

**Tagungsbeitrag zu:**  
 DBG-Jahrestagung 2009, Kommission VII  
**Titel der Tagung:**  
 Böden - eine endliche Ressource  
**Veranstalter:** DBG  
**Termin und Ort:**  
 5.-13. September 2009, Bonn  
**Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation),** <http://www.dbges.de>

Spurenelementchemische und mikromorphologische Untersuchungen an Silcretes in Böden des Alentejo (Süd-Portugal)

**Daniela Sauer, Christine Stein,  
 Jörn Breuer, Mehdi Zarei  
 und Karl Stahr**

## Zusammenfassung

In Böden im Sado-Becken (Portugal) treten z. T. starke Kieselsäureanreicherungen auf. Um eine vermutete laterale Kieselsäurezufuhr aus dem angrenzenden Alto Alentejo zu prüfen, wurden Elementgehalte der dominierenden Gesteine im Alto Alentejo sowie Elementbeimengungen in den Kieselsäureanreicherungen im Sado-Becken untersucht. Diese wiesen in der Tat auf eine laterale Komponente der Kieselsäurezufuhr hin. Der überwiegend mikrokristalline Charakter der Kieselsäure zeigt an, dass die Hauptphase der Verkieselung in der Vergangenheit, wahrscheinlich im Pliozän bis Alt-Pleistozän, liegt. Der laterale Transport erfolgte sowohl durch Interflow als auch Grundwasser.

## Schlüsselworte

Kieselsäure, Silcrete, Spurenelemente, Mikromorphologie, Alentejo, Portugal

## Einleitung

Die Böden im Sado-Becken (Portugal) sind teilweise durch massive Kieselsäureanreicherung im Unterboden gekennzeichnet. Die Mächtigkeit der Silcretes führte zu der Annahme, dass eine laterale Kieselsäurezufuhr aus dem angrenzenden Hohen Alentejo (Alto Alentejo) an ihrer Bildung beteiligt war. Diese Hypothese erhärtete sich durch die Beobachtung, dass das Ausmaß der Kieselsäureanreicherung nicht in allen Böden ähnlich ist sondern mit dem Abstand zum Beckenrand zunimmt (Abb. 2 a-c). Ziel des Projekts war es, anhand von Spurenelementgehalten der dominierenden Gesteine im Alto Alentejo sowie Spurenelementbeimengungen in den Kieselsäureanreicherungen im Sado-Becken mögliche laterale Transportwege der Kieselsäure zu identifizieren.



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets.  
<http://www.landkarte-online.net/karten/portugal>

Institut für Bodenkunde und Standortslehre,  
 Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart,  
 E-mail: [d-sauer@uni-hohenheim.de](mailto:d-sauer@uni-hohenheim.de)

## Methoden

Die Kieselsäure wurde im Wasserbad bei 85°C mit 0,2 M NaOH extrahiert. Pro Probe wurden acht Flaschen angesetzt und nach 1, 3, 4 und 5 Stunden jeweils zwei Flaschen aus dem heißen Wasserbad genommen. Die Extrakte wurden sofort im kalten Wasserbad abgekühlt, zentrifugiert und filtriert, um ein zeitlich definiertes Ende der Extraktion zu gewährleisten.

Die Si-Gehalte im Extrakt wurden mittels ICP-OES bestimmt. Die Si-Konzentrationen nach 1, 3, 4 und 5 Stunden Extraktionszeit wurden anhand der DeMaster-Methode ausgewertet, um die Ergebnisse im Hinblick auf zwangsläufig mit extrahiertes Si aus Tonmineralen zu korrigieren (DeMaster, 1981; Sauer et al., 2006).

Im 3 Stunden-Extrakt wurden zusätzlich folgende Begleitelemente analysiert. Al, Ca, Mg, Ba, K, Fe, Mn und Zr wurden mittels ICP-OES analysiert, Co, Cs, Nb, Rb, Sr, Y wurden mittels ICP-MS gemessen.

Die Anteile der Begleitelemente, die in der Kieselsäurezementierung eingeschlossen sind, können Hinweise auf die Elementzusammensetzung des Bodenwassers zur Zeit der Silcretebildung und somit auch auf mögliche laterale Wasserbewegungen, geben.

## Ergebnisse

Die Kieselsäure enthält teilweise hohe Anteile an Aluminium (Abb. 2 d-f), wobei keine eindeutige Abhängigkeit von der Entfernung zum Beckenrand zu erkennen ist. Im besonders stark verkieselten Bereich in Profil AL-11.8 ist das Si/Al-Verhältnis besonders groß. Das Si/K-Verhältnis der Kieselsäure wiederum nimmt mit der Entfernung zum Beckenrand deutlich zu. Dies weist darauf hin, dass die im Becken verbreiteten tertiären Sedimente selbst nur wenig K enthalten und in der Nähe des Beckenrandes K aus dem angrenzenden Alto Alentejo lateral zugeführt wird.

Die Haupt- und Spurenelementanalysen zeigten, dass manche Elemente in bestimmten Gesteinsproben besonders hohe Gehalte erreichten (Tab. 1) und dass diese Elemente ebenfalls in den Kieselsäurezementierungen der Böden des Sadobeckens enthalten waren.

Mikromorphologisch können unterschiedliche Kieselsäurepräzipitate unterschieden werden. Der überwiegende Teil der Kieselsäure zeigt Doppelbrechung, ist also nicht amorph sondern kryptokristallin. Häufig bildet die doppelbrechende Substanz wirt orientierte kleine Domänen. Amorphe Kieselsäure (im Auflicht weißlich, bei gekreuzten Polarisatoren nicht doppelbrechend) ist selten.

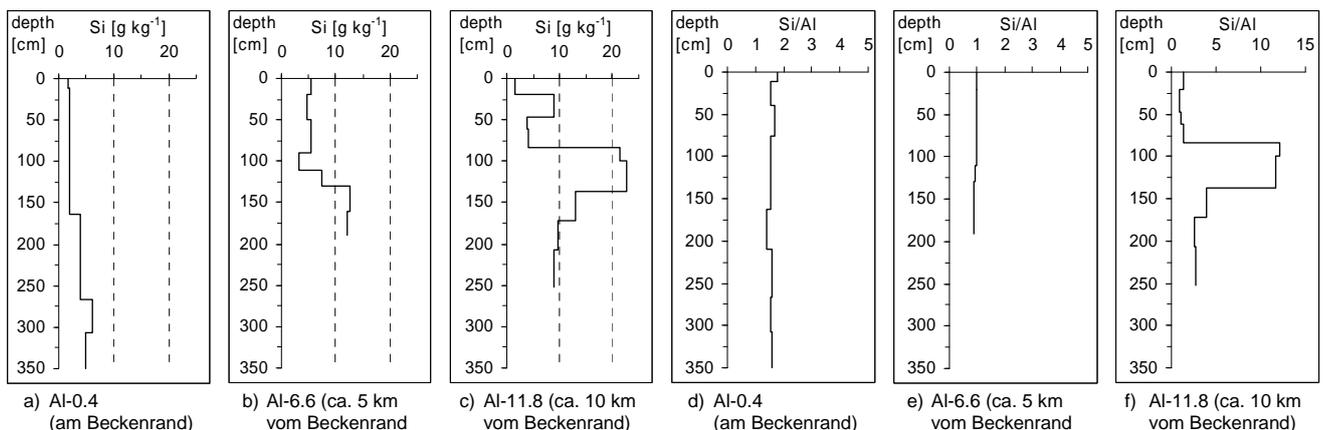


Abb. 2: a) - c) Tiefenprofile der Gehalte an Si aus amorpher Kieselsäure mit zunehmendem Abstand zum Beckenrand; d) – f) Tiefenprofile der Si/Al-Verhältnisse im 0,2 M NaOH-Extrakt (nach 3 h Extraktionszeit bei 85°C) mit zunehmendem Abstand zum Beckenrand.

Tabelle 1: Haupt- und Spurenelementgehalte in Gesteinsproben aus dem Alto Alentejo [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]. Besonders hohe Elementgehalte einzelner Gesteinsproben sind gelb markiert.

	Al	Ba	Ca	Co	Cs	Fe	K	Mg	Mn	Nb	Pb	Rb	Si	Sr	Y	Zr
AL-VI 1	8050,8	62,0	159038,3	0,2	1,4	4516,1	4219,5	3452,9	467,2	1,6	11,0	16,6	275941,5	121,0	4,1	25,8
AL VR 1	82387,7	799,1	2294,2	6,6	6,1	28753,2	33985,6	6975,7	195,3	10,1	9,1	131,8	339577,5	50,8	28,2	240,8
AL VR 2	85035,2	32,3	51629,5	32,9	0,1	88387,4	1933,8	17956,7	752,7	23,4	9,4	1,0	256002,8	195,1	29,5	163,2
VA-VID 1	76449,1	65,4	88452,9	39,6	0,5	78444,0	3263,2	29659,6	1434,2	7,9	27,6	4,1	243559,5	218,4	28,1	151,9
VA-VID 2	80148,6	783,7	18161,0	4,3	3,4	26280,3	27252,6	5133,4	426,4	8,2	9,5	98,7	338369,8	142,6	25,5	165,5
OD-VN 3	68528,8	571,9	2868,3	0,1	1,6	5006,8	40437,4	314,4	47,2	6,8	16,0	106,0	374197,8	51,3	23,4	53,6
Mt GALAZ	91515,3	266,2	58682,8	13,4	0,8	38248,8	7007,7	35988,4	865,9	4,9	5,5	19,7	284926,8	306,5	34,1	30,7

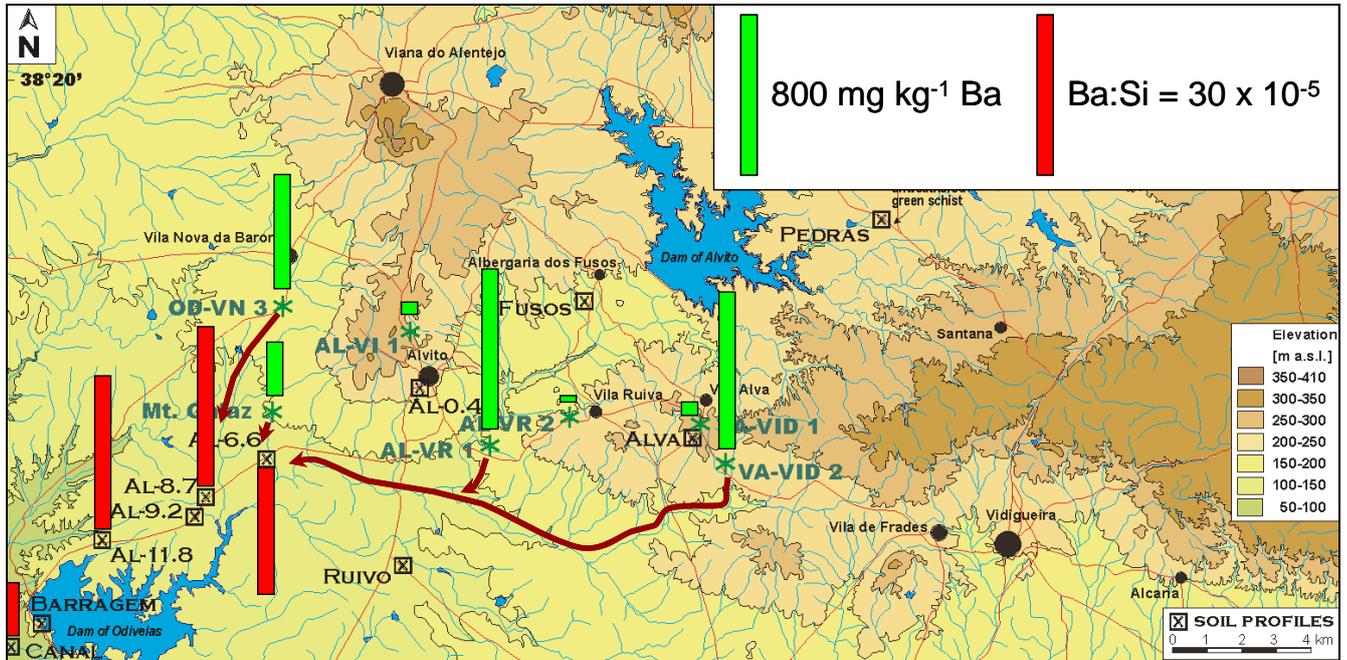


Abb. 3: Beispiel: Laterale Wasser- und Stoffflüsse (rote Pfeile) vom Alto Alentejo ins Sadobecken zur Zeit der Verkieselung der Böden im Sadobecken, rekonstruiert aufgrund a) erhöhter Ba-Gehalte in den Gesteinen der Standorte OD-VN 3, Mt. Galaz, AL-VR 1 und VA-VID 1 sowie b) Ba-Beimengungen in den Verkieselungen der Profile nahe des Beckenrandes (AL-6.6, AL-8.7 und AL-11.8).

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Anhand der gefundenen räumlichen geochemischen Muster wurden laterale Wasser- und Stoffflüsse vom Alto Alentejo ins Sadobecken rekonstruiert. Abb. 3 zeigt ein Beispiel einer solchen Rekonstruktion anhand von Ba-Gehalten in den Gesteinen sowie in den Kieselsäurezementierungen. Da die Elemente in die Kieselsäurematrix eingeschlossen sind, müssen sie zur Zeit der Verkieselung der Böden im Sadobecken in der Bodenlösung enthalten gewesen sein. Dies weist darauf hin, dass die Fließrichtung der Bodenlösung neben einer vertikalen Komponente auch eine laterale Komponente hatte, die den Böden im Sadobecken Wasser und Stoffe (z. B. Ba) aus dem angrenzenden Alto Alentejo zuführte. So können sowohl die Intensität der Verkieselung und die Silcrete-Mächtigkeit im

Sadobecken erklärt werden, wie auch die in den Zementierungen enthaltenen Begleitelemente.

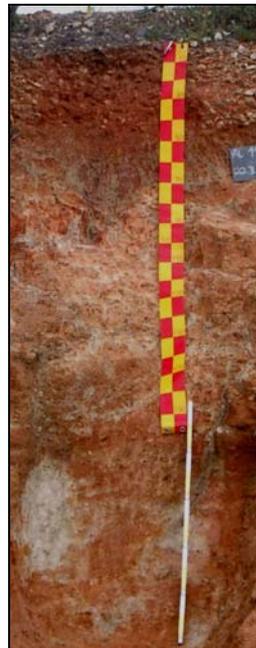
Die Staunässemerkmale, die in allen untersuchten Böden des Sadobeckens auftreten (Abb. 4) sowie gelegentlich beobachteter Wasseraustritt aus Profilwänden weisen darauf hin, dass der laterale Wasser- und Stofftransport als Interflow stattfand. Es ist zwar anzunehmen, dass die Hydromorphiemerkmale größtenteils bereits vor der Verkieselung entstanden (in einer Phase, die feuchter war als die wahrscheinlich eher wechselfeuchte Phase der Verkieselung); dennoch muss davon ausgegangen werden, dass erhebliche Staunässe (wahrscheinlich nur in den feuchteren Wintermonaten) auch zur Zeit der Verkieselung auftrat, da auch Mangan in die Kieselsäurematrix eingeschlossen ist.



Profil AL-6.6: Bathialic Bathi-duric Cambisol (Bathiferric)



Profil AL-8.7: Bathiduric Alisol (Endoferric)



Profil AL-11.8: Alic Durisol (Endoferric)



Profil Canal: Alic Durisol (Endoferric)

Abb. 4: Die untersuchten Bodenprofile mit Silcretes im Sado-Becken, von links nach rechts mit zunehmender Entfernung zum Alto Alentejo.

Dies bedeutet, dass die Bedingungen während der Verkiezelung zumindest zeitweise genügend nass waren, um Manganmobilisierung zu ermöglichen. Zusätzlich zu den pedogenen Silcretes, die etwa zwischen 50 und 200 cm Tiefe entwickelt sind und offensichtlich über Interflow laterale Kieselsäurezufuhr erhalten haben, sind in einer Sandgrube am Stausee von Odivelas in größerer Tiefe auch Grundwassersilcretes aufgeschlossen. Möglicherweise hat die laterale Kieselsäurezufuhr vom Alto Alentejo ins Sado-Becken also in zwei Stockwerken, einem Interflow- und einem Grundwasserstockwerk, stattgefunden.

Die unter dem Polarisationsmikroskop beobachtete Dominanz mikrokristalliner Kieselsäure gegenüber amorpher Kieselsäure weist darauf hin, dass die Hauptphase der Kieselsäureanreicherung im Sado-Becken im Pliozän – Pleistozän lag, während rezent nur in sehr geringem Ausmaß Anreicherung stattfindet (Sauer et al., 2009). Ein Grund hierfür liegt neben veränderten klimatischen Voraussetzungen wahrscheinlich darin, dass sich im Pleistozän kleinere Bachläufe in das weite, ebene Becken einschneiden und dadurch die lateralen Transportwege der Kieselsäure aus dem Alto Alentejo ins Becken unterbrechen.

Sekundärer Quarz und Chalcedon sind ebenfalls selten. Offenbar war der Zeitraum seit der Bildung der Silcretes nicht ausreichend zur Umkristallisation der kryptokristallinen Kieselsäure in (mikro)kristalline Formen wie Chalcedon und Quarz.

## Danksagung

Unser Dank gilt der DFG für die Förderung (STA 146/45-2) sowie Christoph Eisenbeiss, Detlev Frobel, Sarah Kullmann, Beate Podtschaske und Widar Rabus für ihre Arbeit im Gelände und im Labor.

## Literatur

- DeMaster D.J., 1981. The supply and accumulation of silica in the marine environments. *Geochim. Cosmochim. Acta*: 1715–1732.
- Sauer, D., L. Saccone, D.J. Conley, L. Herrmann & M. Sommer, 2006. Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry*, Vol. 80, 1: 89 – 108.
- Sauer, D., Stein, C., Zarei, M., Stahr, K., 2009. Mikromorphologie verschiedener Kieselsäurephasen in Böden im Alentejo (Süd-Portugal). Gemeinsame Tagung der Kommissionen II und VII der DBG „Mineralogie und Chemismus der Oberflächen in Böden“, 19.-20.2.2009 in Hannover. Berichte der DBG, [www.dbg.de](http://www.dbg.de).