
- Erschütterungsmessungen
- hydrologische Messungen
- hydrostatische Messsysteme (Schlauchwaagen)

6.2 Geotechnische Überwachung nach Fertigstellung der Baumaßnahme

Auch nach Fertigstellung der Baumaßnahme sind u.U. Kontrollmessungen zur Überprüfung der geotechnischen Prognose und der Bauwerkssicherheit in Karstgebieten notwendig.

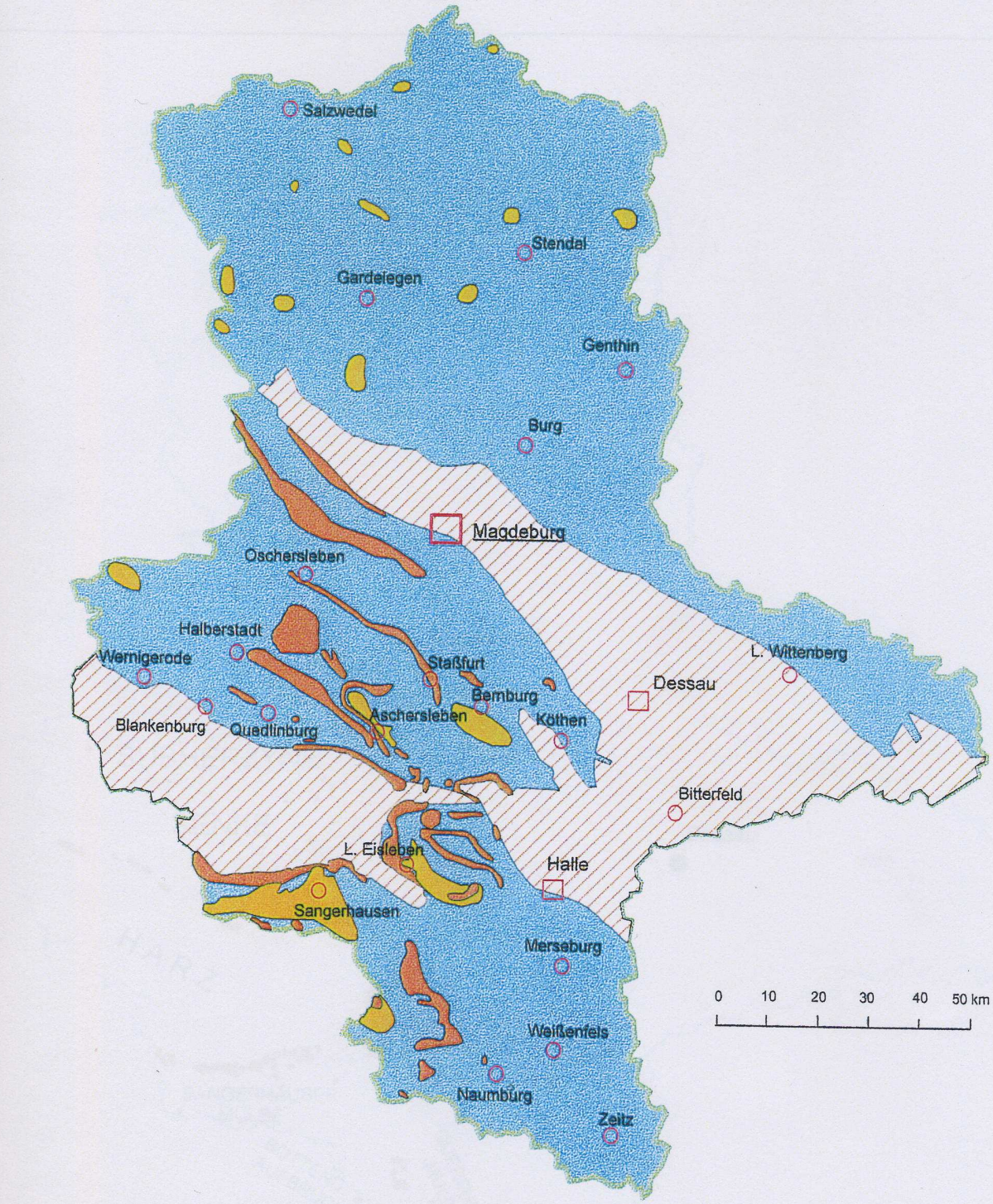
Art und Umfang der Messungen werden durch den geotechnischen Sachverständigen vorgeschlagen. Die Entscheidung erfolgt im Zuge der Erstellung des Sicherungsentwurfes, unter Einbeziehung der maßgeblichen Stellen gem. Punkt 5.

Die möglichen Messungen entsprechen weitgehend den unter Punkt 6.1 aufgeführten Untersuchungsverfahren.

Eine besondere Bedeutung kommt der Kontrolle von Bauwerkssetzungen durch regelmäßige Messungen zu.

Subrogene Senkungs- und Erdfallgebiete im Land Sachsen-Anhalt

Anhang: A.1



Gebiete ohne Senkungs- und Erdfallgefährdung (keine verkarstbaren Gesteine verbreitet)

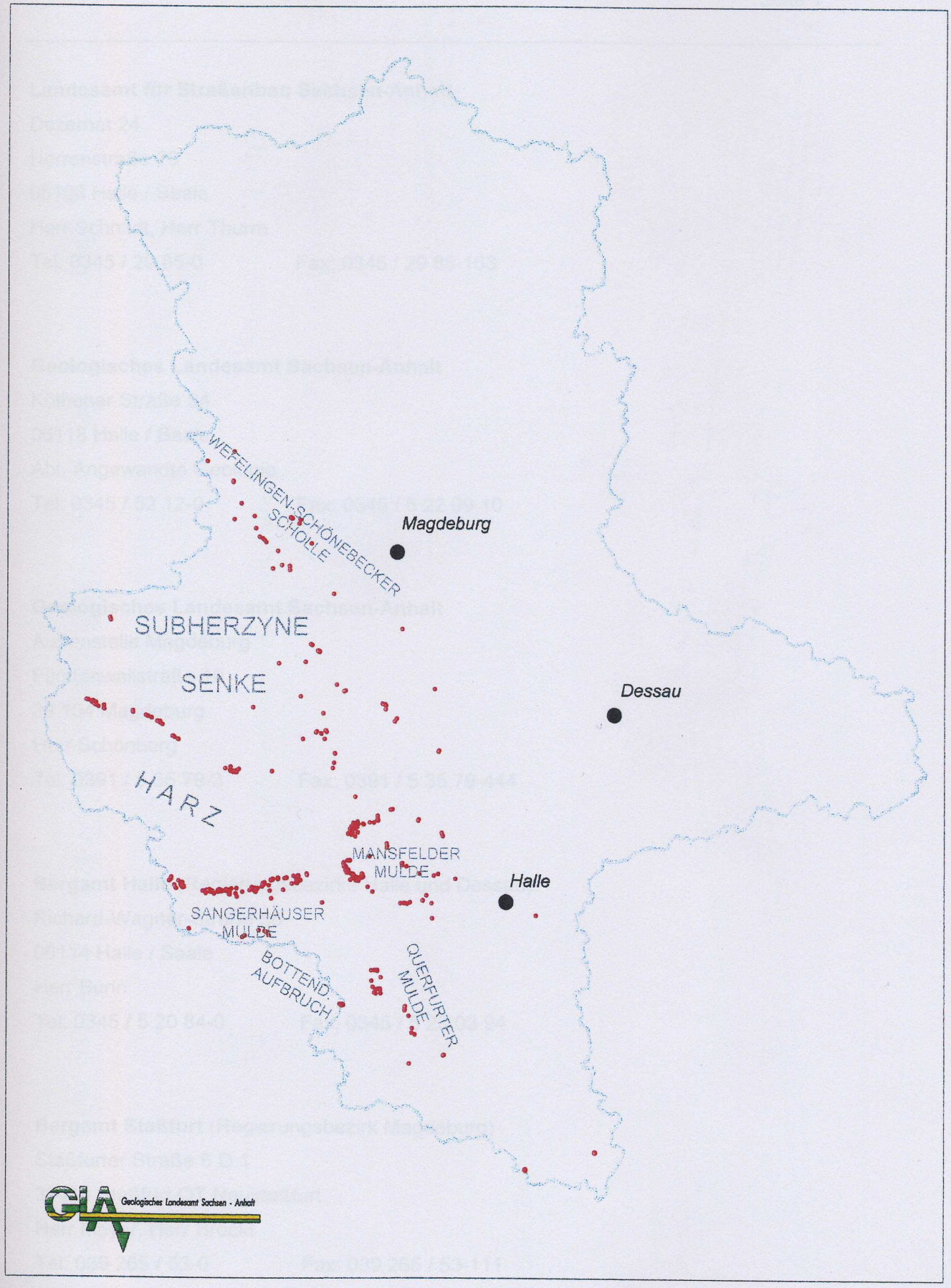
Gebiete mit geringer Senkungsgefährdung (< 2 mm/a), Erdfälle sind weitgehend auszuschließen

Gebiete mit lokal baukritischer Senkungsgefährdung (meist < 10 mm/a, z.T. auch höhere Beträge insbesonders bei montanhydrogeologischer Beeinflussung)

Gebiete mit Erdfallgefährdung (meist bis 3 m Durchmesser), bereichsweise auch von Senkungen betroffen

GLA Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt

Regionale Verteilung der Erdfälle in Sachsen-Anhalt (ca. 600 Ereignisse) **Anhang: A.2**



Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt (LAS ST)

Dezernat 24

Herrenstraße 20

06108 Halle / Saale

Herr Schmidt, Herr Thurm

Tel: 0345 / 29 85-0 Fax: 0345 / 29 85-163

Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB ST)

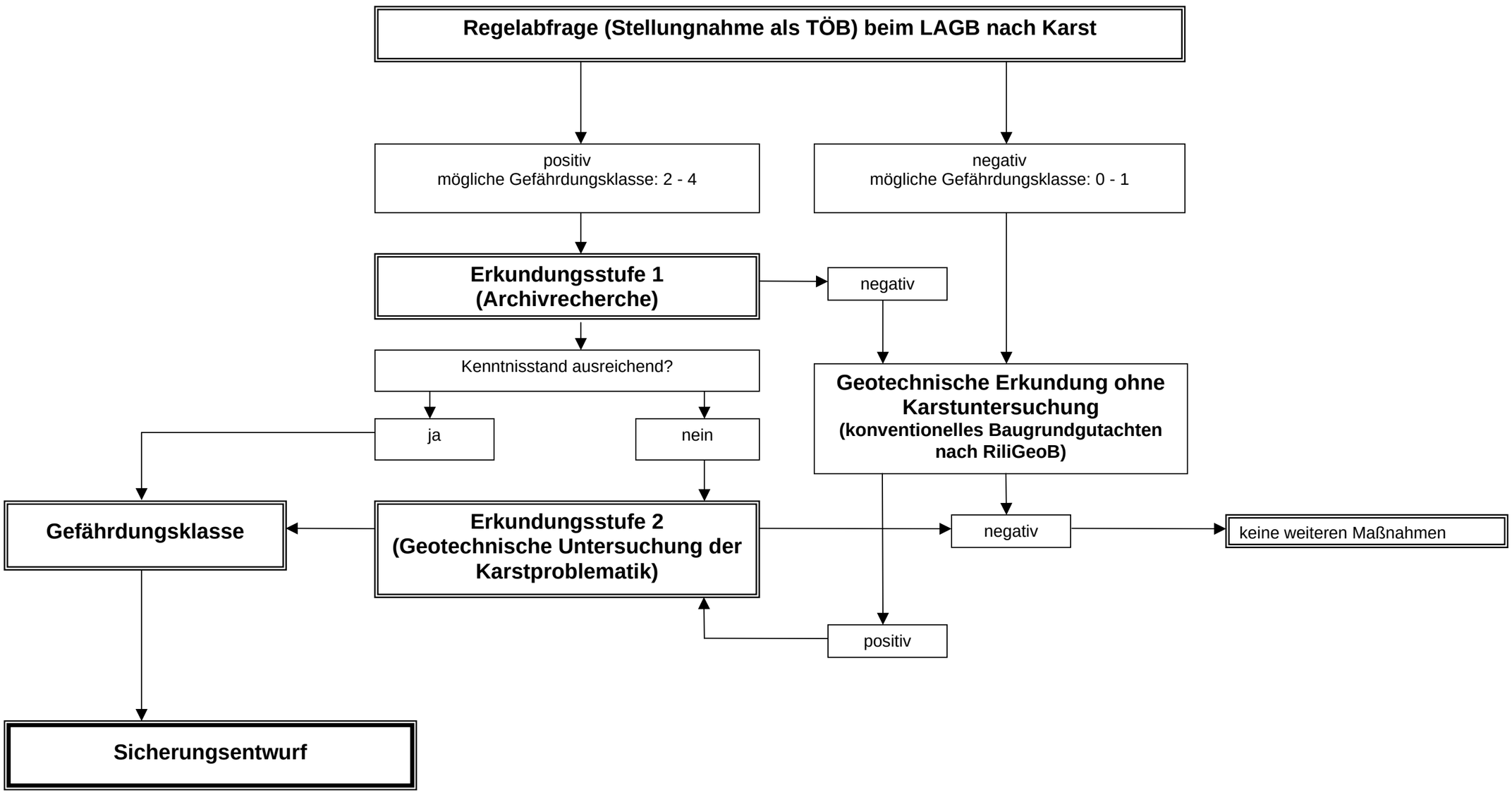
Köthener Straße 34

06118 Halle / Saale

Tel: 0345 / 52 12-0 Fax: 0345 / 5 22 99 10

Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt
Anhang C

Ingenieurgeologische Untersuchungen beim Straßenbau in Karstgebieten - Erkundungsstufen -



Ingenieurgeologische Erkundung in Karstgebieten: Untersuchungsaufgaben und Bearbeitungsumfang

Nr.	Sachverhalt	Mindestangaben	Bearbeitungsumfang
1	Beschaffenheit der verkarstbaren Gesteine	Kalkstein, Dolomitstein, Gipsstein, Anhydritstein, Steinsalz, Kalisalze	+
2	Tiefenlage und Mächtigkeit der Schichtenfolge mit verkarstbaren Gesteinen	Angabe der Größenordnung in [m/ Dekameter]	+
3	Lithologische Ausbildung und Mächtigkeit des Karstdeckgebirges einschließlich der Residualsedimente	Festgestein, Lockergestein, veränderlich feste Gesteine, bindig, rollig, Petrografie	+
4	Tektonik, Gefüge und Lagerungsverhältnisse der Schichten mit verkarstbaren Gesteinen und der Deckschichten	strukturgeologische Verhältnisse (Fallen, Streichen, Trennflächeninventar, Durchtrennungsgrad, Entfestigungen, Brekzien)	0
5	Karsthydrologische Verhältnisse incl. Grundwasserchemismus	Einfluss von Grund- und Oberflächenwasser, Grundwasserniveau, Fließvorgänge, Mineralisationsgrad	0
6	Größe und Ausbildung der Karstformen an der Erdoberfläche und im Untergrund	bruchlose Formen, bruchartige Formen, Bruchverformungen / Senkungen, Erdfälle, Spaltenbildungen	+
7	Standortbezug zu verkarstbaren Strukturbereichen	• Oberflächige oder unterirdische Ausstriche wasserlöslicher Gesteine? • Eintritt von Ereignissen in geologisch analogen Bereichen?	+
8	Alter der Karstformen an der Erdoberfläche	fossil / rezent	+
9	Verkarstungsgrad	intaktes Gestein (unverkarstet), partiell verkarstet, stark verkarstet (Hohlräume)	0
10	Anthropogene Einflüsse	Wasserhaltung, Bergbau, Versickerung, defekte Wasserleitungen, Flutung bergbaulicher Anlagen	+
11	Entfernung zum Bauwerk und Häufigkeit von Karstformen	Ereignisse lt. Karstkataster, statistische Auswertung	+

0 ... Einschätzen + ... Klären

Ingenieurgeologische Erkundung in Karstgebieten: Orientierende Bewertungsparameter

Nr.	Sachverhalt	Orientierende Bewertungsparameter			
1	Beschaffenheit der verkarstbaren Gesteine	• keine verkarstbaren Gesteine vorhanden	• Kalkstein, Dolomitstein	• Steinsalz, Kalisalze	• Gipsstein, Anhydritstein
2	Tiefenlage und Mächtigkeit der Schichtenfolge mit verkarstbaren Gesteinen	-			
3	Lithologische Ausbildung und Mächtigkeit des Karstdeckgebirges	• Festgestein	• Festgestein und Lockergestein	• Lockergestein, überwiegend bindig • Lockergestein, überwiegend rollig	• veränderlich feste Gesteine • Residualsedimente (Auslaugungsrückstände, Aschen)
4	Tektonik, Gefüge und Lagerungsverhältnisse der Schichten mit verkarstbaren Gesteinen und der Deckschichten	• horizontale Lagerung • flaches Einfallen • mittelsteiles Einfallen • steiles Einfallen	• kaum Störungs- und Kluftzonen • einzelne Störungs- und Kluftzonen • zahlreiche Störungs- und Kluftzonen • zahlreiche Störungs- und Kluftzonen, stark zerrüttetes Gebirge	• geringer Durchtrennungsgrad • hoher Durchtrennungsgrad	• Entfestigungen • Brekzien
5	Karsthydrologische Verhältnisse incl. Grundwasserchemismus	• verkarstbare Gesteine nicht im Einflußbereich des Grund- oder Oberflächenwassers	• verkarstbare Gesteine im Einflußbereich des Grundwassers	• verkarstbare Gesteine im Einflußbereich des Oberflächenwassers durch Versickerung in Kluft- und Störungszonen	• verkarstbare Gesteine im Einflußbereich des Grund- und Oberflächenwassers durch Versickerung in Kluft- und Störungszonen
6	Größe und Ausbildung der Karstformen an der Erdoberfläche und im Untergrund	• keine Karstformen an der Erdoberfläche bekannt	• Senkungsformen bis mehrere km lang und mehrere 100 m breit • Senkungsformen mit Länge und Breite < 100 m • flache, ausgedehnte, gleichmäßig ausgebildete Senkungsformen s ≤ 5 mm/a • tiefe, ausgedehnte, ungleichmäßig ausgebildete Senkungsformen s ≥ 5 mm/a	• örtliche Lösungsdolinen in Karbonaten • Hohlräume im cm-Bereich in verkarstbaren Gesteinen • Hohlräume im m-Bereich in verkarstbaren Gesteinen	• Erdfälle, Zerrspalten, grabenartige Bruchformen mit ∅ bzw. B ≤ 5 m • Erdfälle , Zerrspalten, grabenartige Bruchspalten und Randspalten um Erdfälle sowie grabenartige Bruchformen mit ∅ bzw. B ≥ 5 m
7	Standortbezug zu verkarstbaren Strukturbereichen	-			

Ingenieurgeologische Erkundung in Karstgebieten: Orientierende Bewertungsparameter

Nr.	Sachverhalt	Orientierende Bewertungsparameter			
8	Alter der Karstformen an der Erdoberfläche	• fossil		• rezente bzw. aktive Karstformen	
9	Verkarstungsgrad	• keine Karstformen im Untergrund bekannt • intakt / unverkarstet • partiell verkarstet • stark verkarstet (Hohlräume)	• Verkarstungsprozeß abgeschlossen • primäre Salzmächtigkeit durch Verkarstung reduziert • Lagerungsstörungen in nicht verkarstbaren Deckschichten	• Verkarstungsstadium unklar • Hohlräume / Spalten im Gips	• Lagerungsstörungen in verkarstbaren Deckschichten • Hohlräume in Deckschichten • in Auslaugung begriffen (aktiver Karst)
10	Anthropogene Einflüsse (Wasserhaltung, Bergbau, Versickerung, defekte Wasserleitungen, Flutung bergbaulicher Anlagen)	• anthropogene Einflüsse sind nicht vorhanden	• Beeinflussung durch Versickerungsanlagen und defekte Wasserleitungen nicht ausgeschlossen	• Beeinflussung durch bergbauliche o.a. langfristige Wasserhaltungen nicht ausgeschlossen	• Beeinflussung durch Flutung bergbaulicher Anlagen nicht ausgeschlossen
11	Entfernung zum Bauwerk und Häufigkeit von Karstformen	• Entfernung zum nächsten Erdfall beträgt ≥ 300 m • bis 500 m Entfernung sind 1 – 2 Erdfälle bekannt	• Entfernung zum nächsten Erdfall beträgt ≤ 300 m • in diesem Umkreis sind mehrere Erdfälle bekannt	• Entfernung zum nächsten Erdfall beträgt ≤ 100 m • in diesem Umkreis sind mehrere Erdfälle bekannt	• Entfernung zum nächsten Erdfall beträgt ≤ 50 m • in diesem Umkreis sind mehrere Erdfälle bekannt

Anhang F: Quellen / Richtlinien / Literatur

Altbergbaukolloqium, (08. bis 09. Nov. 2001) TU Bergakademie Freiberg. Verlag Glück auf GmbH, Essen

BÜCHNER, K.-H. (1991) Die Gefährdung von Bauwerken durch Erdfälle im Vorland des Westharzes. Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 59, herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover

BÜCHNER, K.-H. (1998) Möglichkeiten zum Schutz von Bauwerken vor Schäden durch Senkungen in Karstgebieten, NNA-Berichte 2/98 (Sonderdruck)

BRENDEL, K. (1977) Die Bedeutung subrosionsbedingter Formänderungen der Geländeoberfläche für die Bausubstanz, Landeskultur und Territorialplanung in der Mansfelder Mulde. Hall. Jb. f. Geowiss. Bd 1, Seiten 51 – 68, VEB H. Haak, Gotha / Leipzig

Entwicklungsbericht zur TGL 23 985 Ingenieurgeologische Erkundung in Karstgebieten. VEB Geologische Forschung und Erkundung, Jena, Entwurf vom Oktober 1987

Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (Stand 12.03.2002) AA 5.16 Boden- und Felserkundung: Richtlinie für geotechnische Untersuchungen und geotechnische Berechnungen im Straßenbau

Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt (Hrsg.) (1997) Ingenieurgeologische Übersichtskarte von Sachsen-Anhalt. 1 : 400.000, Halle

HECKNER, J., HEROLD, U., STROBEL, G., SCHÖNBERG, G. (1998) Zum Baugrund und Subrosionsgeschehen in Sachsen-Anhalt. Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt, 4, Halle, S. 101 – 121

HECKNER, J., HEROLD, U. (1995) Abgrenzung und Kategorisierung von Flächen unterschiedlicher karstgeologischer Bruchgefährdung im südöstlichen Harzvorland. Mitt. Geol. Sachsen - Anhalt, 1, Halle, S. 185 – 200

HOHL, R. (Hrsg.) (1981) Die Entwicklungsgeschichte der Erde. 5. überarbeitete Auflage, VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig

Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt (Juni 2001) Richtlinien für die Ausarbeitung von geotechnischen Berichten sowie Berichten für die Bewertung der Restsubstanz zur Erneuerung / Rückbau von Verkehrsflächen für den Dienstaufsichtsbereich des Landesamtes für Straßenbau Sachsen-Anhalt (RiliGeoB). V 22/2001-24

Landesamt für Straßenbau Sachsen-Anhalt (November 2001) Handlungsempfehlungen für den Einsatz von Geokunststoffen zur Sicherung bruchgefährdeter Straßenbereiche in Altbergbau- und Subrosionsgebieten für den Dienstaufsichtsbereich des Landesamtes für Straßenbau Sachsen-Anhalt. (GSbS Sachsen-Anhalt, 2001)

Lexikon der Geowissenschaften (2000) Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg / Berlin

PÖTTLER, R., SCHNEIDER, V., REHFELD, E., QUICK, H. (2002) Grundkonzept zur Lösung der Karst- und Erdfallproblematik für den Bau von Verkehrswegen. Felsbau 20, S. 10 - 21

REUTER,F., TOLMACEV, V. V. (1990) Bauen und Bergbau in Senkungs- und Erdfallgebieten. Schriftenreihe für Geologische Wissenschaften, Akademie-Verlag Berlin / Verlag Nedra, Moskau

TGL 23985 (01.07.1977) Geologie, Ingenieurgeologische Erkundung in Karstgebieten.