

Untersuchungen zum Einfluss und zur Bestimmung von zementhydratationshemmenden Bestandteilen in organischen Böden und Böden mit organischen Anteilen

Themenschwerpunkt: Analysen zur Quantifizierung zementhydratationshemmender organischer Bestandteile

Michelle Döbber

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz (TU Berlin)

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Dietmar Stephan (TU Berlin)

Betreuer: Dr.-Ing. Ralf Glasenapp (TU Berlin), Dr. Patrick Arnold (GuD)

In Zusammenhang mit der aktuellen politischen Diskussion über den Ausstieg aus der Atomenergie und der Förderung erneuerbarer Energien gewinnen die Themen Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit immer mehr an Bedeutung. Auch im Bereich der Geotechnik müssen Lösungen gefunden werden, um Wirtschafts- und Produktionsweisen in Deutschland zu verbessern und somit die Ziele der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung umzusetzen. Im Zuge von Baumaßnahmen, bei denen organogene Böden in großem Umfang anzutreffen sind, kommt es aufgrund ihrer geringen Tragfähigkeit derzeit hauptsächlich zu einem Bodenaustausch bzw. zur Ausführung von Tiefgründungen in tragfähigere Schichten. Allerdings besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Methoden zur Bodenbehandlung einzusetzen, um diese Ressourcen nachhaltig zu nutzen. Bei einer Bodenverfestigung wird durch Zugabe eines Bindemittels die einaxiale Druckfestigkeit erhöht, indem die verfestigten Reaktionsprodukte der Bindemittel den Porenraum des Bodens ausfüllen und ein tragfähiges Boden-Bindemittel-Gemisch bilden.

Allerdings wurden bei Vorhandensein von organischen Bestandteilen die erwarteten Festigkeiten der verbesserten Bodenmatrix teilweise nicht erreicht, was auf zementhydratationshemmende Bestandteile der Organik zurückzuführen ist. Grundlage zur optimalen Wahl des Bindemittels bildet daher nicht nur die Kenntnis über die Wirkungsmechanismen der verschiedenen Bindemittel nach Einmischen in den Boden, sondern auch die Kenntnis über die organischen Bestandteile des zu verfestigenden Bodens. Der Themenschwerpunkt dieser Abschlussarbeit, die als Gruppenarbeit erstellt wurde, basiert auf der Durchführung von Analysen zur Quantifizierung zementhydratationshemmender organischer Bestandteile, zu denen insbesondere Huminstoffe zählen.

Aufgrund ihrer hochgradigen Komplexität und Diversität werden Huminstoffe nicht über ihre molekulare Struktur oder Struktureinheiten, sondern über ihr pH-abhängiges Löslichkeitsverhalten in wässrigen Systemen definiert. Nach diesem Ansatz lassen sich Huminstoffe in drei Fraktionen unterteilen: Fulvosäuren, die sowohl im alkalischen als auch im sauren Milieu löslich sind, Huminsäuren, die ausschließlich im alkalischen Milieu löslich sind und Humine, die unlöslich sind. Darüber hinaus lassen sich die Huminsäuren weitergehend in Braun- und Grauhuminsäuren differenzieren. Fulvo- und Huminsäuren neigen dazu, Verbindungen mit Metallionen des Bodens einzugehen und Komplexe zu bilden, die aufgrund ihrer verschiedenen funktionellen Gruppen sehr vielschichtig sein können. Bei Zementzugabe können Huminstoffe Komplexe mit den Calcium-Ionen des Calciumhydroxids bilden, die das Wachstum der Ettringitkristalle und die Bildung von C-S-H-Phasen hemmen. Da Grauhuminsäuren eine erhöhte chemische Affinität zu Calcium aufweisen, ist der negative Einfluss dieser Huminsäuren höher einzustufen als bei den Braunhuminsäuren.

Um den Einfluss von Huminstoffen auf die Zementhydratation genauer bestimmen zu können, bestand das Ziel dieser Abschlussarbeit darin, die einzelnen Huminstoff-Fractionen an verschiedenen Bodenproben zu quantifizieren, um anhand von nachfolgend durchgeführten Festigkeitsuntersuchungen Rückschlüsse auf die Vorgänge bei der Zementhydratation zu ziehen und einen Bezug zu den nachgewiesenen organischen Bestandteilen herzustellen.

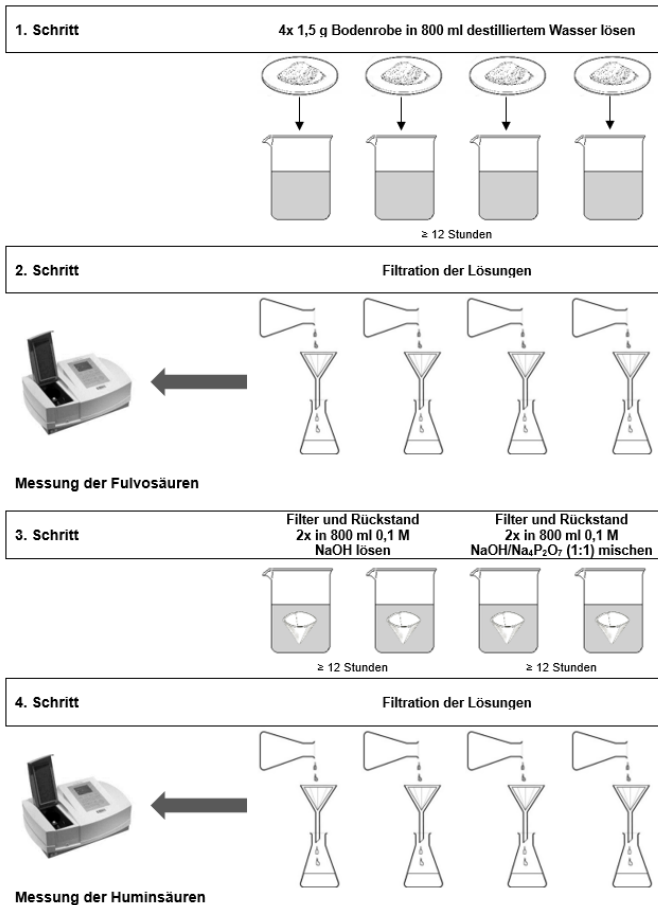


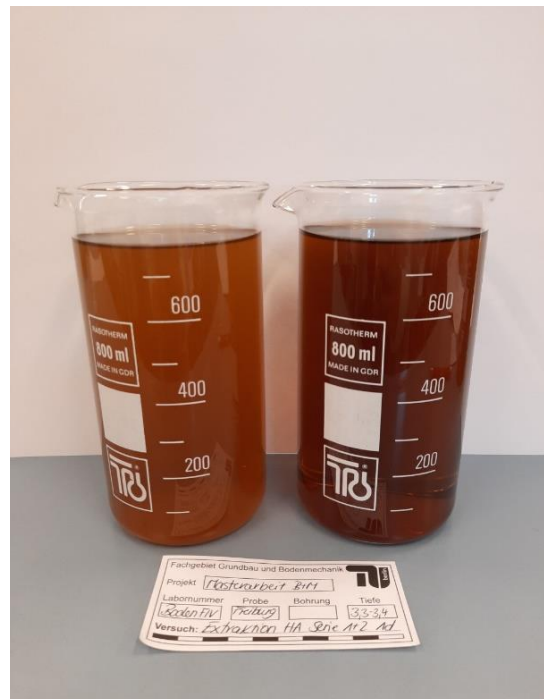
Abb. 1: Schema des Extraktionsverfahrens

Mit Komplexbildnern wie Natriumpyrophosphat sind im Gegensatz zur Extraktion mit Natronlauge hohe Grauhuminsäureanteile zu finden. Durch Kombination beider Lösungsmittel konnte somit qualitativ das Vorhandensein von Braun- und Grauhuminsäuren bewertet werden. Das zeigte sich neben höheren Extinktionen und einhergehenden höheren prozentualen Anteilen auch meist an einem deutlich sichtbaren Farbunterschied beider Lösungen (s. Abb. 2), wobei die Kombination mit Natriumpyrophosphat eine dunklere Färbung der Lösung bewirkte.

Zur Quantifizierung der einzelnen Huminstoff-Fractionen werden Verfahren im Rahmen der analytischen Chemie angewandt, die sich mit der Identifizierung und der Mengenbestimmung von chemischen Substanzen beschäftigen. Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wurde die UV/VIS-Spektroskopie genutzt, bei der es sich um eine Elektronenspektroskopie handelt. Sie beruht auf der Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung aus dem ultravioletten und dem

Die Basis dieser Untersuchungen bildete die Extraktion der einzelnen Huminstoff-Fractionen, wobei das unterschiedliche Löslichkeitsverhalten der Huminstoffe ausgenutzt wurde (s. Abb. 1).

Im ersten Schritt wurden durch Zugabe von destilliertem Wasser die Fulvosäuren gelöst. Nach anschließender Filtration wurde der Filterrückstand mit 0,1 molarer Natronlauge bzw. einer Kombination aus 0,1 molarer Natronlauge und 0,1 molarem Natriumpyrophosphat im Verhältnis 1:1 versetzt, um die Huminsäuren zu lösen. Nach erneuter Filtration verblieben die unlöslichen Humine im Filterrückstand.



**Abb. 2: Extraktion von Huminsäuren
Lösungsmittel: links Natronlauge, rechts
Kombination mit Natriumpyrophosphat**

sichtbaren Bereich mit einer Probe. Durch Anregung der Valenzelektronen der äußeren Schalen, erhält man anhand der Energieabsorption des untersuchten Moleküls Informationen über die Bindungsverhältnisse und kann über die gemessene Extinktion den prozentualen Gehalt an Fulvo- und Huminsäuren berechnen. Grundlage dafür bildete die Kalibrierung des Gerätes. Dazu wurden Fulvo- und Huminsäurepulver als Referenzstandards herangezogen und anhand von Verdünnungsreihen Kalibriergeraden erstellt. Die Problematik bestand darin, dass die verschiedenen Huminsäurepulver kein identisches Absorptionsverhalten aufwiesen. Hinsichtlich der Auswertung von Huminsäuren, die aus Bodenproben extrahiert wurden, ergaben sich dadurch je nach Referenzpulver aufgrund der unterschiedlichen Steigung der Kalibriergeraden abweichende Konzentrationen, aus denen der prozentuale Gehalt an Huminsäuren berechnet wird.

Im Ergebnis wurden insgesamt 14 Bodenproben aus 8 verschiedenen Entnahmestellen innerhalb Deutschlands untersucht. Als weitere Probe wurde ein Dünger des Herstellers Humintech zur Quantifizierung des Huminstoffgehaltes herangezogen. Insbesondere bei den Torfen aus Altshausen und aus Freiburg wurde das Vorhandensein von Grauhuminsäure qualitativ nachgewiesen. Der Gesamthuminsäuregehalt fiel beim Dünger und bei den Proben aus Tribsees und aus Pankow am größten aus (s. Abb. 3).

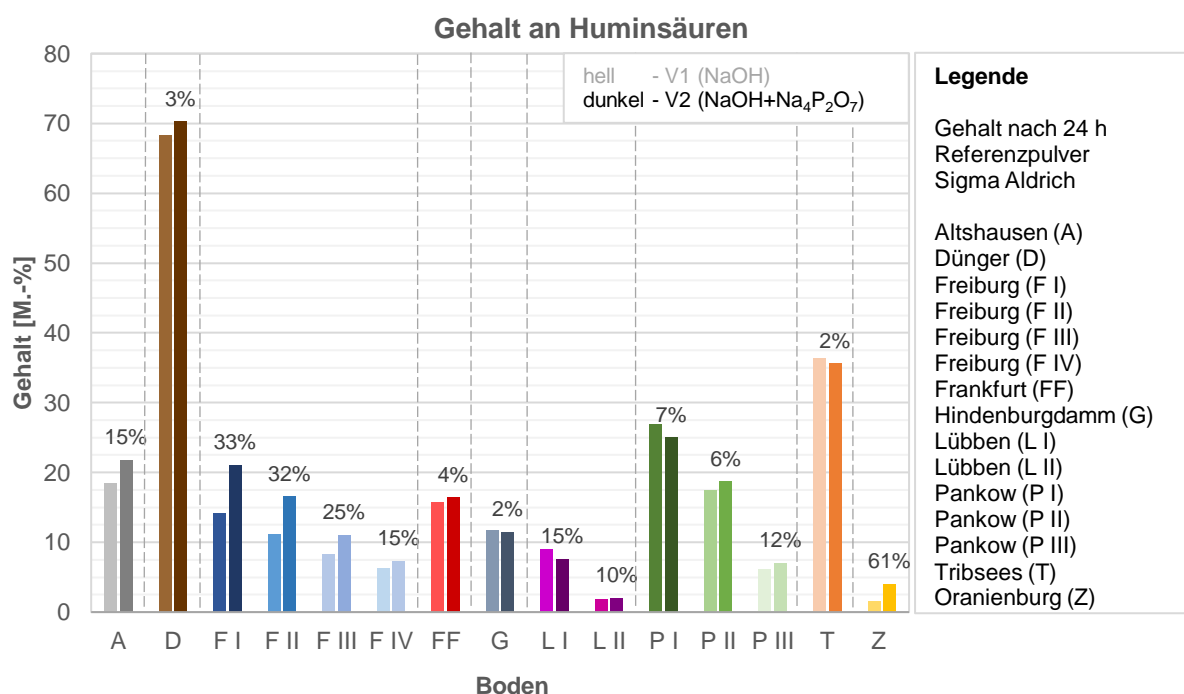


Abb. 3: Quantifizierung der Huminsäuren an 14 Bodenproben und einem Dünger

Durch Anwendung moderner analytischer Verfahren konnten Fulvo- und Huminsäuregehalte durch eine vereinfachte Extraktion isoliert und mittels UV/VIS-Spektroskopie messtechnisch erfasst werden. Eine Quantifizierung erfolgte dabei anhand verschiedener Referenzstandards. Der absolute Wert des Huminstoffgehaltes variiert dabei je nach Referenzpulver. Das Verfahren weist demnach Unschärfen auf, bietet jedoch die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die Ursachen einer gehemmten Zementhydratation bei Bodenverfestigungsmaßnahmen zu ziehen. Darüber hinaus kann der planende Ingenieur bei Anwendung dieser Analyse bereits im Planungsprozess eine Abschätzung zum Verfestigungspotential der angetroffenen Böden abgeben.