

Rutschgefährdungen und Setzungen sowie deren Sanierungsmaßnahmen

1. Rutschungen

1.1. Definitionen

Für das Phänomen der Rutschungen gibt es in der Geotechnik verschiedene Definitionen.

Nach *Christian Veder (1979)* sind Rutschungen (speziell Hangrutschungen), schwerkraftbedingte, manchmal durch die bodenverflüssigende Wirkung von Erdbeben hervorgerufene und sowohl nach abwärts als nach außen gerichtete Bewegungen von Bodenmassen. Rutschungen können sich in nicht geschichteten und homogenen Böden bilden, oder aber durch bestimmte Schichtlagerungen, also zB durch Sand- oder Tonzwischenlagen, herbeigeführt werden. Rutschungen können auch durch Überlastung des „Kopfes“ oder durch Unterschneiden des „Fußes“ ausgelöst werden.

Nach *Krauter E. (1987)* ist bei Hangbewegungen die Massenverlagerung hangabwärts gerichtet. Im Gegensatz zu Sackungen, die zwar ebenfalls durch Schwerkraftwirkung bedingt sind, wo aber die Bewegungsrichtung überwiegend senkrecht verläuft und die Massen im Wesentlichen ihren Zusammenhalt und stets ihren Kontakt zur Unterlage behalten.

In den *Allgemeinen Bedingungen für Sturmschadenversicherungen (ASTB)* finden sich wiederum etwas andere Definitionen. Als Erdrutsch werden zB tiefer schürfende Bewegungen von Erd-, Gesteins- oder Geröllmassen bezeichnet, die von Frost, Wurzeldruck, Erdschichtung, Wasser oder Ähnlichem ausgelöst werden. Eine andere Definition lautet: Erdrutsch ist eine naturbedingte Abwärtsbewegung von Boden- oder Gesteinsmassen auf einer unter der Oberfläche liegenden Gleitbahn. Ein Erdrutsch ist etwa gleich lang wie breit. Er weist folgende Merkmale im Erdreich auf: Risse, Sprünge, Senkungen, Erhebungen und dergleichen. Ein weiteres Kriterium für Erdrutschschäden besteht darin, dass derartige Schäden durch im Erdreich bereits versickertes Wasser verursacht werden können, nicht aber durch oberirdisch abfließendes Wasser (einschließlich des mitfließenden Geschiebes).

In den Versicherungsbedingungen wird stets zwischen der **Mure** und dem **Erdrutsch** unterschieden, da Schäden durch Muren zumeist nicht versichert sind. Unter einer Mure versteht man eine oberflächliche Massenbewegung, die durch Wassereinwirkung ausgelöst wurde; derartige Muren enthalten Erdreich und Wasser in etwa gleichem Ausmaß und stellen einen Schlammstrom mit flussähnlichem Verlauf dar, der sich der Talform anpasst.

In der Bodenmechanik unterscheidet man hinsichtlich der Standsicherheit von Geländesprüngen zwischen dem **Böschungbruch** und dem **Geländebruch**.

Unter einer *Böschung* wird ein Erdkörper mit einer durch Abtrag oder Auffüllung künstlich hergestellten geneigten Geländeoberfläche verstanden. Unter einem *Hang* versteht man einen Erdkörper mit einer natürlich entstandenen geneigten Geländeoberfläche.

Unter dem Begriff **Geländebruch** versteht man nach *Möller G. (2007)* das Abrutschen eines Erdkörpers an einer Böschung, einem Hang oder an einem Geländesprung, gegebenenfalls einschließlich eines Stützbauwerkes und eines Teiles des dieses umgebenden Erdreiches infolge Ausschöpfens des Scherwiderstandes des Bodens und eventuell vorhandener Bauteile. Der rutschende Erdkörper kann sich dabei selbst verformen oder als annähernd starrer Körper abrutschen.

1.2. Rutschungsformen

Die beiden Hauptformen von Rutschungen sind Rotations- und Translationsrutschungen.

Unter **Rotationsrutschungen** versteht man nach *Prinz H. (1982)* schalen- bzw muschelförmige Rutschungen wie sie

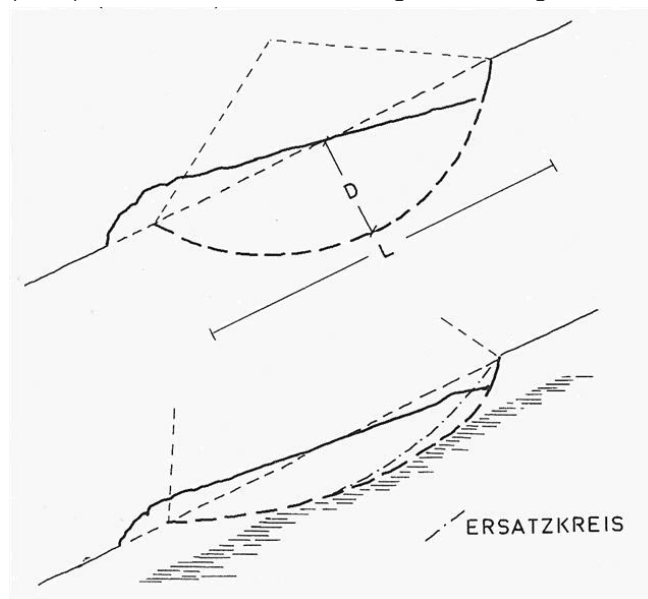


Abbildung 1: Grundtypen von kreisförmigen und abgeflachten Rotationsrutschungen nach *Prinz H. (1982)*

in der Abbildung 1 skizziert sind. In homogenem Material ist die Gleitfläche meist angenähert kreisförmig (D/L-Verhältnis 0,15 bis 0,33). Bei ausgeprägter Rotationsbewegung sind die Rutschmassen oft in sich wenig gestört.

Unter **Translationsrutschungen** (Abbildung 2) versteht man Block- oder Schollenrutschungen auf Trennflächen, so wie auch Flachrutschungen in Deckschichten. Das Verhältnis D/L ist selten größer 0,1.

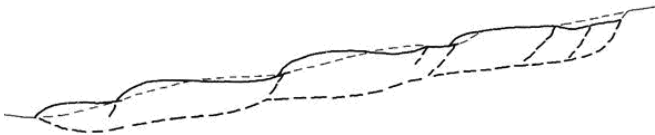


Abbildung 2: Grundtyp einer flachen Gleitung in Deckschichten mit Übergang zu Serienrutschung nach Prinz H. (1982)

Kombinierte Rutschungen sind ebenfalls weit verbreitet. Die Gleitfläche ist aus gekrümmten und ebenen (meist vorgegebenen) Bruchflächen zusammengesetzt. Hierbei tritt gewöhnlich eine stärkere Zerr- oder Scherbeanspruchung der Rutschmassen auf (Abbildung 3).

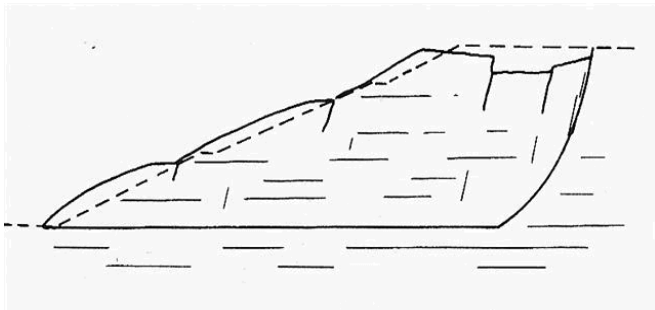


Abbildung 3: Grundtyp einer kombinierten Rutschung mit kreisförmigem Abriss und Gleitung auf einer Schichtfläche Prinz H. (1982)

Die Charakterisierung der Tiefenlage der Gleitfläche mit dem Verhältnis D/L geht auf Skempton A. W. & Hutchinson J. (1969) zurück.

Rutschungen können sich in mäßig bis steil geneigten Hängen vor allem bei Neigungen zwischen 10° und 40° ereignen. Sie sind in ihrer Erscheinung (Größe, Tiefe, Form der Gleitfläche etc) sehr vielfältig und sie laufen auch je nach Untergrundstruktur, Gesteinsbeschaffenheit, Beteiligung von Wasser sehr unterschiedlich ab.

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Gesteinspaketen auf einer Gleitfläche. Infolge der Rutschbewegung werden Zugrisse und häufig auch offene Bruchflächen am oberen Rand und an den seitlichen Rändern sichtbar. Die Oberfläche des Rutschkörpers kann sich in Schollen auflösen, wenn die Bewegung stark oder nur oberflächlich ist oder wenn sich Sekundärgleitflächen bilden.

1.3. Ursachen für Rutschungen

Die Ursachen für Rutschungen sind zumeist **Veränderungen des Hanggleichgewichtes** und zwar entweder durch zusätzliche **äußere Beanspruchungen** oder durch **Verminderung des Scherwiderstandes** im Boden. Meist liegt ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren vor. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle sind die zwei Hauptursachen die Veränderung der Neigung oder der Höhe eines Hanges bzw einer Böschung und die Wirkung des Wassers.

Zur Auslösung einer Rutschbewegung kommt es, wenn das Verhältnis zwischen der Scherfestigkeit (rückhaltende Kräfte) und den treibenden Kräften in einem lange andauernden Vorgang oder auch spontan einen kritischen Wert erreicht. Die **Scherfestigkeit** wird vor allem durch innere Einflüsse (unter anderem Verwitterung) und durch erhöhten Wasserdruck (Dauerregen, Gewitterregen, Schneeschmelze) im Hang verändert. Natürliche oder anthropogene äußere Einflüsse (zB Überlastung eines Hanges oder Anschneiden des Hangfußes) erhöhen ebenfalls die Rutsch tendenz.

Besonders ungünstig wirken sich gut wasserwegige Schichten (Kiese, Sande, Kalke) auf bindigen Unterlagen (tonige, schluffige, mergelige Schichten) aus. Bei dieser Kombination kann es schon bei geringer Hang- bzw Schichtneigung zur Auslösung von Rutschungen kommen. Auch das Wasser im Boden führt vielfach dazu, dass Stabilitätsprobleme auch bei geringer Hangneigung auftreten. Tone und Tonsteine mit quellfähigen Tonmineralien quellen und lockern ein zunächst festes Gefüge auf. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt die Konsistenz eines bindigen Bodens ab und die Scherfestigkeit, insbesondere die Kohäsion, wird reduziert oder geht gänzlich verloren. Auf vorgegebenen, potenziellen Gleitflächen reicht oft schon ein dünner Wasserfilm aus, um die Scherfestigkeit völlig zu verlieren (Schmiermittel).

Durchfeuchtungen von Böschungen oder Hängen haben unterschiedliche Auswirkungen. Im oberen Bereich (Kopf, Schulter) bewirken sie durch die Erhöhung des Gewichtes einen Lastzuwachs (treibende Kräfte werden größer) im unteren Bereich (Fuß) reduziert sich das Gewicht bei Wassersättigung durch den Auftrieb und vermindert daher die rückhaltenden Kräfte.

Das **Abholzen** eines Hanges kann einerseits den Wasserhaushalt verändern, andererseits auch Bodenerosion begünstigen und die Sonneneinstrahlung verstärken. Dadurch kann die Stabilität eines Hanges ebenfalls über einen längeren Zeitraum abnehmen und letztlich eine Rutschung initiiert werden.

Abbildung 4 zeigt einen Rutschkörper mit den eingetragenen Kräften. Die Scherfestigkeit bzw der Scherwiderstand ist eine aus innere Reibung (R_f) und Haftung (N) resultierende Kraft, welche zwischen gegeneinander bewegten Bodenteilchen oder Bodenmassen gegen die treibenden Kräfte (T) wirkt.

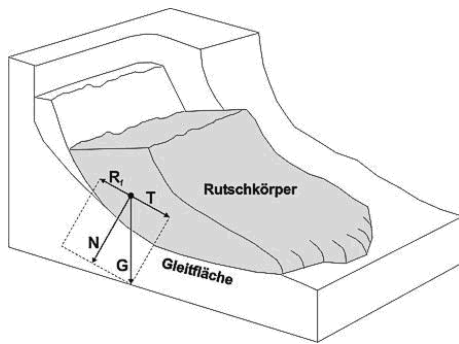


Abbildung 4: Rutschkörper mit eingetragenen Kräften

1.4. Rutschungsgeschwindigkeit

Franke (1976) definiert das Bewegungsverhalten von Rutschungen aus bodenmechanischer Sicht, wobei er in Anlehnung an Skempton Kurzzeit- und Langzeitrutschungen unterscheidet, die durch das Verhalten des Porenwasserdruckes vor und während des Bruchzustandes definiert sind. Ausgedehnte, tiefgründige Rutschmassen (> 10 m) bewegen sich oft über Jahrzehnte kaum wahrnehmbar mit wenigen Millimetern bis Zentimetern pro Jahr. Kleine Rutschungen ereignen sich häufig innerhalb von Minuten. Sie sind eher flachgründig (< 2 m).

Hinsichtlich der Rutschgeschwindigkeit unterscheidet man

- **substabil** – sehr langsam von 0 cm bis 2 cm pro Jahr,
- **wenig aktiv** – langsam von 2 cm bis 10 cm pro Jahr,
- **aktiv** – langsam mit schnellen Phasen – größer als 10 cm pro Jahr.

1.5. Schäden durch Rutschungen

Die Gefährlichkeit von Rutschungen wird nicht nur von der Geschwindigkeit und dem Volumen der bewegten Masse bestimmt, sondern vor allem durch die Verstellungen und die zueinander unterschiedlichen Differentialbewegungen der einzelnen Schollen. Diese Bewegungen können die Stabilität von Bauwerken stark beeinträchtigen. Es kann dadurch zu Rissen in Mauern, Absenkungen, Schiefstellungen oder gar Kippungen von Bauwerken kommen (Einwirkungsarten). Im schlimmsten Fall kann dies bis zur Einsturzgefahr führen.

Soweit Bauwerke von Rutschungen betroffen sein können, lassen sich schematisch die in der Abbildung 5 dargestellten

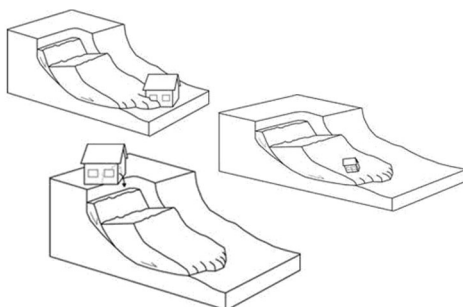


Abbildung 5: Mögliche Positionen von Objekten im Zusammenhang mit Rutschmassen

Rutschungen können auch Schäden an Verkehrswegen (Straßen, Eisenbahnen etc) und Leitungen (Wasser, Kanal, Pipelines, Kabel) bewirken. Steht bei Verkehrswegen die Gefährdung der Verkehrsteilnehmer im Falle von plötzlich auftretenden Rutschungen im Vordergrund, so geht es bei Schäden an Leitungen meist um die daraus resultierenden Folgeschäden durch die austretenden Medien (Wasser, Gas, Öl etc). Abgesehen von den dadurch möglichen Umweltschäden, kann auch der Bruch einer Trinkwasserleitung durch das in die Gleitfläche eindringende Wasser zu einer Beschleunigung bzw zu einem progressiven Fortschreiten der Rutschung führen.

Falls eine Rutschmasse bis in einen Wasserlauf vordringt und diesen temporär zurückstaut, besteht zudem die Gefahr von Hochwasserdurchbrüchen und Murgängen.

1.6. Messtechnische Überwachung, Sanierungsmaßnahmen

Um wirksame Sanierungsmaßnahmen ausarbeiten zu können, ist es zunächst wichtig, die Rutschung in ihrer Gesamtheit zu erfassen und zu beschreiben. Dazu wird zunächst eine Rutschungskartierung im Feld vorgenommen, die auf vorhandenen Kartenunterlagen beruhen kann.

Eine Luftbilddauswertung ist sowohl bei der Rutschungskartierung als auch bei der Detailaufnahme einer Rutschung eine wertvolle Hilfe und sollte nach Möglichkeit verwendet werden.

Zur Beschreibung einer Rutschung gehört aber nicht nur, die flächenmäßige Ausdehnung der Rutschmasse zu erfassen, sondern sich auch einen Überblick von der geologischen Untergrundsituation zu verschaffen. Dazu wird es notwendig sein, mit Hilfe von Bohrungen (Kernbohrungen) den Schichtenaufbau im Untergrund zu erkunden. Darüber hinaus lassen sich in solchen Aufschlussbohrungen häufig auch Gleitflächen (Harnischflächen) mit ihrer jeweiligen Tiefenlage sowie Hang- oder Schichtwasserhorizonte erkennen. Im günstigsten Fall ist es damit auch möglich, die Tiefenlage der Gleitfläche zu bestimmen.

Zeichnen sich langsam verlaufende Rutschungen schon frühzeitig durch erste Anzeichen (Risse, Zerrisse, Aufwölbungen etc) ab, werden häufig **messtechnische Überwachungsprogramme** am oder im Rutschkörper installiert. Dazu gehören einerseits die geodätischen Beobachtungen der Geländeoberfläche hinsichtlich Lage und Höhe mit entsprechender Messgenauigkeit und die messtechnische Überwachung mit Hilfe von Neigungsmessern (Inklinometern). Inklinometer sind Neigungsmesseinrichtungen, wo mit einer Neigungsmesssonde ein zuvor in einer Kernbohrung installiertes Messrohr befahren wird. Meter für Meter wird in diesem Messrohr die jeweilige Neigung des Rohres ermittelt und im Zuge der Auswertung über die gesamte Bohrlochtiefe kumuliert dargestellt.

Häufig spielt auch der Wasserhaushalt für das Auftreten von Rutschungen eine wesentliche Rolle, sodass auch der Beobachtung der Grundwasser-, Schichtwassersituation mit Hilfe von Grundwasserbeobachtungspegeln oder Piezome-

tern (Porenwasserdruckmessung) eine entscheidende Bedeutung zukommt. Ist eine Rutschung einmal eingetreten, so können messtechnische Beobachtungsprogramme nur mehr dann Erkenntnisse über die Kinematik liefern, wenn die Rutschung noch aktiv, das heißt, noch nicht gänzlich zum Stillstand gekommen ist.

Die **Sanierungsmaßnahmen** für Schäden aus Rutschungen sind naturgemäß sehr unterschiedlich und weit gestreut. Die gewählte Sanierungsmaßnahme hängt sehr stark davon ab, ob es sich um eine Rutschung handelt, bei der „nur Bodenmassen“ (Böschungsbruch) abgerutscht sind oder ob auch Bauwerke (Geländebruch) mit betroffen sind. Sehr großräumige und tief reichende Rutschungen sind unter Umständen auch gar nicht sanierbar.

Als Sofortmaßnahme bei Rutschungen im Anfangsstadium kann eine Vorschüttung im Fußbereich ebenso wirksam sein wie eine Entlastung des Kopfes.

Im einfachsten Fall werden eine Verflachung der Böschungsneigung, ein Ausräumen des abgerutschten Materials und ein Neuaufbau der Geländeoberfläche zielführend sein. Dies setzt zumeist die Inanspruchnahme von zusätzlichen Grundstücken und eine geeignete Topographie voraus.

Sind Bauwerke von Rutschungen betroffen (Objekte, Baukörper, Stützmauern, Verkehrswege etc), so wird ein einfaches Abflachen der Böschungsneigung in vielen Fällen nicht möglich sein, sondern wird der Einsatz von Stützkonstruktionen zur Stabilisierung oder die Erhöhung der Scherfestigkeit in der Gleitfläche zur Sanierung erforderlich sein. Stützkonstruktionen bestehen zumeist aus Ankerwänden, Schwergewichtsmauern, Krainerwänden, Gabbionen, Bewehrte-Erde-Konstruktionen, Bodenvernagelungen etc.

Die Erhöhung der Scherfestigkeit in der Gleitfläche muss zumeist von der Geländeoberfläche aus erfolgen und stehen dafür verschiedene grundbautechnische Verfahren zur Verfügung. Das Spektrum reicht von Injektionen über Verfestigungen bis zum Einsatz von Dübeln durch die Gleitflächen (Pfähle, Brunnen etc).

Wie schon mehrfach erwähnt, spielt bei sehr vielen Rutschungsproblemen das Wasser im Untergrund eine bedeutende Rolle. Es können daher Hangentwässerungsmaßnahmen in Form von Tiefdrainagen oder geneigte Drainagebohrungen aus Entwässerungsbrunnen eine Reduktion des Porenwasserdruckes herbeiführen und damit die Scherfestigkeit erhöhen bzw die treibenden Kräfte am Rutschkörper verringern. Für eine dauerhafte Funktion dieser Entwässerungseinrichtungen ist jedoch eine entsprechende Überwachung (Kontrolle, Wartung etc) unbedingt notwendig.

2. Setzungen

2.1. Definitionen

Setzungen sind Verschiebungen der Baugrundoberfläche in Richtung der Schwerkraft, die durch Änderungen des Span-

nungszustandsänderungen hervorgerufen werden. Eine Spannungsänderung wird meist durch zusätzliche Lasten an der Geländeoberfläche oder durch Grundwasserstandsschwankungen (Änderung des spezifischen Gewichtes infolge Auftriebs) hervorgerufen.

Der Vollständigkeit halber seien noch weitere lotrechte Verschiebungen der Baugrundoberfläche nach *Möller G. (2007)* erwähnt:

Sackung durch Umlagerung und Verdichtung des Korngerüstes bei nicht bindigen Böden hervorgerufene Verschiebung in Richtung der Schwerkraft (zB: Durchnässung feuchter Sande, die zum Verlust der Kapillarkohäsion führt, dynamische Belastung aus Maschinen oder Verkehr mit einhergehender kurzzeitiger Reduzierung der Kontaktkräfte zwischen den Bodenkörnern nicht bindiger Böden).

Senkung: Verschiebung in Richtung der Schwerkraft infolge Materialentzugs (zB eingestürzte im Untertagebau entstandene nicht verfüllte Hohlräume).

Erdfall (Tagbruch): Durchbruch von eingestürzten oder ausgespülten tiefer liegenden Hohlräumen bis an die Geländeoberfläche.

Hebung: Lotrechte Verschiebung entgegen der Richtung der Schwerkraft (zB: durch entlastenden Baugrubenaushub hervorgerufen).

Schrumpfen: Verringerung des Bodenvolumens infolge von Austrocknung.

Schwellen (Quellen): Vergrößerung des Bodenvolumens infolge einer Zunahme des Wassergehaltes.

2.2. Setzungsformen

Größe und Form der Setzungen werden unter anderem beeinflusst durch die Parameter

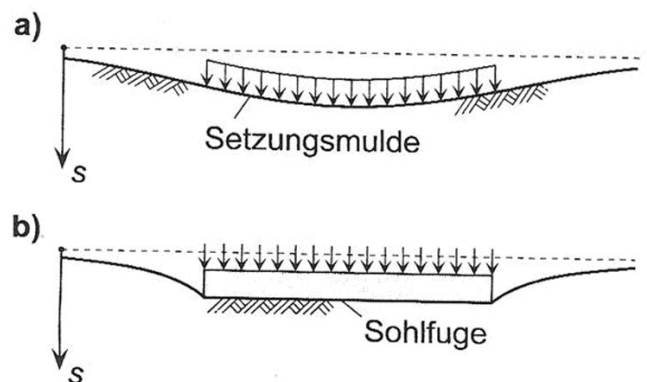


Abbildung 6: Setzungsverlauf unter einem a) schlaffen ($E = 0$) Fundament und b) starren Fundament ($E = \infty$) nach *Möller G. (2007)*

- **Steifemodul E_S** des Baugrundes bzw der einzelnen Bodenschichten,
- **Lage und Mächtigkeit** der Bodenschichten mit besonders geringem Steifemodul E_S ,
- Form und Größe der **Sohlfäche**,
- **Biegesteifigkeit** der **Gründungskonstruktion**.

Die Abbildung Nr. 6 zeigt die Verformungen unter einem „schlaffen“ bzw unter einem „starrten“ Fundament.

2.3. Ursachen für Setzungen

Die häufigsten Ursachen für Setzungen sind nach *Simmer K. (1994)*:

- Zusammendrückung des Untergrundes (elastisch-plastische Verformung des Bodens) infolge der Belastung durch das Bauwerk;
- Grundwasserabsenkung – Wegfall des Auftriebes vergrößert Bodeneigengewicht und damit die Vertikalspannungen;
- Schrumpfen bindiger Böden infolge Austrocknung, insbesondere bei flach gegründeten Gebäuden oder durch starkes Wurzelwachstum;
- örtliche Veränderung der Tragfähigkeit des Bodens, zB durch Erhöhung des Wassergehaltes bindiger Böden;
- Frosthebungen und nachfolgende Setzungen.

Sehr verschieden verlaufen Setzungen in den unterschiedlichen Lockergesteinsbodenarten (bindiger Boden und nicht bindiger Boden) ab.

Ein **bindiger Boden** ist ein Boden mit hohem Feinkornanteil an Ton und/oder Schluff (umgangssprachlich auch als **Lehm** bezeichnet). Unter Druckbelastung verformen sich bindige Böden über einen längeren Zeitraum relativ stark. Bindiger Boden setzt sich im Vergleich zu nicht bindigen Böden sehr langsam, daher können noch Restsetzungen nach Fertigstellung des Bauwerkes auftreten, die zu Schäden führen können. Das Verhalten bindiger Böden ist stark vom Wassergehalt abhängig. Je nach Anteil von Ton und Schluff sind diese Böden schlecht wasserdurchlässig. Wasser kann sich sammeln, verringert die Tragfähigkeit und staut sich an den Bauwerksaußenseiten auf. Bestimmte Tonminerale neigen unter Einfluss von Wasser auch zum Quellen oder Schrumpfen.

Außerdem reagiert der Boden empfindlich auf Frost, da das Porenwasser gefriert und es zu Hebungen kommen kann.

Nicht bindiger Boden ist ein Boden mit einem geringen Anteil an Feinkorn. Zu dieser Bodenart zählen Sand und Kies in verschiedenen Korngrößen und Mischungen (umgangssprachlich auch als **Schotter** bezeichnet). Entgegen der Redensart „auf Sand gebaut“ handelt sich hierbei meist um guten Baugrund, vorausgesetzt er ist nicht locker gelagert. Dies liegt unter anderem daran, dass das mechanische Verhalten vom Wassergehalt weitgehend unabhängig ist, aber auch daran, dass das Korngefüge relativ stabil ist. Die geringe Zusammendrückbarkeit von Sand führt dazu, dass Setzungen relativ gering bleiben. Die Setzungen treten darüber hinaus unmittelbar nach dem Aufbringen der Lasten auf und sind daher zu einem wesentlichen Teil bei Fertigstellung des Rohbaues abgeschlossen. Bei geringerer Lagerungsdichte oder bindigen

bzw humosen Anteilen können auf hier Setzungen auftreten. Zu Frostschäden kommt es bei nicht bindigen Böden in der Regel nicht, da die Volumenänderung des Wassers durch die Luftporenräume im Korngefüge aufgenommen werden kann.

2.4. Zeitlicher Verlauf von Setzungen

Wird auf einen nicht vorbelasteten Boden eine Belastung plötzlich aufgebracht und konstant gehalten, führt dies zu einer zeitabhängigen Setzungsentwicklung wie sie in der Abbildung 7 zu sehen ist. Die Gesamtsetzung ergibt sich aus der Summe der nachfolgenden Setzungsanteile:

Sofortsetzung – oder auch Initialsetzung – ist die unmittelbar nach der Lastaufbringung einsetzende Verformung. Der gesamte Setzungsanteil besteht in körnigen und gut drainierten Böden aus der Initialsetzung, da Porenwasser oder Gasblasen sofort entweichen können und die eingetretene effektive Spannung sofort auf das Korngerüst des Bodens übertragen wird.

Konsolidationssetzung – oder auch Primärsetzung (Verdichtungssetzung) – bildet in der Regel den größten Setzungsanteil. Infolge des Auspressens von Porenwasser und Porenluft nach Lastaufbringung nehmen die effektiven Spannungen zu. Je nach Durchlässigkeit des Bodens wird das Porenwasser schneller oder langsamer aus den Poren verdrängt und somit die Last auf das Korngerüst erst allmählich übertragen. Gerade bei bindigen, schlecht drainierten Böden kann die zeitliche Verzögerung für diesen Setzungsanteil erheblich sein.

Kriechsetzung – Setzungsanteil bindiger Böden infolge plastischen Fließens des Korngerüsts.

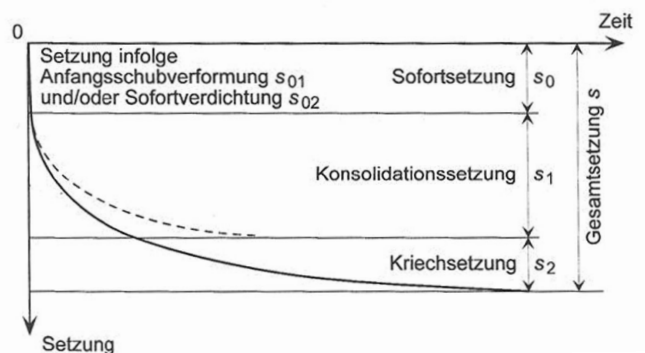


Abbildung 7: Setzungsanteile bei konstanter, plötzlich auf nicht vorbelastetem Untergrund aufgebrachtener Last nach *Möller G. (2007)*

Manchmal erfolgt auch eine Zusammenfassung des Anteils der Initialsetzung (Sofortsetzung) und der Konsolidationssetzung zum Oberbegriff Primärsetzung. Unter Sekundärsetzung versteht man den Anteil der Kriechsetzung infolge des viskosen Fließens des Korngerüsts.

2.5. Setzungsberechnung

Bei allen Setzungsberechnungen in bindigen Böden spielt das Porenwasser eine ganz entscheidende Rolle. Ein was-

sergesättigter Boden setzt sich aus den Phasen Feststoff (Korngerüst) und Wasser (Porenwasser) zusammen. Wenn man eine äußere Spannung aufbringt, wird angenommen, dass diese zunächst sowohl von Korngerüst als auch von dem in den Poren enthaltenen Wasser aufgenommen wird. Dabei wird der auf das Korngerüst wirkende Spannungsanteil als **effektive** bzw. wirksame **Spannung**, der auf das Porenwasser wirkende Spannungsanteil als **Porenwasserdruckspannung** und die auf den gesamten Boden wirkende Spannung als **totale Spannung** bezeichnet.

Der Porenwasserdruck ist der Druck des Porenwassers in Locker- und Festgestein. Er wirkt allseitig und setzt sich zusammen aus dem hydrostatischen Druck, der der Höhe des Grundwasserstandes entspricht und einem Porenwasserüberdruck. In Gesteinen mit geringer Wasserdurchlässigkeit entsteht ein Porenwasserüberdruck dann, wenn sich infolge einer auf den Boden aufgetragenen äußeren Belastung der einem Gleichgewichtszustand entsprechende Wasserdruck nur allmählich einstellen kann.

Hinsichtlich der tatsächlichen Berechnung der Setzungen wird unterschieden zwischen zwei Berechnungsverfahren:

- **Direkte Setzungsberechnung** mit geschlossener Formel und
- **indirekte Setzungsberechnung** über die lotrechten Spannungen im Baugrund.

Die Berechnung selbst erfolgt nach der Theorie des elastischen isotropen Halbraumes. Die diesbezüglichen theoretischen Grundlagen stammen von *Boussinesq* und *Steinbrenner W.* (1934).

Um realistische Setzungsgrößen zu erhalten, ist zu berücksichtigen, dass der reale Baugrund nicht ein unendlich tiefer Halbraum ist,

- dass der Elastizitätsmodul durch die mit der Tiefe zunehmende Vorbelastung des Baugrundes infolge seines Eigengewichtes stark zunimmt,
- dass die durch Bauwerkslast hervorgerufenen vertikalen Baugrundspannungen über die Tiefe stark abnehmen und damit die tatsächlich auftretenden Setzungen durch die Zusammendrückung eines Bereiches mit begrenzter Tiefe (Grenztiefe) zu berücksichtigen sind.

In den einschlägigen Normenwerken wird die Grenztiefe mit jener Tiefe definiert, wo die „neuen“, durch die Bauwerkslast hervorgerufenen Baugrundspannungen σ_z kleiner sind als das 0,2-Fache des ursprünglich vorhandenen vertikalen Überlagerungsdrucks $\sigma_{\bar{u}}$ aus der Bodeneigenlast.

Um die Setzungsberechnungen tatsächlich durchführen zu können, ist der Untergrundaufbau im Vorfeld zu erkunden und sind die einzelnen Schichten mit realistischen Kennwerten zu belegen und in ein Baugrundmodell umzuwandeln. Zudem sind Angaben über die vorhandenen Fundamente (geometrische Form, Steifigkeit etc) erforderlich.

2.6. Schäden durch Setzungen

Gebäudeschäden, die auf Setzungen zurückzuführen sind, können sehr unterschiedliche Erscheinungsformen und Ursachen haben. Zahlreiche Beispiele für die Ursachen und Auswirkungen solcher Schäden finden sich zB bei *Möller G.* (2007), *Noudoushani M.* (2004), *Hilmer K. ua* (2004), *Hilmer K.* (1991). Nachfolgend werden auszugsweise ein paar typische Ursachen mit den daraus resultierenden Problemen dargestellt.

Eine **gegenseitige Beeinflussung** von Bauteilen kann bei **lang gestreckten Gebäuden** dadurch eintreten, dass die Überlagerung der durch die Teillasten hervorgerufenen vertikalen Baugrundspannungen zu einer Spannungskonzentration in Gebäudemitte führt (Abbildung 8).

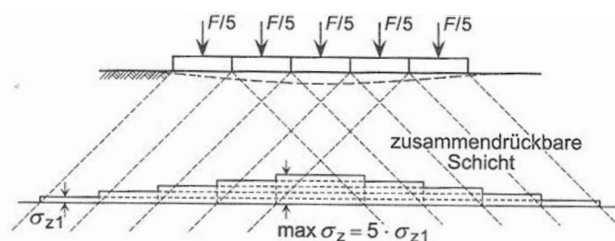


Abbildung 8: Spannungskonzentration in Gebäudemitte durch Überlagerung von Teillastwirkungen nach *Möller G.* (2007)

Auch eine **gegenseitige Beeinflussung gleichzeitig hergestellter, benachbarter Gebäude** kann auftreten. Die vereinfachte Darstellung der Lastausbreitung zeigt, dass die Gebäudelasten im Bereich der weichen Schicht unter den gegenüberliegenden Innen-Gebäudekanten höhere Druckspannungen hervorrufen als in derselben Schicht unter den Außenkanten der Gebäude. Dies führt zu größeren Setzungen im Bereich der Innenkanten und dadurch möglicherweise zu Schäden (Abbildung 9).

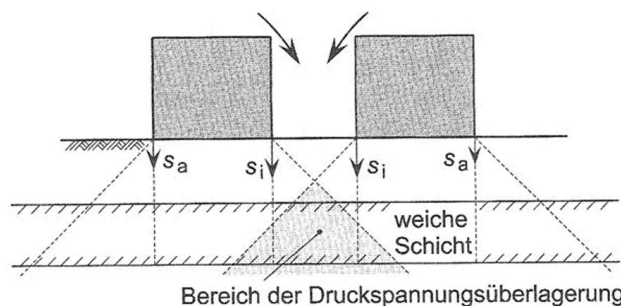


Abbildung 9: Gegeneinanderneigung benachbarter Gebäude infolge Druckspannungsüberlagerungen in der setzungsempfindlichen Schicht nach *Möller G.* (2007)

Im Falle der Errichtung eines **neuen Gebäudes** unmittelbar neben einem schon **bestehenden Bauwerk** ist zu sehen, dass die durch den Neubau hervorgerufenen Druckspannungen $\sigma_{z, neu}$ auch im Baugrund unterhalb der schon existierenden Bausubstanz wirksam werden und sich dem dort

bereits vorhanden Druckspannungen $\sigma_{z, \text{alt}}$ überlagern. Auch diese Erhöhung der vertikalen Spannungen kann zu einer Setzungsvergrößerung in diesem Bereich führen (Abbildung 10).

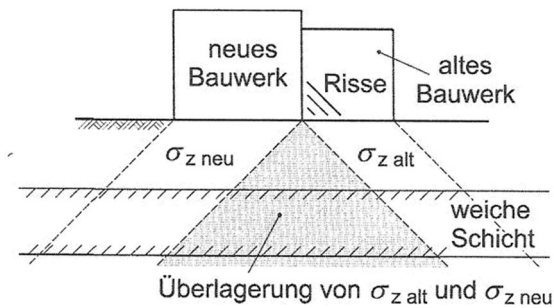


Abbildung 10: Gegeneinanderneigung benachbarter Gebäude infolge Druckspannungsüberlagerungen in der setzungsempfindlichen Schicht nach Möller G. (2007)

2.7. Setzungen bei inhomogenem Baugrund

Die Abbildung 11 zeigt Beispiele für Unregelmäßigkeiten bezüglich der Zusammendrückbarkeit des Baugrundes und damit verbundene Bauwerksschäden infolge der stark unterschiedlichen Setzungen im Gründungsbereich. In allen drei Fällen wird die unterschiedlich mächtige weiche Ton- bzw. Faulschlammsschicht besonders stark zusammengedrückt und ergeben sich daraus ungleichmäßige Setzungen. Sie können zu Abrissen oder zu Schäden infolge von Sattellagerung bzw. Setzungsmuldenbildung führen.

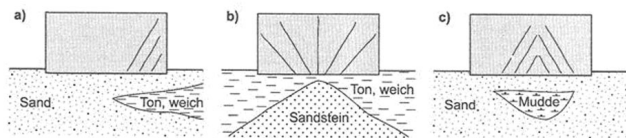


Abbildung 11: Mögliche Rissbildungen in Gebäuden bei Unregelmäßigkeiten im Baugrund nach Möller G. (2007)

Anstelle der weichen Tonschicht können aber auch Altablagerungen, insbesondere mit hohem organischen Anteil, unverdichtete Anschüttungen oder Auffüllungen zu solchen Krümmungen führen.

Bei den Setzungen eines Bauwerks kommt es weniger auf die Gesamtsetzung an, als auf die zu erwartenden Setzungsunterschiede. Für die Größe der zulässigen Bodenpressungen sind deshalb die verträglichen Setzungsunterschiede maßgebend. Die Setzungsempfindlichkeit eines Bauwerks ist abhängig von der Art des Baumaterials und der Konstruktion.

Ein schlaffes Bauwerk schmiegt sich der Setzungsmulde mehr oder weniger vollkommen an. Ein Bauwerk mit einer gewissen Steifigkeit von Überbau und Gründung ist bestrebt, die Setzungsmulde und örtliche Setzungsunterschiede zu überbrücken und die Setzungen durch

Verlagerung der Spannungen auszugleichen. Hierbei kommt es sehr auf das Verhältnis Steifigkeit der Gründung zu Baugrundsteifigkeit an. Ist ein Bauwerk nicht steif genug, die Biegebeanspruchungen aufzunehmen, so treten Risse auf. Auch ein absolut starres Bauwerk erzwingt nicht unbedingt gleichmäßige Setzungen, sondern es können Schiefstellungen auftreten.

Statisch bestimmte Systeme reagieren auf Setzungsunterschiede meist weniger sensibel als statisch unbestimmte Systeme. Bei letztgenannten Systemen kommt es durch die Setzungsunterschiede zu Zwängungen und diese führen häufig zu Schäden.

Für die Angabe **zulässiger Winkelverdrehungen** bei Hochbauten kann die Zusammenstellung aus der Abbildung 12 verwendet werden.

Die Zahlenwerte gelten allerdings nur dann, wenn die Setzung Muldenform besitzt, da in Fällen von Sattellagerung nach *Schultze E. (1980)* Risse schon bei halb so großen Winkelverdrehungen auftreten können. Nach *Franke E. (1980)* sollten die Angaben der Abbildung nur bei Gründungen auf einzelnen Fundamenten Anwendung finden.

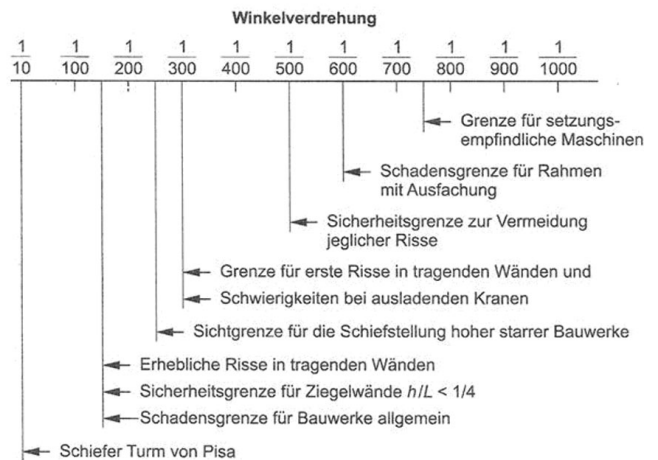


Abbildung 12 Schadenskriterien für Winkelverdrehungen nach *Schultze E. (1980)*

Wird die Winkelverdrehung 1/500 als Schadensgrenze definiert und in Beziehung gesetzt zu der Grenze für erste Risse in tragenden Wänden (Winkelverdrehung 1/300), ergibt sich eine Sicherheit gegen Risse von $\approx 1,5$.

2.8. Setzungsbeobachtungen

Setzungsbeobachtungen sind eine wichtige Kontrolle der gesamten Gründungsberatung. Durch die Setzungsmessung sollen Größe und zeitlicher Verlauf der Setzungen von Gebäuden und gegebenenfalls auch deren Umgebung in mehreren Messungen ermittelt werden. Wichtig ist die Erfassung der Anfangssetzungen. Die Nullmessung muss daher möglichst frühzeitig bereits an den Fundamenten

jedenfalls aber am Kellergeschoß vorgenommen werden. Die Fortführung der Messungen über ein bis drei Jahre nach Inbetriebnahme des Gebäudes ist in vielen Fällen zu empfehlen. Bei jeder Messung ist auf alle Fälle der jeweilige Belastungszustand festzuhalten.

Die Auswertung erfolgt gewöhnlich als Doppeldiagramm und zwar durch Auftragen von Zeit-Setzungs- und Zeit-Belastungslinie der einzelnen Messpunkte.

Auf die Bedeutung von Beweissicherungsmaßnahmen an bestehenden Objekten im Zusammenhang mit Neubauten (Hochbauten, Verkehrswege, Leitungen etc) sei ausdrücklich hingewiesen. Vielfach kann nur bei Vorliegen einer richtigen (frühzeitigen und umfassenden) Beweissicherung nachträglich festgestellt werden, ob eine Schadenskausalität zu den Baumaßnahmen besteht.

2.9. Sanierungsmaßnahmen bei Setzungsschäden

Bevor ein Sanierungskonzept für Gebäudeschäden erarbeitet wird, muss zunächst die Schadenursache festgestellt werden. Einige häufig eingesetzte Sanierungsmaßnahmen werden nachstehend kurz beschrieben.

Verfüllen von Hohlräumen unter dem Fundament (zB: Hohlräume entstanden durch Ausspülungen oder Aufweichungen- bzw Oberflächenwasser): Bei der Verfüllung (Verpressung mit geringem Druck) dieser Hohlräume empfiehlt es sich, die Bohrungen weiträumig seitlich der Hohlstelle vorzunehmen, damit eventuelle Hohlräume auch in der angrenzenden Umgebung geschlossen werden können.

Verspresstechnik, Injektionstechnik wird dann angewandt, wenn der Boden unterhalb der Fundamentaufstandsfläche nicht tragfähig ist. Das dafür notwendige Injektionskonzept mit der Injektionsreihenfolge der einzelnen Bohrungen ist sorgfältig auf die Bausubstanz und die anstehenden Bodenverhältnisse abzustimmen. Durch den Einsatz von so genannten Manschettenrohren mit Packern können Injektionen in genau definierten Tiefen und zu unterschiedlichen Zeiten vorgenommen werden.

Durch die richtige Verpressanordnung (Raster) wird eine gleichmäßige Verpressung, das heißt eine gleichmäßige Verteilung der Suspension im Untergrund ermöglicht. Voraussetzung für die erfolgreiche Verpressung des Baugrundes ist das Vorliegen von aussagekräftigen Aufschlüssen über den Baugrund. Eine bedeutende Rolle spielt hier die Kornverteilungslinie der anstehenden Schichten.

Wesentlich ist dabei, dass die Injektionsdrücke laufend überwacht werden, um durch die Injektionen keine zusätzlichen Schäden (Hebungen) hervorzurufen.

Die **Fundamentverbreiterung** kann sowohl bei Streifenfundamenten als auch bei Einzelfundamenten (Pfeiler bzw Stützenfundamenten) vorgenommen werden. Für die nachträgliche Fundamentverbreiterung ist ein kraftschlüssiger Verbund zwischen altem und neuem Fundament erforderlich (Abbildung 13).

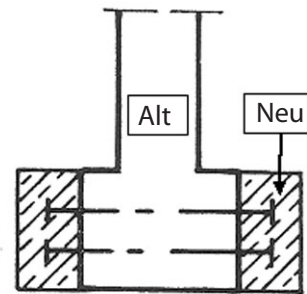


Abbildung 13. Nachträgliche Fundamentverbreiterung und kraftschlüssiger Verbund mit dem „Altfundament“ nach Noudoushani M. (2004)

Sind die Bodenverhältnisse unterhalb des Fundaments so schlecht, dass der Boden nicht ausreichend tragfähig ist, so greift man auf **Nachgründung (Unterfangung)** der vorhandenen Fundamente zurück. Bei der Nachgründung geht es vorwiegend darum, die lotrechten Lasten des Bauwerkes über die vorhandenen Fundamente mittels Hilfsmaßnahmen bis auf den tragfähigen Boden in tieferen Lagen abzutragen. Die Verbindung zwischen den Tiefgründungselementen und den bestehenden Fundamenten können über Streichbalken, die ebenfalls wieder kraftschlüssig mit dem ursprünglichen Fundament zu verbinden sind, hergestellt werden (Abbildung 14).

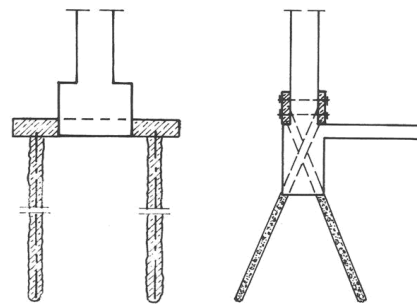


Abbildung 14: Fundamentunterfangung mittels Querbalken (links) oder mit Pfahlböcken (rechts) nach Noudoushani M. (2004)

Die Tiefgründungselemente können je nach örtlicher Situation vom Kleinbohrpfahl bis zum Unterfangungsbrunnen reichen.

Bodenverfestigungen mittels **Hochdruckinjektionsverfahren** (Düsenstrahlverfahren, Soil-crete, Hochdruckbodenvermörtelung etc) haben den Vorteil, dass bei diesen Verfahren die Injektionskörper direkt unter dem Fundament positioniert werden können. Dabei wird zuerst mit einem Rotationsbohrgerät eine Spülbohrung mit einem Durchmesser von ca 70 mm ausgeführt (Abbildung 15 (1) und (2)). Nach dem Erreichen der Endteufe wird der Boden mit einem Hochdruckstrahl aus Wasser oder Zementsuspension mit ca 500 bar bis 600 bar aufgeschnitten und aufgefräst (3). Ein Teil des Bodens wird über das Bohrloch ausgespült und der verbleibende Anteil mit einer gleichzeitig eingebrachten Zementsuspension an Ort und Stelle vermischt (4). Es entsteht

somit ein Bodenmörtel, dessen Festigkeit im Wesentlichen durch den Zuschlag vom Boden bestimmt wird. Der Durchmesser der Säulen, die durch dieses Verfahren als verfestigte Körper (5) hergestellt werden, hängt zum einen vom Boden und zum anderen von der eingebrachten Schneidenergie ab. In der Regel liegen diese Säulendurchmesser zwischen 0,6 m und 2 m.

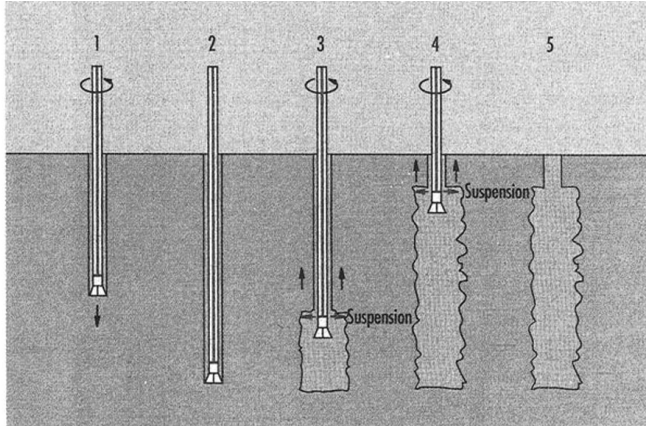


Abbildung 15: Herstellungsschritte beim Monostrahlverfahren (Firmenprospekt)

Das Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektionsverfahren) stößt bei rein organischen Böden bzw. bei halbfesten und festen Tonböden auf seine Anwendungsgrenzen. Wichtig ist auch hier, dass durch entsprechende Entlastungsbohrungen verhindert wird, dass sich unter dem Fundament ein Druck aufbaut, der zu Hebungen führt.

3. Zusammenfassung

Wenngleich die Schadensbilder an Objekten (Risse, Sprünge, Abbrüche, Schiefstellungen etc.) bei Rutschungs- und Setzungsproblemen einander gleichen können, ist es dennoch wichtig, deren Schadensursache zu finden, um eine geeignete und dauerhaft wirksame Sanierungsmaßnahme planen zu können.

Bereits mehrfach wurde die Wichtigkeit und Notwendigkeit von Baugrunderkundungen angesprochen. Je sorgfältiger und fachmännischer die Baugrunderkundung in bzw. idealerweise vor der Projektierungsphase erfolgt, desto leichter lassen sich auch Schäden durch Rutschungs- und Setzungsprobleme vermeiden.

Vielfach ist jedoch in dieser Phase eines Projektes das Verständnis der Bauherren für derartige Maßnahmen sehr gering, da sie zeit- und kostenintensiv sind und man meint, für allfällige Schäden ohnedies den Planer oder die ausführende Firma in die Pflicht nehmen zu können. Dass das Baugrundrisiko in vielen Fällen vom Bauherren nicht so ohne Weiteres auf andere Beteiligte übertragen werden kann, ist vielen Bauherren nicht bewusst.

Das vermeintliche Einsparungspotenzial verkehrt sich im Falle eines Schadens sehr schnell ins Gegenteil, denn die Baugrunduntersuchungen müssen dann dennoch und oft-

mals in noch größerem Umfang und unter bedeutend schwierigeren Randbedingungen durchgeführt werden. Die Sanierungskosten übersteigen immer die so genannten „Sowieso-Kosten“ und erfordern darüber hinaus einen erheblichen Zeitaufwand, der selbstverständlich bei den stets kürzer werdenden Umsetzungsphasen und Bauzeitplänen niemals berücksichtigt ist.

4. Literatur

Franke E. (1976): Langzeitrutschungen. Drei Beispiele aus der Praxis und kritischer Überblick über die bisherige Entwicklung der Erkenntnisse. – Bautechnik, Berlin, Verlag Ernst & Sohn

Franke E. (1980): Überlegungen zu Bewertungskriterien für zulässige Setzungsdifferenzen. Geotechnik 3, Heft 2, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau

Hilmer K. (1991): Schäden im Gründungsbereich, Berlin, Verlag Ernst & Sohn

Hilmer K., Knappe M., Englert K. (2004): Gründungsschäden, Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag

Krauter E. (1987): Grundbau-Taschenbuch, 3. Auflage, Teil 3; Berlin, Verlag Ernst & Sohn

Möller G. (2007): Geotechnik – Bodenmechanik, Berlin, Verlag Ernst & Sohn

Noudoushani M. (2004): Handbuch Gründungsschäden, Erkennen und Instandsetzen, Basel-Boston-Berlin, Birkhäuser Verlag

Prinz H. (1982): Abriß der Ingenieurgeologie, Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag

Schultze E. (1980): Grundbau-Taschenbuch, 3. Auflage, Teil 1; Berlin, Verlag Ernst & Sohn

Simmer K (1994): Grundbau, Teil 1 – Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen, 19. Auflage, Stuttgart, Verlag Teubner

Skempton A. W. & Hutchinson J. (1969): Stability of natural slopes and embankment foundations. – Proceedings 7th ICSMFE, Band 4, Mexico

Steinbrenner W. (1934): Tafeln zur Setzungsberechnung, Die Straße, 1. Jahrgang, Berlin, Volk und Reich Verlag

Veder Ch. (1979): Rutschungen und ihre Sanierung, 1. Auflage, Wien/New York, Springer-Verlag

Allgemeine Bedingungen für die Sturmschadenversicherung (AStB) mit Einschluss von Schäden durch Hagel, Schneedruck, Felssturz, Steinschlag und Erdbeben (J07 Fassung 1986)

Keller Grundbau GmbH: Mariahilfer Straße 129, 1151 Wien

Korrespondenz:

Dipl.-Ing. Dr. Kurt Schippinger

Zivilingenieur für Bauwesen

Einödthofweg 56, A-8042 Graz

Tel. 0316 / 68 21 44, Fax Nr. 68 21 44-9