

Veränderlich feste Gesteine

Veränderlich feste Gesteine, teilweise auch Halbfestgesteine genannt, nehmen gesteins- und bautechnisch eine Zwischenstellung zwischen dauerhaft festen Gesteinen (Festgesteinen im engeren Sinn) und Lockergesteinen ein. Als veränderlich feste Gesteine zählen vor allem feinkörnige Sedimentgesteine (z. B. Tonsteine, Schluffsteine, Mergelsteine), aber auch grobkörnige Sedimentgesteine mit tonigem Bindemittel (z. B. tonig gebundene Sandsteine).



Eigenschaften der veränderlich festen Gesteine

Veränderlich feste Gesteine, teilweise auch Halbfestgesteine genannt, nehmen gesteins- und bautechnisch eine Zwischenstellung zwischen dauerhaft festen Gesteinen (Festgesteinen im engeren Sinn) und Lockergesteinen ein. Als veränderlich feste Gesteine zählen vor allem feinkörnige Sedimentgesteine (z. B. Tonsteine, Schluffsteine, Mergelsteine), aber auch grobkörnige Sedimentgesteine mit tonigem Bindemittel (z. B. tonig gebundene Sandsteine).

Veränderlich feste Gesteine haben besondere Eigenschaften, die sie von den Festgesteinen im engeren Sinn und den Lockergesteinen unterscheiden. In bergfrischem Zustand treten sie zunächst mit Festgesteinscharakter auf, haben eine deutliche Gesteinsfestigkeit und können nach DIN EN ISO 14 689 als Festgestein angesprochen, beschrieben und klassifiziert werden. Daher werden veränderlich feste Gesteine meist zu den Festgesteinen im weiteren Sinn gezählt. Im Gegensatz zu den dauerhaft festen Gesteinen sind veränderlich feste Gesteine jedoch empfindlich gegenüber Wassergehaltsänderungen, sind stärker verwitterungsanfällig und haben eine erhöhte Rutschanfälligkeit.

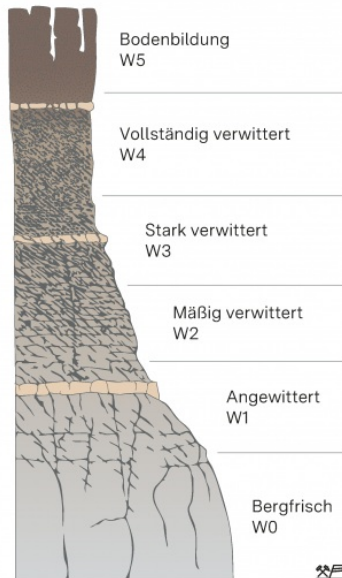
Eine Wasserlagerung des frischen, zuvor nicht getrockneten Gesteins mit natürlichem Wassergehalt hat i. d. R. keinen Zerfall zur Folge. Nach einer Freilegung zerfallen diese Gesteine jedoch durch physikalische Prozesse bei Austrocknung und Wiederbefeuchtung sowie bei Frost-Tau-Wechsel in relativ kurzen Zeiträumen (Tage bis wenige Jahre) irreversibel zu Lockergesteinen (Boden). Eine Freilegung erfolgt z. B. durch tiefgreifende Rutschungen, meist aber durch anthropogene Eingriffe wie Baumaßnahmen oder einen Rohstoffabbau. Nach Freilegung beginnt der Zerfall mit der Bildung unterschiedlich großer und verschieden geformter Bruchstücke/Bröckchen in Sand- und Kiesgröße. Diese zerbrechen vor allem bei zusätzlicher mechanischer Beanspruchung zu kleineren Aggregaten und plastifizieren. Durch die Plastifizierung reduziert sich der Reibungswinkel und die Rutschanfälligkeit nimmt zu.

Mit dem Zerfall der veränderlich festen Gesteine verbunden sind bautechnisch anspruchsvolle, z. T. kleinräumig stark wechselnde Festigkeits- und Tragfähigkeitsunterschiede.

Verwitterung veränderlich fester Gesteine

Gesteine sind in Oberflächennähe verschiedenen natürlichen und anthropogenen Einwirkungen ausgesetzt, die zu einer physikalischen und chemischen Verwitterung, d. h. zu einer meist langsamen Zersetzung und Veränderung der Gesteine führen. Die physikalische Verwitterung, z. B. durch Temperaturänderungen, Druckentlastung und andere mechanische Belastungen führt zu einer Zerlegung in immer kleinere Gesteinsbruchstücke. Nach einer vorangegangenen Trennflächenbildung führt insbesondere in den mittleren Breiten die chemische Verwitterung z. B. durch Oxidation, Lösung oder Hydrolyse zur chemischen Umbildung von Mineralen oder deren Zersetzung und damit zur Auflösung des Gesteinsgefüges.

Anders als dauerhaft feste Gesteine (Karbonatgesteine, kristalline Gesteine etc.) verwittern veränderlich feste Gesteine i. d. R. tiefgründiger. Die Verwitterungsprozesse beeinflussen meist den gesamten, nicht dauerhaft grundwassererfüllten Bereich. Die Tonsteine, Schluffsteine und Mergelsteine weisen die für diese Gesteine typischen Zerfallsmechanismus (Bröckchenzerfall nach Trocknungs-/Befeuchtungswechseln, saisonal abhängiges Schrumpfen und Quellen) auf. Dadurch nimmt das primär feste Gestein zunehmend Lockergesteinscharakter an. Dieser irreversible Entfestigungsvorgang führt im Zuge der Verwitterung zu immer kleiner werdenden Aggregaten bis hin zum plastischen Verwitterungsrückstand im Übergang zur humosen Bodenbildung.



Idealisiertes Verwitterungsprofil für veränderlich feste Gesteine

Der Verwitterungszustand veränderlich fester Gesteine lässt sich anhand des Grads des Gesteinszerfalls und der Entfestigung in sechs Verwitterungsgrade W0 bis W5 klassifizieren (Einsele et al., 1985). Synonym werden auch die Abkürzungen V0 bis V5 verwendet (z. B. Wallrauch, 1969; Ruch, 2003).

Der Verwitterungsgrad W0 (bergfrisch) bezeichnet das unverwitterte Ausgangsgestein mit Festgesteinscharakter, welches in unterschiedlicher Intensität von latenten, tektonisch angelegten Trennflächen durchzogen sein kann.

Mit dem Verwitterungsgrad W1 (angewittert) macht sich eine erste Entfestigung bemerkbar. Es entstehen feste Klüftkörper von 6–20 cm Kantenlänge. Im Bereich von Trennflächen bilden sich erste Verwitterungserscheinungen. Diese zeigen sich als Farbänderungen und leichte Plastifizierung.

Im Verwitterungsgrad W2 (mäßig verwittert) sind Entfestigungs-, Zerfalls- und Verwitterungsprozesse bereits weiter fortgeschritten. Das Ausgangsgestein ist überwiegend zu Klüftkörper mit 2–6 cm Kantenlänge zerfallen. Deren Oberflächen sind oxidiert und randlich plastifiziert.

Ab dem Verwitterungsgrad W3 (stark verwittert) wird schließlich der Übergang zu lockergesteinsähnlichen Verhältnissen erreicht. Der ursprüngliche Festgesteinsverband ist stark aufgelockert und das vormals vorhandene Schichtgefüge wird durch eine dünn-schichtige Entfestigung abgelöst. Erste Teilplastifizierungen sind feststellbar. Eingelagerte karbonatische Bänke bzw. konkretionäre Einlagerungen treten jetzt z. B. in Böschungen als Härtlinge hervor. Im Gegensatz zu den unter- und überlagernden Verwitterungsbereichen zeichnet sich der Verwitterungsgrad W3 durch die geringsten kohäsiven Eigenschaften aus. Zugleich führt eine etwas erhöhte hydraulische Durchlässigkeit zu einer bevorzugten Wasserwegsamkeit im Grenzbereich Fest- zu Lockergestein. Rutschungen in veränderlich festen Gesteinen bilden daher bevorzugt Gleitflächen in der Verwitterungszone W3 aus.

Mit dem Verwitterungsgrad W4 (vollständig verwittert) nimmt der plastische Anteil der Verwitterungsbildungen stark zu. Die immer kleiner werdenden Aggregate (Bröckchen) schwimmen in einer bindigen, tonigen bis tonig-schluffigen Matrix. Harte karbonatische oder konkretionäre Einlagerungen treten nun besonders hervor, beginnen jedoch ebenfalls grobstückiger zu zerfallen. In diesem Verwitterungsabschnitt sind oftmals Hinweise auf eiszeitliches Bodenfließen (Kryoturbation) sichtbar.

Der letzte Verwitterungsgrad W5 (Bodenbildung) beschreibt einen vollständig verwitterten, plastischen, nahezu homogenen Boden (z. B. Ton oder Lehm). Die Lockergesteine in den Verwitterungsgraden W4 und W5 neigen oberflächennah und saisonal abhängig zu Volumenänderung (Schrumpfen bei Austrocknung, Quellen bei Wiederbefeuchtung). In Hanglage kann dies zu einem ausgeprägten, oberflächennahen Hangkriechen führen.

Die Entwicklung und Tiefgründigkeit des natürlichen Verwitterungsprofils hängt von verschiedenen Faktoren ab, z. B. Alter der Landoberfläche, Exposition, tektonische Beanspruchung, Sickerwasser- und Grundwasserführung etc. und kann auf kleinem Raum stark variieren.

Im Folgenden sind zwei Fotografien von Gesteinsaufschlüssen aus dem Unterjura mit entsprechenden Beispielen von Verwitterungsprofilen veränderlich fester Gesteine des Costatenkalke-Horizonts in der Amaltheenton-Formation aus der aus dem Albvorland dargestellt. Die Gesteine setzen sich hierbei aus Tonsteinen und Tonmergelsteinen mit vereinzelt Bänken aus Kalkgesteinen zusammen. Durch diesen Wechsel in der Zusammensetzung liegen Wechsel von dünneren und dickeren Lagen bzw. Gemenge aus feinkörnigen und grobkörnigen Bestandteilen vor.



Inhomogenes Verwitterungsprofil mit einem Wechsel aus feinkörnigen und grobkörnigen Bestandteilen in den Gesteinen der Amaltheenton-Formation



Inhomogenes Verwitterungsprofil mit Wechsel aus feinkörnigen und grobkörnigen Bestandteilen an einem Böschungsaufschluss der Amaltheenton-Formation

Bestimmung der Veränderlichkeit von Gesteinen

Zur Bestimmung und Klassifizierung der Veränderlichkeit von Gesteinen wurden verschiedene Verfahren entwickelt. Diese dienen dazu, die charakteristischen Eigenschaften und die Zerfallsneigung von veränderlich festen Gesteinen unter standardisierten Bedingungen im Labor innerhalb einiger Tage bis weniger Wochen zu ermitteln. In Deutschland haben drei Verfahren in das Regelwerk Einzug gehalten. Es handelt sich um den Wasserlagerungsversuch, den Siebtrommelversuch sowie das kombinierte Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch. Diese fokussieren jeweils auf unterschiedliche Aspekte der Veränderlichkeit von Gesteinen und ergänzen sich daher gegenseitig. Die Methoden zielen darauf ab, die Zerfallsbeständigkeit der Probenkörper gegenüber Wasserlagerung, mechanischer Belastungen und Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel zu untersuchen. Im Idealfall sollen sich damit kurzfristige Änderungen der Eigenschaften eines Gesteins bei seiner Freilegung sowie die Entwicklung und Veränderung der Eigenschaften über mittlere und längere Zeiträume hinweg erfassen und beschreiben lassen.

Nach DIN EN ISO 14 689, die die Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels regelt, kann die Veränderlichkeit von Gesteinen an der Luft und unter Wasserbedeckung beschrieben werden. Die Veränderlichkeit eines Gesteins nach 24-stündiger Wasserlagerung wird in fünf Grade unterteilt – „von nicht veränderlich“ (keine Veränderungen) bis „stark veränderlich“ (Probe ist vollständig zerfallen oder in Brei übergegangen). Dieser Versuch lässt sich einfach und schnell ausführen, ist aber vielfach zur Bestimmung der Veränderlichkeit nicht ausreichend, da veränderlich feste Gesteine im bergfrischen Zustand bei einmaliger Wasserlagerung häufig keinen Zerfall zeigen. Daher wurden weitere, aufwendigere Versuche entwickelt.

Der Arbeitskreis 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) veröffentlichte 2002 die Empfehlung Nr. 20 zur Bestimmung der Zerfallsbeständigkeit von Gesteinen mittels Siebtrommelversuch (Herzel, 2002). Die Zerfallsbeständigkeit von Gesteinen wird durch den Index der Zerfallsbeständigkeit I_d ausgedrückt und dient der Klassifizierung von Gesteinen in Bezug auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen mechanischen Abrieb, Änderungen im Wassergehalt und Temperaturänderung. Zur Versuchsdurchführung wird das Probenmaterial in bis zu sechs Zyklen in einer etwa halb in ein Wasserbad getauchten Siebtrommel bei definierter Geschwindigkeit und Umdrehungszahl rotiert. Nach jedem Zyklus wird die Trommel samt verbliebenem Probenmaterial getrocknet und gewogen. Aus dem Verhältnis der Trockenmasse der Gesteinsprobe nach Versuchsdurchführung im Vergleich zur Ausgangsmasse wird der Zerfallsbeständigkeitsindex I_d abgeleitet. Dieser reicht von „sehr niedrig“ bis „zerfallsresistent“. Am Versuchsende sind bei sehr niedriger Zerfallsbeständigkeit weniger als 30 %, bei einer zerfallsresistenten Probe mehr als 98% der ursprünglichen Trockenmasse noch in der Siebtrommel vorhanden. Für die Charakterisierung des Gesteins wird meist der Zerfallsbeständigkeitsindex I_d angegeben, d. h. das Ergebnis nach dem zweiten Zyklus betrachtet.

2025 wurde die gemeinsame Empfehlung Nr. 27 des Arbeitskreises 3.3 der DGGT und des Arbeitskreises 5.1.5 „Veränderlich feste Gesteine“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) zur „Bestimmung der Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch“ veröffentlicht (Nickmann et al. 2025). Im Vergleich zum Siebtrommelversuch erfordert dieser Versuch einen geringeren apparativen Aufwand, da keine mechanische Beanspruchung der Probe erfolgt. Anhand des Versuchs lässt sich ein Probekörper einer von sechs Veränderlichkeitsklassen zuordnen. Dieses Verfahren besteht aus drei Zyklen von Befeuchtung und Trocknung. Sofern hierbei ein Masseverlust $> 5 \%$ auftritt, wird der Versuch beendet und der Probekörper den Veränderlichkeitsklassen VK 5 („unmittelbar und sehr stark veränderlich“) bis VK 2 („langsam veränderlich“) zugeordnet. Andernfalls wird im Anschluss ein Kristallisationsversuch mit bis zu zehn Zyklen durchgeführt. Dabei wird der Probekörper einer Lagerung in gesättigter Natriumsulfat-Lösung und anschließender Ofentrocknung bei 105°C unterzogen. Wird durch den Kristallisationsversuch ein Masseverlust von mehr als 10 % ermittelt, wird das Gestein als „gering veränderlich“ (VK 1), bei weniger als „nicht veränderlich (dauerhaft fest)“ (VK 0) eingestuft.

Bauen in Gebieten mit veränderlich festen Gesteinen

Gerade die mesozoischen bis tertiären Tonsteine, Schluffsteine und Mergelsteine stellen aufgrund ihrer tiefgründigen, selten homogen verlaufenden Verwitterung eine bekannte Erschwernis für die Gründung von Bauwerken sowie besondere Anforderungen an die Grund- und Erdbautechnik dar. In Kenntnis der Zerfalls- und Verwitterungseigenschaften veränderlich fester Gesteine sollten für bautechnische Planungen oder Maßnahmen frühzeitig die Besonderheiten dieses Gesteinstyps beachtet werden. Hierzu zählen besonders die nachfolgend beschriebenen Aspekte:

- Rutschanfälligkeit in Hanglage bzw. auch in tiefen oder breiten Baugruben, insbesondere in Gesteinen des Verwitterungsgrads W3, da hier das Gestein bereits stark aufgelockert, das Material aber noch wenig kohäsiv ist (Kriecherscheinungen)
- Oberflächennahe saisonale Volumenveränderungen, Schrumpfsetzungen
- Entfestigung bei Trocknungs-/Befeuchtungswechsel
- Frostempfindlichkeit
- Vom Verwitterungsgrad und dem Wassergehalt abhängige, variable boden-/felsmechanische Eigenschaften
- Tragfähigkeitsunterschiede
- Eingeschränkte Wiederverwendbarkeit, Verdichtungsfähigkeit, Durchlässigkeit

Für bautechnische Planungen oder Maßnahmen in veränderlich festen Gesteinen werden daher frühzeitig objektbezogene Baugrunduntersuchungen nach DIN EN 1997-2 bzw. DIN 4020 empfohlen. Bei den Baugrunduntersuchungen ist zu beachten, dass bei veränderlich festen Gesteinen besondere Anforderungen für die Entnahme, den Transport, die Lagerung und den Einbau von Proben gelten. Bei der Ermittlung geotechnischer Kennwerte ist der Verwitterungsgrad der untersuchten Proben zu berücksichtigen.

Auf diesen Untersuchungsergebnissen sind bautechnische Folgerungen entsprechend aufzubauen. Zu berücksichtigen sind dabei alle Prozesse des Erdbaus (Lösen, Laden, Fördern, Aufbereitung, Zwischenlagerung sowie Einbau und Verdichten). Unter Berücksichtigung der oben stehenden Aspekte sowie ggf. erforderlicher baugrundverbessernder Maßnahmen (z. B. Bodenverbesserung mit Bindemitteln) ist ebenfalls in veränderlich festen Gesteinen eine zuverlässige Errichtung auch anspruchsvoller baulicher Anlagen möglich.

Verbreitung von veränderlich festen Gesteinen in Baden-Württemberg



Inhomogenes Verwitterungsprofil in den Gesteinen der Jurensismergel-Formation

Aufgrund ihrer lithologischen Beschreibung werden in Baden-Württemberg 75 geologische Einheiten als veränderlich feste Gesteine eingestuft, wie z. B. die Opalinuston-Formation. Diese Einheiten bedecken nach der geologischen Grundkarte des LGRB insgesamt eine Fläche von ca. 5850 km². Sie entsprechen ca. 16,4 % der Landesfläche und sind in der Ingenieurgeologischen Gefahrenhinweiskarte flächig ausgewiesen. Die Verbreitung erstreckt sich hauptsächlich wie ein im Südwesten beginnendes, schmales, sich nach Nordosten hin breiter werdendes Band zwischen Schwarzwald/Odenwald und Schwäbischer Alb in den Georegionen Albvorland, Keuperbergland und Gäulandschaften. Vereinzelt finden sich auch noch Verbreitungsräume im Alpenvorland, im südlichem Oberrheingebiet sowie in den Randbereichen des Odenwalds, der Schwäbischen Alb und ganz vereinzelt im Schwarzwald.

Literatur

- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2010a). *DIN EN 1997-2 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*. 198 S., Berlin (Beuth).
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2010b). *DIN 4020 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2*. 31 S., Berlin (Beuth).
- DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2018). *DIN EN ISO 14 689 Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels*. 37 S., Berlin (Beuth).
- Einsele, G., Heitfeld, K.-H., Lempp, C. & Schetelig, K. (1985). *Auflockerung und Verwitterung in der Ingenieurgeologie: Übersicht, Feldansprache, Klassifikation (Verwitterungsprofile)*. – Heitfeld, K.-H. (Hrsg.). *Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen*, S. 2–24.
- Herzel, P. (2002). *Empfehlung Nr. 20 des Arbeitskreises 3.3. „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.: Zerfallsbeständigkeit von Gestein – Siebtrommelversuch*. – *Bautechnik*, 79, Heft 2, S. 101–105.
- Nickmann, M., Baumgärtel, T. & Plinninger, R. J. (2025). *Bestimmung der Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch*. – *Geotechnik*, 48, Heft 2, S. 126–139, verfügbar unter <https://doi.org/10.1002/gete.202400039>.
- Ruch, C. (2003). *Ingenieurgeologische Karte von Baden-Württemberg – Der Baugrund von Reutlingen*. 36 S., Freiburg i. Br. [Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg]
- Wallrauch, E. (1969). *Verwitterung und Entspannung bei überkonsolidierten tonig-schluffigen Gesteinen Südwestdeutschlands*. – Diss. Univ. Tübingen, 184 S., Tübingen.

[Datenschutz](#)

[Cookie-Einstellungen](#)

[Barrierefreiheit](#)

Quell-URL (zuletzt geändert am 18.06.26 - 16:19): <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/ingenieurgeologie/veraenderlich-feste-gesteine>