

## Küstenmetropolen senken sich teils massiv

03.03.2020 | [Originalartikel](#)

**Die Schwemmböden des Küstenflachlands halten der Grundwassernutzung kaum stand. Doch dies ist nur ein Grund.**



Grosse Teile der chinesischen Küstenmetropole Shanghai senken sich. (Foto: imago/Jan Huebner)

Vor einem Jahr um diese Zeit gab es noch Gebiete in Jakarta, die 15 cm höher lagen und auch in diesem Jahr wird der Boden in den indonesischen Metropolen weiter sinken. Woran liegt das, was sind die Gründe? Eine der wichtigsten Ursachen für die kontinuierliche Bodenabsenkung liegt im enormen Abpumpen von Grundwasser. Ändern sich durch menschliche Eingriffe die Druckverhältnisse im Untergrund, kann sich der Boden fast unbemerkt absenken. Oder aber auch ganz schnell – in extremen Fällen bis zu 30 cm pro Jahr. Davon sind vor allem Mega-Cities betroffen, die in Flussdeltas oder im Küstenflachland liegen. Die Gefahr eines ansteigenden Meeresspiegels ist vielen Menschen schon bekannt. Doch die lokale Absenkung des Bodens könnte sich jedoch wesentlich bedrohlichere Szenario ergeben. Denn nicht nur das Überflutungsrisiko steigt.

Nahezu 10 Prozent der Weltbevölkerung lebt in tiefliegenden Küstenregionen, gerade mal maximal 10 Meter über dem mittleren Meeresspiegel. Riesige Flussdeltas sind klassische Siedlungsgebiete für Menschen. Dort finden sich Schwemmböden (Alluvialböden), die permanent mit nährstoffreichen Sedimenten aus dem Flusseinzugsgebiet versorgt werden. Traditionell sind die fruchtbaren Böden Vorzugsgebiete für die Landwirtschaft und vermeintlich prädestiniert, eine hohe Anzahl von Menschen ökonomisch zu stützen. In Asien liegen besonders viele Megastädte in niedrigen Küstengebieten oder an Deltas. Doch auf Schwemmböden sind Bodenabsenkungen nicht Ausnahme, sondern die Regel. Bislang wird dieser Umstand von einigen Grossstädten sträflich gemanagt. Es ist bekannt, dass es in diesen Gebieten zu langsamen Bewegungen und Deformationen des Bodens kommt. Sie reagieren auf mechanischen Stress. Unter natürlichen Bedingungen werden die

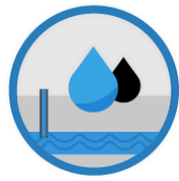
Schwemmböden allmählich durch die immensen Mengen an Sedimenten zusammengedrückt bzw. zum Teil tektonisch gesenkt (aber auch gehoben). Ohne grosse Deiche oder Staudämme im Flussverlauf werden die Absenkungen zum Grossteil durch die Unmengen angeschwemmter Sedimente aus dem Flussmittellauf ausgeglichen. Bis zu 16 Kilometer dick ist beispielsweise die Sedimentschicht am Ganges–Brahmaputra-Flusssystem. Natürliche geringfügige Absenkungen durch die Sedimentlast erfolgen eher gleichförmig über ein grosses Gebiet verteilt. Dies geschieht teils im Wechselspiel mit Gebirgen, wie dem Himalaya im Ganges-Brahmaputra-Delta. Im Schnitt liegen diese natürlichen Bodenabsenkungen bei unverfestigten Sedimenten bei weniger als einem Zentimeter pro Jahr. Doch inzwischen haben sich allein in diesem Delta mit Kalkutta und Dhaka gigantische Ballungszentren mehr als 28 Millionen Einwohnern herausgebildet und die Absenkung des Bodens durch Grundwasserentnahme ist meist wesentlich höher, kann bis 20 - 30cm Jahr betragen.

Städte sind meist an Stellen zu finden, wo sich diese Sedimentschichten seit Jahrtausenden konsolidiert haben. Mit der Entstehung der gigantischen Metropolen an Küstendeltas und im Küstenflachland sollte dieser ursprünglich extrem dynamische Naturraum nun beherrschbar werden. Es kam zu Flusslaufverlegungen- und begradigungen, Dämme und Deiche wurden gebaut. Die Folge: Durch die Eingriffe kommt heute an den vielen Orten weniger Wasser am unteren Flusslauf an. Salziges Meerwasser drückt daraufhin ins Inland und die Städter werden gezwungen, immer tiefer im Untergrund nach Süsswasser zu pumpen. Durch die Grundwasserentnahme sanken und sinken Städte heute noch in unterschiedlichen Geschwindigkeiten lokal ab. Doch es gibt weitere Ursachen. Die unverfestigten Böden werden durch das schiere Gewicht von Gebäuden zusammengepresst, denn das Wasser in den Porenräumen dieser Böden kann verdrängt werden.

Inwieweit eine grundwasserführende Schicht, der Aquifer, in Folge von Grundwasserentnahmen nachgibt lässt sich besonders gut mit Daten der Radarinterferometrie (InSAR) messen. Diese satellitenbasierte Methode liefert Höhenmodelle mit einzigartiger Genauigkeit. Mit der Überlagerung von exakt gleichzeitig erstellten Radarbilderpaaren (Interferogrammen), können in der Auswertung Karten gefertigt werden, die Aussagen zu Landabsenkungen im Millimeterbereich und bei guten Bedingungen, sogar als Bruchteile von Millimetern, zulassen. Unerlässlich ist ein gutes Monitoring, denn wird ein Aquifer-System zusammengepresst, ist dieser Prozess im Wesentlichen irreversibel.

## Landabsenkung

Vom Menschen verursacht



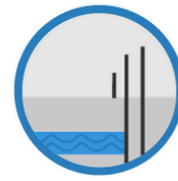
Entnahme von  
Grundwasser/Erdöl



Gewicht von  
Gebäuden



Vibration + Verdichtung  
durch Verkehr



unterirdische  
Infrastruktur



Deichbau verhindert  
Sedimentablagerung

Grafik: eskp.de/CC BY

Prozesse, die zur Landabsenkung führen. (Grafik: eskp.de, Lizenz: CC BY 4.0)

### **Shanghai: ein unterirdischer Bau-Dschungel**

Bemerkenswert ist: In einigen Mega-Agglomerationen wie in Hong-Kong oder Shanghai wird die Netto-Entnahmerate von Grundwasser inzwischen gut gesteuert. Im Zentrum der 27 Millionen Einwohner Metropolregion Shanghai im Mündungsgebiet des Jangtse ist sie sogar seit den 1980er-Jahren konstant. Doch auch hier setzt sich der Trend zur Bodenabsenkung fort. In den 1990er-Jahren wurden viele Arbeiten im Untergrund in einer einzigen Grundwasserschicht durchgeführt, die als Multi-Aquifer-Aquitard System (MAAS) bezeichnet wird. Aquifere führen das Grundwasser, Aquitarde sind schwach durchlässig für Grundwasser. Neue und alte Wasser- oder Gasleitungen, elektrische Kabel, Tunnel für Metrolinien aber auch die unzähligen Fundamente für neue Hochhäuser beeinflussen den natürlichen Grundwasserfluss. Die trennenden Effekte in grundwasserführenden Schichten sind ein wesentlicher Grund für das erneute Absinken des Grundwasserspiegels, welcher dann zu Bodenabsenkungen führt.

Aber Grundwasser entweicht auch ungewollt. Es sickert beispielsweise langsam in Tunnelsysteme und geht dadurch dem natürlichen Kreislauf verloren. Oberirdisch drückt zudem die immense Auflast der Gebäude auf die Böden und verfestigt sie. Der Verkehr erzeugt Vibrationen, die diesen Effekt verstärken können. Heute wird relativ deutlich sichtbar, dass seit den 1990er-Jahren vor allem Untergrundstrukturen mit all ihren Folgen für den Grundwasserfluss das bedenkliche Absinken der Grosstadt Shanghai verursachen – und nicht die Netto-Grundwasserentnahmerate. Die unsachgemäße Entnahme von Grundwasser bleibt jedoch in anderen Ballungszentren an Chinas Küsten nach wie vor der Hauptgrund für die Absenkung urbaner Gebiete. Über 90 Städte sind in China betroffen, darunter auch die Megastädte Tianjin und Jiangsu.

Die Aussichten bis zum Ende des Jahrhunderts sind insbesondere für Shanghai düster. Der Anstieg des Meeresspiegels wird für die Stadt momentan auf

43 cm geschätzt (?), während das Absinken des Bodens, je nach Management und Stadtentwicklung, 3 cm bis über 2 m betragen kann. Neotektonische Absenkungen könnten sich auf durchschnittlich bis 14 cm belaufen.

### **Bangkok braucht clevere Auswahl von Grundwasserentnahmestellen**

Die Landabsenkungsrate stand bis in die 1990iger-Jahre eindeutig mit der Extraktion von tiefem Grundwasser in der Millionenmetropole in Verbindung. Mehr als 4'500 Quadratkilometer senkten sich damals um mehr als 10 cm pro Jahr im Stadtzentrum und der umliegenden Region ab. Heute kommt die grosse Auflast der Gebäude hinzu, die Maximalraten in der Stadt liegen aktuell bei 2 cm pro Jahr. In den Jahren 1983 und 2011 gab es deshalb bereits besonders schwere Überflutungen. Bangkok ist ein gutes Lernbeispiel. So könnte die Beobachtung der zeitlich und räumlich unterschiedlichen Grundwassererneuerungsraten wichtige Management-Rückschlüsse zulassen.

### **Jakarta senkt sich lokal massiv**



Überflutung durch Bodenabsenkung in Jakarta  
(Foto: Tilo Schöne/GFZ)

Das Ausmass der Bodenabsenkung ist in dieser Metropole bedrohlich. Jakarta hält hier weltweit den Rekord. Allein für den Zeitraum 1982–1997 sind Gesamt-Bodensenkungen von 20 cm bis 2 m nachgewiesen. Einige Gebiete der Metropolregion Jakarta werden zukünftig sogar unter das mittlere Meeresniveau fallen. Eine übermässige Grundwasserentnahme bis Ende der 1980iger, eine ungünstige Auswahl von Wasserentnahmestellen, die Auflast von Gebäuden und nachgeordnet geotektonische Faktoren sind der Grund für diese bedenkliche Entwicklung. Der Anstieg des Meeresspiegels könnte, in Kombination mit der Absenkung, fatale Überflutungen nach sich ziehen. Für einen effektiven Abfluss wird nämlich der nötige topographische Gradient, d.h. das notwendige Gefälle, nicht mehr erreicht. Die Folgen der Landabsenkung in Jakarta zeigen sich an Gebäudeschäden, der Ausweitung von Überflutungsgebieten, dem sinkenden Grundwasserspiegel und einem Eindringen von Salzwasser in Grundwasserschichten.

Die Absenkung erfolgt räumlich und zeitlich variabel. An den meisten Messorten in Jakarta mit Raten von 1 bis 15 cm pro Jahr (1982–2010). Einige

Standorte verzeichneten sogar spektakuläre 20 bis 28 cm pro Jahr. Es gibt zwischen Bebauung und Landabsenkung einen klaren Zusammenhang, wobei das Phänomen in Jakarta eher lokal auftritt. Bemerkenswert ist der Zusammenhang zwischen Wasserspiegelabsenkung und Bodenabsenkung. Diese Tatsache stützt stark die Hypothese, dass sich der nördliche Küstenteil von Jakarta absenkt, weil insbesondere tiefes Grundwasser entnommen wird und dadurch der Wasserdruck abnimmt. Der Grundwasserstand lag 1910 bei 12,5 m über dem mittleren Meeresspiegel, in den 1970 Jahren erreichte der Wasserspiegel dann ungefähr das Meeresniveau, um dann in den 1990iger Jahren auf 30-50 m unter den Meeresspiegel zu sinken. Dramatische Veränderungen, die nicht ohne Folgen bleiben.

### **New Orleans: Landabsenkung war Grund für fehlenden Schutz vor Hurrikan**

In Folge eines Hurrikans, Betsy, im Jahre 1965 hatte New Orleans im Delta des Mississippi Deiche verstärkt und erhöht, um sich in der Zukunft gegen ähnlich dramatische Überflutungen zu schützen. Seit dieser Zeit jedoch senkte sich das Land im Mississippi Delta um mehr als 1 Meter ab. Das Phänomen war bekannt, aber die Gründe schlecht untersucht. Fatal war jedoch die fehlende Schlussfolgerung, dass die Deiche unter diesen Umständen nicht mehr Schutz vor den verheerenden Fluten eines Hurrikans wie Kathrina bieten konnten, der 2005 annähernd 80 Prozent des Stadtgebiets von New Orleans überflutete.

Santa Clara Valley (Silicon Valley), Mekong Delta, Manila, Taiwan's Küsten, Tokyo, Rotterdam, St. Petersburg, Peking - die Liste betroffener Regionen und Städte lässt sich lange fortsetzen. Dem Bauboom an Küsten müssen effektive Management-Initiativen gegenüberstehen. Für einige Grossstädte, wie z.B. Bangkok oder Jakarta wäre immer noch ein räumlich gut durchdachtes Wassermanagement die erste Massnahme: regionales statt lokales Wassermanagement, eingebunden in langfristige Strategien. Es gibt Versuche, Küstenstädte kurzfristig zu stabilisieren. Früher wurde beispielsweise das Grundwasser in Shanghai künstlich nachgefüllt, um die Landabsenkung zu begrenzen. In Bangkok gibt es Hinweise, dass die gute Auswahl von Grundwasserentnahmestellen zumindest die schnelle Grundwassererneuerung begünstigt.

## Quellenangaben

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y.E., Deguchi, T. (2011): *Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. Natural Hazards* 59. pp 1753-1771. [Link](#)
- Abidin, H.Z., Djaja, R., Darmawan, D., Hadi, S., Akbar, A., Rajiyowiryono, H., Sudibyo, Y., Meilano, I., Kasuma, M. A. , Kahar, J., Subarya, C. (2001): *Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic Monitoring System. Natural Hazards* 23(2-3). pp 365-387. [Link](#)
- Brown, S., Nicholls, R. J. (2015): *Subsidence and human influences in mega deltas: The case of the Ganges–Brahmaputra–Meghna. Science of the Total Environment* 527-528. pp 362-374. [Link](#)
- Budiyo, Y., Aerts, J. C. J. H., Tollenaar, D., Philip, J. W. (2016): *River flood risk in Jakarta under scenarios of future change. Natural Hazards and Earth System Sciences* 16(3). pp 757-774. [Link](#)
- Hasanuddin, Z. et al. (2007): *Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys. GPS Solutions* 12(1). pp 23-32. [Link](#)
- Ingebritsen, S. E., Galloway, D. L. (2014): *Coastal subsidence and relative sea level rise . Environmental Research Letters* 9(9): 091002. pp 1-4. [Link](#)
- Kim, J.-W., Lu, Z., Jia, Y., Shum, C.K. (2015): *Ground subsidence in Tucson, Arizona, monitored by time-series analysis using multi-sensor InSAR datasets from 1993 to 2011. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 107. pp 126–141. [Link](#)
- Milliman, J. D., Haq, B. U. (Eds.) (1996): *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.*
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghghi, M.H., Wetzell, H.-U., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., Arabi, S. (2017): *Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan Plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. Engineering Geology* 218. pp 134-151. [Link](#)

**Text:** Jana Kandarr (ESKP), fachliche Durchsicht Dr. Mahdi Motagh



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen: [eskp.de](https://www.eskp.de) | CC BY 4.0  
[eskp.de](https://www.eskp.de) | Earth System Knowledge Platform – die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft