

## Landnutzungsspezifische, kleinräumige Variabilität von Bodeneigenschaften in einem Kopfeinzugsgebiet der Indischen West Ghats

Raphael Pinheiro Machado Rehm / Christoph Bail

Schlagworte: Boden, Bodeneigenschaften, Kopfeinzugsgebiet, West Ghats, Indien

### Problemstellung

Im Gegensatz zur Landnutzung, deren Veränderung aus Fernerkundungsdaten oder Sattelitenbildern erschlossen werden kann, sind Daten über die Variabilität der Böden bzw. Bodeneigenschaften und deren Abhängigkeit von den Landnutzungen in Indien kaum verfügbar (Venkatesh et al. 2011). Dies gilt gleichermaßen für physikalische, hydraulische und chemische Eigenschaften von Böden. Die Weltbodenkarte der FAO liefert für eine kleinräumige Untersuchung in einem Kopfeinzugsgebiet der Indischen West Ghats zu grobe Werte und macht eine Zuordnung von Bodenwerten für verschiedene Landnutzungen unmöglich. Um eine kleinräumige Änderung von Böden hinsichtlich einer Landnutzungsänderung nachvollziehen zu können, werden demnach landnutzungsspezifische Größen benötigt, die so nicht in aktuellen Karten zu finden sind.



Abb. 1: Kleineinzugsgebiet am Mulshi-Stausee bei Pune (Foto: Rehm 2016)

Kenntnisse über die bodenhydrologischen Eigenschaften geben wichtige Informationen über Größen wie Infiltrationskapazität und Wasserrückhaltung wieder. Sie helfen die Beziehung zwischen der Vegetation und der Bodenwasserdynamik sowie Effekte einer Landnutzungsänderung auf den Bodenwasserhaushalt zu verstehen (Fiener et al. 2011). Darüber hinaus ist gerade bei großen Hangneigungen die enge Kopplung zwischen Infiltration, Oberflächenabfluss und Erosion von Bedeutung für die potentielle Degradierung von Böden. Die Textur und das Porenvolumen spielen hierbei eine Schlüsselrolle und entscheiden über das Abflussverhalten unter gesättigten bzw. ungesättigten Verhältnissen (Bronstert & Plate 1997). Unter Mon-

sun-Klima mit starken Niederschlägen und hohen Evaporationsraten könnten Landnutzungsänderungen entscheidende Einflüsse auf die hydrologischen Eigenschaften von Böden und zudem deren Speicher an organischen Bodenkohlenstoff haben. Ziel der hier vorgestellten Studie ist die Identifikation und Bewertung der kleinräumigen und landnutzungsspezifischen Variabilität von Böden in einem Kleineinzugsgebiet der West Ghats ca. 60 km westlich von Pune. Von besonderem Interesse sind dabei bodenphysikalische und -hydraulische Eigenschaften sowie der organische Kohlenstoffgehalt der Böden. Durch die Datenerhebung sollen mögliche Veränderungen durch eine Landnutzungsänderung nachgewiesen werden.

### West Ghats, Indien

Die West Ghats bilden einen Gebirgszug entlang der indischen Westküste und erstrecken sich von der Grenze der beiden Bundesstaaten Gujarat und Maharashtra über 1.600 km bis nach Tamil Nadu. Sie liegen im Bereich des Westmonsuns (Juni bis September) mit Niederschlägen bis zu 3.000 mm und haben daher eine große Bedeutung für den Wasserhaushalt der Flüsse auf dem indischen Subkontinent (Wagner et al. 2013). Als Quellgebiet sind sie wichtig für die Wasser- und Energieversorgung und bieten gleichzeitig durch Wasserrückhaltung einen effektiven Hochwasserschutz. Das Gebirge stellt zudem einen Biodiversität-Hotspot mit einer z.T. endemischen Flora und Fauna dar und enthält Lebensräume für indigene Gesellschaften (Bhagwat et al. 2005; Kumar & Devi 2013).

Vor allem in der Nähe großer Agglomerationen weicht die natürliche Waldnutzung und die landwirtschaftliche Subsistenznutzung zunehmend der touristischen Nutzung, mit entsprechender Bebauung und Infrastruktur. Im Untersuchungsgebiet dieser Studie nahe den Ballungsräumen von Mumbai und Pune in den nördlichen West Ghats (Abb. 1) führt das in manchen Bereichen bereits zu substantiellen Veränderungen der bisherigen Landnutzung und damit einhergehend der Böden. Ein relativ extremes Beispiel in der unmittelbaren Umgebung des Untersuchungsgebiets ist die am Nordufer des Mulshi-Stausees gelegene „Aamby Valley City“ ([www.aambyvalleycity.com](http://www.aambyvalleycity.com)). Der Bau der 42 km<sup>2</sup> umfassenden Kleinstadt wurde durch Privatunternehmen finanziert. Sie besitzt eine eigens angelegte Zufahrtstraße und einen privaten Flugplatz mit direkter Flugverbindung nach Mumbai.

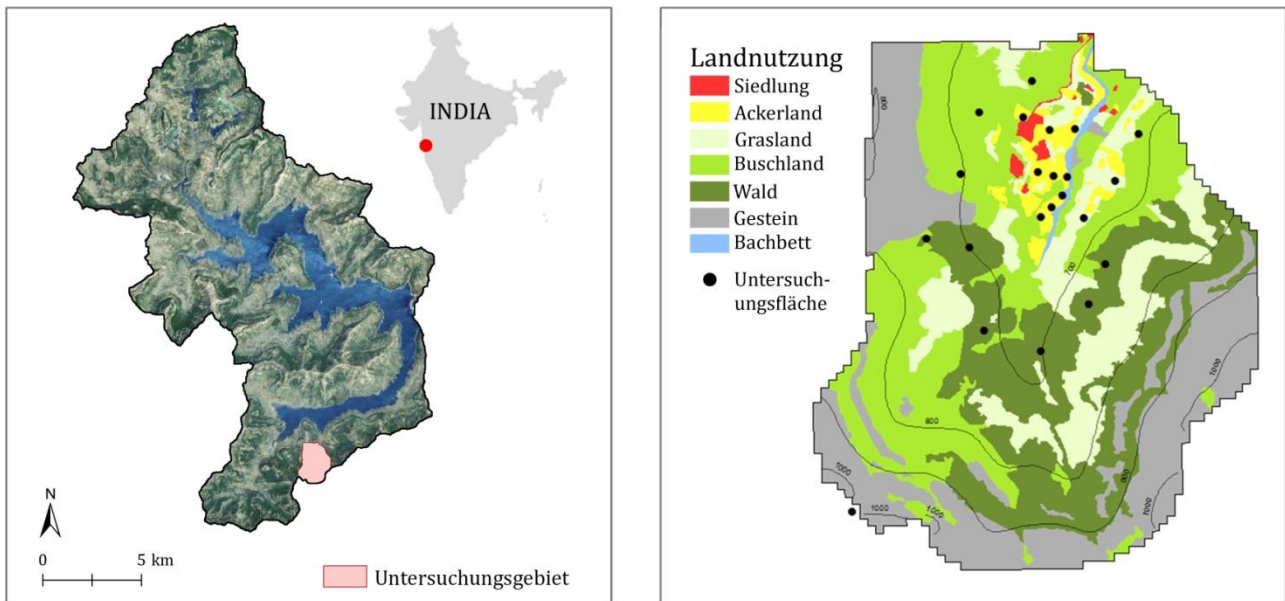


Abb. 2: Lage (links) und Verteilung der Landnutzung (rechts) im Untersuchungsgebiet südlich des Mulshi-Stausees (Quelle: Eigene Abb.; Luftbild ESRI Basemap)

### Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurde ein ca. 200 ha großes, Kopfeinzugsgebiet südlich des Mulshi-Stausees gewählt (Abb. 2). Das Einzugsgebiet wird von steilen Bergflanken begrenzt und entwässert über einen flachen Talbereich in den Stausee. Dieser wird in erster Linie für die Energiegewinnung von Mumbai genutzt und versorgt zusätzlich weitreichende Bewässerungssysteme. Durch den Einfluss des Monsun-Klimas erreichen die jährlichen Niederschläge am Mulshi-Stausee etwa 2.500 mm und es herrscht eine Jahresdurchschnittstemperatur von 22,8 °C. Der ländliche Raum mit extensivem Reisbau wird vorwiegend von indigenen Bevölkerungsgruppen der Dhangar und Katkari Tribes bewohnt (Gadgil & Vartak 1976). Bei der Verteilung der Landnutzung im Untersuchungsgebiet wird der Großteil der Fläche von natürlichem Wald (32%) sowie Busch- (42%) und Grasland (20%) eingenommen (Abb. 2). Im flachen Talbereich zentriert sich der Siedlungsbereich (1%) mit den landwirtschaftlich genutzten Flächen und den terrassierten Reisfeldern (4%).

### Methoden

Im Rahmen eines dreimonatigen Feldaufenthalts in Zusammenarbeit mit dem Indo-German Centre for Sustainability (IGCS) Chennai wurden im Einzugsgebiet 24 Untersuchungsflächen auf den dominanten Landnutzungen (Wald, Brache, Ackerland und Grünland) angelegt und an jeweils fünf Punkten in drei Bodentiefen (0-30 cm; 30-60 cm; 60-90 cm) beprobt. Von über 230 Bodenproben wurden im Labor die Textur, der Steingehalt sowie der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt analysiert. Zudem wurde auf jeder untersuchten Fläche eine Oberbodenprobe (10 cm) mit einem Stechzylinder entnommen. Durch das bekannte Volumen konnten die Lagerungsdichte und das Porenvolumen des Oberbodens bestimmt werden.

Als direkte hydrologische Messung wurden auf allen Untersuchungsflächen zwei Doppelring-Infiltrometer-Messungen zur Bestimmung der Wasserinfiltration der Böden durchgeführt. Die Ringe wurden zu einem Teil in den Boden eingebracht und mit Wasser gefüllt, wonach die Infiltrationsrate, mit der das Wasser in den Boden sickert, bestimmt werden konnte.

### Ergebnisse

Für die physikalischen und hydrologisch relevanten Eigenschaften von Böden ist deren Textur ausschlaggebend. Ein hoher Skelettbodengehalt (> 2 mm) spricht für eine hohe Infiltration. Für die Landnutzungen Acker, Grasland und Wald wurde ein einheitlicher Steingehalt von ca. 10% ermittelt, lediglich beim Buschland lag dieser mit 5% niedriger. Bei der Verteilung des Feinbodens (< 2 mm) hoben sich die Ackerböden mit einem hohen Sandanteil von bis zu 20% von den anderen Landnutzungen mit rund 10% ab. Buschland und Wald weisen mit 87 bis 92% den höchsten Schluff- und Tongehalt aller Landnutzungen auf. Gleichzeitig wiesen sie durch Aggregation der Tonpartikel (Pseudosand) den höchsten Porengehalt von über 60% auf (Bremer 2010; Bremer & Sander 2011).

Die hydrologischen Messungen mit dem Doppelringinfiltrometer ergaben die höchste Infiltrationskapazität bis Sättigungszustand von über 200 mm h<sup>-1</sup> für Wald, gefolgt von Buschland mit etwa 140 mm h<sup>-1</sup>. Grasland und Acker erreichten nicht mehr als 100 mm h<sup>-1</sup>. Diese Größe ist vor allem für die ersten Monsunniederschläge entscheidend. Können diese vom Boden nicht aufgenommen werden, ist durch den entstehenden Oberflächenabfluss auf den trockenen und unbedeckten Böden mit großen Erosionsraten zu rechnen. Auch bei gesättigter Leitfähigkeit weisen Waldböden die höchsten Werte auf, jedoch sind die Infiltrationsraten der

Ackerböden mit knapp über  $50 \text{ mm h}^{-1}$  deutlich höher als unter Busch- und Graslandböden mit ca.  $30 \text{ mm h}^{-1}$ .

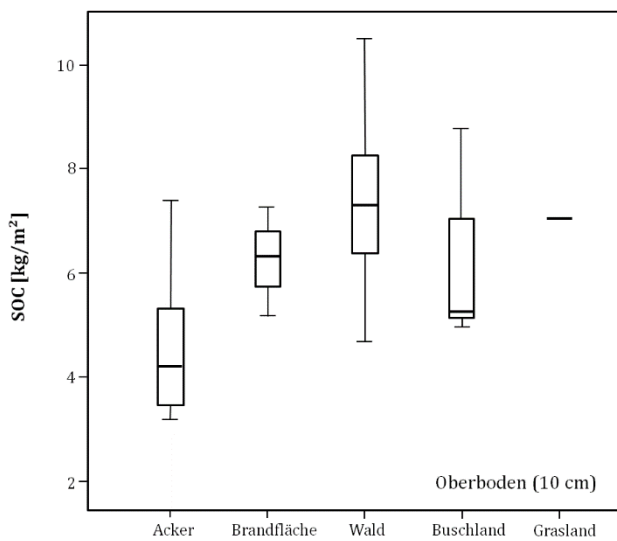


Abb. 3: Landnutzungsspezifische SOC-Mengen im Oberboden; die Box-Plots zeigen den Median, das 1. und 3. Quartil sowie die Minimal- und Maximalwerte an. (Quelle: Eigene Abb.)

Für den Speicher an organischem Bodenkohlenstoff (SOC) konnten landnutzungsspezifische Unterschiede festgestellt werden (Abb. 3). Die größten SOC Mengen des Oberbodens waren unter Wald und Grasland mit Medianwerten von über  $7 \text{ kg SOC m}^{-2}$  zu finden. Der hohe Wert unter Grasland ist allerdings dem Wurzelfilz geschuldet und würde bei einer tieferen Beprobung, relativ gesehen, vermutlich geringer ausfallen. Bei den brandgerodeten Waldflächen lässt sich bereits eine deutliche SOC-Abnahme erkennen. Buschland weist einen Medianwert von  $5,5 \text{ kg SOC m}^{-2}$  auf, während die Ackerflächen mit knapp über  $4 \text{ kg SOC m}^{-2}$  die niedrigsten Kohlenstoffgehalte besitzen.

Studien zeigten, dass eine Degradation der Wälder im Gebiet der nördlichen West Ghats zu erhöhtem Abfluss aus den Kopfeinzugsgebieten führt (Bonell et al. 2010; Ruiz et al. 2010). Das lässt sich nicht nur auf die Veränderung der Vegetation zurückführen, sondern auch auf veränderte hydrologischen Eigenschaften der Böden (Krishnaswamy et al. 2012).

Erste Datenauswertungen bestätigen die abnehmende Speicherfähigkeit für organische Substanz und ein sinkendes Wasserrückhaltevermögen nach einer erfolgten Änderung der Landnutzung. Es zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Lagerungs-

dichte, dem Steingehalt und der Infiltrationskapazität zwischen den einzelnen Landnutzungen und Landschaftspositionen der Untersuchungsflächen. Zudem konnten landnutzungsspezifische Unterschiede der kleinräumigen Variabilität von Bodeneigenschaften festgestellt werden. Beides spielt u.a. für hydrologische Modellierungen aber auch für die Abschätzung zur Kohlenstoffspeicherung in den Böden eine entscheidende Rolle.

### Fazit

Durch die Abnahme der Infiltrationskapazität kommt es zu extremeren Oberflächenabflussereignissen und die verringerte Infiltration und Perkolations führen zu einer Verkürzung der Phase mit Basisabfluss in den Bächen des Untersuchungsgebiets. Eine Zunahme des Oberflächenabflusses v.a. zu Beginn des Monsuns, wenn die Böden nur eingeschränkt durch eine Pflanzendecke geschützt sind, führt zudem zu verstärkter Bodenerosion. Diese verstärkt die Bodendegradation und führt zu fortschreitendem Volumenverlust des Sees. Davon ist nicht allein der Mulshi-Stausee betroffen. Im Bundesstaat Maharashtra sind über 1.800 Staudämme mit einer Stauhöhe von über  $10 \text{ m}$  registriert und in den West Ghats positioniert (DSO 2017).

Auch wenn die Veränderung bisher noch nicht sehr ausgeprägt ist, lassen sich durch die Entwicklung der letzten zehn Jahre in den Kleineinzugsgebieten rund um den Mulshi-Stausee erste Trends einer Landnutzungsentwicklung erkennen. Benachbarte Kopfeinzugsgebiete besitzen eine ausgebaute touristisch genutzte Infrastruktur und können für eine Prognose als mögliches Zukunftsszenario für das Untersuchungsgebiet angesehen werden. So weisen diese Gebiete deutlich weniger Flächen an natürlichem Wald, aber auch weniger landwirtschaftlich genutzte Flächen als das Untersuchungsgebiet auf. Der Anteil an Siedlungsfläche und Buschland nahm dagegen zu. Überträgt man diese Landnutzungsverteilung auf die Fläche des Untersuchungsgebiets, ergäbe sich beispielsweise ein durchschnittlicher Verlust von  $0,4 \text{ kg SOC m}^{-2}$ . Für das  $200 \text{ ha}$  große Kopfeinzugsgebiet würde dies einen Gesamtverlust von rund  $826 \text{ Tonnen}$  an organischem Bodenkohlenstoff innerhalb weniger Jahre bedeuten. Die Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss lassen sich aus den Bodendaten alleine jedoch nicht ableiten, sondern würden die Berücksichtigung der veränderten Bodeneigenschaften in komplexen hydrologischen Modellen erfordern.

**Literaturverzeichnis**

Bhagwat, S. A., Kushalappa, C. G., Williams, P. H. & Brown, N. D. (2005): A Landscape Approach to Biodiversity Conservation of Sacred Groves in the Western-Ghats of India. In: *Conservation Biology* 19(6): 1853-1862.

Bonell, M., Purandara, B. K., Vankatesh, B., Krishnaswamy, J., Acharya, H. A. K., Singh, U. V., Jayakumar, R. & Chappell, N. (2010): The Impact of Forest Use and Reforestation on Soil Hydraulic Conductivity in the Western-Ghats of India: Implications for Surface and Sub-surface Hydrology. In: *Journal of Hydrology* 391(1-2): 47 - 62.

Bremer, H. (2010): Geoecology in the Tropics with a Database on Micromorphology and Geomorphology. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 54(1).

Bremer, H. & Sander, H. (2011): Clays – a Tool for Tropical Geomorphology. In: *Zeitschrift für Geomorphologie* 55(1): 95-107.

Bronstert, A. & Plate, E. J. (1997): Modelling of Runoff Generation and Soil Moisture Dynamics for Hillslopes and Microcatchments. In: *Journal of Hydrology* 198(1-4): 177-195.

Gadgil, M. & Vartak, V. D. (1976): The Sacred Groves of Western-Ghats in India. In: *Economic Botany* 30(2): 152-160.

DSO (Dam Safety Organisation) (2017): National Register of Large Dams 2017. New Delhi. [http://www.cwc.nic.in/main/downloads/NRLD\\_04\\_012017.pdf](http://www.cwc.nic.in/main/downloads/NRLD_04_012017.pdf) (19.03.2017).

Fiener, P., Auerswald, K. & Van Oost, K. (2011): Spatio-temporal Patterns in Land Use and Management Affecting Surface Runoff Response of Agricultural Catchments - a Review. In: *Earth-Science Reviews* 106(1-2): 92-104.

Hakkim, V. M. A., Nandakumar, V. & Sajeena, S. (2004): Runoff Variation due to Land Use Change in Small Watersheds of Western-Ghats. In: *Journal of Soil and Water Conservation in India*, 3(3&4): 99-105.

Krishnaswamy, J., Bonell, M., Venkatesh, B., Purandara, B. K., Lele, S., Kiran, M. C., Reddy, V., Badiger, S. & Rakesh, K. N. (2012): The Rain-runoff Response of Tropical Humid Forest Ecosystems to Use and Reforestation in the Western-Ghats of India. In: *Journal of Hydrology* 472-473: 216-237.

Kumar, R. & Devi, K. R. (2013): Conservation of Freshwater Habitats and Fishes in the Western-Ghats of India. In: *International Zoo Yearbook* 47(1): 71-80.

Ruiz, L., Varma, M. R. R., Kumar, M. S. M., Sekhar, M., Maréchal, J.-C., Descloitres, M., Riotte, J., Kumar, S., Kumar, C. & Braun, J. J. (2010): Water Balance Modelling in a Tropical Watershed under Deciduous Forest (MuleHole, India): Regolith Matrix Storage Buffers the Groundwater Recharge Process. In: *Journal of Hydrology* 380(3-4): 460-472.

Venkatesh, B., Lakshman, N., Purandara, B. K. & Reddy V. B. (2011): Analysis of Observed Soil Moisture Patterns under Different Land Covers in Western Ghats, India. In: *Journal of Hydrology* 397(3-4): 281-294.

Wagner, P. D., Kumar, S. & Schneider K. (2013): An Assessment of Land Use Change Impacts on the Water Resources of the Mula and Mutha Rivers Catchment Upstream of Pune, India. In: *Hydrology and Earth System Science* 17(6): 2233-2246.

**Danksagung**

Besonderer Dank gilt dem Indo-German Centre for Sustainability am IIT Chennai für die finanzielle Förderung unserer Feldarbeiten in Indien. Besonderer persönlicher Dank gilt Prof. M.S. Bhallamudi (IIT Madras), Prof. B.S. Murty (IIT Madras), Prof. S. Kumar (BEVIER Pune), Prof. Dr. E. Bharucha (BEVIER Pune) und Prof. Dr. P. Fiener (Universität Augsburg) für die logistische Unterstützung und die vielen anregenden Diskussionen. Weiterer persönlicher Dank gilt den Doktoranden S. Kumar T (IIT Madras) und S. Travedi (BEVIER Pune) für ihre Freundschaft und tatkräftige Unterstützung, sowie den Einheimischen des Untersuchungsgebietes für ihre Gastfreundschaft und Mithilfe.

**Kontakt**

Raphael Pinheiro Machado Rehm (B.Sc.)  
Christoph Bail (B.Sc.)  
Institut für Geographie, Arbeitsgruppe Wasser- und Bodenressourcenforschung, Prof. Fiener  
Universität Augsburg  
Alter Postweg, 118, 86159, Augsburg  
raphael.rehm@student.uni-augsburg.de  
christoph.bail@student.uni-augsburg.de