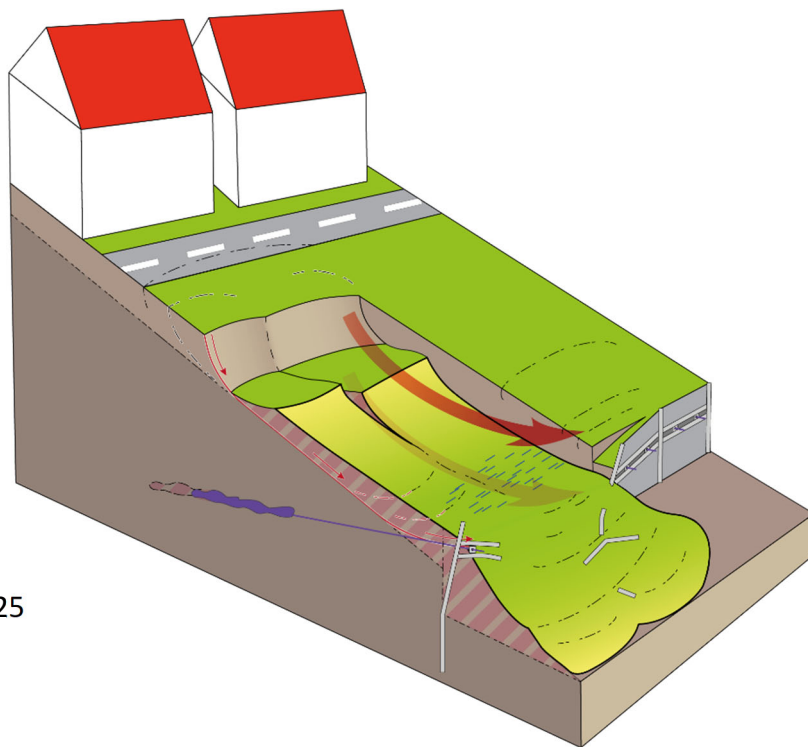


Praxishilfe

Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Fachleute

Geologische Gefahrenbeurteilung, Untersuchung, Planung und Überwachung



1. März 2025

Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Gefahrenprävention
3003 Bern

Autoren:

Pierre Gander, Jäckli Geologie AG, Goldau (Projektleitung)
Lukas Inderbitzin, Amt für Wald und Natur, Schwyz
Markus Liniger, Geotest AG, Horw
Klaus Louis, Louis Ingenieurgeologie GmbH, Weggis
Matthias Ryser, Dr. Vollenweider AG, Zürich

Bezugsquelle:

<https://www.inggeol.ch/publikationen>

Inhalt

1	Vorwort	3
2	Einleitung	3
3	Funktionen und Verantwortlichkeiten	4
4	Untersuchungen und Projektentwurf (SIA-Phasen 21 bis 31)	5
5	Projekt und Baubewilligung (SIA-Phasen 32 und 33)	12
6	Ausschreibung und Vergabe (SIA-Phase 41)	16
7	Ausführungsprojekt (SIA-Phase 51)	17
8	Ausführung (SIA-Phasen 52)	18
9	Inbetriebnahme und Abschluss (SIA-Phase 53)	19
10	Schlussfolgerungen	19
11	Literatur	20

Figuren

Figur 1:	Typische Aufgabenteilung während Projektabwicklung	4
Figur 2:	FrISChe Setzung des Geländes bei Gebäuden und Risse im Belag deuten auf aktive Rutschung hin	6
Figur 3:	Typische Sondierarten	7
Figur 4:	Rammsondierung (links) und Kernbohrung (rechts) in steilem Baugelände	8
Figur 5:	Beispielhaftes Bohrprofil mit Bohrlochversuchen und Ausbau mit Inklinometerrohr	8
Figur 6:	Beispielhafte Inklinometermessungen, welche einen Gleithorizont anzeigen	9

Anhänge

Anhang 1:	Fallbeispiel 1, Bauprojekt an Front alter, substabiler Sackungs-/Rutschungsmasse
Anhang 2:	Fallbeispiel 2, Bauprojekt in Gebiet mit aktiven und potentiellen Gleitflächen
Anhang 3:	Sondierungen und Sondierausbauten
Anhang 4:	Deformationsmessungen
Anhang 5:	Methoden in Entwicklung

1 Vorwort

Der Untergrund in Rutschgebieten ist als Baugrund tückisch. Bauvorhaben in Rutschgebieten sind daher sehr anspruchsvoll. Vorliegende Praxishilfe richtet sich an Fachleute (Geologen, Geotechnikerinnen, Bauingenieure, Bauleiterinnen), die solche Bauprojekte bearbeiten. Sie zeigt auf, weshalb Bauen in Rutschgebieten oftmals fachlich und technisch sehr herausfordernd ist und wie die möglichen Risiken dank fachgerechter Planung und Vorgehen reduziert werden können. Fallbeispiele veranschaulichen die Problematik.

Die separate Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Bauherrschaften und Baubehörden» vom 1. September 2023 richtet an Nicht-Fachleute (wie z.B. Bauherrschaften, Architekten und Behörden), die mit Rutschprozessen nicht vertraut sind (*Bezugsquelle:* <https://www.inggeol.ch/publikationen>).

Das Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, beauftragte die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von Ingenieurgeologie Schweiz (inggeol.ch) mit der Erarbeitung dieser Praxishilfe.

2 Einleitung

Baueingriffe in Rutschgebieten können natürliche Hangbewegungen beschleunigen oder Teile eines Hanges akut destabilisieren. Das kann weitreichende Folgen für das Bauvorhaben selbst, aber auch für umliegende Grundstücke haben. Explizit betrifft das auch Bereiche, die in den Naturgefahrenkarten «nur» als gelbes Gefahrengebiet ausgeschieden sind und deren Gefahrenpotential deswegen leicht unterschätzt wird. Als Folge davon resultieren oftmals erhebliche baubedingte Schäden mit langwieriger juristischer Aufarbeitung (vgl. «Fallbeispiel negativ» im Anhang 1).

Mit einer zweckmässigen Projektorganisation und einer sachgerechten Baugrunduntersuchung, Projektierung und Bauausführung kann das Schadenrisiko in Rutschgebieten meist auf ein akzeptables Mass reduziert und so durchaus erfolgreich gebaut werden (vgl. «Fallbeispiel positiv» im Anhang 1). Allerdings ist dabei zwangsläufig von höheren Baukosten und längerer Bauzeit auszugehen als bei Bauten in problemlosem Gelände.

Baubehörden sollen Bauherrschaften dazu anhalten, in Rutschgebieten angemessen und umsichtig zu projektieren und zu bauen. Von den Bauherrschaften angefragte Planer und Fachleute, wie Architekteninnen, Bauingenieure oder Geologinnen, müssen im Rahmen ihrer Sorgfaltspflicht ihren Auftraggeber auf die Problematik «Rutschgebiet» explizit hinweisen. Verantwortlich für das Bauwerk und für allfällige damit verbundene Schäden verbleibt jedoch primär die Bauherrschaft. Um dieser Verantwortung gerecht zu werden, muss sie für alle notwendigen Funktionen kompetente Fachleute und Unternehmungen beauftragen (vgl. *Kapitel 3*).

Die vorliegende Praxishilfe ist nach Projektphasen gegliedert:

1. Untersuchungen und Projektentwurf → vgl. *Kapitel 4*
2. Projekt und Baubewilligung → vgl. *Kapitel 5*
3. Ausschreibung und Vergabe → vgl. *Kapitel 6*
4. Ausführungsprojekt → vgl. *Kapitel 7*
5. Ausführung inkl. Überwachung → vgl. *Kapitel 8*
6. Inbetriebnahme und Abschluss → vgl. *Kapitel 9*

3 Funktionen und Verantwortlichkeiten

Damit die Risiken bei Bauvorhaben in Rutschgebieten mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand beherrscht werden können, ist eine enge Zusammenarbeit verschiedener Fachleute erforderlich (Architekteninnen, Geologen, Geotechnikerinnen, Bauingenieure, Geometer, Bauleiterinnen, Bauunternehmungen). Eine klare Zuordnung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten der verschiedenen Beteiligten ist entscheidend für den Projekterfolg.

Die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Beteiligten sind für jedes Projekt zu Beginn eindeutig zu vereinbaren und es ist zu gewährleisten, dass alle Aufgaben abgedeckt sind und alle Beteiligten die für ihre Aufgaben erforderlichen Kompetenzen mitbringen.

Die Verantwortlichkeiten sind je nach Projektphase unterschiedlich. Eine typische Zuteilung von Funktionen und den wichtigsten Aufgaben («Aufgabenteilung») im Zusammenhang mit Bauvorhaben in Rutschgebieten ist beispielhaft in *Figur 1* dargestellt.

Projektphase	Aufgaben	Funktion (typische Berufe / Bezeichnungen in Klammer)							
		Bauherrschaft	Gesamtleiter (Architekt)	Fachplaner Architektur (Architektin)	Fachplaner Tragwerk 1) (Bauingenieur)	Fachspezialist Baugrund (Geologin)	Bauleitung (Bauleiter)	Fachspezialist Vermessung 2) (Geometerin)	Unternehmung (Tiefbauer)
alle Phasen	Risikomanagement, Einplanen Reserven (Baukosten, -zeit)	B	L/A	M	M	M			
Vorstudie, Vorprojekt	Klären baurechtlicher Grundlagen	B	K	L/A					
	Geologische Untersuchungen	B	K	M	M	L/A 3)			
	Entwurf Gesamtprojekt	B/E	K	L/A	M				
	Tragwerks- und Hang-sicherungskonzept	B/E	K	M	L/A	U			
Bauprojekt, Baubewilligung	Gesamtprojekt	B/E	K	L/A	M				
	Teilprojekt Tragwerk, Hang-/Baugrubensicherung	B/E	K	M	L/A	U			
Ausschreibung	Ausschreibung Tragwerk, Hang-/Baugrubensicherung	B	K	M	L/A	U	(M)		
	Ausschreibung, Offertanfragen Spezialisten	B	L/A	M	M		(M)		
	Offertvergleiche, Vergabeempfehlungen, Vergaben	B/E	L/A	M	M		(M)		
Ausführungs- planung	Ausführungspläne Tragwerk, Hang-/Baugrubensicherung	B	K	M	L/A		(M)		
	Überwachungsplan, Kontrollplan	B	K	M	L/A	U	(M)	U	
Ausführung	Bauausführung	B	K	M			L/K		A
	Baukontrollen (Qualität)	B	K	M	M	U	L/K		A
	Überwachung Baugrund-/Tragwerksverhalten	B	K	M	M	U	L/K	A	M
	Geologische Baubegleitung	B	K	M	M	A	L/K		M
	Planung Verstärkungen / Anpassungen Hangsicherung	B/E	K	M	L/A	U	K/M		M
Abschluss, Dokumentation	Dokumentation des ausgeführten Bauwerks	B	K	L/A	M		M		
	Unterhalts- und Überwachungsplan	B	K	M	L/A		M		

Legende:

- B – Beauftragung
- E – Entscheid
- L – Leitung
- K – Auslösen, Kontrolle
- M – Mitwirkung
- A – Ausführung
- U – Unterstützung

1) inkl. Fachplanung Hang-/Baugrubensicherung

2) z.T. verschiedene Spezialisten für geodätische und geotechnische Messungen

3) z.T. unter Beizug von Spezialunternehmungen für Sondierungen

Figur 1: Typische Aufgabenteilung während Projektabwicklung

Allfällige Unklarheiten in der Aufgabenteilung, wie sie im Laufe der Projektentwicklung immer wieder auftreten können, sind von allen Beteiligten anzusprechen und rasch zu bereinigen.

Ein Stolperstein ist die Vermischung von Aufgaben und Kompetenzen. Nur weil der «Geologe»¹ Sachverständiger für den Baugrund ist, heisst das noch nicht, dass er oder sie auch automatisch für alle mit dem Baugrund zusammenhängenden Belange beauftragt und zuständig sein kann (z.B. für die Beurteilung der Stabilität der Baugrube).

4 Untersuchungen und Projektentwurf (SIA-Phasen 21 bis 31)

Um die Risiken bei Bauvorhaben in Rutschgebieten zu beherrschen, müssen bereits in den Vorstudien (SIA-Phase 21 und 22) und im Vorprojekt (SIA-Phase 31) die Weichen richtig gestellt werden. So muss ein Rutschgebiet als solches erkannt und mit geeigneten Methoden untersucht werden. Gestützt darauf muss das Bauwerkskonzept auf die Hanglage und die spezifische Rutschgefahr abgestimmt werden.

4.1 Geologisch-geotechnische Untersuchung von Rutschgebieten

Erkennen von Rutschgebieten (Offertphase)

Die Erkennung bereits bekannter Rutschgebiete gelingt anhand von bestehenden geologischen Grundlagen, Feldbegehungen und Lokalkenntnissen (z.B. Nachbarin, lokaler Bauunternehmer etc.); die wichtigsten sind:

- Geologische Karte inkl. Erläuterungen 1: 25'000 *)
- Reliefkarte *)
- Gefahrenkarte und dazugehöriger technischer Bericht **)
- Ältere, nahegelegene Sondierungen

*) schweizweit verfügbar auf <https://www.map.geo.admin.ch>

***) meist auf WebGIS bzw. bei Fachbehörde des jeweiligen Kantons erhältlich

Ältere geologische (Baugrund-)Untersuchungen mit Sondierungen (z.B. Bohrungen, Rammsondierungen, Bagger-Sondierschächte) können bei kommunalen Bauämtern, kantonalen Fachstellen sowie lokalen Ingenieur- und Geologiebüros angefragt werden.

Bisher unbekannte Rutschgebiete lassen sich nicht immer im Vorherein zuverlässig erkennen. Oft gelingt dies jedoch mit den folgenden Untersuchungen:

- Analyse von Reliefkarte und historischen Luftbildern *)
- Kartierung von Rutschphänomenen im Gelände und an bestehenden Gebäuden/Bauten

*) schweizweit verfügbar auf <https://www.map.geo.admin.ch>

¹ (Berufs-)Bezeichnungen wie etwa «Geologin», «Geotechniker» oder «Bauingenieurin» sind nicht gleichbedeutend mit einer bestimmten Funktion, Aufgabe oder Verantwortlichkeit im jeweiligen Projekt.



Figur 2: Frische Setzung des Geländes bei Gebäuden und Risse im Belag deuten auf aktive Rutschung hin

Erstbeurteilung von Rutschgebieten

Die obengenannten Grundlagen erlauben eine Erstbeurteilung eines Rutschgebietes (Ausdehnung? Mächtigkeit? Wasseraustritte? Aktivität?). Zur Abgrenzung eines Rutschgebietes (Scherränder) und der Visualisierung von internen Rutschstrukturen (Anrisszonen, Scherzonen, Stauchbereiche, etc.) ist insbesondere die Reliefkarte sehr nützlich.

Die Gefahrenkarte inkl. dem dazugehörigen technischen Bericht samt Karte der Phänomene und Intensitätskarten erlauben in der Regel eine erste Beurteilung eines Rutschgebietes hinsichtlich dessen Mächtigkeit und Aktivität.

Die Informationen der geologischen Karte 1: 25'000 und von Gefahrenkarten (meist im Massstab 1:5000) sind für die Projektierung eines Bauvorhabens (typischer Massstab 1: 500 oder kleiner) zu generell. Es empfiehlt sich, die vorliegenden (oft schon älteren) Karten und die darin kartierten Rutschphänomene im Gelände zu verifizieren. Dabei sind auch Gebäude und Infrastrukturanlagen mit einzubeziehen (Risse, Setzungen, Strassenschäden, verschobene/verkippte Überland-Stromleitungen, beschädigte unterirdische Leitungen, etc.). Wertvolle Informationen erhält man oft auch in Gesprächen mit langjährigen Anwohnern.

Untersuchungen für Projektbereich in Rutschgebiet

Die Untersuchung eines Projektbereichs in einem Rutschgebiet sollte spezifisch für das konkrete Bauvorhaben konzipiert werden und in der Regel folgende Daten und Methoden kombinieren:

1. Erheben und Beschaffen allfälliger bereits bestehender geologischer Grundlagen. (z.B. Baugrunduntersuchung Nachbargebäude).
2. Geologische Kartierung Projektbereich und Umgebung (z.B. allfällige grossflächige Aufschlüsse, wie etwa Bacheinschnitte oder Strassenböschungen) hinsichtlich Hinweisen oder Phänomenen von Rutschprozessen.
3. Geologische Sondierungen (Anzahl, Lage, Art, Endtiefe; *siehe unten*).
4. Ggf. Deformationsmessungen (*siehe unten*).

Sondierungen

Typische Ziele von Sondierungen sind die Erkundung/Erfassung von:

- Geologischer Schichtaufbau
- Materialzusammensetzung
- Lagerungsdichte
- Wasserverhältnisse
- Baugrundwerte

Bei der Konzipierung von Sondierungen zur geologisch-geotechnischen Baugrunderkundung eines Projektbereichs in einem Rutschgebiet sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

- Platzierung der Sondierungen möglichst an den Ecken eines Bauvorhabens (Befunde lassen sich interpolieren und müssen nicht extrapoliert werden).
- Für eine zuverlässige Beurteilung der Stabilitätsverhältnisse müssen die Baugrundverhältnisse teilweise über die eigentliche Bauparzelle hinaus bekannt sein (z.B. bei geplanten Hanganschnitten nahe am hangseitigen Parzellenrand oder bei geplanten Schüttungen nahe des talseitigen Parzellenrandes). Dies erfordert teilweise auch Sondierungen auf Grundstücken Dritter.
- Die Sondiertiefe sollte deutlich unter die Aushub-/Bauwerkssohle reichen (mind. Böschungshöhe $\times 1.5$), wobei obenliegende Stützmauern u.ä. hinzurechnen sind.
- Sondierabstand maximal 30 bis 50 m.
- U.a. Sondierarten mit Materialaufschluss wählen (z.B. Kernbohrung; vgl. *Anhang 3*).
- Ausgewählte Kernbohrungen mit Piezometern oder Porenwasserdruckgebern ausbauen.
- Bei mutmasslich aktiver Rutschung oder unklaren Stabilitätsverhältnissen Inklinometer vorsehen.

Die wichtigsten Sondierarten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Sondierart	typ. Sondiertiefe	Materialaufschluss	Aussagekraft	Kosten	Vorteile
Kernbohrung	10–50 m	ja	+++	+++	Bohrlochversuche, Einbau Messrohre-/instrumente möglich
Bagger-Sondierschacht	ca. 5 m	ja	+++	+	grossflächiger Materialaufschluss
Rammkernbohrung	ca. 5 m	ja	++	+	in beengten/steilen Verhältnissen einsetzbar
Rammsondierung	ca. 15 m	nein	+	+	in beengten/steilen Verhältnissen einsetzbar
Spülbohrung	10–50 m	nein	–	++	

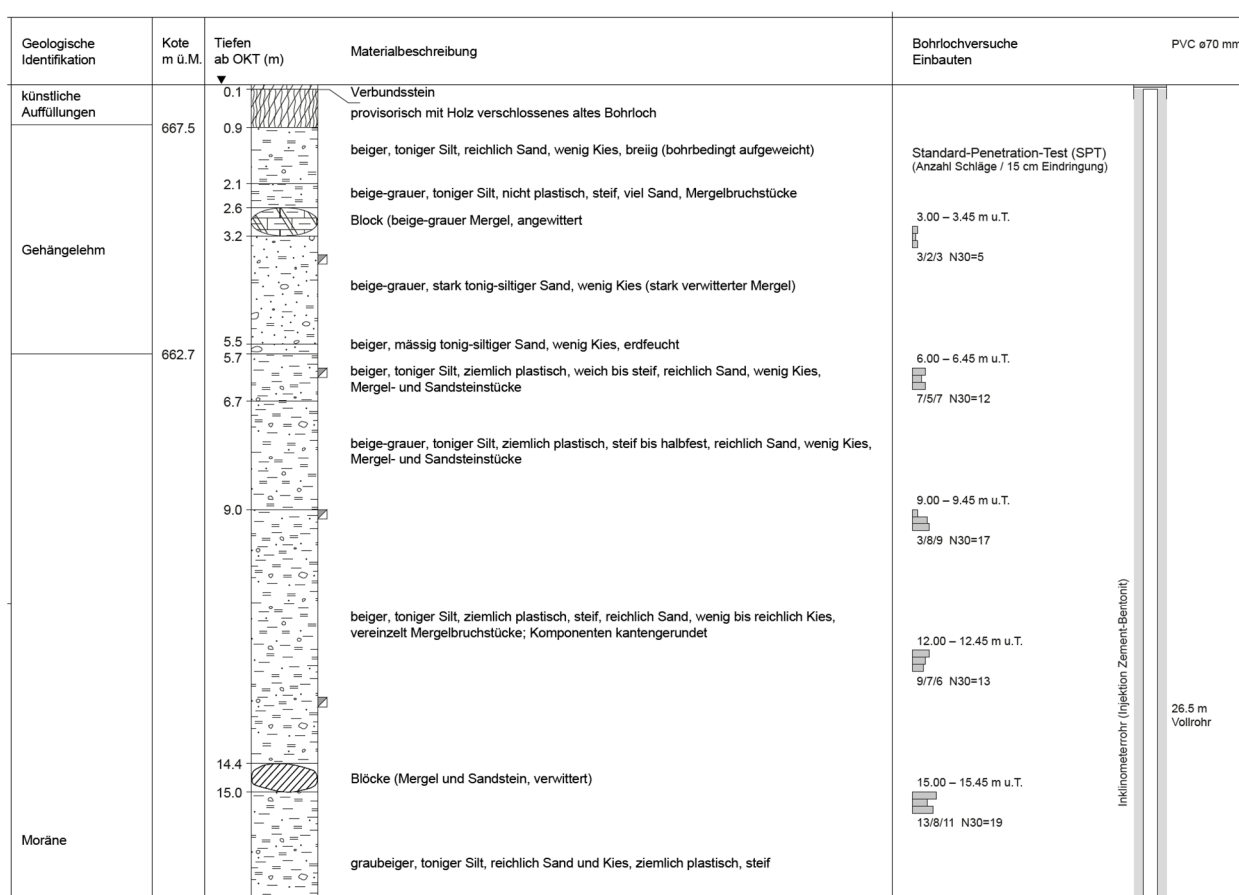
Figur 3: Typische Sondierarten

Mit Kernbohrungen erhält man meist die aussagekräftigsten Resultate, da sie einen Materialaufschluss bieten und je nach Fragestellung Materialproben, Bohrlochversuche (z.B. zur Ermittlung der Lagerungsdichte oder der Durchlässigkeit) sowie die Installation von Piezometer-/Inklinometerrohren oder Porenwasserdruckgebern ermöglichen. Im Gegensatz dazu sind destruktive Spülbohrungen in ihrer Aussagekraft sehr limitiert und deswegen wesentlich weniger geeignet.

→ In *Anhang 3* sind verschiedene Arten von Sondierungen und Sondierlochausbauten beschrieben.



Figur 4: Rammsondierung (links) und Kernbohrung (rechts) in steilem Baugelände



Figur 5: Beispielhaftes Bohrprofil mit Bohrlochversuchen und Ausbau mit Inklinometerrohr

Deformationsmessungen

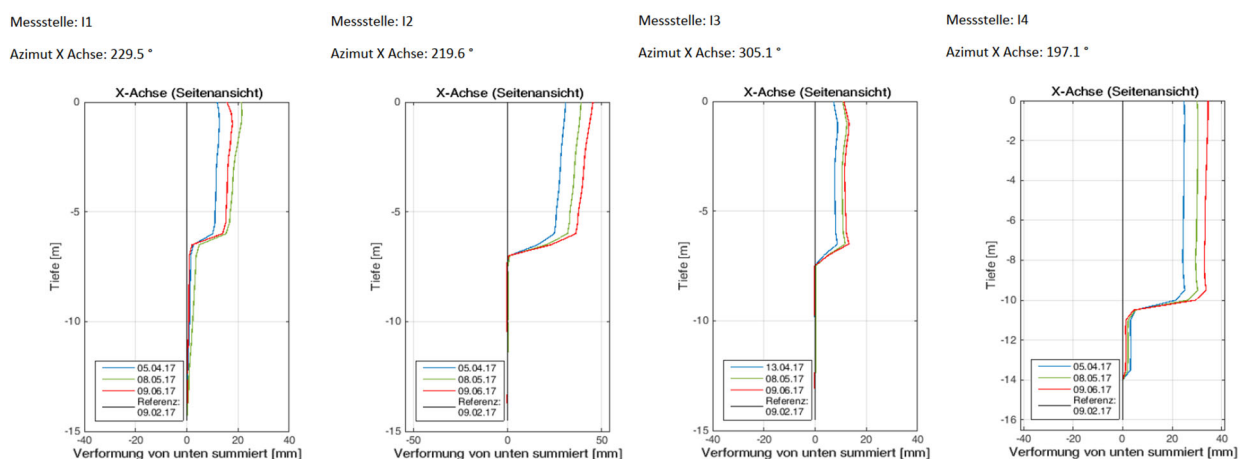
Zur messtechnischen Erfassung von Geländebewegungen stehen verschiedene Arten von Deformationsmessungen zur Verfügung. Die wichtigsten sind:

- Inklinometermessungen → tiefliegende Gleithorizonte
- Geodätische Messungen → punktuelle Geländebewegungen (Oberfläche)
- GPS / GNSS → punktuelle Geländebewegungen (Oberfläche)
- Radarinterferometrie / InSAR → flächenhafte, regionale Geländebewegungen (Oberfläche)

Die Kombination von Inklinometermessungen mit geodätischen Messungen ist oft besonders informativ, da diese den Baugrund sowohl vertikal wie auch horizontal erfassen.

Die klassische Radarinterferometrie ermöglicht hochaufgelöste und flächenhafte Messungen z.B. von Felswänden.

Die Satelliten-gestützte Radarinterferometrie ist ein spezielles Verfahren, welches aktuell erst in Einzelfällen angewendet wird. Falls im Gelände genügend gute Reflektoren vorhanden sind (Gebäude, Straßen, Fels) erlaubt sie aber dank der Auswertung von älteren Satellitendaten auch die Rekonstruktion von früheren Geländebewegungen viele Jahre zurück.



Figur 6: Beispielhafte Inklinometermessungen, welche einen Gleithorizont anzeigen

→ In *Anhang 4* sind verschieden Arten von Deformationsmessungen detaillierter beschrieben.

Geophysikalische Untersuchungen

Für die Untersuchung kommen auch diverse geophysikalische Untersuchungsmethoden in Betracht, wie etwa Georadar, Geoelektrik oder Seismik. Deren Aussagekraft ist in Baugebieten aufgrund zahlreicher Störeffekte durch Bauten und Infrastrukturen allerdings oft stark eingeschränkt.

Die Wahl geeigneter geophysikalischer Untersuchungsmethoden muss daher sorgfältig in Absprache mit einer Geophysikerin oder einem Geophysiker spezifisch abgestimmt werden.

Da geophysikalische Untersuchungen immer nur indirekte Befunde ergeben, sollten diese stets mit Sondierungen kombiniert und „geeicht“ werden.

4.2 Projektentwurf für Bauten in Rutschgebieten

Um die Risiken und Kosten beim Bauen in Rutschhängen auf ein vertretbares Mass zu beschränken, muss der Entwurf des Gebäudes bzw. Bauwerks auf die Hanglage und die Rutschgefahr angepasst werden. Eine vorgängig durchgeführte Planung des Gebäudes bzw. Bauwerks, welche die besonderen Verhältnisse der Rutschung nicht berücksichtigt, und die nachträgliche Ergänzung mit einer Hangsicherung sind selten zielführend. Dies bedingt, dass die erforderliche Baugrunduntersuchung in einer frühen Projektphase durchgeführt wird und dass der mit der Projektierung der Sicherungsmassnahmen beauftragte Ingenieur frühzeitig in die Projektentwicklung einbezogen wird.

Eine umfassende und aussagekräftige geologisch-geotechnische Baugrunduntersuchung ist eine unerlässliche Grundlage für einen angemessenen Projektentwurf, der auf eine spezifische Rutschgefahr abgestimmt ist. Gestützt darauf lassen sich eine Modellvorstellung der (hydro-)geologisch-geotechnischen Verhältnisse inkl. aktiver und potentieller Rutschmechanismen entwickeln sowie diesbezügliche Unsicherheiten und Risiken für das Projekt erkennen.

Beim Entwurf des Bauwerks- und Hangsicherungskonzepts müssen alle Bauzustände (Baugrube bzw. Hanganschnitt) und der Endzustand beachtet werden. Je nach Tiefenlage und Deformationsgeschwindigkeit der Rutschung können unterschiedliche Strategien und Konzepte verfolgt werden und unterschiedliche Massnahmen erforderlich sein. Unter anderem sind die folgenden Fragen zu beantworten:

- Gibt es unter-/oberhalb des geplanten Bauwerks oder im Baubereich selbst aktive Rutschungen, die durch die Baumassnahme beschleunigt werden könnten?
- Liegt das geplante Bauwerk eher im oberen Bereich der Rutschung (Anrisszone), im unteren Bereich (Stauchzone) oder dazwischen (Transitzone)?
- Liegt die Gleitfläche so tief, dass die Rutschung keinen relevanten Einfluss auf das Bauwerk hat?
- Soll die Rutschung gebremst oder gestoppt werden?
Wie wird das technisch umgesetzt und ist dies mit vertretbarem Aufwand möglich?
- Kann das Bauwerk die – je nach Umfang der Sicherungsmassnahmen – noch zu erwartenden absoluten und differentiellen Hangdeformationen aufnehmen?
Oder müssen das Bauwerk und die Rutschung entkoppelt werden?
Wie wird eine allfällige Entkoppelung umgesetzt?
- Muss die vorhandene Stabilitätssicherheit erhöht werden und falls ja, um wie viel?
- Könnten durch die Baumassnahme neue Rutschungen oberhalb oder unterhalb des Bauwerks ausgelöst oder bereits aktive Rutschungen beschleunigt werden?
- Wird der infolge der Rutschung erhöhte Erddruck (Kriech-/Rutschdruck) vom Bauwerk übernommen oder werden Bauwerk und Hangsicherung entkoppelt?
- Kann das Bauwerk im Endzustand die Funktion der Hangsicherung übernehmen, oder sind zusätzliche permanente Sicherungsmassnahmen nötig?

Zum Entwurf robuster Bauwerke in Hanglage sollten folgende Grundsätze verfolgt werden:

- Massenausgleich im Endzustand anstreben
(Masse des Aushubs gleich gross wie Masse von Gebäude und Hinterfüllungen).
- Möglichst kleine Höhe der Hanganschnitte im Bau- und im Endzustand
(insbesondere bei Bauwerken im Fussbereich der Rutschung bzw. in der Stauchzone).
- Möglichst geringe Schütthöhen bzw. Zusatzbelastungen im Bau- und Endzustand.
(insbesondere bei Bauwerken im Kopfbereich der Rutschung bzw. in der Anrisszone).
- Angemessener Abstand zu benachbarten Gebäuden / Bauwerken.

- Fehlende Einbindung in den Baugrund talseitig vermeiden.
- Kompakter Grundriss und steifes Untergeschoss in Stahlbeton.
- Aufnahme und Abtrag der Hangschubkräfte durch das Gebäude im Endzustand gewährleisten (steifes Untergeschoss mit in Fallrichtung des Hangs angeordneten Wandscheiben, talseitige Einbindung in den Baugrund).
- Angepasste Umgebungsgestaltung (keine hohen Anschnitte / Böschungen), Sicherung / Stützmauern frühzeitig mitplanen.
- Gute Entwässerung / Drainage.
- Flexible Werkleitungsanschlüsse.

Bei grösseren Gebäuden ist zur Umsetzung der obigen Empfehlungen oft eine treppenartige, terrasierte Anordnung der Untergeschosse sinnvoll; eine etappierte Ausführung ist ebenfalls von Vorteil.

Die Geländeverhältnisse und die Zugänglichkeit sind wesentliche Randbedingungen für die Wahl der geeigneten Bauverfahren und Sicherungsmethoden. Gewisse Verfahren des Spezialtiefbaus benötigen grosse Maschinen und können in Hanglagen erst nach Erstellung eines genügend grossen, horizontalen Arbeitsplanums eingesetzt werden. Dies erfordert fallweise bereits umfangreiche Vorarbeiten und entsprechende temporäre Sicherungsmassnahmen.

Es empfiehlt sich, den Projektentwurf mit der Spezialistin (Geologin) oder dem Spezialisten (Geologe) zu besprechen, die/der die geologisch-geotechnischen Baugrunduntersuchungen durchgeführt hat, um so deren/dessen Fachwissen und Erfahrung ins Projekt einzubeziehen. Zudem können so allfällige Fehleinschätzungen aufgrund unterschiedlicher Interpretation der Grundlagen geklärt und ausgeräumt werden.

Im Rahmen des Entwurfs ist durch die Projektverfassenden zu beurteilen, ob die vorhandenen geologisch-geotechnischen Grundlagen für die jeweilige Projektphase ausreichend sind oder ob ergänzende Untersuchungen nötig sind.

Die Bauherrschaft ist von den Projektverfassenden bereits im Rahmen der Vorstudien und des Vorprojekts im Gespräch und durch Dokumentation in der Nutzungsvereinbarung transparent über die mit dem Bauen in einem Rutschgebiet verbundenen Risiken für das geplante Projekt zu informieren. Dazu gehören typischerweise folgende Punkte:

- Baukosten und Bauzeit generell erhöht.
- Erhöhtes Risiko von zusätzlichen Mehrkosten und zusätzlicher Verlängerung der Bauzeit für Baugruben- und Hangsicherung.
- Periodische Reparaturen wegen permanenten Hangverschiebungen.
- Erhöhter Aufwand für Unterhalt und Überwachung während ganzer Nutzungsdauer.

Resultate der Projektphase

Am Ende der Phase 31 (Vorprojekt) sollten mindestens die folgenden Dokumente vorliegen:

- Architektenpläne (auf die objektspezifischen Verhältnisse abgestimmtes Projekt).
- Geologisch-geotechnischer Bericht (Baugrunduntersuchung).
- Nutzungsvereinbarung mit Erläuterung der wichtigsten Gefährdungen, Massnahmen und verbleibenden Risiken aufgrund der Lage in einem Rutschgebiet.
- Vorbemessung der Hangsicherungsmassnahmen für den Bau- und den Endzustand.
- Kostenschätzung.

5 Projekt und Baubewilligung (SIA-Phasen 32 und 33)

In der Bauprojektphase wird das Projekt weiter detailliert, so dass zuverlässige Grundlagen für die Kostenschätzung, die Festlegung der Termine, die Baueingabe und die Ausschreibung der Bauarbeiten vorliegen. Bezüglich der Rutschungsthematik betrifft dies vor allem den Bauingenieur und/oder die Geotechnikerin und umfasst u.a. die folgenden Punkte:

- Abklären von speziellen Auflagen der Behörden aufgrund des Gefahrenbereichs.
- Definitive Festlegung des Bauwerks- und Sicherungskonzepts für Bau- und Endzustand.
- Rechnerische Untersuchung der Hangstabilität im Bau- und Endzustand inkl. Dimensionierung des Bauwerks und der temporären und/oder permanenten Hangsicherungsmassnahmen.
- Überwachungskonzept.
- Beschreibung der gewählten Konzepte und Aufzeigen der damit verbundenen Risiken (z.B. Kosten, Termine, Schäden an eigenen Gebäuden und Anlagen sowie an Gebäuden und Anlagen Dritter) in der Nutzungsvereinbarung mit der Bauherrschaft.
- Festhalten der Annahmen für die Stabilitätsnachweise und für die Dimensionierung von Bauwerk und Hangsicherungsmassnahmen in der Projektbasis.

Erforderliche Grundlagen

Die wesentlichen Grundlagen für das Bauprojekt bilden die Resultate bzw. Dokumente aus der Vorprojektphase und die darauf abgestützten Entscheidungen der Bauherrschaft zur Weiterentwicklung des Projekts.

Für die Beurteilung der Stabilitätsverhältnisse müssen genügend weit hangaufwärts und -abwärts reichende Geländeaufnahmen vorhanden sein. Geländeaufnahmen nur auf der eigentlichen Projektparzelle genügen in den meisten Fällen nicht. Im Rahmen der Projektierung ist laufend neu zu beurteilen, ob die vorhandenen geologisch-geotechnischen Grundlagen für die jeweilige Projektphase ausreichen oder ob aufgrund von neu aufgetretenen Fragestellungen oder Projektänderungen ergänzende Untersuchungen nötig sind. Im Zweifelsfall empfiehlt es sich, dies mit der/dem Spezialistin/en (Geologin oder Geologen) zu besprechen, die/der die Baugrunduntersuchung durchgeführt und den geologisch-geotechnischen Bericht verfasst hat.

Hinweise zu Nachweisen und Bemessung

Die Projektierung und Bemessung von Bauwerken und Baugruben in Rutschhängen bzw. von Hangsicherungen ist eine anspruchsvolle Ingenieuraufgabe, welche entsprechende Kompetenzen und Erfahrung der Planer erfordert. Aufgrund von grossen projektspezifischen Unterschieden können hier nur einige allgemeine Hinweise gegeben werden:

- Die Lage/Tiefe von bekannten bzw. potentiellen Gleitflächen bzw. Schwächezonen (in Aufschlüssen eher selten eindeutig identifizierbar) ist für die Stabilitätsverhältnisse entscheidend. Auch unterhalb des Aushubniveaus verlaufende Gleitflächen können kritisch sein (Entlastung durch Aushub).
- Hang- bzw. Grundwasser ist bei Rutschungen oft der massgebende treibende Faktor. Die im Untergrund herrschenden Wasserdrücke haben einen grossen Einfluss auf die Stabilitätsverhältnisse, sind aber oft schwierig zu erfassen.
- Unsicherheiten in der geologisch-geotechnischen Prognose sind bei Stabilitätsnachweisen und Bemessung zu berücksichtigen (Sensitivitätsanalysen, z.B. mit unterschiedlicher Lage von

Gleitflächen/Schwächezonen, unterschiedlichen Baugrundwerten oder unterschiedlichen Annahmen zu den herrschenden Wasserdrücke).

- In den Stabilitätsberechnungen sind realistische, an die Baugrundverhältnisse angepasste Formen der Bruchkörper zu untersuchen. Insbesondere bei mehr oder weniger hangparallelem Schichtaufbau sind häufig eher langgestreckte, polygonale Bruchkörper und nicht Gleitkreise zu erwarten.
- Rückrechnungen von potentiell labilen Situationen im ursprünglichen Zustand (Annahme eines Sicherheitsfaktors $F = 1.0$ im Stabilitätsnachweis auf Kennwertniveau) können ein zweckmässiges Hilfsmittel sein, um gewisse Baugrundwerte und Annahmen zu bestimmen bzw. zu verifizieren. Es ist zu beachten, dass mit einer einzelnen Rückrechnung immer nur ein einzelner Parameter bestimmt werden kann. Dieser hängt davon ab, welche Annahmen für die übrigen Parameter getroffen wurden (Baugrundwerte, Lasten, Wasserdrücke, Geometrie der untersuchten Bruchkörper etc.) und was für eine Berechnungsmethode verwendet wurde. Die aus einer Rückrechnung ermittelten Werte gelten deshalb nicht absolut, sondern nur in Verbindung mit dem für die Rückrechnung verwendeten Baugrund- und Berechnungsmodell und für ähnliche Bruchkörper, wie sie in der Rückrechnung analysiert wurden.
- In Gebieten mit aktiven permanenten Rutschungen ist davon auszugehen, dass zumindest für gewisse kritische Gleitflächen labile Verhältnisse vorliegen (Sicherheitsfaktor im Stabilitätsnachweis auf Kennwertniveau $F = 1.0$). Die angenommenen Baugrundwerte und Wasserdrücke sind diesbezüglich mit Rückrechnungen am ursprünglichen Zustand zu verifizieren (d.h. zumindest für gewisse Bruchkörper muss in diesem Fall $F \leq 1.0$ resultieren, andernfalls sind die getroffenen Annahmen zu optimistisch).
- Für die Bemessung von Baugruben- und Hangsicherungen sind zwingend Stabilitätsberechnungen durchzuführen, u.a. zur Ermittlung der erforderlichen Ankerlängen. Erddruckberechnungen allein sind in der Regel nicht ausreichend.
- Die Sicherung von Baugruben und Hanganschnitten sollte so erfolgen, dass die Stabilitätssicherheit in den Bauzuständen gegenüber dem ursprünglichen Zustand nicht oder höchstens kurzfristig und nur lokal etwas abnimmt. Bei den Sicherungsarbeiten muss deshalb in der Regel etappiert vorgegangen werden und die Sicherungsmittel sollten möglichst früh eingebaut werden.
- Bei Sicherungsmassnahmen mit Ankern sind ausreichend lange Anker zu wählen, so dass die Verankerungslänge sicher unterhalb der Gleitfläche der zu sichernden Bruchkörper liegt. Je nach geologischer Situation können dabei auch Bruchkörper mit Gleitflächen massgebend werden, die unterhalb der Baugrubensohle verlaufen.
- Bauteile wie Anker und Pfähle, welche aktive Gleitflächen durchdringen, werden mit der Zeit durch aufgezwungene Verformungen beansprucht. Falls diese eine permanente Funktion haben, sind sie so auszulegen, dass sie die über die geplante Nutzungsdauer zu erwartenden Verformungen aufnehmen können. Anker müssen dazu oft entspannbar ausgebildet werden, so dass die Ankerkraft bei einer verschiebungsbedingten Zunahme wieder auf das ursprüngliche Niveau abgelassen werden kann. Bei Pfählen ist eine duktile Ausbildung erforderlich (plastisches Verformungsvermögen, grosser Querkraftwiderstand im Vergleich zum Biege- und Zugwiderstand).
- Drainagen können eine effiziente und wirtschaftliche Sicherungsmassnahme sein, insbesondere bei (sub)artesisch gespannten Hangwasserverhältnissen. Allerdings ist der Erfolg oft schwierig zu prognostizieren (z.B. Anzahl Drainagebohrungen vs. Erfolgchancen). Sicherheitshalber muss daher oft auch eine Alternativlösung vorgesehen werden, für den Fall, dass die Drainage alleine nicht die geplante Wirkung entfaltet.
- Die Erddrücke, welche von der Hangseite her auf Gebäude bzw. Bauwerke einwirken, sind in Rutschgebieten gegenüber der Situation in flachem Gelände oder in stabilen Hanglagen infolge

des Kriech- bzw. Rutschdrucks erhöht und können weit über dem für eine entsprechende Hangneigung erwartbaren Grenzwert des aktiven Erddrucks liegen. Zur Abschätzung des Kriech- bzw. Rutschdrucks gibt es einerseits einfache analytische Methoden, andererseits kann dieser auch mit Stabilitätsberechnungen ermittelt werden.

Hinweise zur Beobachtungsmethode

Bei der Bemessung von Baugruben- und Hangsicherungen in Hanglagen und Rutschgebieten müssen praktisch immer gewisse Annahmen getroffen werden, welche aber einen grossen Einfluss auf die Resultate der Stabilitätsberechnungen haben (z.B. Ausdehnung der berücksichtigten Gleitkörper, Mass der erforderlichen Stabilitätsverbesserung). Auch bezüglich der Baugrund- und Hangwasserverhältnisse sind oft erhebliche Unsicherheiten vorhanden, die sich auch mit ergänzenden Untersuchungen oft nur bedingt ausräumen lassen. Eine Bemessung der Baugruben- und Hangsicherung «auf Nummer Sicher» ist meist weder wirtschaftlich möglich noch sinnvoll. In diesem Fall ist ein Vorgehen nach der Beobachtungsmethode zweckmässig.

Die Regeln zur Anwendung der Beobachtungsmethode sind in der Norm SIA 267, Ziffer 2.3 festgelegt. Ihre Anwendung ist anspruchsvoll und umfasst wesentlich mehr als das Messen bzw. Überwachen des Bauwerks- und des Baugrundverhaltens allein. Kurz zusammengefasst sind für die Projektierung mit der Beobachtungsmethode die folgenden Schritte erforderlich.

- Als Grundlage ist eine Prognose der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse erforderlich (Baugrunduntersuchung, geologisch-geotechnischer Bericht).
- Das Projekt ist zunächst aufgrund von mit «akzeptabler Wahrscheinlichkeit» zutreffender Annahmen für die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse zu dimensionieren, basierend auf Risiko- und Kosten-Nutzen-Überlegungen.
- Anschliessend sind Situationen mit ungünstigeren Annahmen für die Baugrund- und Hangwasserverhältnisse zu untersuchen (realistische «worst case» Szenarien) und es sind ergänzende Sicherungsmassnahmen zu planen, mit welchen in diesen Fällen einem ungenügenden Tragwerksverhalten begegnet bzw. ein Tragwerksversagen verhindert werden kann. Wie detailliert diese ergänzenden Massnahmen bereits im Voraus geplant werden müssen, hängt vor allem davon ab, wie viel Zeit zwischen der Feststellung eines ungenügenden Verhaltens und der Umsetzung der Massnahmen verstreichen darf.
- Es ist ein Überwachungskonzept mit der Definition der durchzuführenden Messungen und den entsprechenden Grenzwerten zu entwickeln, das es erlaubt, ein ungünstiges Bauwerks- bzw. Baugrundverhalten rechtzeitig zu erkennen.
- Während der Ausführung ist die vorgesehene Überwachung konsequent umzusetzen, die Resultate müssen vom für die Projektierung verantwortlichen Fachplaner laufend beurteilt werden, und falls nötig sind die definierten ergänzenden Sicherungsmassnahmen anzuordnen.

Die Beobachtungsmethode kann für die Bemessung von Bauzuständen (z.B. Verstärkung der Baugrubensicherung während der Ausführung) und für die Bemessung des Endzustands angewendet werden (z.B. Verstärkung einer Hangsicherung nach mehreren Jahren, falls sich zeigt, dass die angestrebte Reduktion der Rutschgeschwindigkeit mit den bisherigen Massnahmen nicht ganz erreicht wurde).

In Fällen, bei denen ein ungünstiges Tragwerks- oder Baugrundverhalten nicht rechtzeitig erkannt werden kann (Sprödbbruch, progressives Tragwerksversagen), darf die Beobachtungsmethode nicht angewendet werden.

Bei Anwendung der Beobachtungsmethode ist die Bauherrschaft zwingend über das Vorgehen, die damit verbleibenden Risiken und die allenfalls erforderlichen ergänzenden Sicherungsmassnahmen inkl. deren Auswirkungen auf Kosten und Termine zu orientieren.

Hinweise zum Überwachungskonzept

- Die Überwachung muss so konzipiert sein, dass zwischen lokaler Deformation des Baugrubenverbaus und der Aktivierung grösserer Rutschkörper unterschieden werden kann (Messung nur direkt bei der Baugrubenwand reichen dafür nicht aus).
- Die (Un-)Genauigkeit der Messmethoden ist zu beachten.
- Die Anpassung von Messintervallen an den Bauvorgang ist oft schwierig, da etappiert gearbeitet wird. Fixe Intervalle sind für bestimmte Phasen oft besser (z.B. während Aushub 2× pro Woche, nach Endaushub alle 2 Wochen, usw.).
- Grenzwerte sind festzulegen und das Vorgehen beim Erreichen der Grenzwerte ist zu definieren.
- Die Zuständigkeiten für das Veranlassung der Messung sowie deren Beurteilung ist festlegen.
- Evtl. ist eine Überwachung auch im Endzustand nötig. Falls ja, muss diese definiert werden. Messpunkte/Messstellen müssen zugänglich bleiben.

Resultate der Bauprojektphase

Nach Abschluss der Bauprojektphase und als Grundlage für die Baueingabe sollten folgende Dokumente vorliegen:

1. Geologisch-geotechnische Baugrunduntersuchung (Bericht)
2. Architektenpläne
3. Ingenieur-Pläne Baugrube / Hangsicherung
4. Nutzungsvereinbarung
5. Projektbasis
6. Statische Berechnung Hangsicherung (Bauzustände und Endzustand inkl. Umgebungsgestaltung)
7. Überwachungskonzept / Überwachungsplan

6 Ausschreibung und Vergabe (SIA-Phase 41)

Die Ausschreibung (SIA-Phase 41) baut auf dem Bauprojekt auf. Mit der Ausschreibung sollen die Grundlagen für einen fairen Werkvertrag zwischen Unternehmung und Bauherrschaft geschaffen werden.

Bei Bauvorhaben in Rutschgebieten bestehen zwangsläufig grössere Unsicherheiten bezüglich Umfang und Art der effektiv erforderlichen Baumassnahmen. Zudem sind für die Stabilitätssicherheit in den Bauzuständen der konkrete Bauvorgang und die gewählte Etappierung oft entscheidend. Diesen Umständen ist bei der Ausschreibung Rechnung zu tragen. Die folgenden Hinweise können dabei hilfreich sein:

- Die Ausschreibung bzw. das Leistungsverzeichnis sollten so aufgebaut sein, dass damit projekt- und baugrundbedingte Anpassungen und Änderungen möglichst gut abgebildet werden können. Auf die pauschale Ausschreibung grösserer Elemente (z.B. «1x Baugrubensicherung komplett») ist besser zu verzichten.
- Der Bauvorgang und die Etappierung sind beim Bauen in Hanglagen entscheidend für die Stabilitätssicherheit in den Bauphasen. Die entsprechenden Randbedingungen und Anforderungen für die Ausführung müssen deshalb klar definiert werden (z.B. max. Grösse von Aushubetappen, Wartezeiten für das Aushärten von Anker, zulässige Anschnitts- und Schütthöhen für Baupiste und Arbeitsplanum etc.). Oft ist es ratsam, den geplanten Bauvorgang mit einer kompetenten Unternehmung zu besprechen.
- In manchen Fällen empfiehlt es sich, nicht zu knappe Wartezeiten für Baugrund- oder witterungsbedingte Unterbrüche auszuschreiben.
- Es ist objektspezifisch zu prüfen, ob es zweckmässig ist, beim Vorgehen nach der Beobachtungsmethode allenfalls erforderliche Zusatzmassnahmen bzw. ergänzende Sicherungsmassnahmen bereits in die Ausschreibung aufzunehmen.
- Die erforderlichen Qualitätskontrollen und Prüfungen (z.B. Ankerprüfungen) sind zu definieren und im Kontrollplan festzulegen.
- Mit den Submissionsunterlagen ist auch das Überwachungskonzept abzugeben und es ist klar zu bezeichnen, ob und allenfalls welche der vorgesehenen Massnahmen/Messungen vom Unternehmer durchzuführen sind und wie diese vergütet werden.

Neben den Leistungen der ausführenden Unternehmung muss dafür gesorgt werden, dass auch weitere in der Ausführungsphase erforderliche Leistungen rechtzeitig beschafft werden (z.B. Leistung der Spezialisten für Zustandsaufnahmen, vorgängige Überwachungsmessungen, geologische Baubegleitung etc.).

Vergabe der Arbeiten

Bei Baugruben- und Hangsicherungen in Rutschgebieten handelt es sich um anspruchsvolle Spezialtiefbau-Arbeiten. Diese sollten deshalb an einen kompetenten Unternehmer mit entsprechender Erfahrung vergeben werden. Erfolgt die Vergabe der Tiefbau- und Rohbauarbeiten an eine einzige Gesamtunternehmung, ist sicherzustellen, dass die mit der Baugruben- und Hangsicherung beauftragte Subunternehmung über die nötigen Kompetenzen und Erfahrung verfügt.

Resultate der Ausschreibungsphase

Als Resultat der Phase 41 (Ausschreibung) sollten als Ergänzung zum Bauprojekt mindestens die folgenden Dokumente vorliegen:

1. Ausschreibungsunterlagen (Allgemeine und besondere Bestimmungen, Leistungsverzeichnis).
2. Ggf. Übersichtspläne mit Zugänglichkeit, Installationsflächen usw.
3. Ingenieurpläne für Baugrube / Hangsicherung, ergänzt mit den wichtigsten Bedingungen für die Ausführung (z.B. Etappierung) und konstruktiven Details.
4. Kontrollplan.

7 Ausführungsprojekt (SIA-Phase 51)

In der Phase 51 werden die Unterlagen für die Ausführung erstellt, insbesondere die Ausführungspläne und die zugehörigen Listen. Beim Bauen in Rutschhängen sind Bauvorgang und Etappierung der Arbeiten entscheidend für die Stabilitätssicherheit. Die entsprechenden Randbedingungen und Vorgaben müssen deshalb auf den Ausführungsplänen festgehalten werden. Zudem dienen die Pläne auch als Grundlage für die Beurteilung der angetroffenen Baugrundverhältnisse und des Baugrund- und Bauwerksverhaltens.

Bei der Erstellung der Ausführungsunterlagen sollten u.a. die folgenden Punkte beachtet werden:

- Angabe der bezüglich Hangstabilität massgebenden Randbedingungen und Vorgaben für Bauvorgang und Etappierung.
- Aktualisieren der Pläne mit den effektiv gewählten Produkten (z.B. Ankertypen usw.), in Absprache mit der Unternehmung.
- Ausführungspläne für Baugrube/Hangsicherung (Situation, Schnitte) sind wie folgt zu ergänzen:
 - Baugrundsondierungen (z.B. Kernbohrungen), Inklinometer.
 - Messpunkte für die Überwachung (allenfalls auch separater Plan).
 - Erwartete Schichtgrenzen und Hangwasserverhältnisse.
- Erstellung von mindestens einem Gesamtschnitt in der Falllinie des Hangs, als Grundlage für die Beurteilung der Überwachungsmessungen. Dieser sollte vom oberen Ende des potentiellen Einflussbereichs des Bauvorhabens (oberste Messpunkte) bis zum unteren Ende des Einflussbereichs (unterste Messpunkte) reichen.
- Eindeutige Bezeichnung (Nummer) aller Pfähle und Anker etc. Bei Baugruben-/Hangsicherungen mit mehreren Ankerlagen ist dazu meistens das Aufzeichnen von Wandansichten erforderlich.
- Eindeutige Bezeichnung / Festlegung von temporären und von permanenten Bauteilen.
- Beachtung von allfälligen Konflikten zwischen bestehenden Messeinrichtungen (Inklinometer) und neu zu erstellenden Bauteilen, wie Anker etc.

Aus dem Überwachungskonzept wird in der Phase 51 ein sogenannter Überwachungsplan erstellt. Dieser enthält die definitive Festlegung und Bezeichnung aller Messstellen/Messpunkte, Messintervalle und Grenzwerte, eine kurze Beschreibung der Massnahmen, welche bei Überschreitung von Grenzwerten zu ergreifen sind, sowie die Zuordnung der Verantwortlichkeiten der beauftragten Personen (mit Namen und Kontaktangaben).

Ebenso muss in Phase 51 die definitive Version des Kontrollplans erstellt werden mit der Angabe, wo und wann die entsprechenden Qualitätskontrollen, wie z.B. Ankerprüfungen etc., auszuführen sind und wer für die Auslösung, Durchführung und Beurteilung der Prüfungen verantwortlich ist.

Die Erstellung von Ausführungsplänen, Überwachungsplan und Kontrollplan ist mit der Bauleitung sowie den beteiligten Unternehmungen und Spezialisten zu koordinieren. Um Unklarheiten zu vermeiden, ist die Umsetzung vor Baubeginn gemeinsam zu besprechen (Startbesprechung).

Falls sich aufgrund der effektiven Baugrundverhältnisse oder eines ungünstigen Tragwerks- oder Baugrundverhaltens zusätzliche Massnahmen oder Projektanpassungen als notwendig erweisen, sind die Ausführungspläne und allenfalls auch der Überwachungsplan entsprechend nachzuführen.

Resultate der Ausführungsplanung

Nach Abschluss der Ausführungsplanung sollten folgende Dokumente vorliegen:

1. Ausführungspläne und Listen
2. Überwachungsplan
3. Kontrollplan

8 Ausführung (SIA-Phasen 52)

Ein entscheidender Faktor zur Beherrschung der Risiken beim Bauen in Rutschgebieten ist die Begleitung und Kontrolle der Arbeiten mit laufender Überwachung und Beurteilung des Bauwerks- und Baugrundverhaltens durch die Bauleitung.

Falls die mit der Bauleitung beauftragte Firma und/oder Person nicht über die nötige Fachkompetenz und Erfahrung verfügt, sollte die technische Bauleitung für die Baugruben- bzw. Hangsicherung einem anderen Spezialisten übertragen werden («Fachbauleitung»). Am besten wird die Fachbauleitung in diesem Fall durch die/den mit der Projektierung der Baugruben- bzw. Hangsicherung beauftragte/n Ingenieurin oder Ingenieur übernommen.

Falls während der Ausführung Abweichungen zwischen den erwarteten und den effektiv angetroffenen Baugrund- und Hangwasserverhältnissen festgestellt werden oder falls sich ein ungünstiges Bauwerks- oder Baugrundverhalten abzeichnen sollte (Überschreiten von Grenzwerten bei der Überwachung oder andere Anzeichen, wie Risse im Gelände, etc.), sind umgehend die mit der Projektierung der Baugruben- bzw. Hangsicherung beauftragte Ingenieurin sowie der mit der ursprünglichen Baugrunduntersuchung bzw. mit der geologischen Baubegleitung beauftragte Geologe beizuziehen.

In der Ausführungsphase ist es besonders wichtig, dass die Aufgaben und Verantwortlichkeiten klar geregelt sind. Diesbezüglich wird folgendes empfohlen:

- Durchführung einer Startsitzung mit der für die Projektierung von Baugruben- bzw. Hangsicherung beauftragte Ingenieurin, der Bauleitung, der Unternehmung und dem mit der Baugrunduntersuchung beauftragten Geologen, an welcher die Baugrundverhältnisse sowie die zur Gewährleistung der Hangstabilität geplanten Massnahmen und Bauabläufe erläutert werden.
- Besprechung des Überwachungsplans und der darin beschriebenen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten an einer gemeinsamen Sitzung mit allen Beteiligten.
- Periodische Teilnahme des mit der Projektierung von Baugruben- bzw. Hangsicherung beauftragten Ingenieurs an den Bausitzungen.
- Bei unerwarteten Ereignissen, welche umgehendes Handeln erfordern, müssen die Fachleute, welche am schnellsten vor Ort sind, teils erste Sofortmassnahmen anordnen. Häufig sind das Bauleitung oder die Unternehmerin. Da diese keinen Projektierungsauftrag haben, müssen die von derart angeordneten Massnahmen anschliessend durch den für die Projektierung von Baugruben- bzw. Hangsicherung beauftragten Ingenieur geprüft und falls nötig ergänzt werden.

Zustandsaufnahmen und Nullmessungen der Überwachungseinrichtungen müssen rechtzeitig vor Baubeginn erfolgen. Die Überwachungsergebnisse müssen so dokumentiert und ausgewertet werden, dass eine rasche Beurteilung des Bauwerks- und Baugrundverhaltens möglich ist. Hilfreich sind z.B.:

- Zeit-Verschiebungsdiagrammen für ausgewählte Messpunkte.
- Vektor-Darstellungen von Verschiebungen im Situationsplan.
- Darstellung von Aushubniveaus, Ankerlagen usw. in Verschiebungsdiagrammen von Inklinometern.

Die Dokumentation der bei der Ausführung angetroffenen Baugrundverhältnisse (periodische geologische Baubegleitung mit entsprechender Dokumentation) ist für die künftige Nutzung des Bauwerks gerade in Rutschgebieten sehr wertvoll. Sie sollte deshalb auch dann vorgenommen werden, wenn bei der Ausführung keine Probleme oder grössere Abweichungen von den erwarteten Verhältnissen auftreten. Einerseits bildet diese Dokumentation eine wertvolle Grundlage für allfällige spätere Umbauten oder Erweiterungen des Bauwerks und andererseits ist sie auch sehr hilfreich, falls zu einem späteren Zeitpunkt während der Nutzungsdauer des Bauwerks Probleme mit Hangverschiebungen auftreten sollten.

9 Inbetriebnahme und Abschluss (SIA-Phase 53)

Beim Projektabschluss ist der Bauherrschaft eine Dokumentation der ausgeführten Arbeiten abzugeben. Diese sollte mindestens folgendes enthalten:

1. Aktualisierte Nutzungsvereinbarung mit klarer Benennung der Bauwerksteile, welche für die Gewährleistung der Hangsicherung im Endzustand nötig sind.
2. Aktualisierte Pläne des ausgeführten Bauwerks (auch für temporäre Baugruben-/Hangsicherungen, da dies bei späteren Umbauten oder Erweiterungen oder bei auftretenden Problemen mit Hangverschiebungen sehr hilfreich ist).
3. Geologische Grundlagen (geologisch-geotechnische Baugrunduntersuchung und Dokumentation/Aufnahmen aus der geologischen Baubegleitung).
4. Dokumentation der qualitätsrelevanten Ausführungs- und Prüfprotokolle von permanenten Bauteilen (z.B. Bohr- und Prüfprotokolle von permanenten Pfählen und Ankern).
5. Dokumentation der massgebenden Überwachungsergebnisse.
6. Anweisungen für den Unterhalt (Unterhaltsplan).
7. Falls nötig Anweisungen für die Überwachung (Überwachungsplan für die Nutzungsphase).

10 Schlussfolgerungen

Mit einer sachgerechten Planung, Projektierung und Bauausführung kann das Schadenrisiko bei Baueingriffen in Rutschgebieten meist massgeblich reduziert werden. Dafür ist eine vorausschauende und phasengerechte Zusammenarbeit der Bauherrschaft mit den von ihr beauftragten Fachleuten sowie den Behörden zwingend. Die Funktionen, Aufgaben und Verantwortlichkeiten sind vor Projektbeginn klar festzulegen. Dennoch verbleiben gewisse unvermeidbare Risiken, die von der Bauherrschaft in Kauf genommen werden müssen.

Essenziell ist das Erkennen von Rutschgebieten. Dabei helfen diverse Grundlagen, welche eine Erstbeurteilung eines Rutschgebietes erlauben. Auf dieser Basis sind geologisch-geotechnische Untersuchungen spezifisch für das konkrete Bauvorhaben zu konzipieren. Dazu sind in aller Regel Sondierungen und Deformationsmessungen erforderlich, mit denen sich ein Modell der geologisch-geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse inkl. aktiver und potenzieller Rutschmechanismen entwickeln lässt. Gestützt auf das geologische Modell sind die Bauwerks-, Hangsicherungs- und Überwachungskonzepte zu erarbeiten. Letzteres enthält die Lage der Messstellen, Messintervalle und Grenzwerte, legt die Verantwortlichkeiten fest und beschreibt Interventionsmassnahmen, welche bei Überschreiten von Grenzwerten zu ergreifen sind. Aufgrund unvermeidbarer Unwägbarkeiten muss in der Bauausführung konsequenterweise mit Abweichungen von der Prognose gerechnet werden.

Unter diesen Voraussetzungen kann Bauen in Rutschgebieten durchaus erfolgreich sein. Dennoch verbleibt dieses Vorhaben sehr anspruchsvoll, weshalb konsequent Fachleute mit ausgewiesener Erfahrung zu beauftragen sind.

11 Literatur

- www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz
- BAFU (Hrsg.) 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608:98 S.
- Tobler Daniel (ML), Riner Rachel, Huwiler Andreas, Wohlwend Stephan 2019: Skript Modul Rutschungen. Praxiskurs Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN. V. 0.1, 44 S.
- Schweizer Norm 505 267, Geotechnik
- Schweizer Norm 505 267/1, Geotechnik - Ergänzende Festlegungen
- Schweizer Norm 505 261, Einwirkungen auf Tragwerke
- Schweizer Norm 505 261/1, Einwirkungen auf Tragwerke, Ergänzende Festlegungen
- Schweizer Norm 670 305, Überwachung von Bauwerken in nicht stabilem Gelände, inkl. Anhang Liste der häufigsten Beobachtungsinstrumente
- inggeol.ch-Praxishilfe Bauen im Rutschgebiet, 1.9.2023

Die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von inggeol.ch – Ingenieurgeologie Schweiz (ehemals Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie SFIG) ist eine Expertenvereinigung von Geologinnen und Geologen, welche u.a. die Verbesserung des Umgangs der Schweiz mit Massenbewegungsprozessen zum Ziel hat.

Die AGN will das Bewusstsein für «heikle Baugebiete im gelben Gefahrenbereich» fördern. Behörden, Bauherrschaften und Planer sollen dazu angehalten werden, in Rutschgebieten umsichtig zu bauen. Hierfür wurde die vorliegende Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet» verfasst (Bezugsquelle:

<https://www.inggeol.ch/publikationen>).

Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Fachleute

Geologische Gefahrenbeurteilung, Erkundung, Planung und Bauüberwachung

Fallbeispiel 1

Bauprojekt an Front alter, substabiler Sackungs-/Rutschungsmasse

Zusammenfassung

Zwei abgetreppte 8-geschossige Terrassenhäusern wurden realisiert. Das mehrheitlich bereits bebaute Baugebiet befindet sich an der Front einer grossen, leicht kriechenden Sackungs-/Rutschungsmasse. Diese ist eher feinkörnig und enthält wasserführende Rinnen mit artesisch gespanntem Hangwasser.

Ein Jahr vor Baubeginn wurde eine Überwachung des Baugeländes mit Inklinometern und geodätischen Messpunkten eingerichtet. Nachmessungen zeigten mit Verschiebungen von ca. 0.5 mm/Jahr ein natürliches Kriechen des Baugebiets bzw. ein Zergleiten der Lockergesteinsschicht ohne diskrete Gleitflächen.

Die abgetreppte, total 18 m hohe Baugrube wurde mit einer Nagelwand (Anker in Kombination mit armiertem Spritzbeton) gesichert. Üblicherweise werden Nägel mit Druckluft gebohrt. Die damit verbundenen Risiken hoher Porenwasserdrücke wurden als zu hoch beurteilt. Als Verankerung wurden daher – abweichend von der Norm – Selbstbohranker mit Hüllrohr zur Gewährung einer freien Ankerlänge mit einer nur leichten Anspannung gewählt. Gebohrt wurde mit reduziertem Bohr- und Injektionsdruck.

Der obenliegende Nachbar, eine fachkundige Person, erhob eine Einsprache gegen das Projekt. Die Bauherrschaft vereinbarte mit ihm, dass er die Sicherung seiner Stützmauer unmittelbar oberhalb der Projektparzelle selbst planen, dimensionieren und vor Baubeginn ausführen dürfe. Dieses Sicherungsprojekt wurde mit normkonformen, mit Druckluft gebohrten, nachverpressten, vorgespannten Litzenankern ausgeführt.

Mit der eingerichteten Überwachung des Baugeländes wurde dokumentiert, dass die vorgängige Sicherung der bestehenden Stützmauer mit den nachverpressten Litzenankern vor den Aushubarbeiten gleichviel Deformationen für den Oberlieger verursachten (50 %) als die danach ausgehobene 18 m tiefe Baugrube gesichert mit Selbstbohrankern (50 %).

Entscheidend für die schadenarme Realisierung des Bauprojektes in dieser schwierigen Geologie waren eine gute Organisation und eine klare Aufgabenzuteilung. Die vorgängige detaillierte Risikoanalyse durch den Bauingenieur und den Geologen mit darauf basierendem Kontroll- und Überwachungsplan (Beobachtungsmethode nach SIA) sowie genügend Zeit vor Baubeginn (1 Jahr) für die Installation und die erste Folgemessung der Überwachung des Baugeländes.

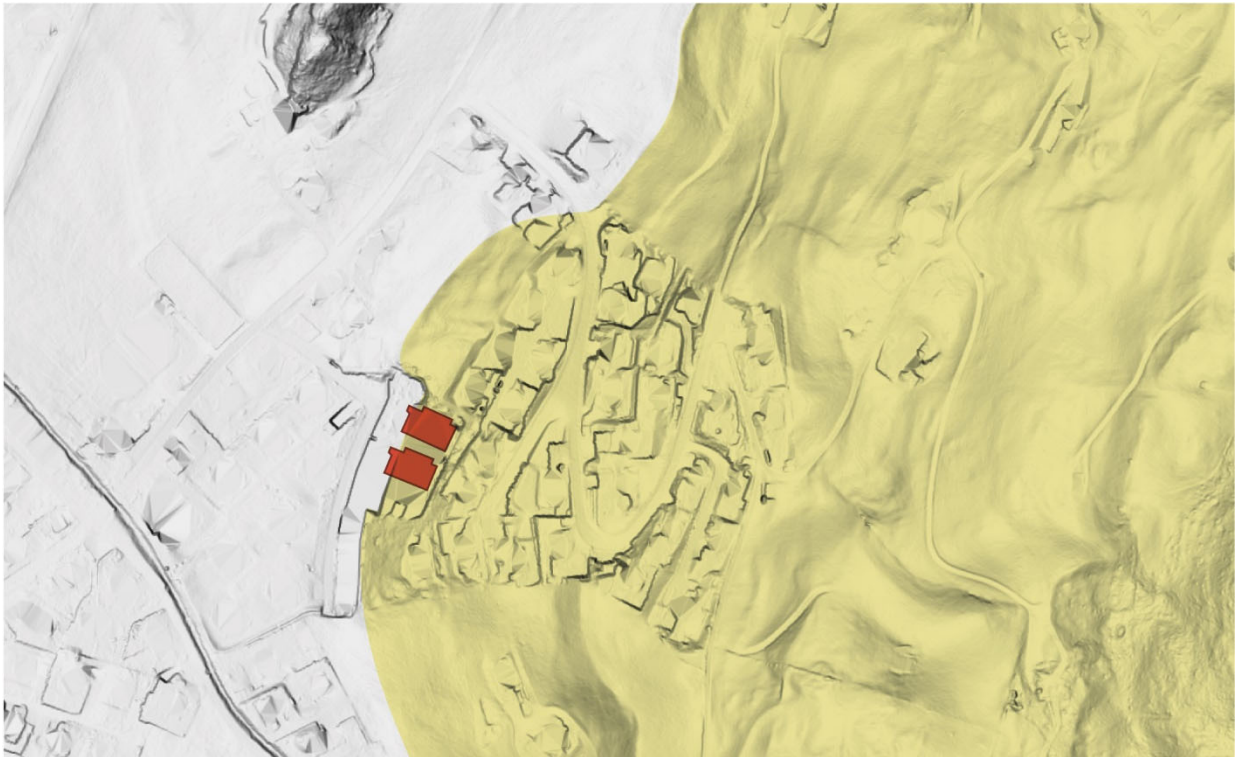


Abb. 1: Bauprojekt zweier Mehrfamilienhäuser (rot) in mehrheitlich bebautem Gebiet am unteren Rand einer Sackungs-/Rutschungsmasse (gelb markiert).

Ausgangslage

Das Projekt umfasste zwei mehrgeschossige Terrassenhäuser mit einem abgetreppten ca. 18 m hohen Hanganschnitt (Abb. 2). Oberhalb des Neubauprojektes ist das Gelände bebaut. Die Stützmauer eines Oberliegers ist in Abb. 2 sichtbar.

Der Baugrund wurde mit 2 Bohrungen und 4 Bagger-Sondierschächten erkundet. Die Bohrung KB01/17 zeigte 4 Tage nach Erstellung artesischen Austritte von Hangwasser. Fünf ergänzende destruktive Bohrungen zur Erkundung des Verlaufs der Felsoberfläche wurden mit Inklinometern ausgerüstet. Die Untersuchungen zeigten klar, dass es sich beim geplanten Projekt im vorliegenden Baugrund um ein herausforderndes Unterfangen handelte.

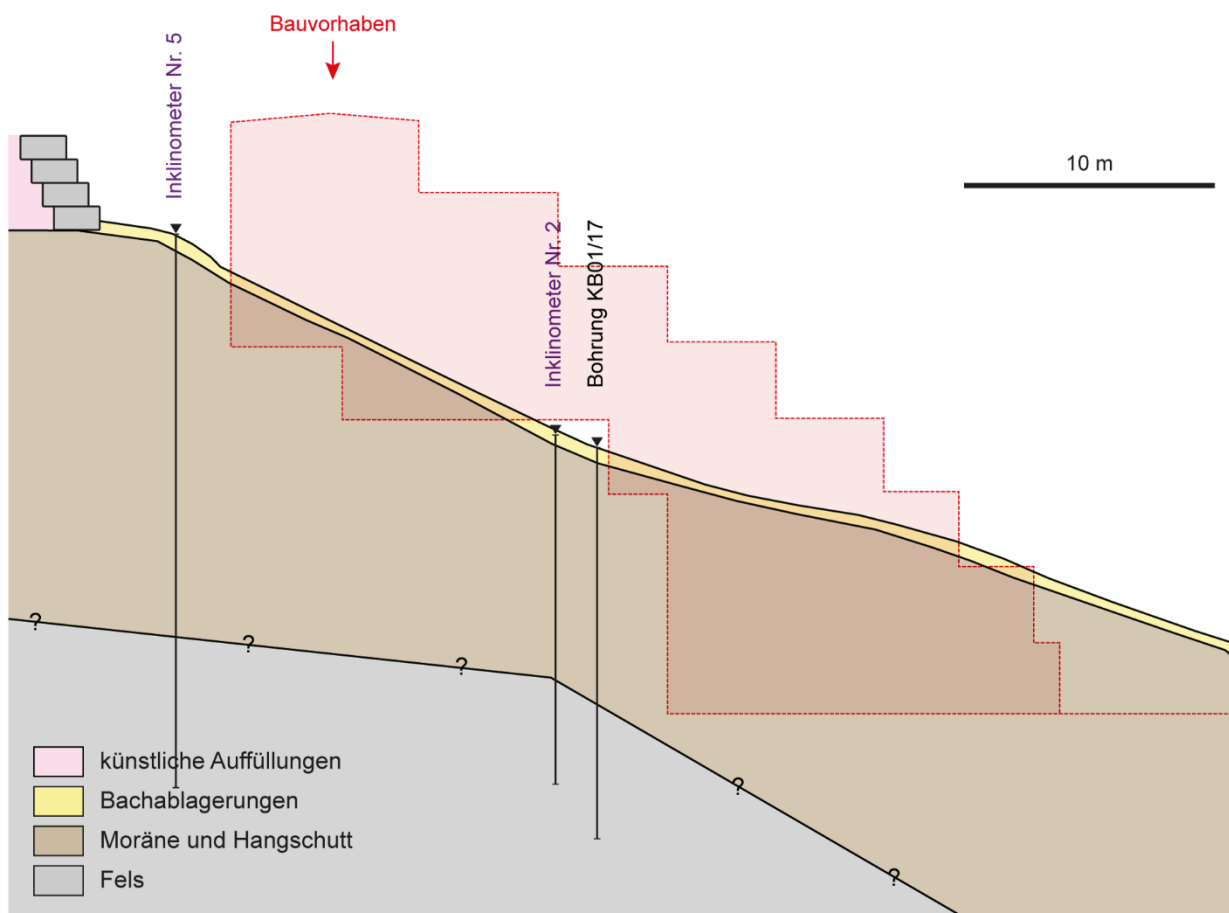


Abb. 2: Geologischer Schnitt mit Projektskizze. Der Untergrund besteht aus feinkörniger Moräne über Fels. Links im Bild: Stützmauer des oberliegenden Hauses.



Abb. 3: Ausschnitt aus dem Kontrollplan; violett: Inklinometer, rot: geodätische Messpunkte.

Vorgehen vor Baubeginn

Aufgrund der anspruchsvollen, geologischen Verhältnisse mit natürlichen Kriechbewegungen, artesisch gespanntem Hangwasser und weitgehend bereits bebauter Umgebung (Schadenpotenzial) wurde durch den Bauingenieur und den Geologen ein umfassender Risikoplan mit darauf basierendem Kontroll- und Überwachungskonzept mit Kontrollplan (Beobachtungsmethode nach SIA) erstellt. Dieser wurde mit der Bauherrschaft besprochen und eine Projektbasis und eine Nutzungsvereinbarung erstellt. Darin wurde festgehalten, dass in diesem Baugrund ein Bau ohne Deformationen praktisch unmöglich, die Risiken mit Vorsichtsmassnahmen aber minimierbar und beherrschbar seien. Auch wurde vom Geologen auf die natürlichen Hangkriechbewegungen hingewiesen, welche im Endzustand berücksichtigt werden müssen.

Die Überwachung mit 81 geodätischen Messpunkten und 5 Inklinometern wurde 1 Jahr vor Baubeginn eingerichtet. Die Nullmessung und die erste Folgemessung fanden vor Baubeginn statt.

Vorarbeiten zur Umgebungssicherung bei den Oberliegern

Die Bauherrschaft konnte die Einsprachen der Oberlieger abwenden, indem sie diesen zusicherte, dass sie die Sicherung ihrer Liegenschaften in Eigenverantwortung planen und ausführen dürfen. Diese wählten eine Sicherung mit normkonformen, mit Druckluft gebohrten, nachverpressten Litzenankern, ungeachtet dessen, dass Projektingenieur und Projektgeologe auf die möglichen Gefahren der hohen Bohrdrücke bei der Ankererstellung hinwiesen. Der Bohr- und der Nachverpressvorgang (orange) verursachten denn auch erhebliche Verschiebungen (Abb. 4).

Etappiertes Baugrubenaushub und Sicherung

Die Beobachtungen in der Vorphase (Sicherung Oberlieger, Abb. 4) bestätigten die kritischen Baugrundverhältnisse und die gewählten Vorsichtsmassnahmen für den nachfolgenden eigentlichen, 18 m tiefen Baugrubenaushub.

Während der Aushubarbeiten erlaubte die gut instrumentierte Überwachung (Geodäsie, Inklinometer) eine klare Beschreibung des Ursprungszustandes, eine rasche Intervention der Fachbauleitung und Bauleitung in den kritischen Bauphasen sowie den Nachweis des funktionierenden Endzustandes (Abb. 5). Ebenso konnte der stark unterschiedliche Effekt der Bohrverfahren auf die verursachten Hangbewegungen dokumentiert werden. Letztendlich konnte damit auch ein (eigenmächtiger) kurzzeitiger Wechsel des Bohrverfahrens durch den Unternehmer sofort erkannt werden.

Die Inklinometer-Nachmessungen (Abb. 6) zeigen, die beim Etappenaushub der obersten 2 Etappen (bis ca. 7 m) unmittelbar vor dem 21.5.2019 entstandenen Bewegungen in ca. 8.5 m. Diese wurden gesichert. Bei den nächsten Aushubetappen bis zur maximalen Tiefe von 18 m verlagert sich der Bewegungsbereich bis 18.6.2019 langsam tiefer, verringert sich aber stark. Eine eigentliche Gleitfläche ist nicht zu erkennen. Danach traten bis Ende Bauzeit keine weiteren messbaren Verschiebungen mehr auf.

Nach Abschluss der Tiefbauarbeiten sind keine unnatürlichen Bewegungen mehr zu erkennen.

Endzustand

Der Nachweis der Sicherheit des Endzustandes wird in natürlichen Kriechhängen bisweilen nicht geführt. Im vorliegenden Fall wurden die natürlichen Hangkriechbewegungen von Bauingenieur über Gebäudescheiben auf schräg nach vorne in den Felsen reichende Druckpfähle abgefangen. Die Gebäuderückwände wurden auf die entsprechenden Drücke dimensioniert.

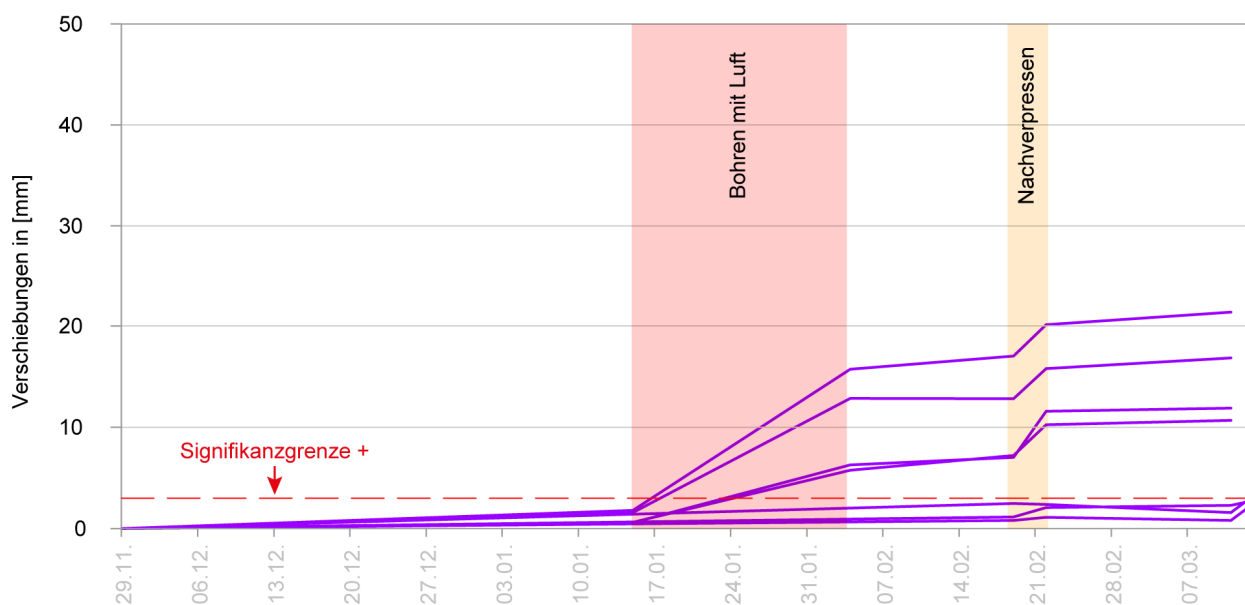


Abb. 4: Verschiebungsdiagramm der Messpunkte des oberliegenden Hauses während der Sicherung der Stützmauer mit nachverpressten Litzenankern; der Bohr- (rot) und der Nachverpressvorgang (orange) verursachten erhebliche Verschiebungen

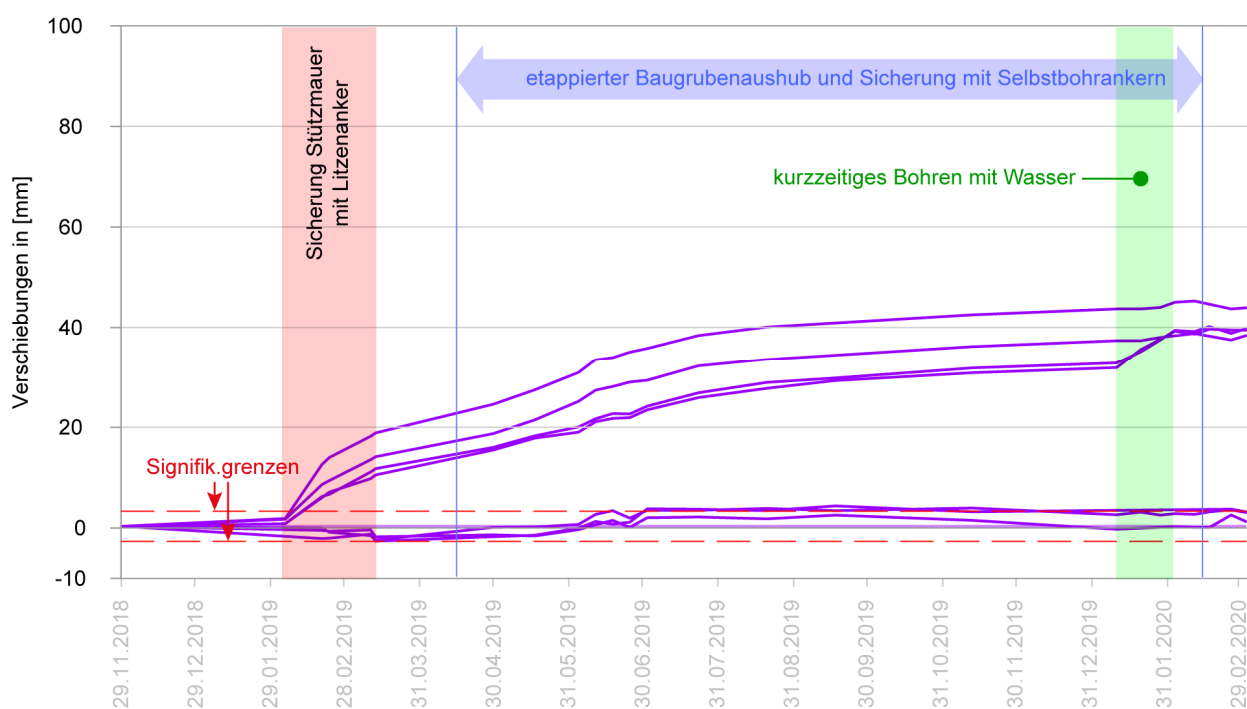


Abb. 5: Übersicht über die Verschiebungsmessungen oberhalb des Bauprojektes. Roter Balken: Vorgezogene Sicherung bestehender Stützmauer mit nachverpressten Litzenankern. Blauer Balken: Etappierter Aushub von total 18 m Höhe mit Vernagelung mit Selbstbohrankern. Grüner Balken: Beschleunigung der Verschiebungen, infolge kurzzeitiger Umstellung auf ein Bohrsystem mit Wasser wegen logistischer Probleme und ohne Rücksprache mit der Bauleitung.

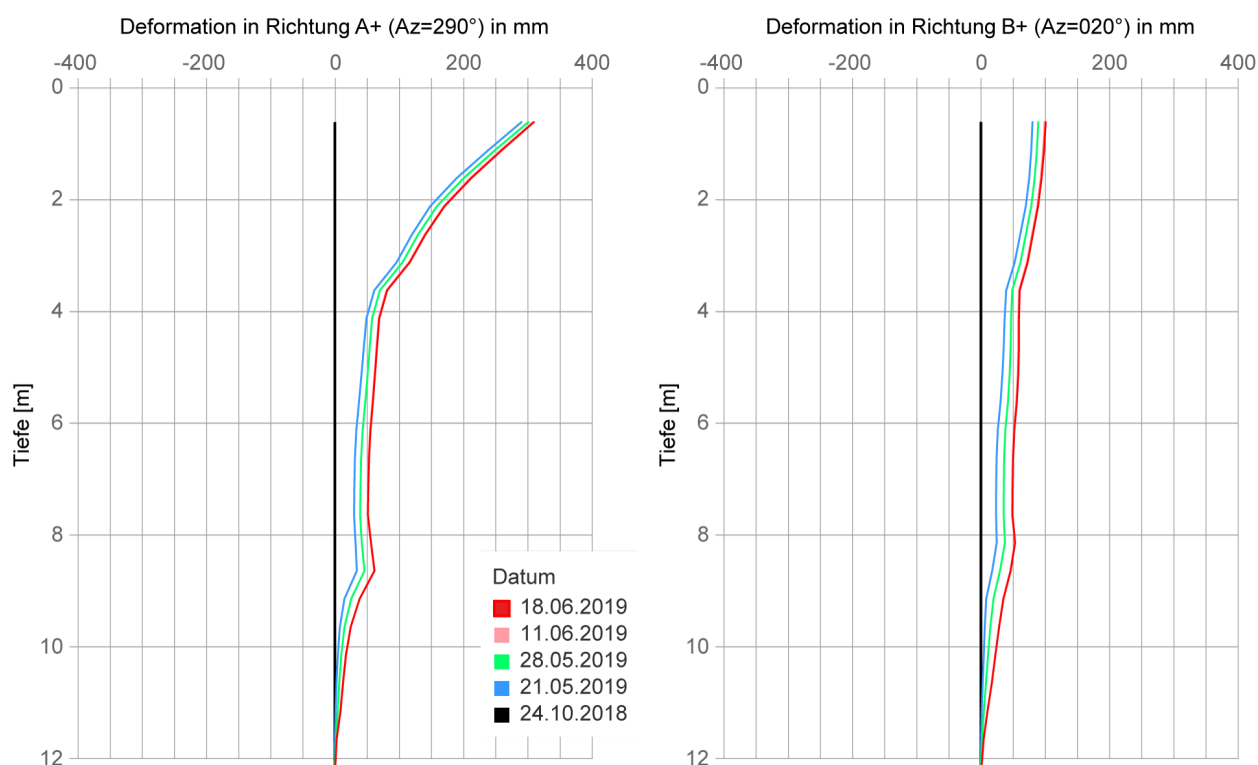


Abb. 6: Inklinometer B5: Typische Messwerte während Bauvorgang (in den obersten 3 m wurde das Inklinometer durch Baumaschinen gestaucht).

Schlussbemerkung

Bauvorhaben führen erfahrungsgemäss praktisch immer zu einer gewissen Beeinträchtigung der Umgebung. Mit geeigneten, den geologischen Verhältnissen angepassten Vorgehensweisen können diese aber auch in Rutschgebieten minimiert werden. Wichtig sind immer:

1. Gute Organisation der Schnittstelle der verschiedenen Beteiligten.
2. Genügend Zeit zum Erarbeiten der Risikoanalyse sowie darauf basierend dem Kontroll- und Überwachungskonzept mit Kontrollplan durch den Ingenieur, den Geologe und die Bauherrschaft.
3. Genügend Zeit zur Installation der Messinstrumentierung sowie Vorlaufzeit für die Null- und 1. Folgemessung (ca. 1 Jahr).

Das Beispiel zeigt exemplarisch, dass mit einer guten Überwachung die Auswirkungen der verschiedenen Arbeiten dokumentiert und bei Bedarf auf diese rasch reagiert werden kann. Grosse Schäden lassen sich so meist verhindern. Nach erfolgten Bauarbeiten lassen sich Diskussionen um Schadenbehebung in der Umgebung faktenbasiert führen.

Die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von inggeol.ch – Ingenieurgeologie Schweiz (ehemals Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie SFIG) ist eine Expertenvereinigung von Geologinnen und Geologen, welche u.a. die Verbesserung des Umgangs der Schweiz mit Massenbewegungsprozessen zum Ziel hat.

Die AGN will das Bewusstsein für «heikle Baugebiete im gelben Gefahrenbereich» fördern. Behörden, Bauherrschaften und Planer sollen dazu angehalten werden, in Rutschgebieten umsichtig zu bauen. Hierfür wurde die vorliegende Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet» verfasst (Bezugsquelle:

<https://www.inggeol.ch/publikationen>).

Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Fachleute

Geologische Gefahrenbeurteilung, Erkundung, Planung und Bauüberwachung

Fallbeispiel 2

Bauprojekt in Gebiet mit aktiven und potenziellen Gleitflächen

Zusammenfassung

In einem Hang mit bekannter, alter, tiefgründiger Sackung und oberflächlich gemessenen langsamen Rutschbewegungen des Geländes wurde ein Bauprojekt realisiert. Hierfür wurde eine der Gefährdung angepasste Planung und Ausführung gewählt. Die Unsicherheiten und Risiken wurden der Bauherrschaft aufgezeigt und ein Überwachungskonzept mit redundanten Messsystemen und vorgängiger Messung der natürlichen Situation sowie ein Interventionskonzept mit definierten Grenzwerten und allfälligen Massnahmen erstellt.

Beim Bau traten Anzeichen auf einen baubedingt reaktivierten, tiefgründigen Rutschungshorizont unterhalb der Baugrubensohle auf. Das Baugrundmodell musste umgehend angepasst und Gegenmassnahmen ergriffen werden. Damit konnten Folgeschäden verhindert werden.

Das Beispiel zeigt, dass auch komplexe Projekte in schwierigem geologischem Umfeld mit gebührender Sorgfalt ohne grosse Schäden realisiert werden können. Die planerische Sorgfalt umfasst eine aussagekräftige geologisch-geotechnische Grundlagenenerhebung, das Aufzeigen von Unsicherheiten und möglichen Risiken, das Einrichten einer adäquaten und redundanten Überwachung, welche eine laufende Überprüfung der Annahmen und das Erkennen von neuen, meist baubedingten Veränderungen erlaubt. Ein Kontroll- und Interventionsplan ermöglicht bei Veränderung das rasche Handeln.

Mit diesem Vorgehen gemäss Beobachtungsmethode nach SIA ist zwar kein Bauen ganz ohne Deformationen möglich, aber grosse baubedingte Schäden können minimiert und meist vermieden werden.



Abb. 1: Projektplan Untergeschoss mit Sondierkonzept; grün: Kernbohrungen/Inklinometer; rot: Rammsondierungen; blaue Pfeile: Fallrichtung Geländeoberfläche.

Ausgangslage

Drei neue Mehrfamilienhäuser mit gemeinsamer Einstellhalle werden mitten in einem bekannten und kartierten Sackungsgebiet geplant (Abb. 2).

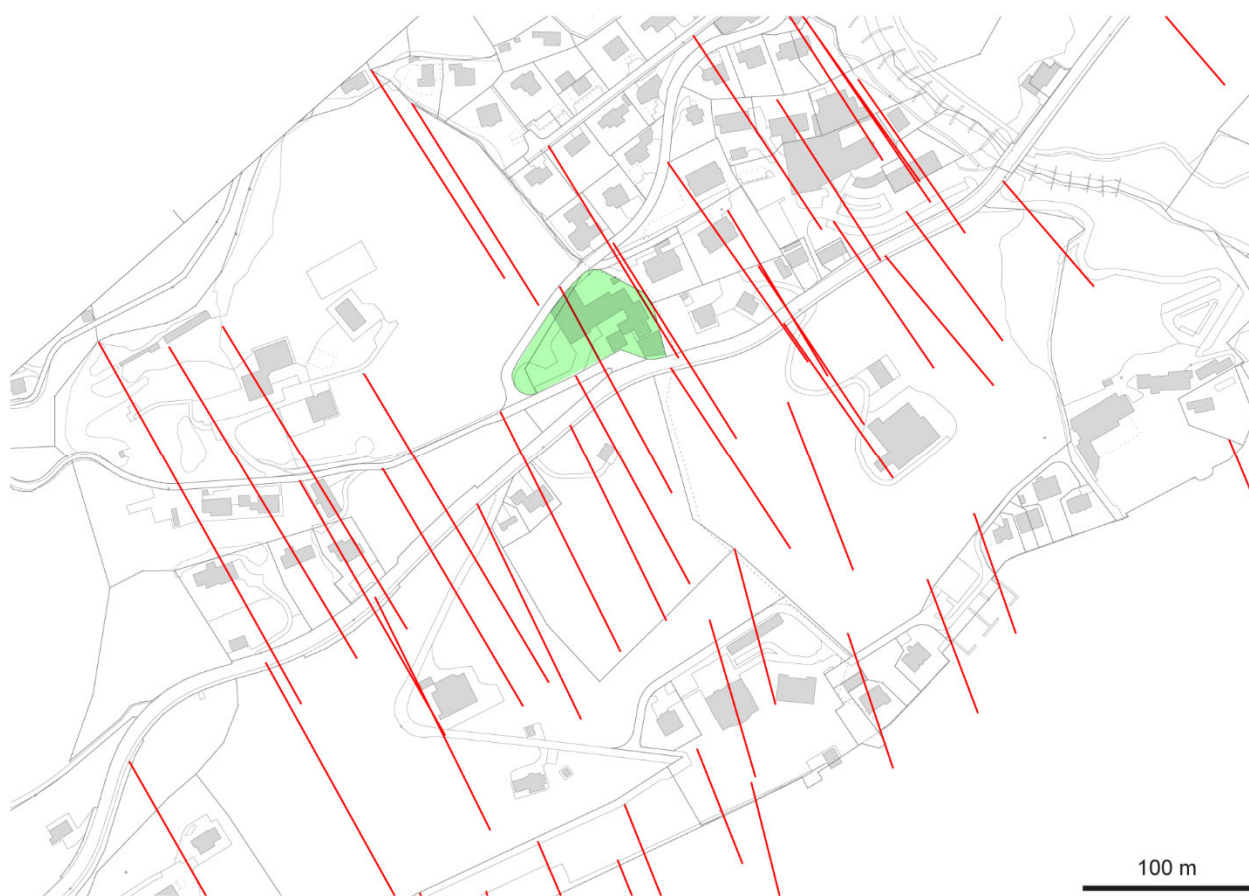


Abb. 2: Daten Fixpunkterneuerung 1933–1997 zeigen Hangkriechbewegungen von bis zu 60 cm, also etwa 1 cm/Jahr. Neubauprojekt rot umkreist. Nordrichtung ca. um 15° nach Osten gekippt.

In der Gefahrenkarte des Kantons ist eine geringe Gefährdung durch Rutschungen ausgewiesen. Die Daten der geodätische Fixpunkterneuerung zeigen Kriechbewegungen im geplanten Gebiet von ca. 60 cm in 64 Jahren, also etwa 1 cm pro Jahr (Abb. 2). Schäden an bestehenden Bauten infolge Rutschungen waren nicht bekannt.

Gemäss geologischer Kartenwerke ist im Baubereich eine zerrüttete Gesteinsmasse bzw. Sackungsmasse ausgewiesen. Der vorhandene Schlieren-Flysch besteht hauptsächlich aus Sand-, Silt- und Tonstein. Die auf der Bauparzelle vorgefundenen Schichten aus Gehängelehm und -schutt sind im Wesentlichen verwittertes Flyschgestein. Diese Verwitterungsprodukte mit feinkörniger Matrix begünstigen die Bildung von Gleitflächen. Die geologischen Sondierungen bestätigten das Vorkommen solcher Verwitterungsprodukte (Abb. 3) nicht aber das Vorhandensein von Gleitflächen.

Trotz der bekannten sensiblen Baugrundbeschaffenheit auf der Bauparzelle, wurden drei Mehrfamilienhäuser anstelle eines bestehenden alten Gebäudes realisiert. Alle neuen Gebäude binden hangseitig zwischen ca. 6 m und 10 m tief in den Untergrund ein. Im Grundriss umspannt die Baugrube eine Fläche von ca. 4'200 m² (Breite ca. 90 m, Tiefe ca. 48 m; vgl. Abb. 4). Sie sind mit einer durchgehenden Tiefgarage verbunden.

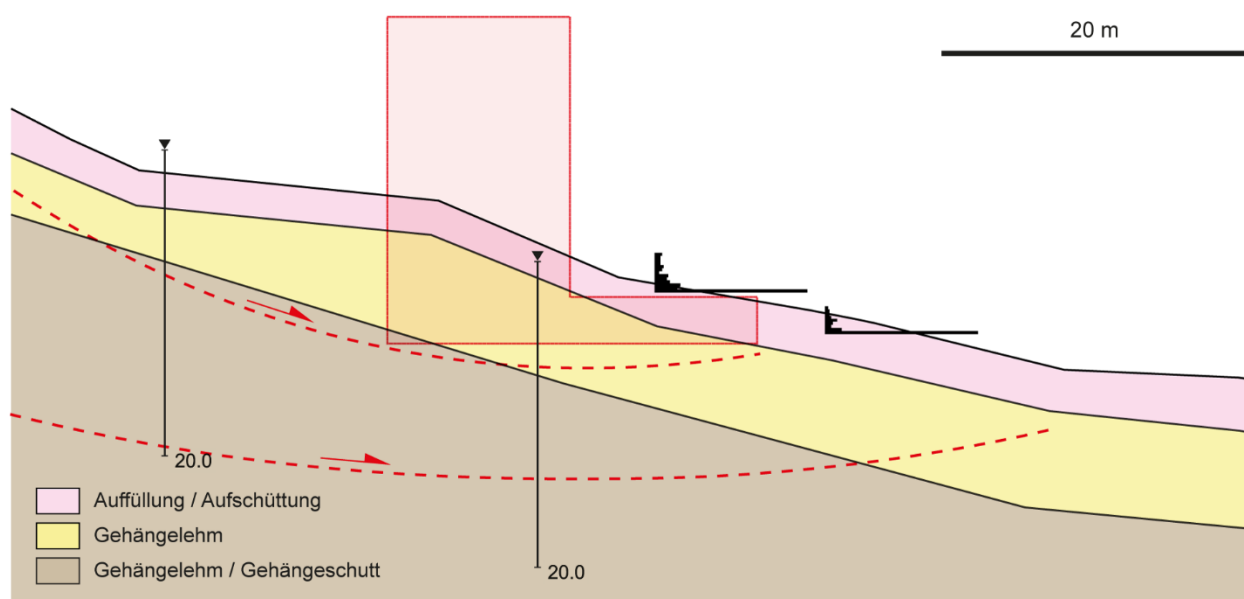


Abb. 3: Geotechnischer Schnitt mit Sondierungen.

Vorgehen vor Baubeginn

In einer frühen Planungsphase wurde der Baugrund mit sechs Rammsondierungen und zwei Kernbohrungen oberhalb der geplanten Baugrube bis auf max. 20 m Tiefe erkundet. In den ausgeführten Sondierungen konnten bei den Aufnahmen des Bohrguts keine Gleitflächen erkannt werden. Die beiden Kernbohrungen wurden anschliessend mit je einem Inklinometerrohr ausgebaut. Die Nullmessung fand auf Anweisung des Geologen frühzeitig statt, damit eine erste Folgemessung zur Ermittlung der natürlichen Bewegungen noch in der Planungsphase erfolgen konnte.

Gute zwei Monate nach der Nullmessung wurde eine erste Folgemessung in den beiden Inklinometerrohren durchgeführt. In beiden Messungen konnten keine aktiven Gleitflächen eruiert werden. Die gemessenen Deformationen befanden sich alle unterhalb der Messgenauigkeit von ± 0.05 mm je Laufmeter.

Nachweis Endzustand

Im Rahmen der Planung des Bauprojektes ist auch der sichere Endzustand nachzuweisen. Dies geht oft vergessen, was in Rutschhängen fatal sein kann. Es ist durch den Bauingenieur unter Berücksichtigung der Rutschprozesse eine Analyse der Hangstabilität im Endzustand nach Realisierung des Projektes durchzuführen. Es ist zu prüfen, ob das Gebäude das Aushubvolumen der Baugrube mit den einwirkenden Gebäudelasten ausreichend kompensiert, oder ob dazu weitere Massnahmen (permanenter Baugrubenverbau, Ankerriegel etc.) erforderlich sind. Hierbei sind sowohl die aus den Inklinometermessungen allenfalls bekannten Gleitflächen sowie *potentiell reaktivierbare* Gleitflächen im Untergrund zu berücksichtigen.

Es ist auch zu berücksichtigen, dass sich der Untergrund lokal unterschiedlich bewegen kann. Solche differentiellen Bewegungen können zu Spannungen am Gebäude infolge von Scher- oder Rotationsbewegungen führen. Die entsprechenden Stabilitätsnachweise sind vom Bauingenieur zu erbringen.

Im vorliegenden Beispiel konnte der Sicherheitsnachweis für den Endzustand durch den Bauingenieur mit kleinen ergänzenden Massnahmen erbracht werden.

Risikobeurteilung, Überwachungskonzept mit Interventionsplan

In der Planungs- und Ausführungsphase wurde ein spezielles Augenmerk auf die Sensibilisierung der Bauherrschaft, der planenden Bauingenieure und der Bauleitung bezüglich des reaktivierbaren Baugrundes gelegt. Es bestanden Unsicherheiten bezüglich Baugrundmodell. Geodätische und Satelliten-Messdaten zeigten ein Abgleiten des ganzen Hanges in eine Richtung (Abb. 2). Der dazugehörige Gleithorizont konnte jedoch mit den durchgeführten Sondierungen und der ersten Folgemessung der Inklinometer nicht festgestellt werden. Ein Vorgehen nach der Beobachtungsmethode nach SIA 267 war daher zwingend.

Gemeinsam mit dem für die Baugrubendimensionierung beauftragten Bauingenieuren wurde eine Risikobeurteilung und basierend darauf ein Überwachungskonzept für die zu erstellende Baugrube erarbeitet. Insbesondere wurden dabei folgende Punkte definiert:

- Etappiertes Bauvorgehen für Aushub und Sicherung (Pilgerschrittverfahren).
- Redundantes Überwachungssystem mit Inklinometer, Geodäsie und visuellen Kontrollen.
- Aufmerksamkeitswerte, Interventionswerte und Soforteingriffswerte bezüglich Setzungen, Verschiebungen und Verkippen für die verschiedenen Überwachungssysteme.
- Mögliche Interventionsmassnahmen.
- Organisation für eine Alarmierung inkl. aller relevanten Kontaktdaten vorgängig festgelegt.

Entwicklung tiefer Gleitfläche während Bauphase

Der Abbruch der bestehenden Gebäude auf der Baustelle hatte bereits stattgefunden und der Aushub war schon seit ca. 2 Monaten im Gange. Die relativ starken Bewegungen der Böschungsränder an der Baugrubenwand wurden umgehend gesichert und konnten so beherrscht werden. Unverhofft zeigte sich bei einer Inklinometerfolgemessung in einer Tiefe von ca. 13 m bei einem der zwei Inklinometerrohre ein Deformationsbild, welches auf eine sich reaktivierende Gleitfläche in ca. 7 m Tiefe unterhalb der Baugrubensohle hinwies (Abb. 4).

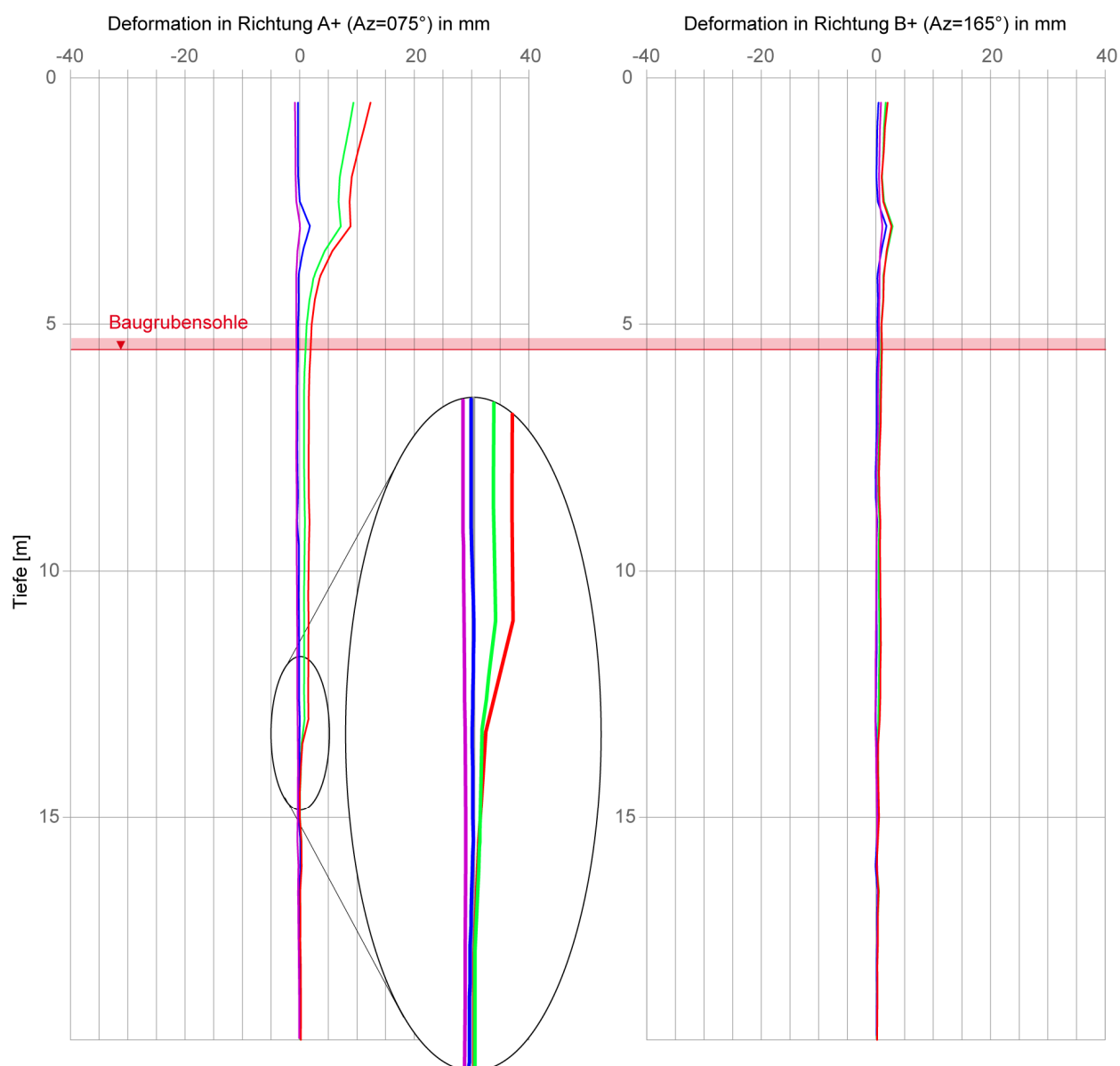


Abb. 4: Inklinometerfolgemessungen mit Anzeichen einer sich reaktivierenden, tiefen Gleitfläche deutlich unterhalb der Baugrubensohle (bei ca. 7 m Tiefe); Nullmessung Inklinometer am 2.3.2022, letzte Folgemessung (rote Linie) am 25. 4.2023.

Die Bauherrschaft, der Bauingenieur, die Bauleitung und der Unternehmer wurden trotz Verschiebungen erst im mm-Bereich umgehend durch den Geologen informiert – obwohl noch keine Aufmerksamkeitswerte gemäss Überwachungsplan erreicht wurden. Das präsentierte geologische Modell mit einer reaktivierten tiefgründigen Rutschung wurde zuerst mit Verweis auf allfällige Messungenauigkeiten kritisch hinterfragt. Hebungen der geodätischen Messpunkte der frontalen Zufahrtstrasse (links im Bild in Abb. 5) überzeugten dann aber rasch alle Beteiligten von der neuen Situation.

Die Überwachungsintervalle wurden verkürzt und die Deformationsgeschwindigkeit auf der sich entwickelnden Gleitfläche verfolgt. Verkleinerte Aushubetappen und Stoppen des flächigen Aushubs zeigten nur geringe Auswirkungen. Die Geschwindigkeit blieb konstant, weshalb nach ca. 4 Wochen entschieden wurde, zusätzliche Sicherungsmassnahmen zu ergreifen.

Um allfällige weitere Sicherungsmassnahmen zu definieren, wurde die vermutete Gleitfläche im massgebenden Schnitt aufgezeichnet und modelliert. Dabei mussten die Baugrundwerte in der Tiefe der Gleitfläche variiert werden, um die Eigenschaften der Bodenschichten in dieser Tiefe nach der Reaktivierung einzugrenzen (Rückrechnung).

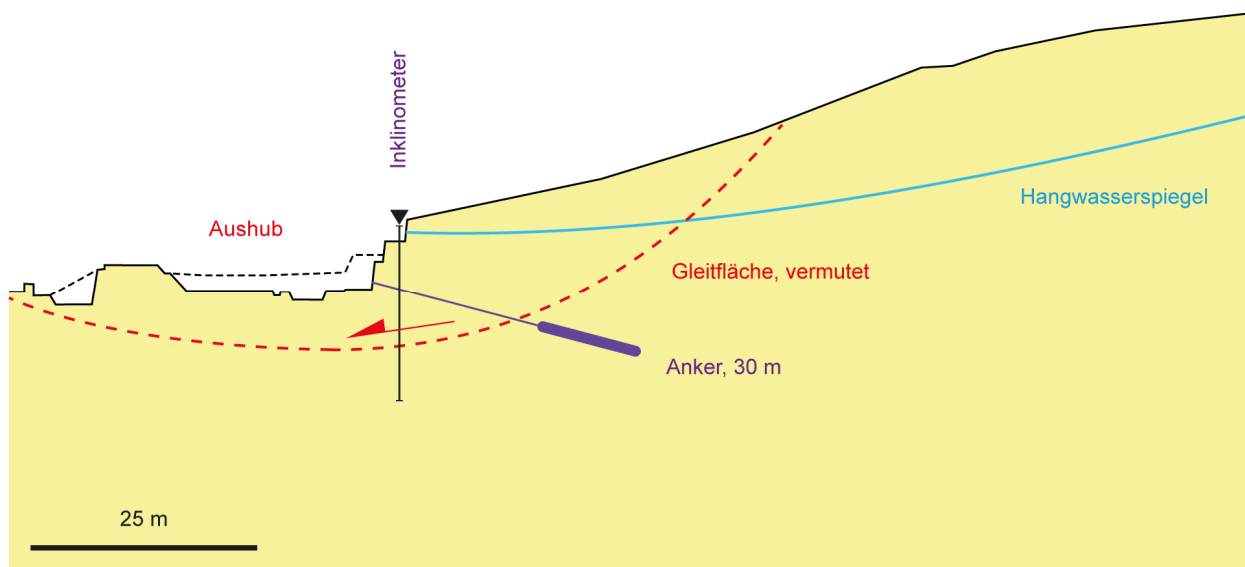


Abb. 5: Qualitative Aufzeichnung der möglichen Gleitfläche (grün) für die Definition zusätzlicher Sicherungsmassnahmen in pink (Zusatzverankerung); rot: Inklinometer; blau: angenommenes hydrostatisches Druckniveau.

Zusätzliche Anker, bei denen die Verankerungszonen hinter der vermuteten Gleitfläche liegen, wurden dimensioniert und erstellt (Abb. 5). Diese Massnahme zeigte eine rasche Verlangsamung der Deformationen auf der Gleitfläche (Abb. 6).

Die tiefliegenden Verschiebungen verlangsamten sich zwar während der weiteren Bauzeit bis zum Ende der Aushubarbeiten, stoppten aber erst nach Ende der Tiefbauarbeiten. Die Entstehung einer tiefgründigen Grossrutschung konnte aber erfolgreich verhindert werden.

Das Beispiel zeigt, dass die Bauarbeiten von einem Geologen / Geotechniker zusammen mit dem Bauingenieur nahe zu begleiten und die Erkenntnisse aus den Überwachungsdaten laufend auszuwerten und zu interpretieren sind (Beobachtungsmethode nach SIA 267).

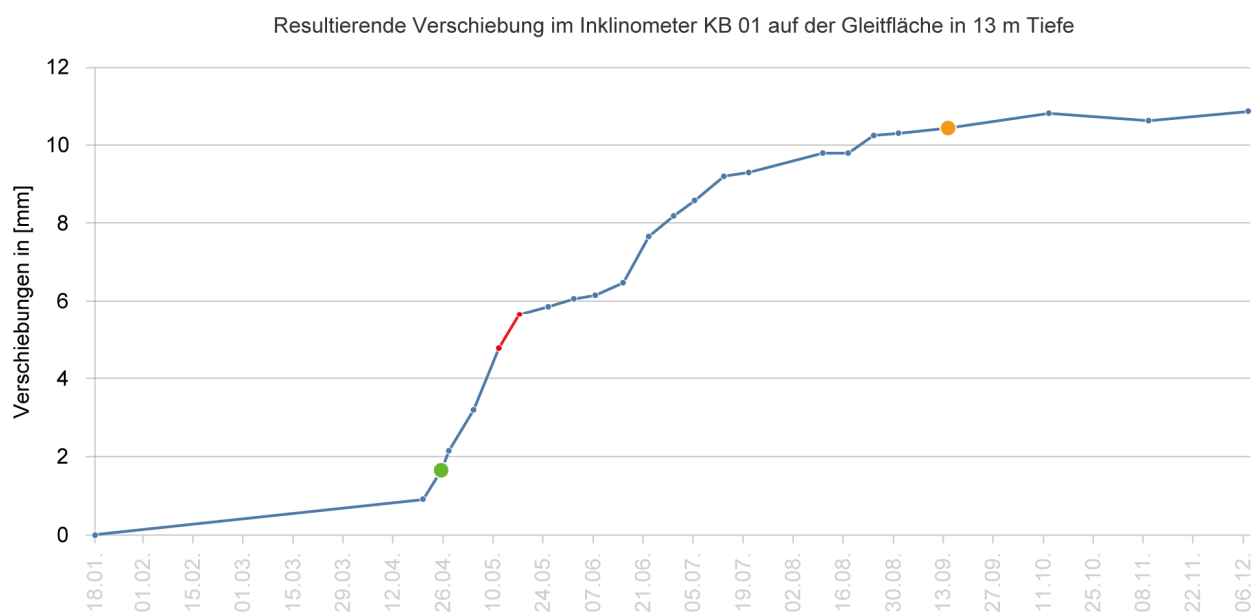


Abb. 6: Weg-Zeitdiagramm der Verschiebung auf der reaktivierten Gleitfläche in 13 m Tiefe in KB 01. Der grüne Punkt markiert die erste Information des Geologen, der rote Abschnitt die Erstellung der zusätzlichen Sicherungsmassnahmen und der orange Punkt das Ende der Aushub- und Sicherungsarbeiten.

Schlussbemerkung

Das ausgewählte Beispiel zeigt, dass eine frühe und etwas hartnäckige Sensibilisierung der Bauherrschaft und der beteiligten Planer, insbesondere der Bauingenieure, essenziell für ein Gelingen des Projekts sein kann. Kennen alle am Projekt beteiligten Personen die möglichen Risiken, kann die Beobachtungsmethode nach SIA angewendet werden und somit frühzeitig interveniert und allfällige Zusatzmassnahmen ergriffen werden, ohne dass grosse Schäden in der umliegenden Umgebung entstehen.

Die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von inggeol.ch – Ingenieurgeologie Schweiz (ehemals Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie SFIG) ist eine Expertenvereinigung von Geologinnen und Geologen, welche u.a. die Verbesserung des Umgangs der Schweiz mit Massenbewegungsprozessen zum Ziel hat.

Die AGN will das Bewusstsein für «heikle Baugebiete im gelben Gefahrenbereich» fördern. Behörden, Bauherrschaften und Planer sollen dazu angehalten werden, in Rutschgebieten umsichtig zu bauen. Hierfür wurde die vorliegende Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet» verfasst (Bezugsquelle: <https://www.inggeol.ch/publikationen>).

Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Fachleute

Geologische Gefahrenbeurteilung, Erkundung, Planung und Bauüberwachung

Sondierungen und Sondierausbauten

Sondierbohrungen

Sondierbohrungen sind die wohl beste direkte Aufschlussmethode, um den geologischen Aufbau des Baugrundes resp. einer Rutschmasse bis in grössere Tiefen zu erkunden. Bohrungen sollten möglichst bis zum sicher stabilen Untergrund (z.B. Grundmoräne oder Fels) abgeteuft werden.

Als Bohrart sind Rotationskernbohrungen in jedem Fall nur Schlagkernbohrungen vorzuziehen, weil Bohrkern ungestört und dadurch deutlich aussagekräftiger sind. Dies ist insbesondere für das ohnehin anspruchsvolle Erkennen von potentiellen Gleitflächen sowie für die Entnahme von ungestörten Bodenproben für Labortests von Bedeutung. Bei Schlagkernbohrungen wird die Bohrkronen mittels Schlägen in den Untergrund getrieben, wodurch die Struktur des Lockermaterials meist stark gestört wird.

Destruktive Bohrverfahren (Spülbohrungen) zerstören das Gefüge des Untergrunds vollständig und fördern diesen als Bohrklein-/schlamm zu Tage. Destruktive Bohrungen sind daher zur Baugrunduntersuchung in Rutschgebieten in aller Regel nicht geeignet.

Der Bohrmeister soll ein ausführliches Bohrprotokoll erstellen, in dem er seine Feststellungen (auch ihm unbedeutend erscheinende) während des Bohrbetriebes aufzeichnet, so z.B.:

- In welcher Tiefe wurde Grundwasser angetroffen?
- Wo lag der Wasserspiegel am Abend nach Bohrende; am Morgen vor Bohrbeginn?
- Ab welcher Tiefe wurde mit Wasser gebohrt?

Das Bohrprotokoll ist von der geologischen Fachperson auszuwerten und mit den eigenen Aufzeichnungen abzugleichen.

Eine fachgerechte Bohrausführung und eine sorgfältige Aufnahme der Bohrkern durch eine(n) erfahrene(n) GeologIn sind essentiell für die möglichst repräsentative Erfassung der (hydro-)geologischen Untergrundverhältnisse sowie idealerweise von Gleithorizonten. Hierzu müssen die Bohrkern zwingend systematisch aufgebrochen werden. Bei der detaillierten geologischen Aufnahme der Bohrprofile gemäss der USCS-Feldmethode sind im Wesentlichen folgende Parameter zu beschreiben:

- Materialzusammensetzung inkl. Zwischenschichten,
- Gehalt an organischen Inhaltsstoffen,
- Lagerungsdichte/Konsistenz (evtl. Bestimmung mittels Taschenpenetrometer/-scherflügel).
- Plastizität,
- wasserführende Schichten bzw. Wassergehalt

Gestützt darauf ist ein geologisches Schichtmodell zu entwerfen.

Rammsondierungen

Rammsondierungen können unterschiedlich ausgeführt werden. Relevant ist insbesondere das Bärge-
wicht. Dementsprechend werden leichte (Bärge-
wicht 10 kg), mittelschwere (30 kg) und schwere (63.5 kg) Rammsondierungen unterschieden.

Eine Rammsondierung ist ein indirektes Baugrundaufschlussverfahren, wobei eine geeichte Metallsonde mit festgelegter Energie in den Boden gerammt wird. Die Anzahl der Schläge, welche für eine bestimmte Eindringtiefe (meist 10 oder 20 cm) erforderlich ist, wird gezählt und in einem Tiefenprofil aufgetragen. Dieses gibt Hinweise auf die Lagerungsdichte/Konsistenz der durchörterten Lockergesteine und somit indirekt auch auf Materialzustände und Schichtwechsel.

Oft lassen sich (früher) aktive Gleitflächen mit aus einem Rammprofil herausgelesen, weil in dieser meist feuchten und gestörten Zone die Schlagzahlen oft abrupt zurückgehen.

Die Mantelreibung (Reibung des Gestänges im Rammloch) steigt mit zunehmender Eindringtiefe kontinuierlich an. Bei stark tonigen Böden kann die Mantelreibung u.U. deutlich grösser sein als die eigentliche Lagerungsdichte, wodurch es leicht zu Fehlinterpretationen kommen kann. Um dem zu begegnen, werden Nachrammungen ausgeführt. Dabei wird das Rammgestänge zurückgezogen und die Rammung ins bestehende Loch ein zweites Mal ausgeführt. Die dann erforderliche Schlagzahl widerspiegelt die effektive Mantelreibung (ohne den Eindringwiderstand in das Bodenmaterial).

Rammsondierungen werden idealerweise mit Sondierbohrungen kombiniert. Eine optimale «Eichung» einer Rammsondierung erfolgt dann, wenn diese in direkter Nähe zu einer Sondierbohrung ausgeführt wird. Mit einer «geeichten» Rammsondierung lassen sich auch weiter entfernt gelegene Rammsondierungen zuverlässiger interpretieren.

Bagger-Sondierschächte

Bagger-Sondierschächte erschliessen den Untergrund um ein Vielfaches grossflächiger als eine punktuelle Bohrung, weshalb der Schichtaufbau sowie allfällige Wasserwegsamkeiten direkt eingesehen und analysiert werden können. Sondierschächte sind im Beisein des/der beurteilenden GeologIn auszuheben. Darin lassen sich die folgenden Merkmale besonders gut erkennen:

- Struktur, Materialgefüge
- Schichtwechsel
- Bodenfeuchte, Wasseraustritte
- Holz, Baumstämme, grosse Steine etc.
- Lagerungsdichte Konsistenz ungestört / in situ
- Gleitflächen
- Standfestigkeit der Schachtwandungen

Sondierschächte lassen sich – je nach eingesetztem Gerät – nur bis in eine Tiefe von 3–5 m abteufen. Bei (möglicherweise) tiefer liegenden Gleitflächen sind Sondierschächte mit anderen Sondierarten zu kombinieren.

Piezometer

Zur Messung des Wasserspiegels resp. des Wasserdruckniveaus werden Piezometerrohre in Bohrlöcher oder ggf. auch in Bagger-Sondierschächte eingebaut. Der Einbau der Piezometerrohre muss fachgerecht erfolgen, um zuverlässige Messungen zu ermöglichen. Falls Pumpversuche ausgeführt werden sollen, sind hinreichend grosse Durchmesser der Rohre sowie der Bohrung erforderlich.

Wenn die Tiefe und Mächtigkeit der wasserführende(n) Schicht(en) im Sondierloch bekannt ist/sind, können mit Piezometermessungen auch gespannte Wasserdruckverhältnisse festgestellt werden.

Falls mehrere Grundwasserstockwerke vorliegen, sind verschiedene Piezometerrohre oder Porenwasserdruckgeber erforderlich, welche voneinander isoliert werden. Am zuverlässigsten gelingt dies mit dem Einbau eines (kurzen) Piezometerrohrs in Kombination mit tiefer liegenden Porenwasserdruckgebern.

Im Gegensatz dazu gelingt der Einbau von 2 oder gar 3 Piezometerrohren in derselben Bohrung mit dazwischenliegenden und tatsächlich wirksamen Abdichtungen erfahrungsgemäss meist nicht.

Porenwasserdruckgeber

In feinkörnigem Untergrund («Lehm») ist der Anteil des adsorptiv gebundenen Wassers hoch, so dass oftmals kein oder nur wenig freies Wasser vorhanden ist. Unter solchen Voraussetzungen liefern Piezometer keine oder unzuverlässige Werte. Wenn Hinweise auf eine Wasserführung, jedoch kein freies Wasser vorhanden sind, empfiehlt sich der Einsatz von Porenwasserdruckgebern zur Messung der Druckhöhe und zur Feststellung, ob gespannte Druckverhältnisse vorliegen. Ohne diese Erkenntnisse kann die hydrogeologische Situation des Rutschkörpers nicht richtig erfasst und womöglich falsch eingeschätzt werden. Letzteres kann insbesondere für die Dimensionierung von Böschungssicherungsmassnahmen und in der Folge auch für die globale Hangstabilität u.U. fatal.

Porenwasserdruckgeber können auch in Kombination mit Inklinometern (siehe unten) ins selbe Bohrloch eingebaut werden.

Die Auslesung der Messwerte kann automatisiert werden. Zusammen mit (automatischen) Piezometer- und Regenmessungen lassen sich gut nachvollziehbare Aussagen zum Deformationsverhalten einer Rutschung machen.

Inklinometer

Inklinometer erlauben es, Tiefe und Intensität lateraler Deformationen des Bohrlochs (Bewegungen entlang von Gleithorizonten) zu erfassen. Damit Inklinometer aussagekräftige Messergebnisse liefern können, ist das Messrohr auf jeden Fall bis unter die Gleitfläche, in den stabilen/festen Untergrund einzubinden (z.B. Grundmoräne oder Fels).

Bei der Gegenüberstellung des Messdiagramms mit dem detailliert aufgenommenen Bohrprofil lassen sich die Lage von Gleitflächen in aller Regel eindeutig bestimmen.

Die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von inggeol.ch – Ingenieurgeologie Schweiz (ehemals Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie SFIG) ist eine Expertenvereinigung von Geologinnen und Geologen, welche u.a. die Verbesserung des Umgangs der Schweiz mit Massenbewegungsprozessen zum Ziel hat.

Die AGN will das Bewusstsein für «heikle Baugebiete im gelben Gefahrenbereich» fördern. Behörden, Bauherrschaften und Planer sollen dazu angehalten werden, in Rutschgebieten umsichtig zu bauen. Hierfür wurde die vorliegende Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet» verfasst (Bezugsquelle: <https://www.inggeol.ch/publikationen>).

Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Fachleute

Geologische Gefahrenbeurteilung, Erkundung, Planung und Bauüberwachung

Deformationsmessungen

Geodätische Messüberwachung

Zur Ersterfassung eines Rutschhanges wie auch zur Überwachung von Baugruben und Hangdeformationen in deren Umfeld steht zunächst meist die geodätische Messüberwachung im Vordergrund.

Zur Abgrenzung einer Rutschung ist ein gleichmässig verteiltes tachymetrisches Messnetz aus Reflektoren zu installieren, welches möglichst auch stabile Bereiche ausserhalb der Rutschung umfasst. Die Messstation muss auf stabilem Untergrund in der Nähe des und mit freier Sicht auf das zu überwachenden Gebietes positioniert sein.

Um die Bewegungsgeschwindigkeiten einer permanenten Rutschung oder eines Kriechhanges zu erfassen, sind 3–4 Folgemessungen pro Jahr ratsam. Zu beachten ist, dass bei langsamen Bewegungsgeschwindigkeiten (z.B. <2 cm pro Jahr) lange (z.B. 2 Jahre) gemessen werden muss, um signifikante Messergebnisse zu erhalten.

Für Baugrubenüberwachungen sind die Messintervalle deutlich kürzer zu wählen (z.B. zweimal wöchentliche oder wöchentliche Folgemessungen, je nach Bauvorgang und Aushubfortschritt). In besonders heiklen Fällen und Bauphasen muss die Messüberwachung kontinuierlich inkl. Wochenenden ausgeführt werden. Hierfür eignet sich eine Totalstation, welche die Reflektoren automatisch in vorgegebenen Zeitintervallen (z.B. 1–3 Std.) misst und die Messdaten laufend zur Auswertung an die zuständige Stelle übermittelt. Zudem kann bei Überschreitung von vorgegebenen Warnwerten¹ automatisch eine Meldung per SMS oder E-Mail an die zuständigen Fachpersonen erfolgen. Je nach Dauer der erforderlichen Überwachung sind automatische Messungen u.U. kostengünstiger als manuelle Messungen.

Zusammen mit Inklinometermessungen bilden geodätische Messungen den Aufbau einer Rutschung und ihr Bewegungsverhalten bereits gut ab.

GPS / GNSS

Mit GPS / GNSS können neu installierte Fixpunkte oder bestehende Fixpunkte in einem Rutschgebiet eingemessen bzw. nachgemessen werden. Dank der hohen Genauigkeit und mit permanenten Messreihen werden aussagekräftige Informationen über das Bewegungsverhalten einer Rutschung gewonnen.

Es gibt verschiedene Messmethoden:

- Händische Messungen von Fixpunkten in frei wählbaren Intervallen.
- Fixe Messstation mit automatischer Messung und Datenübertragung. In entlegenen Gebieten kann die Stromversorgung mit Solarpanels sichergestellt werden.

Bei längerer Messperiode sind automatisierte Messungen oft aussagekräftiger und preiswerter als manuelle.

¹ Grenzwerte (Aufmerksamkeitswert, Warnwert, Alarmwert) sind der jeweiligen Situation angepasst festzulegen.

Landgestützte Radarinterferometrie (InSAR)

Die landgestützte Radarinterferometrie ermöglicht die flächenhafte Detektion von grössflächigen Bewegungen von Geländeoberflächen im mm- bis cm-Bereich wie sie auch durch permanente Rutschprozesse hervorgerufen werden. Andere Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise die Überwachung von grossflächigen Terrainsetzungen z.B. infolge Grundwasserabsenkungen oder Bergbautätigkeit oder von Gletscherbewegungen.

Geländeoberflächen mit Bewegungen resp. mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten z.B. entlang der Scherränder einer Rutschung lassen sich so sehr genau detektieren. Die Messergebnisse geben jedoch keine Informationen zum Tiefgang der Rutschung.

Für gute Ergebnisse muss die Messstation auf einem stabilen Untergrund ausserhalb des Rutschperimeters jedoch mit freier Sicht auf diesen installiert werden können. Zuerst ist eine Nullmessung durchzuführen; nach einigen Wochen/Monaten (je nach erwarteter Bewegungsgeschwindigkeit) kann die erste Folgemessung erfolgen. Je nach Situation und Fragestellung können weitere Folgemessungen erfolgen.

Bei dichter Vegetation oder anderen Obstruktionen wie z.B. Freileitungen, Bodennetze etc. ist der Einsatz von Radarinterferometrie wenig geeignet.

Siehe auch: Satelliten-gestützte Radarinterferometrie (Anhang 5).

Die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von inggeol.ch – Ingenieurgeologie Schweiz (ehemals Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie SFIG) ist eine Expertenvereinigung von Geologinnen und Geologen, welche u.a. die Verbesserung des Umgangs der Schweiz mit Massenbewegungsprozessen zum Ziel hat.

Die AGN will das Bewusstsein für «heikle Baugebiete im gelben Gefahrenbereich» fördern. Behörden, Bauherrschaften und Planer sollen dazu angehalten werden, in Rutschgebieten umsichtig zu bauen. Hierfür wurde die vorliegende Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet» verfasst (Bezugsquelle: <https://www.inggeol.ch/publikationen>).

Bauen im Rutschgebiet – Hinweise für Fachleute

Geologische Gefahrenbeurteilung, Erkundung, Planung und Bauüberwachung

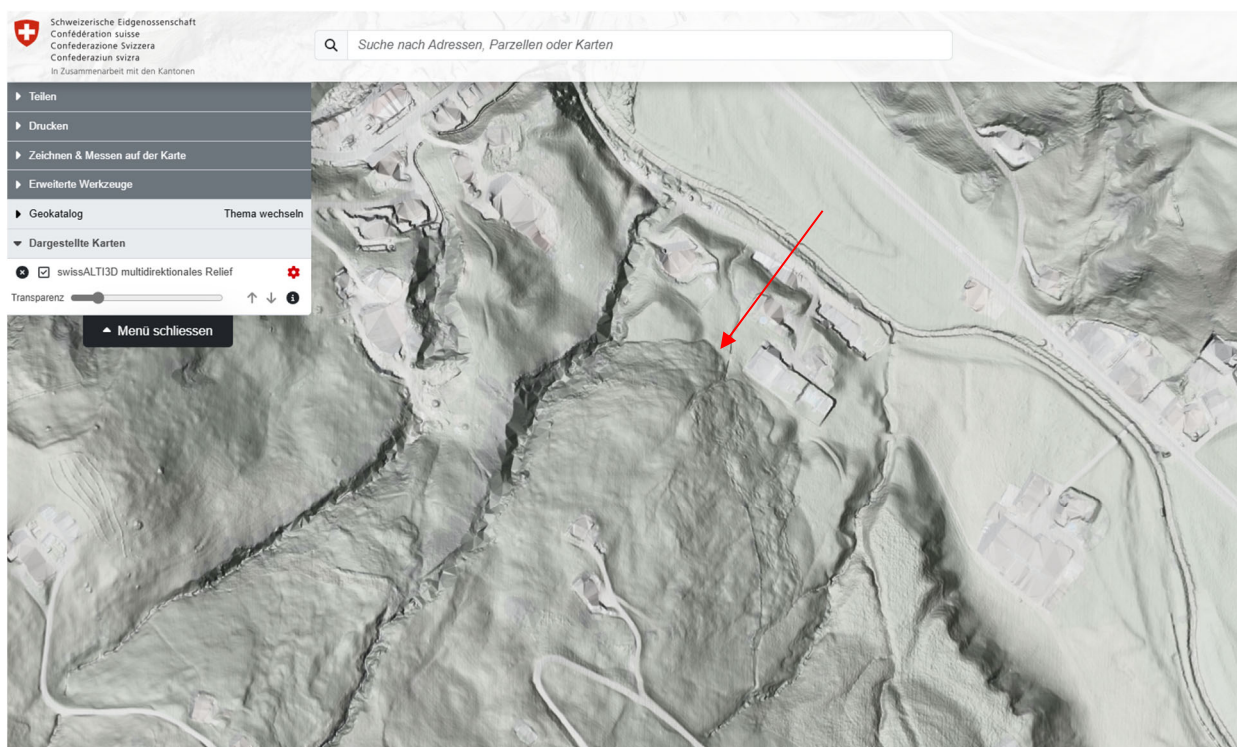
Methoden in Entwicklung

Bei der Bauüberwachung stehen etablierte Methoden (z.B. Geodäsie, Inklinometer) im Vordergrund. Dennoch schreitet die Entwicklung von Methoden zur Erkennung und Beurteilung von permanenten Rutschungen voran. Nachfolgende werden ausgewählte, vielversprechende Methoden erwähnt.

Präzise digitale Höhenmodelle (swissAlti3D)

Präzise digitale Höhenmodelle sind ein wichtiges Hilfsmittel. Besonders wertvoll ist das sehr präzise digitale Höhenmodell der swisstopo «swissAlti3D», welches die Oberfläche der Schweiz ohne Bewuchs und Bebauung beschreibt. Es wird in einem Nachführungszyklus von 6 Jahren aktualisiert (<https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoeihenmodell-swissalti3d>). Alternativ oder ergänzend können auch die Daten von «swissSURFACE3D» verwendet werden. swissSURFACE^{3D} beschreibt die Oberfläche der Schweiz mit allen natürlichen und künstlichen Elementen in Form einer klassifizierten Punktwolke. Sie zeichnen sich durch eine hohe Punktdichte und Genauigkeit aus.

Ein nützliches Hilfsmittel, um sich die swissAlti3D-Daten im Überblick anzuschauen, bilden davon abgeleitete *Reliefschattierungen* – ein digitales Schummerungsbild aus berechneten Lichteinfällen. Sie erlaubt oft einen guten Überblick über einen Rutschperimeter.



Figur 1: Reliefschattierung; eine Rutschfront (roter Pfeil) ist gut zu erkennen

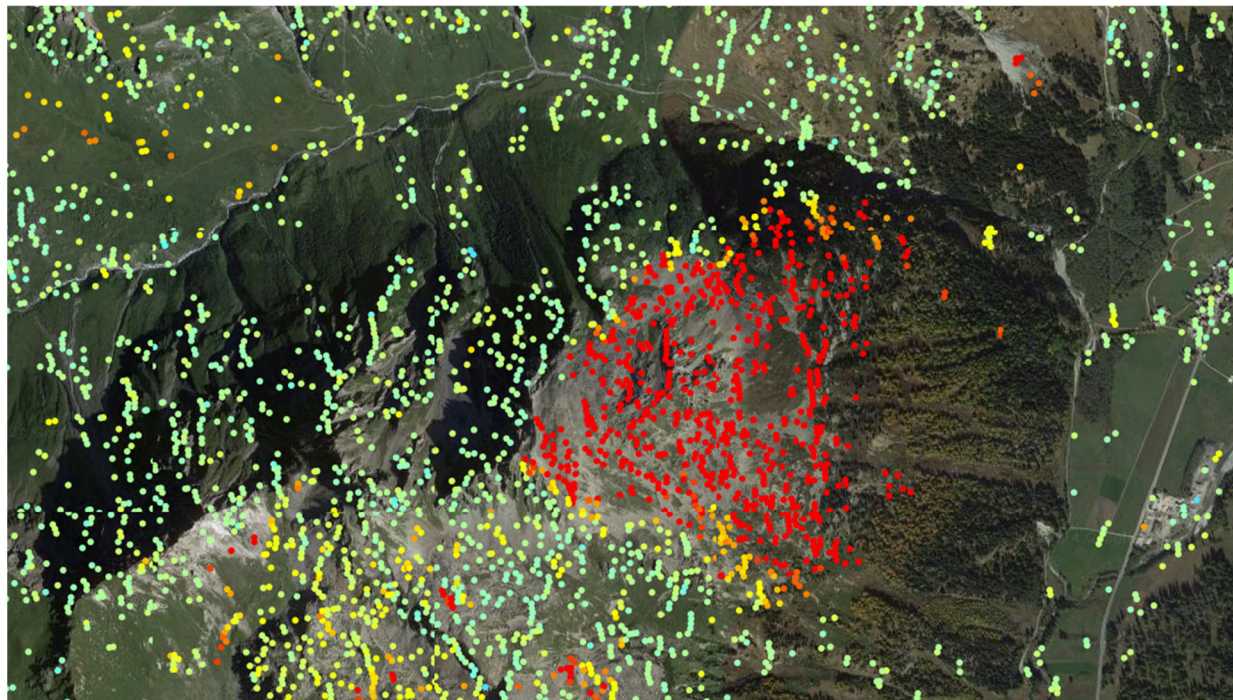
Zudem ermöglicht es der Vergleich von verschiedenen Aktualisierungszuständen, Rutschgeschwindigkeiten abzuleiten («feature tracking»). Dabei werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommene Datensätze verglichen, ähnliche Muster detektiert und so Verschiebungen gewisser Bereiche bestimmt (vgl. FAN Agenda 2/2023: https://fan-info.ch/wp-content/uploads/FAN-Agenda_22_2.pdf).

Satelliten-gestützte Radarinterferometrie (InSAR)

Die satellitengestützte Radarinterferometrie (InSAR) nutzt Radaraufnahmen von Erdbeobachtungssatelliten u.a. zur Berechnung von Topografien. Werden in einem Satz von regelmässigen Radaraufnahmen desselben Gebietes Objekte, welche Radarwellen reflektieren (feste Strukturen wie z.B. Fels oder Gebäude), verfolgt, kann für diese je Aufnahme deren topografische Höhe und damit deren Verschiebung ermittelt werden. Lageveränderungen werden 1-dimensional entlang der subvertikalen Blickrichtung des Satelliten («line of sight», «LOS») gemessen.

Die Satelliten umkreisen die Erde von Pol zu Pol. Aufgrund der Erdrotation scheinen sie mal von Norden nach Süden, mal von Süden nach Norden zu fliegen. Es resultieren zwei verschiedene Blickwinkel, «Descending» resp. «Ascending» genannt. Die Blickrichtung ist in Flugrichtung steil schräg nach unten gerichtet. Diese Daten lassen sich in eine vertikale und eine Ost-West-Komponente zerlegen (2D).

Die Analyse (bereits vorhandener) Zeitreihen von Radaraufnahmen erlaubt es, grossflächige, *regionale Geländebewegungen* auch *rückwirkend (!)* festzustellen, abzugrenzen und zu quantifizieren. Damit wird InSAR künftig für die regionale bis nationale Kartierung von permanenten Rutschungen zu einer wichtigen Methode avancieren.



Figur 2: Auswertung von InSAR; rote Punkte zeigen einen starken Setzungstrend; sie erlauben die Abgrenzung einer permanenten Rutschung

Siehe auch: Landgestützte Radarinterferometrie (Anhang 4).

Echtzeit-Laservermessung

Die Echtzeit-Laservermessung leistet bei der Vermessung von Fels(-wänden) gute Dienste. Sie kann grundsätzlich wie ein Handlaser-Distanzmessgerät und ohne Reflexionsspiegel eingesetzt werden. Eine fix installierte Messstation – allenfalls ergänzt mit einer Meteostation, Kamera usw. – misst automatisch und überträgt die Messwerte in Echtzeit.

Seismische Vibrometrie

Die *seismische Vibrometrie* ist ein passiv-seismisches Messverfahren zur Kartierung und Überwachung von Hanginstabilitäten. Es beruht auf der Aufzeichnung von Umgebungsvibrationen und bestimmt mit Seismometern seismische Kennwerte an den Messstellen wie etwa seismische Verstärkung, Resonanzfrequenzen und Schwingrichtungen. In Hanginstabilitäten werden Umgebungsvibrationen verstärkt und Resonanzfrequenzen können angeregt werden, wobei verschiedene Rutschkompartimente unterschiedliche Resonanzfrequenzen und Schwingungsmuster zeigen. Durch Messungen an verschiedenen Stellen lässt sich die räumliche Ausdehnung von potenziellen Rutschkörpern eingrenzen und idealerweise innere strukturelle Kompartimente voneinander abgrenzen.

Die seismische Vibrometrie kann sowohl zur Kartierung mit einer temporären Auslage von wenigen Stunden mit einer Vielzahl von gleichzeitig laufenden Sensoren wie auch zur permanenten Überwachung von Rutschungen eingesetzt werden. Die Methode eignet sich am besten auf grossen Rutschkörpern in einer frühen Phase der Untersuchung, wo noch wenige zuverlässige Informationen über das Deformationsmuster vorhanden sind. Sie bietet so eine Möglichkeit, Ressourcen für spätere Messungen gezielt einzusetzen (Bohrstandorte, Deformationsmesspunkte etc.).

Mikroseismisches Monitoring

Mittelfristig könnte auch das *mikroseismische Monitoring* zu einem Hilfsmittel zur Beurteilung von permanenten Rutschungen werden, wobei zur Detektion seismischer Wellen Geophone eingesetzt werden. Seismische Wellen entstehen durch zahlreiche kleine Bruchprozesse in den Gleithorizonten. Idealerweise können im nahen Untergrund jegliche Bewegungen und Bruchprozesse festgestellt und lokalisiert werden, u.a. auch solche, die (noch) kaum zu messbaren Massenverschiebungen führen. Die Stärke des Systems ist es, dass die Aktivität im gesamten Untergrund aufgedeckt wird und sich somit Volumen abschätzen lassen. Es können auch frühzeitig «Hotspots» oder Verlagerungen im vermeintlich stabilem Umgebung detektiert werden.

Bisher wurde die Methode vor allem bei Felsbewegungen eingesetzt. Um sie routiniert in Lockergesteinsrutschungen einsetzen zu können, sind noch Entwicklungsschritte und Pilotprojekte erforderlich.

Die Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren (AGN) von inggeol.ch – Ingenieurgeologie Schweiz (ehemals Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie SFIG) ist eine Expertenvereinigung von Geologinnen und Geologen, welche u.a. die Verbesserung des Umgangs der Schweiz mit Massenbewegungsprozessen zum Ziel hat.

Die AGN will das Bewusstsein für «heikle Baugebiete im gelben Gefahrenbereich» fördern. Behörden, Bauherrschaften und Planer sollen dazu angehalten werden, in Rutschgebieten umsichtig zu bauen. Hierfür wurde die vorliegende Praxishilfe «Bauen im Rutschgebiet» verfasst (Bezugsquelle:

<https://www.inggeol.ch/publikationen>).