

Eine Fachtagung Ende Oktober an der HSR Hochschule Rapperswil behandelte die geotechnischen Grundlagen für die Planung im GaLaBau. Der mit vielen mathematischen Formeln gespickte Schulungstag vermittelte einen Überblick über die wichtigsten Bodeneigenschaften und stellte bewährte Verfahren der Geotechnik vor. Die Komplexität des Themas zeigte, dass es sich lohnt, bei heiklen Projekten eine bodenkundige Fachkraft beizuziehen.

Text: Stephan Lenzinger, Landschaftsarchitekt HTL/FH
Bilder: St. Lenzinger (4); HSR (2)



Den Lockergesteinen gilt es beim Bauen besondere Beachtung zu schenken. Dabei steigert Wasser die Schwierigkeiten um ein Vielfaches.

Geotechnische Grundlagen im Garten- und Landschaftsbau

Wer die Landschaft gestaltet, kommt mit Böden in Kontakt. Um Misserfolge zu verhindern, müssen die Eigenschaften des Bodens respektiert werden. Dabei bilden die Bodenkennwerte die Grundlage für sämtliche baulichen Massnahmen. Hier kommt die Geotechnik zum Einsatz. Dabei geht es darum, Bodeneigenschaften zu bestimmen, das Verhalten des Bodens unter Krafteinwirkung und Klimaeinflüssen zu verstehen und die Grenzen des zulässigen Verhaltens zu erkennen, damit funktionsfähige und sichere Bauwerke erstellt werden können.

Dr. Hansruedi Schneider, Professor an der HSR, Abteilung Bauingenieurwesen, empfahl den Anwesenden in seiner Begrüßungsrede, die Eigenschaften des Bodens in der Planung besser zu berücksichtigen. «Wenn Wunschvorstellungen unter Einbezug eines Geotechnikspezialisten auf die Realisierbarkeit überprüft werden, lassen sich mögliche geotechnische Probleme bereits frühzeitig erkennen», fuhr er fort. Diese seien vielfältig. So zählen Verkipnungen

und Deformationen oder Setzungen und Verschiebungen von Bauwerken, aber auch Erosionen, Verdichtungsschwierigkeiten sowie ungenügende Tragfähigkeit von Foundationen oder Frost- und Auftau-probleme zu den wichtigsten Aufgaben, mit denen sich Baufachleute auseinandersetzen müssen. Dabei sei zu beachten, dass Wasser die Schwierigkeiten um ein Vielfaches steigert.

Boden/Baugrund: Begriffe und Definitionen

Nebst Landschaftsarchitekten, Gartenbauern und Agronomen befassen sich auch andere Fachleute wie Bauingenieure und Geologen mit «Boden». Christian Bommer von der Fachstelle für Geotechnik an der HSR wies in seinem Referat darauf hin, dass die erstgenannte Berufsgruppe unter dem Begriff eine äusserst belebte Materie (A- und B-Horizont) versteht, in der ein reger Austausch von Stoffen stattfindet. Die zweite Gruppe denkt eher an Baugrund als unbelebten Untergrund (C-Horizont). Deshalb sei bei der Kommunikation in Projektteams die Bedeutung des Wortes zu klären.

Unter der Humus- und Mutterbodenschicht findet sich «inertes Baugrundmaterial», das in zwei Gesteinstypen unterteilt wird. Als Festgestein benennt die Alltagssprache Stein oder Fels. Es ist eine mechanisch widerstandsfähige Materie. Dazu zählen Sedimentgesteine (Kalk- und Sandstein, Nagelfluh etc.) sowie kristalline und metamorphe Gesteine (Granit, Basalt etc.). Sie verursachen beim Bauen kaum nennenswerte Probleme bezüglich Setzungen, Tragfähigkeit oder Erosion.

«Mehr Bausorgen bereiten die Lockergesteine», erklärte Bommer. Sie entstehen durch Verwitterung der Festgesteine, durch Erosion, Verfrachtung oder Sedimentation. Lockergesteine sind ein Gemisch von Mineralien und/oder Gesteinsbruchstücken und/oder organischen Bestandteilen ohne festen Zusammenhalt und lassen sich im Wasser nach Korngrößen zerlegen. Im Dreiphasenmodell werden Lockergesteine in drei Komponenten aufgeteilt. Neben den festen Körnern gibt es Poren, die mit Wasser oder mit Luft gefüllt sind. Da klimatische Be-

dingungen eine direkte Wirkung auf die Hohlräume haben, bestimmt deren Zusammensetzung und Wechselwirkung das Verhalten des Baugrundes.

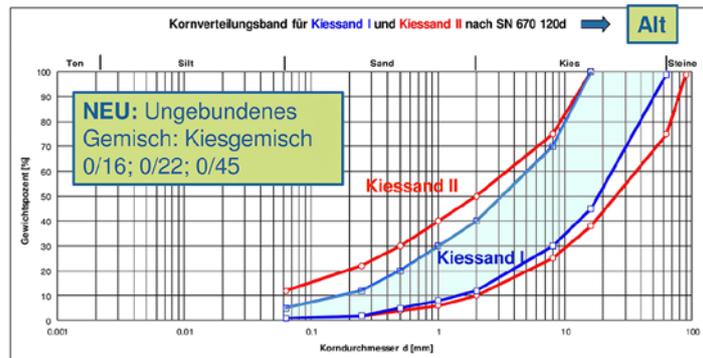
Klassifikation von Lockergesteinen und Zustandsgrößen des Bodens

«Ein wichtiges Mittel zur Qualitätssicherung von Böden ist ihre Klassifikation», erklärte Beda Romer, ebenfalls von der Fachstelle für Geotechnik an der HSR. Bei grobkörnigen Böden mit Korngrößen >0,06 mm (Sichtbarkeitsgrenze) kommt die Siebanalyse zum Einsatz. Sie ist ein Verfahren zur Ermittlung der Korngrößenverteilung von Schüttgütern. Bei feinkörnigen Böden mit Korngrößen <0.125 mm dient die Schlämmanalyse zur quantitativen Bestimmung des Feinkornanteils einer Sedimentprobe. Denn die als Schwebstoffe enthaltenen Kornfraktionen wie Schluff und Ton lassen sich nur mittels ihrer Sinkgeschwindigkeit im Wasser bestimmen.

Das Kornverteilungsband für Kiessand I und Kiessand II zeigt den typischen Kurvenverlauf eines Schüttgutes mit positiven Eigenschaften für einen Baugrund. «Obwohl die alte Bezeichnung durch eine neue ersetzt wurde, halten sich die beiden Begriffe hartnäckig», meinte Romer. Heute spricht man von ungebundenem Kiesgemisch, beispielsweise 0/22(45). Das bedeutet: Es handelt sich um ein Kiesgemisch, das Korngrößen von 0 bis 22 mm aufweist, mit einem Grösstkorn von 45 mm. Ungebundenes Kiesgemisch ist ein normiertes Material, das hohe Qualitätsanforderungen erfüllt. Es hat eine gute lastverteilende Wirkung, ist frostunempfindlich und entwässert sich gut.

«Ein Wanderer weiss, dass Wasser einen grossen Einfluss auf den Zustand eines bindigen (= tonigen oder siltigen) Bodens hat. Tonige Wege sind bei Trockenheit hart. Durch Regenfälle können sie sich rasch in glitschige, schlammige Böden verwandeln», erklärte der Geotechniker anschaulich. Diese Bodeneigenschaft nennt man Plastizität, den Zustand Konsistenz. Die Geotechnik nennt zwei gebräuchliche Konsistenzgrenzen: Ausroll- und Fliessgrenze. Die Ausrollgrenze ist jene Linie, bei der eine gerollte, tonige «Erdwurst» in sich zerfällt und bröckelig wird. Der Punkt, an dem der Boden vom plastischen Zustand in einen zähflüssigen übergeht, heisst Fliessgrenze. Beide Grenzen sind vom Wassergehalt abhängig. Je näher

Klassifikation von Lockergesteinen und Zustandsgrößen des Bodens



Was ist ein ungebundenes Gemisch 0/22 (45)? = Kiesgemisch das Korngrößen von 0 bis 22 mm aufweist, mit einem Grösstkorn von 45 mm

Kiesgemisch ist ein normiertes Material, welches hohe Qualitätsanforderungen erfüllt. Es wird in Fundationschichten von Strassen und Bahnen eingesetzt, hat gute lastverteilende Wirkung, ist frostunempfindlich und entwässert sich gut.

Zwischen der blauen resp. der roten Kurve bewegt sich die Kornzusammensetzung von Kiessand I beziehungsweise Kiessand II. Der Toleranzbereich von Kiessand II ist grösser.

sie beieinanderliegen, umso problematischer sind die bautechnischen Eigenschaften des Baugrundes.

Die Scherfestigkeit ist ein weiterer Kennwert, um das Verhalten von Böden zu verstehen. «Sie drückt die Spannung aus, die ein Boden aushalten kann, und ist abhängig vom Kontakt zwischen den Kornteilchen untereinander», erläuterte

Romer. «In der Fachsprache nennt man diese zusammenhaltenden Kräfte Kohäsion. Je stärker die Kohäsion, umso besser die Scherfestigkeit und umso steiler kann ein Boden geschüttet werden.»

Verdichtung

In einem zweiten Beitrag wandte sich Romer dem Thema der Bodenverdichtung zu. Zweck einer Verdichtung von

Rasenheizung und ein Platz für Fussballspiel und Pferdespringen

Beispiele bodenmechanischer Besonderheiten im Landschafts- und Sportplatzbau präsentierte Hans Graber, Landschaftsarchitekt und Geschäftsinhaber der Wolf Hunziker AG, Basel.

Der Fussballplatz in Amriswil sollte auch für das jährliche Pferdespringen nutzbar werden. Da der Boden einen hohen Tonanteil hatte, musste er stabilisiert werden. Der Einbau von Kunststoffelementen kam nicht in Frage, da der Platz sonst nicht mehr gepflegt werden könnte. Mit einer Kalkstabilisierung wäre der Boden für die Pferde zu hart geworden. So fiel der Entscheid auf ein Konzept mit Saugergräben und Drainageschlitzen für die Entwässerung sowie einer Stabilisierung des Bodens mit mineralischen Stoffen. Dem Baugrund wurde ein Lavagemisch 0/16 mm beige-mischt. Die Rasentragschicht war ebenfalls rein mineralisch. Auf diese Weise erreichten die Planer einen stabilen und trotzdem weichen Platz, der sich sowohl fürs Fussballspielen wie auch fürs Pferdespringen eignet.

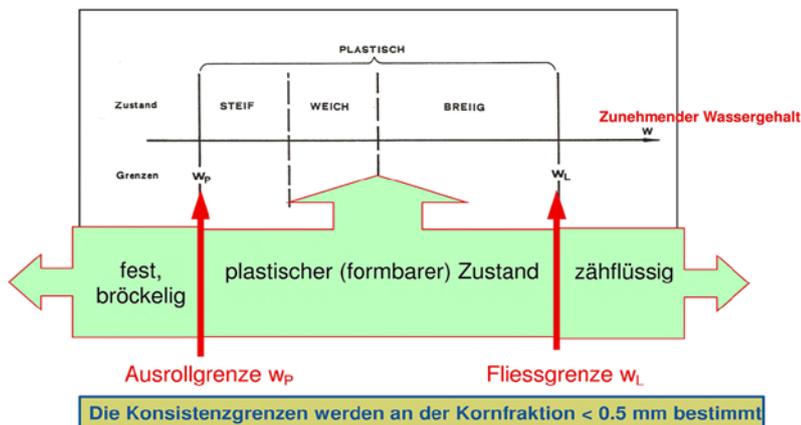
Auch Rasenheizungen stellen eine besondere Herausforderung dar, wie das Beispiel der AFG Arena in St. Gallen zeigt. Eine zentrale Frage war dabei laut Graber die Ableitung der Wärme. So bildet in St. Gallen die unterste Lage des Bodenaufbaus eine Schicht aus Schaumglasschotter. Diese dient als Isolation und verfügt über genügend Poren für die Entwässerung. Auf dem Geogitter als Trennkörper folgt ein Lavagemisch 12/16 mm. Auch dieses isoliert durch seinen grossen Hohlraumanteil. Erst jetzt wurde die «Bodenheizung» eingelegt und nachfolgend die Deckschicht aus Lavasand. Dieser Aufbau lässt die Wärme nach oben abziehen und ergibt eine tragfähige Fläche.

St. Lenzingen

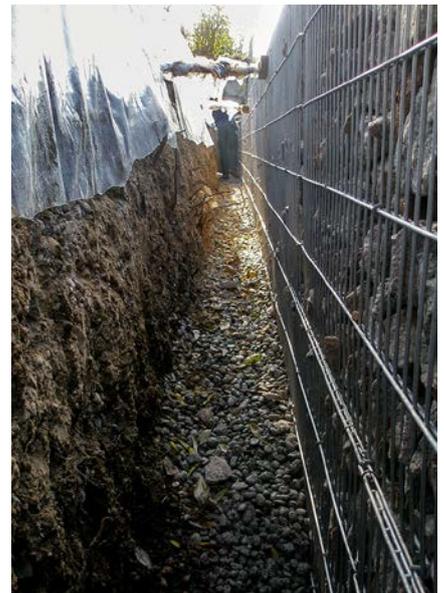
Klassifikation von Lockergesteinen und Zustandsgrößen des Bodens

Konsistenzgrenzen

Die 2 gebräuchlichen Konsistenzgrenzen in der Geotechnik (nach Atterberg)



Die Ausrollgrenze ist jene Linie, bei der eine gerollte, tonige «Erdwurst» in sich zerfällt und bröckelig wird. Der Punkt, an dem der Boden vom plastischen Zustand in einen zähflüssigen übergeht, heisst Fließgrenze.



Mit zunehmender Höhe einer Böschung wächst der Hangdruck und stemmt sich gegen die Stützmauer.

Böden ist die Verbesserung seiner Eigenschaften bezüglich der Verminderung der Setzungsempfindlichkeit oder der Erhöhung der Scherfestigkeit. «Unter Verdichtung wird die Abnahme des Porenvolumens verstanden, ohne Änderung seiner Kornverteilung und unter Einwirkung eines Verdichtungsgerätes», erklärte er. Dabei spiele wiederum der Wassergehalt (in den Poren) eine wichtige Rolle, denn jeder Boden brauche einen anderen optimalen Wassergehalt, um ihn optimal verdichten zu können. Die dabei erreichte maximale Trockendichte ist unterschiedlich hoch.

Diesen Zusammenhang hält die Proctor-Kurve fest. Die optimale Verdichtungsbedingung bei einem Boden liegt leicht unter der Ausrollgrenze. In der Praxis heisst dies laut Romer: «Da der Boden bei der Ausrollgrenze zu krümeln beginnt (Würmli-Versuch), muss er krümeln, damit er gut verdichtbar ist. Krümelt der zu verdichtende Boden nicht, ist er zu nass und muss vor dem Verdichten stabilisiert werden. Ist er zu trocken, muss Wasser zugefügt werden.»

Bei der Bodenstabilisierung wird Fremdmaterial dem Baugrund beigemischt, um seine bodenmechanischen Eigenschaften zu verbessern. Wird dem Lockergestein Kalkhydrat, Branntkalk oder hydraulischer Kalk beigemischt, spricht man von einer Kalkstabilisierung. Dabei wird durch eine chemische Reaktion der Wassergehalt vermindert, die Verdicht-

barkeit verbessert, eine bleibende Verminderung der Empfindlichkeit gegen Wasser und Frost erreicht. Zudem wird die Kohäsion erhöht und besser erhalten. Bodenstabilisierungen sind auch mit der Zugabe von mineralischen, bituminösen oder zementhaltigen Zuschlagsstoffen möglich. Die Anwendung ist jeweils abhängig vom baulichen Problem und der Klassifikation des Bodens.

Zusammendrückbarkeit

Die Eigenschaften des Baugrundes im Hinblick auf die Tragfähigkeit, also seine Fähigkeit, Lasten aufzunehmen, ohne dass es dabei zu wesentlichen Setzungen kommt, erklärte Jochem Seiffert, Geotechniker an der HSR. «Die Zusammendrückbarkeit bestimmt das Mass der Setzung des Bodens und ist im Gegensatz zur Verdichtung ein ungewollter Vorgang», betonte er. Die Zusammendrückbarkeit eines Bodens wird auch dadurch gesteuert, wie schnell das Porenwasser durch das Wirken einer Last entweichen kann. Im Gegensatz zu bindigen Böden kann das Wasser bei nicht bindigen schnell abfließen, und Setzungen treten zeitnah ein. Mittels Plattendruckversuchen lässt sich die Tragfähigkeit von Böden messen. Tabellen teilen verschiedenste Bodenarten in Tragfähigkeitsklassen ein. Im Gartenbau üblich sind Tragfähigkeits- und Verdichtungskontrollen von Fundamentalschichten. Dabei wird durch stufenweises Be- und Entlasten einer starren Platte das Verhältnis zwischen Druck und Set-

zung des Bodens anhand einer Druck-Setzungs-Linie in ein Diagramm eingetragen. Daraus lässt sich das Verformungsmodul ME ermitteln. Die Werte werden in MN/m^2 (Meganewton pro Quadratmeter) angegeben. Die Anforderung an Kiessand-Fundamentalschichten beträgt für leichten Verkehr $>80 MN/m^2$.

Die vollständige Setzung tritt nie direkt im Zeitpunkt der Belastung auf. Sie ist ein Prozess, der je nach Boden unterschiedlich lange dauert. Laut Seiffert lässt sich die Setzung in drei Phasen unterteilen: die Sofortsetzung (tritt sofort nach der Belastung auf), die Konsolidationssetzung (braucht viel Zeit und ist abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens) sowie die Sekundärsetzung (wird oft vernachlässigt; geschieht mit der Alterung des Bodens).

Böschungsstabilität

«Nackte Böschungen halten nur, weil im Boden eine Kohäsion vorhanden ist», resümierte Christian Bommer und präzierte: «Die Standardneigung für normale Böden ohne Wasser beträgt $2/3$ ($33,7^\circ$), für schlechte Böden ohne Wasser $1/2$ ($26,7^\circ$). Solche Böschungen weisen bezüglich oberflächennaher Gleitflächen rechnerisch keine ausreichende Stabilität auf. Sie befinden sich lediglich in einem labilen Gleichgewicht.» Sobald Wasser hinzukomme, reduziere dieses die Stabilität des Bodens um die Hälfte. Deshalb müssten Porenwasserüberdrücke vermieden und Böschungen gesichert werden. Drainagen, Bewehrungs-



Nackte Böschungen halten nur, weil im Boden eine Kohäsion vorhanden ist. Durch Bepflanzung kann der natürliche Neigungswinkel erhöht werden.



Mauern aus Steinkörben stützen Böschungen durch ihr Eigengewicht. Durch falsche Bauweise können Korbelemente unter anderem in den Fugen kippen oder weggleiten.

lagen aus Geogittern, Bodennägel in Kombination mit Geflechtem zur Oberflächensicherung oder vollflächige Begrünungen mit Buschlagen oder Buschmatten sind bewährte Methoden der Böschungssicherung.

Stützbauwerke

Den theoretischen Teil der Tagung beschloss Seiffert mit dem Thema «Stützbauwerke». Im Gartenbau kommen zwei Arten von flach gegründeten Stützbauwerken zur Anwendung. Winkelstützmauern schaffen Stabilität durch das Eigengewicht des Bodens. Schwergewichtsmauern aus Natursteinblöcken oder Steinkörben stützen Hänge durch ihr Eigengewicht. Laut Seiffert wird ihre Stützwirkung aber häufig überschätzt. Schadenfälle entstünden oft durch ein Weggleiten oder ein Kippen des Werkes in den Fugen.

Mehr Sicherheit bieten diese Mauertypen, wenn zusätzliche Stabilisierungsmassnahmen durch Rückverhängung eingebaut werden. In horizontalen Lagen eingelegte Geogitter brechen den Gleitkreis und lassen die Böschungskräfte in den Boden abgleiten. Normalerweise werden sie auf 60% bis 80% der Mauerhöhe in die Böschung eingebunden. Zusätzlich empfiehlt sich, die Faustregel der Geotechnik zu beherzigen, wonach selbst bei horizontalem Terrain die Mauer-sole 40 bis 50% der Höhe betragen soll, um die Nachweise eines Ingenieurs zu erfüllen. Bei einer zwei Meter hohen Stützmauer aus Natursteinblöcken oder

Drahtschotterkörben darf ihr Fuss nicht bloss aus einem einzigen, 50cm tiefen Element bestehen wie an der Mauerkrone, sondern muss einen Meter tief in die Böschung eindringen. Diese Regel wird laut Seiffert im Gartenbau zu wenig ernst genommen. Denn analog dem Wasserdruck, der mit zunehmender Tiefe steigt und gegen eine Staumauer presst, verhält es sich mit dem Erddruck. Mit zunehmender Höhe einer Böschung wächst der Hangdruck und stemmt sich gegen die Stützmauer. Diese Kraft ist abhängig vom Bodentyp, seiner Dichte und seinem Wassergehalt.

Für einen Ingenieur seien vier rechnerische Nachweise unerlässlich. Nämlich jene gegen das Kippen und das Gleiten des Bauwerkes und jene gegen einen Grund- und einen Geländebruch. Kritische Verhältnisse bestehen zusätzlich, wenn das Gelände unter und/oder über der Stützmauer geneigt ist und/oder hohe Belastungen (bspw. eine Strasse) hinter der Mauer wirken.

Einsatz von Geokunststoffen im GaLaBau

Antonio Sacchetti von der Sytec Bausysteme AG beschrieb auf verständliche Art die Komplexität und Vielfalt von Geoprodukten. Er betonte, dass nicht nur Betonbauten, sondern auch Geokunststoffbauten berechnet und dimensioniert werden müssen. Seine Erläuterungen zu den im GaLaBau oft verwendeten Geotextilien liessen aufhorchen. Trenn- und Filtersysteme aus Kunststoffen würden oft falsch eingesetzt. «Es beginnt bereits in der Ausschreibung. Statt Vliese nach ihrer Reissfestigkeit zu devisieren, werden sie nach ihrer Grammage ausgeschrieben», stellte der Referent fest. Er erinnerte die Anwesenden, dass es je nach Boden und Anwendung unterschiedlicher Vliese bedarf. Sacchetti sprach sich zudem für die Verwendung von Bändchengewebe aus. Es sei zwar anfänglich teurer als ein Vlies, da es aber nicht verstopfe, rechne sich die Investition langfristig. Zudem funktioniere ein Bändchengewebe wie ein Geburtshelfer, denn dahinter entstehe ein natürlicher Filter und bei einem allfälligen Rückbau zerfalle es nicht wie ein Vlies.

«Statt einen grossen Aushub vorzunehmen, lässt sich bei einer Fundamentsbewehrung mit einem Geogitter nur ein Teilaushub erstellen», meinte Sacchetti. So werde sowohl der Geldbeutel als auch die Umwelt geschont, meinte er. Ebenfalls liessen sich durch den Einsatz von Geogittern Setzungen zwischen alten und neuen Fundamentalschichten homogenisieren.

St. Lenzinger