

Tagungsbeitrag zu:  
Jahrestagung der DBG – Kommission V  
Titel der Tagung:  
Böden – eine endliche Ressource  
Veranstalter: DBG, September 2009, Bonn  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation) - <http://www.dbges.de>

## **GIS-gestützte Risikobewertung der Bodeneignung für die Bewässerung mit Abwässern in Israel und dem Westjordanland**

Schacht, K.<sup>1</sup>, Gönster, S.<sup>2</sup>, Jüscke, E.<sup>1</sup>,  
Marschner, B.<sup>1</sup>

**Schlüsselwörter:** *Risikobewertung, Bodeneignung, Bewässerung, Abwasser, Israel, Westjordanland*

### **Einleitung**

Im Nahen Osten, einer Region mit einer der niedrigsten Wasserverfügbarkeiten weltweit, führt stetig wachsender Wasserbedarf zu politischen, sozioökonomischen und ökologischen Problemen. Daraus ergibt sich die zunehmende Notwendigkeit der Wasserwiederverwendung und Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen mit Abwässern, ein Verfahren, welches in Israel seit Jahrzehnten Anwendung findet. Diese Praxis birgt eine Vielzahl von Risiken für die nachhaltige Landnutzung und Landwirtschaft, da Versalzung, Verschlammung und Belastung der Böden mit organischen und anorganischen Schadstoffen die Folgen sein können.

Die Forschungsgruppe Abwassermanagement im BMBF-geförderten multilateralen Projektverbund GLOWA Jordan River untersucht unter Federführung der Ruhr-Universität Bochum mittels Geographischer Informationssysteme (GIS) und Vor-Ort-Untersuchungen die Bodenverhältnisse und Bodeneigenschaften im Einzugsgebiet des Jordans

(Israel, Jordanien & Westjordanland). Erstmals wurden auf überregionaler Ebene digitale Bodenkarten mit Bodenparametern verschnitten. Verschiedene Risiken mit vorwiegend landwirtschaftlicher Bedeutung wurden definiert. Anhand der jeweiligen Standortparameter wurden weitergehend mittels der Anwendung von Standardmethoden sowie eigens entwickelter Ableitungen spezifische bodenbezogene Eignungs- und Risikograde einer Bewässerung mit Abwässern ermittelt. Ziel ist vor dem Hintergrund des Klimawandels die optimale und schonende Nutzung der Ressourcen Boden und Wasser. Als Ergebnis der Forschungen sollen unter anderem digitale Kartenmaterialien und Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion bereitgestellt werden.

### **Datengrundlage**

Der Datenerhebung zugrunde liegt die digitalisierte *Soil Association Map of Israel* (DAN et al. 1972). Diese Karte umfasst das gesamte Staatsgebiet von Israel sowie die Golanhöhen, den Gazastreifen und das Westjordanland. Die *Soil Associations* sind definiert als „geographic associations of [...] soil units which are distributed in a landscape segment according to a definite pattern related to the physiographic, lithologic and microclimatic conditions“ (DAN et al. 1972). Der Maßstab der zugrunde liegenden Bodenkartierungen, welche vorwiegend in den 1950´er Jahren seitens des israelischen *Soil Surveys* durchgeführt wurden, betrug für Nordisrael 1:20.000, die Golanhöhen 1:50.000 und für Südisrael 1:100.000. Weitergehende kleinmaßstäbige Bodenkartenwerke sind für das Untersuchungsgebiet nicht verfügbar.

Mittels Literaturrecherchen (u. a. SINGER 2007) und verschiedener Expertengespräche vor Ort wurden den *Soil Associations* erstmals gemittelte Werte verschiedener Bodenparameter, verteilt auf zwei Tiefenstufen ( $\leq 30$  cm und  $> 30$  cm), zugewiesen. Diese Parameter umfassen Bodenart, pH-

<sup>1</sup> Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum  
E-Mail: karsten.schacht@rub.de

<sup>2</sup> Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften,  
Universität Kassel

Wert,  $C_{org}$ , Lagerungsdichte,  $CaCO_3$ , EC, KAK, und Profiltiefe. Aus diesen Parametern wurden nach AD-HOC-AG BODEN (2005) weitere Parameter abgeleitet (FK, TW, nFK, We, nFKWe,  $k_f$ ).

Zum Zeitpunkt der Bearbeitung lagen keine hinreichend genauen jordanischen Bodendaten vor, weswegen für Jordanien keine weitergehende Auswertung erfolgen konnte.

## Risikodefinitionen und Risikobewertung

In Zusammenarbeit mit den regionalen Projektpartnern erfolgte die Definition der zurzeit bedeutendsten landwirtschaftlichen Risiken im Zusammenhang mit Abwasserbewässerung (Tab. 1). Es wurden Kriterien festgelegt, anhand derer die Risiken bewertet werden können. Weitergehend wurden Methoden bestimmt bzw. entwickelt, mittels welcher die jeweiligen Kriterien im Zusammenhang mit mess- und bestimm- baren Parametern bewertet werden. Die Teilrisiken werden abschließend aggregiert und als Gesamtrisiko dargestellt.

Das Umweltrisiko hinsichtlich der Ausbringung von Abwässern ist hauptsächlich abhängig von den Bodeneigenschaften und der Abwasserqualität (FEIGIN et al. 1991), Die Abwasserqualität ist von den jeweiligen Wasserressourcen und den Behandlungstechniken abhängig und damit regional stark variabel. Hieraus ergibt sich bei über-regionaler Betrachtung die Notwendigkeit

einer von der Wasserqualität unabhängigen Bewertung, welche in diesem ersten Schritt über die Auswertung der verfügbaren Bodendaten erfolgt. Das Ergebnis der Bewertung ist der jeweilige Risikograd, welcher eingeteilt wird nach einer dreifachen Skala: 1 - geringes Risiko, 2 - mittleres Risiko und 3 - hohes Risiko. Umgekehrt ergeben sich hieraus die jeweiligen Eignungsklassen, eine Fläche mit niedrigem Risiko weist demnach eine hohe Eignung für die Bewässerung mit Abwässern auf.

### *Teilrisiko A: Mobilisierung anorganischer adsorbierbarer Schadstoffe*

Im Sinne einer Worst Case Bewertung ist beim Teilrisiko A die Bindungsstärke und Mobilisierung des Schwermetalls (SM) Cadmium im Boden nach BLUME & BRÜMMER 1991 und DVWK 1988 das zu bewertende Kriterium. Cd ist das erste SM, welches bei abfallenden pH-Werten im Boden mobilisiert wird. Die Bindung erfolgt hauptsächlich an Tonmineralen, Sesquioxiden und Humus. Da keine Angaben über Gehalte pedogener Oxide vorliegen, findet dieser Parameter keine Beachtung. Die Bewertung erfolgt für den Oberboden ( $\leq 30$  cm) und beinhaltet wegen der Vereinfachung keine Translokationsprozesse aufgrund von Komplexbildung sowie nicht die standörtliche Vorbelastung.

**Tabelle 1:** Übersicht der definierten Risiken, Kriterien und Methoden sowie der verwendeten Parameter

	Risiko	Kriterien	Methoden	Parameter
<b>A</b>	Mobilisierung anorganischer adsorbierbarer Schadstoffe	Bindungsstärke für anorganische adsorbierbare Schadstoffe (z.B. Schwermetalle)	BLUME & BRÜMMER 1991, DVWK 1988	Bodenart / Tongehalt, Humusgehalt, pH-Wert
<b>B</b>	Verschlämmung des Oberbodens	Verschlämmung des Oberbodens	AD-HOC-AG BODEN 2005, abgewandelt	Bodenart, Humusgehalt
<b>C</b>	Bodenversalzung	Bodenversalzung	eigene Methode	Bodenart, Lagerungsdichte, Horizonttiefe, Durchwurzelungstiefe, Profiltiefe, Feldkapazität, hydraulische Leitfähigkeit
<b>D</b>	Mobilisierung von Bor	Pufferkapazität für Bor	eigene Methode	Bodenart / Tongehalt, Humusgehalt, pH-Wert
<b>E</b>	Verlagerungspotential nichtsorbtierbarer Stoffe	Bindung nichtsorbtierbarer Stoffe (z.B. $NO_3^-$ )	DIN 19732	Bodenart, Lagerungsdichte, Durchwurzelungstiefe, Feldkapazität, Sickerrate

### *Teilrisiko B: Verschlämmung des Oberbodens*

Die Verschlämmungsneigung des Oberbodens ist vom Schluff- und Feinsandanteil des Bodens abhängig. Wichtig bei der Stabilisierung des Bodengefüges ist zudem die organische Bodensubstanz (LEVY 2000). Die Bewertung erfolgt nach AD-HOC AG BODEN (2005) anhand der Textur. Der ermittelte Risikograd wird nachfolgend in Abhängigkeit vom Humusgehalt modifiziert.

### *Teilrisiko C: Versalzung*

Bodenversalzung ist der Prozess der Anreicherung von Salzen in Böden oder Bodenhorizonten und wird begünstigt durch geringe Sickerraten und damit einhergehend geringer Auswaschung. Die Auswaschungsrate ist abhängig von der FK des Bodens. Bei gleicher Evapotranspirationsrate verliert ein sandiger Boden proportional mehr Wasser als ein toniger Boden, welches zu einer Erhöhung der Bodenlösungskonzentration führt. Gute Bewässerungsmethoden vorausgesetzt werden demzufolge sandige Böden häufiger bewässert, welches wiederum eine höhere Auswaschung des Bodens zur Folge haben kann (SHALHEVET 1994). Nach RHOADES et al. (1992) ist die Verhinderung von Salzakkumulation in feinkörnigen und gering wasserdurchlässigen Böden am schwierigsten. Je niedriger die FK ist, desto niedriger ist die Gefahr der Versalzung. Ebenfalls ist die Entwässerungsfähigkeit ein wichtiger Faktor, um die Abfuhr gelöster Salze zu beschreiben. Es wird angenommen, dass eine gute Entwässerungsfähigkeit besteht, wenn die gesättigte Wasserleitfähigkeit ( $k_f$ ) hoch ist. Weiterhin wird angenommen, dass ab einer Profiltiefe von einem Meter eine bessere Entwässerung gewährleistet ist.

Die Bewertung wird für die Tiefenstufe der We anhand einer Bewertungsmatrix mit den Parametern  $k_f$  und FKWe vorgenommen. Beeinflussungen durch Grundwasser und Bodenstruktur können mangels Datengrundlage nicht berücksichtigt werden.

Bei Profiltiefen < 1 m erfolgt ein Risikoaufschlag.

### *Teilrisiko D: Mobilisierung von Bor*

Bor ist ein wichtiger pflanzlicher Mikronährstoff, jedoch ist die Spanne zwischen Mangel und toxischer Konzentration kleiner als für alle anderen Nährelemente (GOLDBERG 1997). Boratverbindungen gelangen als Bestandteil von Bleich- und Desinfektionsmitteln in das Abwasser. Die Bindung von B im Boden wird maßgeblich bestimmt von pH-Wert, Ton- und Humusgehalt. Die Risikobewertung erfolgt über eine Bewertungsmatrix.

### *Teilrisiko E: Standörtliches Verlagerungspotential nichtsorbierbarer Stoffe*

Die Bestimmung des Verlagerungspotentials geschieht nach DIN 19732. Die Bewertung erfolgt in Abhängigkeit von der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers, dem Quotient von Sickerrate und FK, innerhalb des We. Aufgrund noch nicht vorliegender kleinräumig modellierter Sickerraten konnte das Teilrisiko E bislang nicht kalkuliert werden.

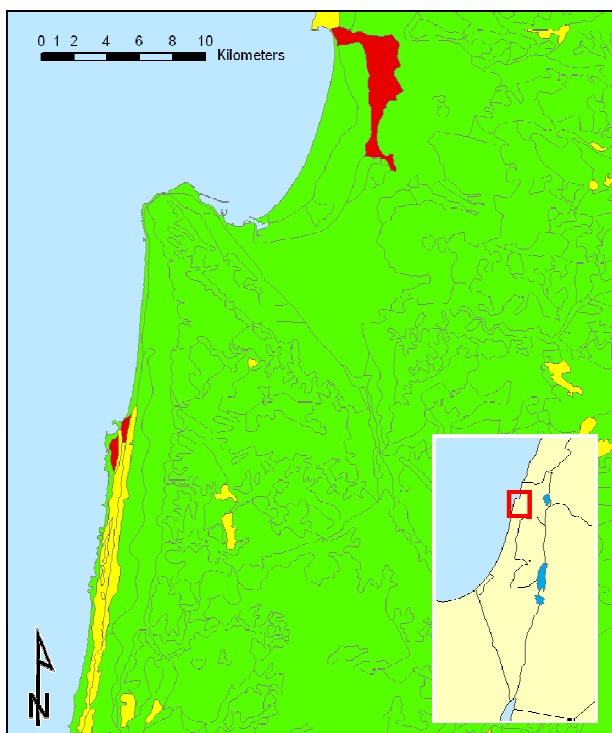
### *Risikozusammenführung*

Die Aggregation der einzelnen Teilrisiken erfolgt in gleicher Gewichtung nach dem Maximalwertprinzip, da weder eine Hierarchisierung noch eine Mittelung der einzelnen Risiken vorgenommen werden können (Tab. 2).

**Tabelle 2:** Bewertungsmatrix für die Aggregation der Teilrisiken A bis D

Gesamtbewertung der Teilrisiken A bis D	Gesamtrisikograd	Eignung
≥ 3 x niedrig	niedrig	hoch
alle anderen Fälle	mittel	mittel
≥ 2 x hoch	hoch	niedrig

Die Ergebnisdarstellung der Risiken erfolgt mittels einer dreistufigen Ampel-Skala (Abb. 1).



**Abbildung 1:** Beispiel der aggregierten gleichgewichteten Darstellung der Risiken A bis D für die Region um Haifa, Nordisrael. **grün** - geringes Risiko, **gelb** - mittleres Risiko, **rot** - hohes Risiko

## Ausblick

Gegenwärtig werden weitere Teilrisiken untersucht. Beispielsweise wurde der Effekt der Ausprägung hydrophober Bodenoberflächen mit der Abwasserbewässerung in Verbindung gebracht (TARCHITZKY et al. 2007), welcher u. a. in Verbindung mit der Bodenart, den Gehalten an Humus und  $\text{CaCO}_3$  sowie dem pH-Wert steht. Weitergehend soll die Gefährdung von Oberflächengewässern hinsichtlich der Erosionsneigung evaluiert werden.

Ferner sollen in ausgewählten Teileinzugsgebieten detaillierte Substratkartierungen auf der Feldskala vorgenommen werden, um die Datengrundlage einer Überprüfung zu unterziehen und die Risikobewertung zu verfeinern.

Das Fernziel der Untersuchungen ist die schlaggenaue Eignungsevaluierung für die Bewässerung mit Abwässern in Abhängigkeit von der spezifischen Abwasserqualität.

## Danksagung

Dieses Projekt ist Teil des multilateralen GLOWA Jordan River Projektes und wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Wir danken allen beteiligten Projektpartnern.

## Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5th Edition. Hannover.

BLUME, H.-P., BRÜMMER, G. (1991): Prediction of heavy metal behaviour in soil by means of simple field tests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 22: 164-174.

DAN, J., YAALON, D. H., KOYUMDJISKY, H., RAZ, Z. (1972): The soil association map of Israel. *Israel Journal of Earth Sciences*. 21: 29-49.

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e. V. (1997): DIN 19732. Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierbaren Stoffen. Berlin.

DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V. (1988): *Filtereigenschaft des Bodens gegenüber Schadstoffen, Teil 1: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblatt*. 212.

FEIGIN, A., RAVINA, I., SHALHEVET, J. (1991): *Irrigation with treated Sewage effluent*. Berlin.

GOLDBERG, S. (1997): Reaction of boron with soils. *Plant and Soil*. 193 (2): 35-48.

LEVY, G.J. (2000): Sodicity. in: SUMNER, M. E. [Hrsg] (2000): *Handbook of Soil Science*. Boca Raton.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. (1992): The use of saline waters for crop production. *FAO Irrigation and Drainage papers* - 48.

SHALHEVET, J. (1994): Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agricultural Water Management*. 25: 233-269.

SINGER, A. (2007): *The Soils of Israel*. Berlin.

TARCHITZKY, J., LERNER, O., SHANI, U., ARYE, G., LOWENGART-AYCICEGI, A., CHEN, Y. (2007): Water distribution pattern in treated wastewater irrigated soils: hydrophobicity effect. *European Journal of Soil Science*. 58: 573-588.