



3.2.9 Folgen einer intensiven Bewässerungslandwirtschaft am Beispiel des Yanqi-Beckens, China

PHILIP BRUNNER

Environmental impacts of intensive irrigation in the semi-arid Yanqi Basin (China): Intensive irrigation with river water in the semi arid Yanqi Basin has caused several environmental problems; the most severe one being soil salination. The Yanqi Basin is a typical example for the misuse of water in a semi arid region. Irrigation has caused a substantial rise of the groundwater table, followed by soil salination. Only over-irrigation allows maintaining agricultural production. This practice again contributes to a rising groundwater table and a vicious cycle is triggered, leading to higher and higher salinity and water consumption at given production. Conjunctive use of ground- and surface water, as well as increasing the efficiency of the irrigation systems are measures that would contribute to both a reduced salt concentration in the Basin itself as well as an increased amount of freshwater in the downstream systems.

Im Jahre 2001 wurden weltweit nur etwa 17% der gesamten landwirtschaftlichen Anbauflächen bewässert. Trotzdem wurden auf eben diesen Flächen über 30% der globalen Erträge produziert (FAO 2004). In weiten Teilen Asiens, Australiens, Afrikas sowie Russlands ist eine produktive Landwirtschaft erst durch die Bewässerung möglich. Bewässerung vermag nicht nur die Erträge einzelner Fruchtarten zu steigern, sondern verlängert ebenfalls die Phase des Pflanzenwachstums. In Gebieten mit einer ausgeprägten Trockenperiode sind somit mehrere Anbauzyklen pro Jahr möglich. Falls genügend Wasserressourcen verfügbar sind, wird die Abhängigkeit vom Niederschlag reduziert. China ist weltweit die Nation mit der grössten bewässerten Fläche. Heute werden in China 35% der gesamten Landwirtschaftsfläche bewässert, was der Fläche von Frankreich entspricht. Der wachsende Bevölkerungsdruck sowie der anhaltende Verlust von fruchtbarem

Boden in den dicht besiedelten Provinzen im Osten hat die Planer in Beijing dazu gezwungen, die landwirtschaftliche Produktion in den semi-ariden Gebieten stark zu erweitern. Das war natürlich nur durch einen gewaltigen Ausbau der Bewässerungsanlagen möglich.

Bewässerungswasser kann aus verschiedenen Quellen stammen. Falls wirtschaftliche Rentabilität und die geologischen Voraussetzungen gegeben sind, wird in vielen semi-ariden Gebieten Bewässerungswasser aus Aquiferen gepumpt, die eine ganzjährig relativ konstante Wasserverfügbarkeit ermöglichen. Beispiele sind Staaten wie Libyen, Algerien oder Tunesien. In Regionen mit abflussreichen Oberflächengewässern hängt die Landwirtschaft oft an einem fein verzweigten Netz von Bewässerungskanälen. Beispiele dafür sind die Murrumbidgee Region in Australien, das Niltal oder Rechna Doab in Pakistan. Intensive Bewässerung ist immer ein massiver Eingriff in den Wasserhaushalt:

*Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011)
- Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese*

Große Mengen von Wasser werden durch die Pflanzen selbst oder bei der Bewässerung der Felder verdunstet, und abhängig von den Verteil- und Bewässerungssystemen kann ein beträchtlicher Anteil von Wasser versickern. Durch die Bewässerung werden die Pflanzen mit Wasser versorgt, was jedoch unvermeidbar die Akkumulation der im Wasser gelösten Salze im Boden zur Folge hat. Nur bei Entfernung dieser Salze durch geeignete Drainage, sei es ins Grundwasser oder in ein Oberflächengewässer, ist eine dauerhafte Bewässerungslandwirtschaft möglich. Eine der zentralen Fragen bei solchen weitreichenden Eingriffen in den natürlichen Wasserhaushalt ist damit die Frage nach der Nachhaltigkeit. Die historischen und aktuellen Beispiele von Nationen und Regionen welche auf Bewässerung angewiesen waren und an den negativen Folgen scheiterten sind zahlreich (HILLEL 1990). Am Beispiel des Yanqi Beckens (Abb. 3.2.9-1) in der chinesischen Provinz Xinjiang werden die Zusammenhänge zwischen Wasserwirtschaft, Versalzung und Nachhaltigkeit erläutert.

Entstehung und Folgen der Versalzung

Versalzung ist ein natürlicher Prozess. Mit der Verdunstung von Wasser werden die im Wasser gelösten

Salze angereichert. Reicht die Niederschlags- oder Bewässerungsmenge nicht aus, das Salz ins Grundwasser oder über Oberflächendränagen in stromabgelegene Gewässer zu spülen, akkumuliert Salz. Durch die Bewässerung wird der Versalzungsprozess aus verschiedenen Gründen beschleunigt. Wird ohne Drainage mit Oberflächenwasser bewässert, steigt der Grundwasserspiegel. Dadurch können schon vorhandene Salze durch den kapillaren Aufstieg in die Wurzelzone und an die Oberfläche transportiert werden. Falls der Flurabstand, also die Differenz zwischen Geländeoberkante und dem Grundwasserspiegel, ein kritisches Minimum unterschreitet, setzt die direkte Verdunstung von Wasser aus dem Aquifer ein. Diese Verdunstungsrate kann die Grössenordnung der Transpirationsrate der Ackerfrüchte erreichen.

Eine erhöhte Salzkonzentration beeinträchtigt das Pflanzenwachstum und kann die Krümelstruktur des Bodens nachhaltig schädigen, da die Ladungsverhältnisse der Tonoberflächen durch die Ionenüberschüsse geändert werden. Falls in der Folge die Krümel kollabieren, führt dies zu einer Verschlämzung des Bodens, mit weitreichenden Folgen für seinen Luft- und Wasserhaushalt. Die erhöhte Salzkonzentration in Boden und Aquifer wird je nach hydrogeologischen Gegeben-

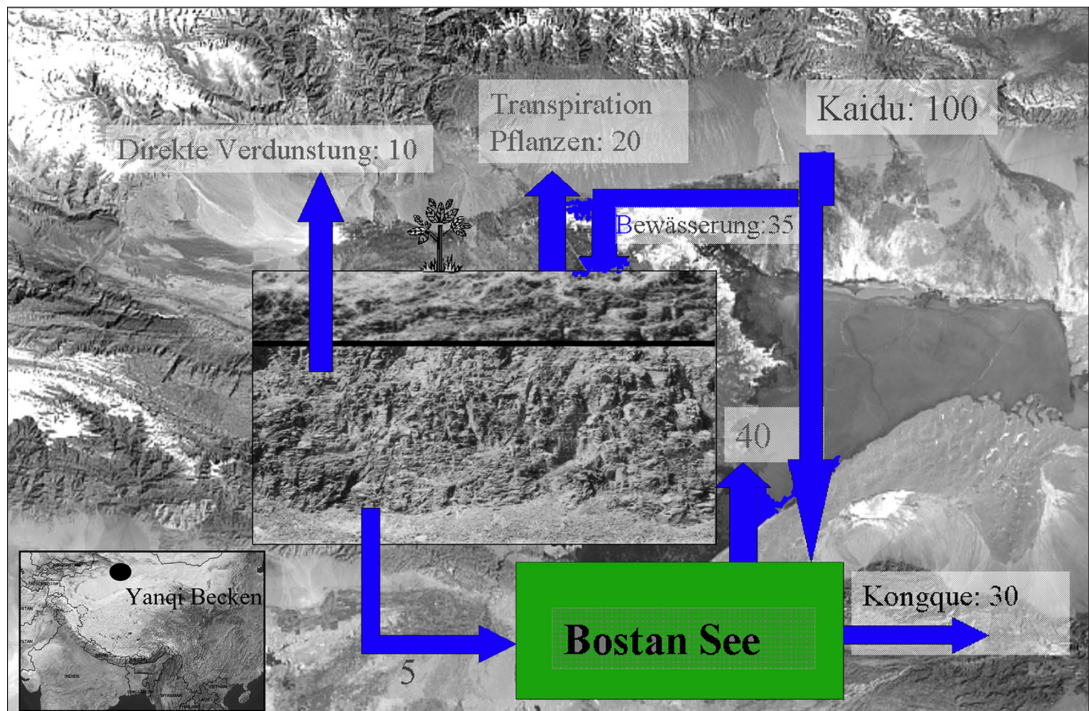


Abb. 3.2.9-1: Lage und grobe Wasserbilanz vom Yanqi Becken. Im Hintergrund ist ein Landsatbild des Yanqi Beckens abgebildet (Einheiten m^3/sek).

heiten und installierten Drainagesystemen die Unterlieger beeinträchtigen.

Nachdem eine Versalzung der Wurzelzone eingesetzt hat, kann der Ertrag nur durch das Spülen des Bodens auf dem ursprünglichen Produktionsniveau gehalten werden. Falls ineffiziente Drainagesysteme installiert sind, wird dadurch ein Teufelskreis in Gang gesetzt: Die Überschüsse der Bewässerung heben den Grundwasserspiegel an, die in die Tiefe verfrachteten Salze erhöhen die Salinität im Aquifer. Erreicht der Flurabstand das kritische Minimum, wird das salzige Grundwasser mit hohen Raten verdunstet, was nur durch eine wiederum erhöhte Überbewässerung ausgeglichen werden kann.

Bodenversalzung und Wassermanagement im Yanqi Becken

Die Landwirtschaft im Yanqi Becken wurde in den 1990er Jahren mit dem Bau von Bewässerungskanälen aufgenommen. Das Yanqi Becken liegt in der abgelegenen Provinz Xinjiang in Westchina. Die geringe Niederschlagsmenge von 70 mm pro Jahr lässt keinen Trockenfeldbau zu. Trotzdem gehört das Yanqi Becken dank der Bewässerung zu den produktivsten Anbaugebieten in Xinjiang. Es werden in erster Linie Trauben, Baumwolle und Chili produziert. Das Wasser stammt zum größten Teil aus dem Kaidu Fluss. Der Kaidu entspringt in den Tian Shan Bergen und wird im Oberstrom ganzjährig von Regen und Schmelzwasser gespeist. Er durchquert das Yanqi Becken und mündet in den Bostan See, dem tiefsten Punkt im Becken. Er verlässt diesen unter dem Namen Kongque Fluss und versorgt den sogenannten Grünen Korridor entlang dem östlichen Rand der Taklamakanwüste mit Wasser. Die ursprüngliche, letztendliche Senke des Kongque war der LopNor, ein Salzsee in der Tuluk-Wüste. Wegen des hohen Wasserverbrauchs der Landwirtschaft im Yanqi Becken und im grünen Korridor ist der LopNor mittlerweile jedoch ausgetrocknet.

Obwohl einige Drainagesysteme im Yanqi Becken installiert wurden, stieg der Grundwasserspiegel infolge der Bewässerung an. Die meist angewandte primitive Furchenbewässerung lässt einen großen Anteil des Wassers ungenutzt versickern. In den tiefelegenen Teilen des Beckens hat sich der Grundwasserspiegel bei etwa einem Meter unter der Geländeoberkante stabilisiert. Heute sind rund 46% der landwirtschaftlichen Produktionsfläche von Versalzung betroffen (DONG et al. 2001) und können nur noch dank sehr häufiger Bewässerung ertragsbringend bestellt werden.

Auch die Salzkonzentration im Bostan See hat durch die Landwirtschaft zugenommen, was sich ä-

berst nachteilig auf die Fischbestände im See ausgewirkt hat. Man könnte argumentieren, dass die Landwirtschaft im Yanqi Becken nachhaltig ist, da sie dank Überbewässerung auf profitablen Niveau gehalten werden kann. Weil im Yanqi Becken genügend Süßwasserressourcen vorhanden sind, kann auch bei äußerst verschwenderischen Bewässerungsmethoden und hohen Versalzungsgraden die landwirtschaftliche Produktion aufrechterhalten werden. Der Bostan See und der grüne Korridor werden jedoch stark beeinträchtigt. Diese Gebiete müssen in einer seriösen Analyse der Nachhaltigkeit mit in Betracht gezogen werden. Dies zeigt, wie wichtig die richtige Wahl der räumlichen Systemgrenze ist.

Strategien gegen die Versalzung

Verschiedene Strategien existieren, um die Situation im Yanqi Becken, dem Bostan See und dem Grünen Korridor zu verbessern. Auf der administrativen Ebene gibt es relativ großen Spielraum. Mögliche Varianten sind eine verschärfte Kontingentierung der eingesetzten Bewässerungsmenge und die Sensibilisierung der Landwirte für die Probleme. Die Verminderung der bewässerten Fläche und eine dem lokalen Klima besser angepasste Auswahl angebauter Feldfrüchte sind weitere Maßnahmen. Da die Bevölkerung in China jedoch voraussichtlich noch bis ins Jahre 2047 wachsen wird, muss in erster Linie nach Mitteln gesucht werden, welche die Produktion mit einem möglichst sparsamen Verbrauch an Wasser erhalten.

Eine Verringerung der Grundwasserneubildungsrate wäre auf jeden Fall ein wichtiger Schritt. Durch eine sparsamere Bewässerung sowie den Ausbau des Drainagenetzes kann dies erreicht werden. Heute werden im Yanqi Becken die Felder zur Bewässerung geflutet. Mittlerweile sind viele wassersparende Bewässerungssysteme entwickelt worden, wie zum Beispiel Laser Levelling, die Tropfbewässerung oder PRD (Partial Root Drying). Der Ausbau des Drainagenetzes würde ebenfalls zur Verringerung der Neubildungsrate beitragen. Falls es die topographischen und räumlichen Gegebenheiten erlauben, besteht weiter die Möglichkeit, Drainagewasser an ausgewählten Orten in Mulden zu verdunsten, statt in den Unterstrom zu leiten. Mit dieser Maßnahme wird erreicht, dass die Salzkonzentration im Unterstrom nicht erhöht wird. Auf der wasserwirtschaftlichen Seite ist die Substitution von Flusswasser durch Grundwasser ein vielsprechender Ansatz. Durch diese Massnahme wird der Grundwasserspiegel gesenkt und die direkte (und unproduktive) Verdunstung in Folge verringert. Falls die 10 m³/sek unproduktive Verdunstung durch das Senken des

Grundwasserspiegels dem Unterstrom direkt zur Verfügung stehen, wäre die Konzentration im Kongque alleine durch die Verdünnung rund 75% der heutigen Konzentration, während sich der Abfluss um ein Drittel erhöhen würde. Die durch das Flusswasser eingetragene Salzmenge wird ebenfalls reduziert. Heute wird aus wirtschaftlichen Gründen beinahe ausschließlich mit Flusswasser bewässert. Der Unterhalt der Bewässerungskanäle ist kostengünstig und das Wasser steht jederzeit zur Verfügung. Eine Substitution von Grundwasser zieht kostspielige Investitionen mit sich: Pumpen müssen installiert und das Verteilungssystem muss der neuen Wasserquelle angepasst werden. Das Pumpen von Wasser ist mit laufenden Kosten für die Förderung verbunden.

Es stellt sich die Frage, um wieviel der Abfluss erhöht und die Salzkonzentration im Unterstrom durch Pumpen von Grundwasser für Bewässerungszwecke und die Erneuerung der Infrastruktur gesenkt werden können. Die Größenordnungen wurden mit Hilfe eines Mehrboxmodells abgeschätzt (DONG et al. 2001). Es kann gezeigt werden, dass bei einer Senkung des Grundwasserspiegels von einem Meter in den stark versalzten Gebieten sowie der teilweisen Erneuerung der Infrastruktur die Salzkonzentration im Bostan See von 1.4 g/L auf 1 g/L gesenkt werden kann, bei gleichzeitiger Erhöhung des Abflusses in den Grünen Korridor um 15%. Wie Grundwasserentnahmen räumlich verteilt werden sollten und wie der optimale Mix aus Fluss- und Grundwasser aussieht, kann nicht mit Boxmodellen bestimmt werden. Um solche Probleme behandeln zu können, werden räumlich aufgelöste Modelle benötigt. Einige ausgewählte Aspekte der räumlich differenzierten Modellierung sind im nächsten Kapitel kurz erwähnt.

Wissenschaftliche Instrumente

Obwohl die Mechanismen der Versalzung grundsätzlich einfach zu verstehen sind, beinhaltet ihre Modellierung auf einer größeren Skala einige Herausforderungen. Zur Modellierung der Versalzung müssen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Systemkomponenten Boden, Grundwasser und Oberflächenhydrologie erkannt und quantifiziert werden. Das ist nur durch die Kombination von Methoden aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen möglich. Zum Beispiel wurde für das Yanqi Becken mit Methoden der Fernerkundung und Geodäsie ein digitales Geländemodell erstellt, das ein wichtiger Input Parameter für ein räumlich aufgelöstes, hydrologisches Modell ist. Durch geophysikalische Messungen lässt sich das Ausmaß der Versalzung lokal quantifizieren. Mit Hil-

fe multispektraler Satellitenbilder können diese geophysikalischen Punktmessungen auf grössere Gebiete übertragen werden (BRUNNER et al. 2007). Eine solche hochauflösende Salzkarte kann im Prinzip für die Verifikation eines Grundwassermodells verwendet werden, da das Ausmaß der Versalzung vom Flurabstand bestimmt wird. Verdunstung von Grundwasser in Gebieten mit tiefem Flurabstand ist ein Schlüsselprozess für die Versalzung. Auch hier können Satellitendaten helfen, die räumliche Verteilung zu quantifizieren. Mit Hilfe multispektraler Bilder kann die Verdunstung über große Gebiete abgeschätzt werden. Die bestehenden Methoden liefern jedoch nur die Gesamtverdunstung, bestehend aus Transpiration und Evaporation. Da für die Versalzung jedoch vor allem Evaporation und nicht Transpiration wichtig ist, wurde eine Methode entwickelt, die gesamte Evapotranspiration in die beiden Komponenten aufzuspalten: Mit Profilen von stabilen Isotopen in unbewässerten Gebieten konnte die Evaporation punktweise gemessen werden, da die Transpiration die Isotopenprofile nicht beeinflusst. Durch eine Kombination dieser Punktmessungen, der räumlichen Verteilung der Gesamtverdunstung und Vegetations-Indizes konnte eine Evaporationskarte erstellt werden (BRUNNER et al. 2008). Diese räumlich verteilten Daten wurden in ein Strömungsmodell integriert und mit Hilfe von gemessenen Grundwasserständen und der Verdunstungskarte kalibriert (LI et al. 2009). Durch das Einbeziehen der Verdunstungskarte konnten die Anzahl Freiheitsgrade und somit die Modellunsicherheit reduziert werden. Das kalibrierte Modell wird jetzt als Instrument für die Entwicklung und Bewertung neuer Management-Strategien eingesetzt.

Ausblick

Obwohl in den letzten Jahren sehr viel Geld in Bewässerungsprojekte investiert wurde, hat sich global betrachtet die bewässerte Fläche nur marginal vergrößert. Der Hauptgrund liegt darin, dass jedes Jahr große Flächen nicht mehr gewinnbringend genutzt werden können. In beinahe allen Fällen ist Versalzung die Hauptsache. Es ist jedoch durchaus möglich, wie am Beispiel des Yanqi Beckens illustriert wurde, Bewässerung nachhaltig zu betreiben, falls die nötigen Investitionen getätigt werden. Länder wie Australien oder die USA haben diesen Schritt zum Teil bereits gemacht. Die meisten Nationen in semiariden Gebieten sind jedoch auf finanzielle Hilfe angewiesen, um die Grundlagen Ihrer Nahrungsmittelproduktion für die nächsten Jahre zu sichern. Es kann nur im Interesse der mehr begünstigten Nationen liegen, diese Grundlagen zu erhalten.

Literatur

- DONG X., T. JIANG & H. JIANG (2001): Study on the pattern of water resources utilisation and environmental conservation of Yanqi Basin. In: G. Li (Ed.), Development, Planning and Management of Surface and Groundwater Resources. IAHR congress proceedings. Tsinghua University Press, Beijing, China. 333-340.
- BRUNNER P., H.T. LI et al. (2007). „Generating soil electrical conductivity maps at regional level by integrating measurements on the ground and remote sensing data.“ *International Journal of Remote Sensing* 28(15): 3341-3361.
- BRUNNER P., H.T. LI et al. (2008). „Extracting phreatic evaporation from remotely sensed maps of evapotranspiration.“ *Water Resources Research* 44, W08428, 12 PP., 2008.doi:10.1029/2007WR006063.
- FAO (2004): Irrigation Land- FAO Stat.
- HILLEL D. (1987): *The efficient use of water in irrigation: Principles and practices.* World Bank, Washington, D.C.
- HILLEL D. (1990): *Out of the earth : Civilization and the life of the soil.* Free Press, New York.
- HILLEL D. (2000): *Salinity management for sustainable irrigation: Integrating science, environment and economics.* World Bank, Washington, D.C.
- HILLEL D. & WORLD-BANK (2000): *Integrating Science, Environment and Economics.* World Bank, Washington.
- JAKEMAN A.J., NIX H.A. & GHASSEMI F. (1995): *Salinisation of land and water resources: Human Causes, Extent and Management.* CAB International, Wallingford Oxon. 520 pp.
- LI H.T. & P. BRUNNER et al. (2009): „Calibration of a groundwater model using pattern information from remote sensing data.“ *Journal of Hydrology* 377(1-2): 120-130.
- RHOADES J.D., KANDIAH A. & MASHALI A.M. (1992): *The use of saline waters for crop production.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- RICHARDS L.A. (1954): *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* [U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook. no. 60.]. US-SalinityLab, Washington DC.
- US-SALINITYLAB (1954): *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* [U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook. no. 60.]. Washington.
- US-SALINITYLAB (2004): *Salt, Boron, and Chloride Plant Tolerance Databases.*

Dr. Philip Brunner

University of Neuchâtel

Centre of Hydrogeology and Geothermics (CHYN)

CH-2009 Neuchâtel

philip.brunner@unine.ch