

Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln

Mögliche Schäden und ihre Vermeidung

1 Einleitung

Offensichtlich als Folge der Wiedervereinigung hat seit 1989 der Umfang an Bodenverbesserungsmaßnahmen mit Feinkalk und Mischbinder großen Aufschwung genommen. Zwar waren auch schon vorher verschiedene Spezialisten auf dem westdeutschen Markt präsent, fristeten aber eher ein Nischendasein. Generell wurde die Bodenstabilisierung nur bei entsprechend großen Flächenprojekten ernsthaft eingesetzt.

Nachdem die Vorteile der Bodenverbesserung ins Bewusstsein gerückt waren, wurden für verschiedene Zwecke auch neue Maschinen entwickelt, die stationär oder mobil für die Vorbereitung und Verarbeitung des Bodens eingesetzt werden können. Als Beispiele seien nur die Separatorschaufeln, Bodenfräsen verschiedenster Größen, der fräsende und mischende Baggerlöffel, die gekapselten (=staubfreien) Fräseinheiten und der hydraulische Fräs- und Mischkopf genannt.

Bei den angebotenen Bindemitteln ist die inzwischen vorhandene Bandbreite noch wesentlich größer, und es werden für die verschiedensten Zwecke die unterschiedlichsten Mischungen angeboten. Das wichtigste Produkt ist dabei wahrscheinlich der staubarme Kalk.

Wichtig für die Weiterentwicklung der Technologie war sicher die Neuauflage des von der Forschungsgesellschaft für Straßenwesen FGSV herausgegebenen Merkblatts (551) für *Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln*. Nicht nur, dass hier ein genaues Vorgehen bei und die Randbedingungen zur Durchführung von Bodenverbesserungsmaßnahmen zusammen gestellt sind, der eigentliche Gewinn liegt darin, dass mit Einführung des Begriffes der qualifizierten Bodenverbesserung endlich die Möglichkeit besteht, die Bodenverbesserung bei der Bemessung des frostsicheren Straßenoberbaus zu berücksichtigen.

2 Schäden bei der Bodenverbesserung

Da die qualifizierte Bodenverbesserung die Massentransporte und den Verbrauch von Rohstoffen reduziert und in großem Umfang hilft, das Kreislaufwirtschaftsgesetz zu erfüllen, muss es das Ziel sein, für einen weiteren, flächendeckenden Einsatz zu werben. Allerdings darf nicht der typische Fehler wiederholt werden, eine neue Methode zum Allheilmittel zu erklären. Das führt nur dazu, dass nach den ersten bekannt gewordenen Schäden die ganze Methode wieder in Verruf gerät, wofür sich dann schnell die Bedenken tragenden, kritischen Kreise zusammen finden.

Schon MITCHELL 1986 berichtet von Hebungen bei einem Straßenneubau in Las Vegas. Allerdings sind diese Hebungen nicht mit exotischen Bodenverhältnissen oder extremen Klimaerscheinungen zu erklären, denn auch in Deutschland gab es Probleme mit gipshaltigem Boden (vgl. Ringlein 1984). Ausführlich befassen sich auch 2002 KELLER, P. et al. mit Hebungen von Straßen und Bodenplatten in Baden-Württemberg.

3 Ursache der Schäden

Bei allen Untersuchungen stellte sich am Ende heraus, dass die Schäden auf einen erhöhten Gehalt des Bodens an Sulfaten zurückzuführen waren. Bei erhöhten Sulfatgehalten kommt es zu einer Bildung von Ettringit, bei dessen Entstehung aus Sulfat und Kalziumhydroxid es zu einer Volumenzunahme von etwa 160 % kommt (KELLER et al.). Bei dem im Boden vorhandenen freien Porenvolumen wäre wahrscheinlich bei einem „normalen“ (= massivem) Kristallwachstum in diese Hohlräume hinein eine nur geringe oder gar keine Hebung zu beobachten. Der eigentliche Motor der Hebungen bis in den dm Bereich ist, wie KELLER et al. 2002 sehr schön beschreiben, das geotaktische Wachstum in Form ungezählter kleiner Nadelchen.

4 Schadensvorsorge

In der angelsächsischen Literatur wird empfohlen, die zu bearbeitenden Böden vor einer Behandlung mit hydraulischen Bindemitteln auf den Gehalt an SO_4 zu untersuchen. Als Grenzwert werden verschiedene Gehalte genannt, bzw. aus entsprechenden Analysen Koeffizienten entwickelt, die z.T. in der deutschen Erdbaupraxis nicht üblich sind. Als Schlussfolgerung kann man, solange keine entsprechenden deutschen Untersuchungen

vorliegen, derzeit wohl nur empfehlen, ab einem Gehalt von über 0,5 % SO_4 entsprechende zusätzliche Versuche durchzuführen.

Übrigens empfiehlt die Provinz Bozen in ihren Baubestimmungen eine Obergrenze des Sulfatanteiles (SO_3) von 0,3 % nach UNI EN 1744-1, ab dem weitere Untersuchungen empfohlen werden. Ab 0,8 % sollte von einer Bodenverbesserung mit Kalk abgesehen werden.

Aus den britischen Untersuchungen bei der oben bereits genannten M 40 ergibt sich, dass in Großbritannien bei Erdbaumaßnahmen grundsätzlich eine Analyse des Bodens auf den SO_4 -Gehalt erfolgt. Obwohl die Analyse keinen Hinweis auf Sulfate erbracht hatte, traten dann doch Hebungen ein. Weiter gehende Untersuchungen belegten, dass in den tieferen Einschnitten zwar kein Sulfat auftrat, dafür aber Pyrit. Durch die Erdarbeiten, insbesondere durch das Durchfräsen bei der Stabilisierung, kam dieser in Kontakt mit dem Luftsauerstoff und oxidierte dann zu Sulfaten. Dadurch traten diese Hebungen entsprechend verzögert auf. Deshalb fordern die britischen Straßenbaubehörden über die dort übliche Sulfatbestimmung hinaus inzwischen auch eine Sulfitbestimmung.

Grundsätzlich kommen natürlich auch die zugemischten Stoffe als Sulfatlieferanten in Frage. Hier muß also entsprechend vorsichtig gearbeitet werden. Nicht jeder billige Abfallstoff ist entsprechend sulfatfrei, deshalb sollten zuverlässige Analysen vorgelegt werden, bevor eine Freigabe erfolgt.

Hier sei insbesondere auf frühe Arbeiten im ostdeutschen Braunkohlenrevier verwiesen. Dort war das Interesse besonders groß, die Braunkohlenflugaschen in großen Mengen im Strassen- und Dammbau einzusetzen. Auch hier wurde schnell der Ettringit als Störfried ermittelt und nachgewiesen. Dementsprechend wurde versucht, durch Änderungen der Entstehungsbedingungen die treibende Wirkung zu verhindern. Dabei stellte u.a. KOERTH 1967 fest, dass bei bestimmten p_H -Werten der Ettringit in massiver Form und nicht in Nadelform entsteht. Mit fehlendem geotaktischem Wachstum von Nadelchen erfolgt dann auch kein Treiben mehr und Hebungen bleiben aus.

5 Risikoabschätzung

5.1 Allgemein

Wenn es bisher in Deutschland nur wenige Hebungsschäden nach Bodenverbesserungsmaßnahmen gegeben hat, so ist das zum größten Teil sicher auf unsere günstigen klimatischen und geologischen Bedingungen zurückzuführen. Allerdings lässt sich auch nicht ausschließen, dass in einigen Fällen diese Schadensursache gar nicht erkannt wurde, denn es findet sich in der deutschen Fachliteratur nur selten ein Hinweis auf dieses Risiko bei der Bodenverbesserung.

5.2 Merkblätter FGSV

Leider werden in dem Merkblatt über Bodenverfestigungen der FGSV auch in der Neuauflage die Probleme der Sulfatgehalte von Böden oder von Bindemitteln nicht erwähnt. Auch im Absatz 4.2.2 steht kein Hinweis, immerhin wird aber auf die DIN 4030 verwiesen. Problematisch erscheint besonders der Absatz 4.1.5, in dem verschiedene künstliche Gesteinskörnungen aufgeführt sind, die für die Bodenbehandlung uneingeschränkt eingesetzt werden dürfen. Zumindest ist der Ausdruck uneingeschränkt sehr problematisch. Im Übrigen wird auf die verschiedenen Merkblätter für Waschberge, Müllverbrennungs-, Braunkohlen- und Steinkohlenflugaschen hingewiesen. Expressis verbis werden Braunkohlen- und Steinkohlenflugaschen als hydraulische Bindemittel empfohlen. Ohne einen Hinweis auf die möglichen Risiken findet sich hier natürlich die ganze Bandbreite möglicher Auslöser für Hebungen bis in den dm-Bereich.

Es sei nur auf die Veröffentlichung des Geologischen Landesamtes NRW 1983 ‚Bergehalden und Grundwasser‘ verwiesen, in der u.a. über die Sulfatbelastungen berichtet wird. Immerhin enthält das Merkblatt über Haldenberge im Absatz 6.1 den Hinweis, dass Gips und Anhydrit und andere nicht raumbeständige Stoffe nur in solchen Mengen enthalten sein dürfen, „dass sie keine schädlichen Hebungen und Setzungen des Dammbauwerkes verursachen“. Für die Verwendung als Tragschicht ist in 6.3 angegeben, dass der Gips und Anhydrit Anteil höchstens 0,5 % betragen darf. Berücksichtigt wird hier also nur ein Teil der schwefelhaltigen Bestandteile. In dem Merkblatt zur *Verfestigung von Waschbergen* der FGSV 1994 findet sich allerdings dann überhaupt kein Hinweis auf die Risiken der Ettringit-Thaumasitbildung und den damit verbundenen Hebungen.

Im *Merkblatt für die Verfestigung von Müllverbrennungsgasche mit hydraulischen Bindemitteln* FGSV 1992 findet sich der interessante Hinweis, dass bei Sulfatgehalten von über 2 % im Kaltwasserversuch die Raumbeständigkeit nachzuweisen ist, sofern nicht bereits ausreichende Erfahrungen über die Eignung vorliegen. Nach den übrigen Angaben in der Literatur und in Verbindung mit den zahlreichen bereits eingetretenen Schäden ist dieser Wert abenteuerlich hoch angesetzt. Der gleiche Hinweis auf die 2% und den Kaltwasserversuch findet sich auch im *Merkblatt zur Verfestigung von Steinkohlenflugaschen*.

Wie viel hier noch zu tun ist zeigt sich auch in der TP BF-StB Teil B 11.1. In ihr wird unter 4.1.4 auf die schädlichen Bestandteile verwiesen. Auch hier wird eine Volumenvergrößerung als Reaktion auf Wasser sehr unspezifisch erwähnt und auf geeignete Untersuchungsverfahren verwiesen. Die sonstigen Prüfungen, die erforderlich werden können, werden dann im Anhang 2 aufgeführt. Dabei wird darauf hingewiesen, dass die Verfahren sich noch in Entwicklung bzw. Erprobung befinden und deshalb eine entsprechende TP nicht aufgestellt werden kann.

Anmerkung:

Vertiefende Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Boden und hydraulischen Bindemitteln können im Übrigen auch zu überraschenden neuen Lösungen und Anwendungen entsprechender Reststoffe führen. Ein Beispiel findet sich in der Arbeit VEITH, G. 2001, in der das Treiben eines sulfathaltigen Lehmes mittels Kalk und Hochofenschlacke verhindert wurde.

5.3 Sulfatspiegel

Bei unserem wechselfeuchten Klima liegt der Sulfatspiegel generell einige Meter unter Gelände. Der Bereich mit höheren geogenen Sulfat-/Sulfitgehalten wird also erst bei einem tieferen Aushub erreicht, und die Ettringitbildung wird erst dann virulent. So berichtet BOSSENMAIER, 2001 von Schäden an einer Straße in dem Bereich, in dem der Damm aus Tunnelausbruch geschüttet wurde. Es handelte sich um Gipskeuper, der nach ca. 1,5 Jahren zu Hebungen bis etwa 25 cm führte.

Weitere Voraussetzung ist natürlich, dass der Untergrund schwefelhaltig ist. Das ist nur bei wenigen Gesteinen der Fall. Die entsprechenden Gebiete haben aber schon relevante Größe und dürfen nicht vernachlässigt werden.

6 Verbesserte Vorsorge

Die soeben erschienene DIN 4030 enthält 2 Karten, die in Zukunft bei Bodenverbesserungsmaßnahmen unbedingt beachtet werden müssen. Auf diesen beiden Deutschlandkarten sind die Regionen dargestellt, in denen einmal sulfathaltige Gesteine auftreten können und einmal sulfithaltige. Ähnliche Karten finden sich jüngst in einer Veröffentlichung von WISOTZKY & EISENBERG, die verschiedene Bodenarten untersucht haben und sich schwerpunktmäßig mit der Betonschädlichkeit von oxidierenden sulfidhaltigen Gesteinen auseinandersetzen. Vorgeschlagen wird hier ein Schnellversuch zur Ermittlung des Risikos der Pyritoxidation, der noch auf seine Tauglichkeit bei der Bodenstabilisierung zu prüfen wäre. Allerdings kann der Empfehlung, zum Schutz des Betons der Baugrubenverfüllung Kalk beizufügen, nicht gefolgt werden, da dann das Risiko von Hebungen der Verfüllung mit entsprechenden Schäden an den Außenanlagen extrem hoch ist.

Wird in den Gebieten, die in den o.g. Karten auf Schwefel im Boden schließen lassen, eine Bodenverbesserung geplant, ist eine vertiefende geotechnische Beratung erforderlich. Stellt sich dabei heraus, dass der Untergrund entsprechend schwefelhaltig ist, müssen die chemischen Analysen auf Sulfit und Sulfat durchgeführt und die Bodenverbesserung entsprechend modifiziert werden.

7 Literatur

BOSENMAIER (2001): Hebung nach einer Bodenverbesserung von Erdplanien mit Feinkalk auf Grund speziellen Chemismus der anstehenden Böden. VSVI – Seminar in Kaiserslautern 27.3.2001

BOZEN, Provinzregierung, Hochbau, Bestimmungen-Richtlinien 891

DÜNGELHOFF, J.M.; PLANKERT, M.; LENGEMANN, A.; SCHMIDT, W.; SCHLIMM, W. und WILDER, H. (1983): Bergehalden und Grundwasser, 70 S., Krefeld

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Merkblatt für Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln, 32 S., Köln

FGSV (1996): Merkblatt über die Verwendung von Haldenbergen aus Bergbautätigkeiten im Straßen- und Erdbau 10 S., Köln

FGSV (1994): Merkblatt über die Verfestigung von Waschbergen aus der Steinkohलगewinnung mit hydraulischen Bindemitteln, 8 S.; Köln

FGSV (1992): Merkblatt für die Verfestigung von Müllverbrennungssasche mit hydraulischen Bindemitteln, 10 S., Köln

FGSV (1988): Merkblatt für die Verfestigung von Steinkohlenflugasche mit hydraulischen Bindemitteln, 11 S., Köln

FGSV (2005): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, TP BF-StB, Teil 11.1 Eignungsprüfungen für Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln, 24 S., Köln

KELLER, P.; MOSTHOF, A.; LAPTEV, V. und GILDE, S. (2002): Gipskeuper: Baugrundrisiken durch Bildung von Ettringit-Thaumasit. Bauen in Boden und Fels 3. Kolloquium TA Esslingen, S. 387-400

KOERTH, W. (1967): Über die Treibveranlagung selbsthydraulischer Braunkohlenfilteraschen und deren Verwendbarkeit im Straßenbau, Baustoffindustrie 11, S. 345-348

MITCHELL, J.K. (1986): Practical Problems from Surprising Soil Behaviour, Journal of geotechnical Engineering Vol. 112, p 259 - 286

RINGLEIN, W. (1984): Erfahrungen mit Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen in Nordbayern in BAST 24. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau S. 25 - 48

SNEDKER, E.A. (1996): M 40-Lime Stabilisation Experiences in ROGERS, CDF., GLENDINNING, S. and DIXON, N. Lime Stabilisation, p. 142 - 158

VEITH, G. (2001): Verwendung von kalkaktivierter Hochofenschlacke bei der Bodenstabilisierung, Tiefbau 10, S. 680 - 682

WISOTZKY, F. & EISENBERG, V. (2008): Realistische Risikoabschätzung zum Sulfat-Säure-Angriff auf Beton infolge von Pyritoxidationsprozessen durch Baumaßnahmen, Geotechnik 31, 2