2. Fallbeispiel zu Beitrag: Charakterisierung der ungesättigten Zone (Peter Lehmann)

Fallen mir Beispiele aus meiner eigenen Erfahrung ein, die das Gelernte illustrieren, bestätigen, oder ihm widersprechen?

Im Rahmen einer Baugrunduntersuchung in Etzgen im Mettauertal (Kanton AG) führten wir zwei Baggerschlitze (Schürfsondierungen) durch. Im Zuge dieser erschloss sich der Untergrund wie folgt (Abbildung 3): Unter dem Oberboden folgt **Gehängelehm/-schutt** in Form von generell schwach tonigem, teils sandigem Silt mit einem variablen, meist mässigen bis hohen Anteil an Kalksteinschutt (eckig, Kies-Steine-Blöcke). Es traten auch Grossblöcke bis um ∅ 1 m auf. In der hangseitigen Sondierung BS1/P wurde bei 4.6-5.1 m Tiefe eine besonders stark tonig-siltig geprägte und durchnässte Lage, fast ohne Kalksteinschutt, aufgeschlossen. Unter dem Gehängelehm/-schutt steht der harte Kalkstein des **Hauptmuschelkalks** (Trias) an – dieser wurde mit den Sondierungen nicht erreicht.

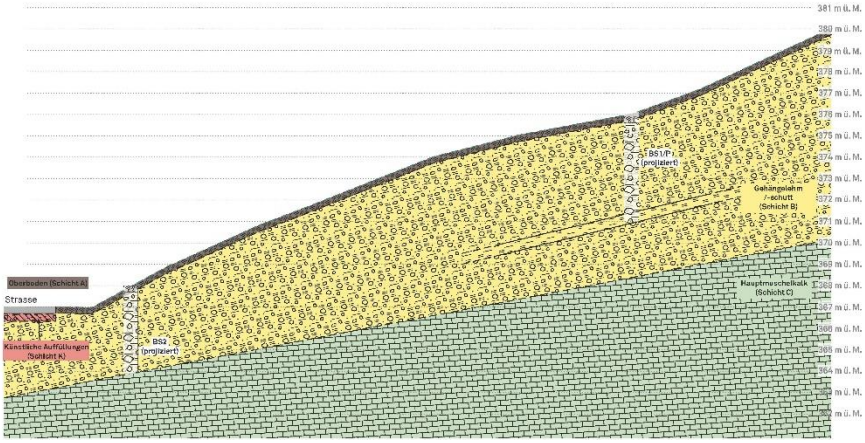

Abbildung 3: Geländeschnitt der untersuchten Parzelle in Etzgen mit den Baggerschlitzprofilen.

Abbildung 4: Ergebnis der "Schüttelprobe" im Feld.

Das in den Baggerschlitzen aufgeschlossene Material war im Gehängelehm/-schutt rasch (ab etwa 1.5-3.0 m Tiefe) feucht bis grösstenteils nass («Schüttelprobe» im Feinanteil → Nässe, siehe Abbildung 4). Eigentliche Wasserzutritte wurden aber weder in den Baggerschlitzen, noch bei Nachmessungen im Piezometer festgestellt.
Dementsprechend ist der in den Baggerschlitzen aufgeschlossene Bereich der **ungesättigten Zone** zuzuordnen. Da das Material tatsächlich grösstenteils und über eine beachtliche Mächtigkeit nass war (im Baggeschlitz BS1/P durchgehend nass ab 2.6 m ab OK Terrain, Prognose Oberkante Fels in 8 m Tiefe ab OK Terrain, also potentiell 5.4 m mächtige nasse Schicht), stellt sich die Frage, woher das Wasser kommt bzw. weshalb der wassergesättigte Bereich so hochreichend ist. Hierbei sehe ich zwei Möglichkeiten im Vordergrund:

<u>Möglichkeit 1: Hangwasser</u>
Bei der Nässe im Feinanteil des Gehängelehm / -schutts könnte es sich um sogenanntes «hangendes Wasser» handeln, das heisst um eingesickertes Niederschlagswasser, welches entlang gröberer Komponenten relativ einfach abfliessen kann, sich aber entlang etwas stärker tonig (schlechter durchlässig) ausgeprägten Horizonten, wie beispielsweise in der Sondierung BS1/P an der Basis angetroffen, temporär anzusammeln vermag («**präferentielle Fliesswege**»). Weitere solcher Lagen, auch näher an der Geländeoberfläche, sind nicht auszuschliessen.

<u>Möglichkeit 2: Kapillarkräfte</u>
Im vorliegenden Fall wirkt der anstehende Kalkstein, wegen des dichten Trennflächengefüges aus Schichtung und Klüftung sowie möglichen örtlichen Karsterscheinungen, insgesamt drainierend (**Felswasserleiter**) und bildet somit keinen eigentlichen Aquitard. Aufgrund dessen dürfte sich an dessen Oberfläche keine eigentliche durchgehende gesättigte Zone gebildet haben. Örtlich dürfte dies aufgrund der Heterogenität des Trennflächengefüges / der evtl. Verkarstungen zwar möglich sein, allerdings auf einer in dieser Problematik nicht unbedingt ausschlaggebenden Skala. Der angetroffene **lehmige Horizont** an der Basis des Baggerschlitzes BS1 hingegen war wassergesättigt. Trotz seiner geringen Mächtigkeit von 0.5 m ist es nicht auszuschliessen, dass Wasser aufgrund der **Kapillarkräfte** in den darüber liegenden grobkörnigeren Bereich gesogen wurden. Selbstredlich gilt dies auch für die weitere solche Zwischenlagen (wenn auch in den Sondierungen nicht angetroffen).
Um zu bestimmen, ob das hochreichende Wasservorkommen den Kapillarkräfte geschuldet sein könnte, bzw. um die potentielle Steighöhe innerhalb des Gehängeschutt / -lehms zu definieren, wurde mit der Korngrössenverteilung und

der auf dem Jurinschen Gesetz beruhenden Formel $h_m\,[cm] = \sim -\frac{9'000}{D\,[\mu m]}$ (Formel 2, siehe Vorlesung «Charakterisierung der ungesättigten Zone», Peter Lehmann, Folie Nr. 16) exemplarisch die Steighöhe berechnet. In dem vorliegenden Fall sind alle Korngrössen von Ton bis hin zu grossen Blöcken vorhanden – dementsprechend wurde die Formel auf alle Korngrössen angewandt (Tabelle 2, Korngrössen nach Udden & Wentworth, mod. nach Doeglas).

		Ton	Silt	Sand	Kies
Obergrenze Korndurchmesser	**[µm]**	2	63	2'000	63'000
Steighöhe	**[cm]**	4'500	143	4.5	0.1
	[m]	45	1.43	0.05	0.001
Geschätzter Massenanteil	**%**	5	45	15	35

Tabelle 2: Berechnung der Steighöhe des Kapillarwassers im Gehängelehm / -schutt anhand der Korngrössenverteilung gemäss der Formel 2, abgeleitet vom Jurinschen Gesetz sowie Schätzung des Massenanteils der verschiedenen Korngrössen.

Die Steighöhen des Kapillarwassers variieren drastisch mit den verschiedenen Korngrössen. Da in diesem Zusammenhang noch weitere Parameter eine bedeutende Rolle spielen (z.B. Porengeometrie -/ grösse / -verteilung, van der Waals-Kräfte, Tonminerale), wurden die Resultate nur anhand der Grössenordnung ausgewertet. Im vorliegenden Fall des Gehängelehm / -schutts ist die dominante Korngrösse der Silt, in welchem Kapillarwasser gemäss der Formel 2 Steighöhen von 1.43 m bis 45 m (!) erreichen kann. Ob die 45 m Steighöhe im Übergang der Korngrössen Ton zu Silt effektiv akkurat ist, sei aufgrund der bereits erwähnten weiteren Einflussfaktoren dahingestellt – es wird jedoch deutlich, dass Kapillarwasser in Materialien mit kleineren Korngrössen deutlich höher ansteigt als bei grösseren Korngrössen. Innerhalb von lehmigen Zwischenlagen dürften Kapillarkräfte somit eine bedeutende Rolle spielen. Da die Hauptbestandteile des Gehängelehm / - schutts, ober- und unterhalb dieser Zwischenlagen, die Korngrössen Silt und Kies (bzw. noch grössere Komponenten mit noch kleineren Kapillarkräften) darstellen, dürften die Kapillarkräfte zwar in der näheren Umgebung von lehmigen Zwischenlagen einen gewissen Einfluss haben, jedoch insgesamt **nicht der Grund** für die beinahe **durchgehend** durchnässte Schicht von mehreren Metern Mächtigkeit sein.

<u>Schlussfolgerungen</u>

Wahrscheinlich ist die hochreichende Hangwasserzirkulation auf eine **Kombination der beiden Möglichkeiten** zurückzuführen; Wasser sammelt sich über schlechter durchlässigen Bereichen an (präf. Fliesswege) und wird aufgrund der relativ starken Kapillarkräfte im siltig-tonig dominierten Untergrund an die Komponenten gebunden (insbes. Ton – Adsorptionswasser) bzw. an deren Berührungspunkten (Kapillarwasser), sodass es schlecht abfliessen kann. Örtlich können über wassergesättigten Zwischenlagen (auf einer kleineren Skala) Kapillarkräfte dafür sorgen, dass der darüberliegende Bereich mit «hochgezogenem» Wasser versorgt wird – dies dürfte allerdings hinsichtlich der grossen Mächtigkeit der durchnässten Schicht und des kleinen Einflussbereichs über den lehmigen Zwischenhorizonten eine untergeordnete Rolle spielen. Der **Hauptgrund** für die grösstenteils durchnässte Schicht dürfte das sogenannte **«hangende» Wasser** darstellen.