

### 3.1.4 Einfluss des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung im Tschadseebecken

SARA VASSOLO

**Groundwater and climate change:** Groundwater plays a very important role in the Lake Chad basin. Due to lack of surface water, fresh water supply is covered using groundwater even in large urban regions. Groundwater recharge takes place mainly in the large swamp areas scattered along the basin. However, it has experienced a reduction since 1970's due to a decline in precipitation and surface water availability, especially in the Chadian part of the basin. Climate models foresee an increase of temperature for the region, which would imply an increase in evapotranspiration and thus a further decline in groundwater recharge. Water supply for drinking and irrigation purposes will be jeopardized. Efforts should be undertaken to artificially enhance groundwater recharge, especially in rural areas using small scale systems to avoid competing for water with the Lake Chad itself. This paper presents methods that could be easily applied to overcome shortages.

Das Tschadseebecken liegt im Zentrum von Nordafrika und hat eine Größe von etwa 2.300.000 km<sup>2</sup>. Es erstreckt sich über die Länder Algerien, Libyen, Sudan, Niger, Nigeria, Kamerun, Tschad und die Zentralafrikanische Republik. Das Becken bildet eines der größten Grundwasserreservoirs Afrikas.

Der obere Grundwasserleiter besteht aus quartären Sanden. Der südliche Teil des Beckens ist geprägt durch fluviatile Ablagerungen, die sich durch eine Wechsellaagerung von Sanden und Lehmen auszeichnen. Im Nor-

den bilden Sanddünen den Grundwasserleiter. Während im Süden die Grundwasserneubildung vor allem auf Versickerung von Oberflächenwasser (Sumpfbereiche, Flüsse, Seen) zurückzuführen ist, wird sie im Norden ausschließlich von direkter Regenwasserversickerung verursacht.

Die Höhe der Grundwasserneubildung hängt vom Wasserdargebot ab. Die hohen Temperaturen limitieren das Potential für natürliche Grundwasserneubildung, da ein Großteil des Regenwassers verdunstet, bevor es



Abb. 3.1.4-1: Geographische Lage des Tschadseebeckens.

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

versickern kann. Dieses Phänomen würde durch eine von Klimamodellen vorhergesagte Erhöhung der mittleren Temperaturen verstärkt, so dass Grundwasserneubildung in der Zukunft noch stärker begrenzt wird.

Allerdings kann Grundwasserneubildung künstlich verstärkt werden, z.B. durch Injizieren von Oberflächenwasser oder aufbereitetes Wasser, oder durch den Bau von Barrieren, die die Fließgeschwindigkeit in den Flüssen und Bächen verringern sowie von unterirdischen Dämmen, die den natürlichen Grundwasserfluss hindern.

Im Folgenden werden verschiedene Methoden zur künstlichen Grundwasserneubildung präsentiert. Einige davon werden bereits in der Region angewandt. Ihr Einsatz wird in Zukunft als Maßnahme gegen die klimabedingte Temperaturerhöhung und die daraus folgende Verringerung der Grundwasserneubildung sicherlich noch eine deutlich größere Rolle spielen.

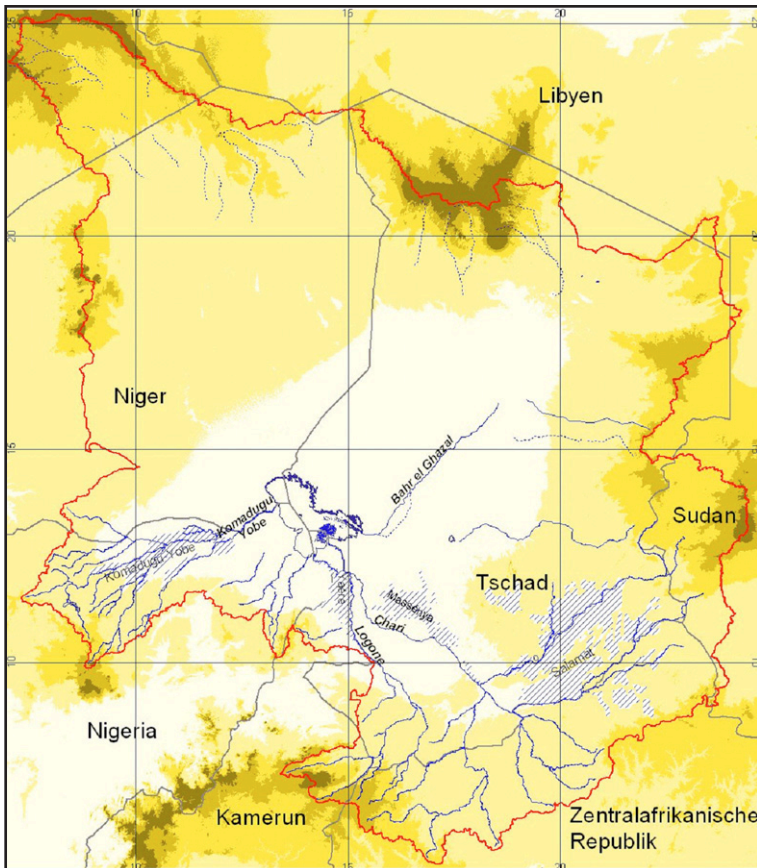
### Das Tschadseebecken

Das Tschadseebecken ist eine ausgedehnte Ebene, die hauptsächlich von mittel- bis feinkörnigen Sanden be-

deckt ist. Die Geländehöhe variiert von 3.300 m bei den Ahaggar Mountains in Algerien und 3.000 m im Adamawa Plateau an der Grenze zwischen Nigeria und Kamerun bis etwa 180 m in der Bodélé Region oder Pays Bas im Tschad (Abb. 3.1.4-2).

Zwei verschiedene Landschaften, die in etwa durch den 14. Nördlichen Breitengrad getrennt sind, definieren die Geographie des Beckens. Im Norden, wo Oberflächenwasser nicht vorhanden ist (Kanem Region), herrschen Sanddünen vor. Der Süden dagegen ist teilweise von mehreren Sumpfgebieten bedeckt, wie das Yaéré zwischen Kamerun und Tschad, Massénya und Salamat im Süden von Tschad und das Komadugu-Yobe im Nordwesten Nigerias. Zudem finden sich hier zwei wichtige Flüsse: der von Süden kommende Chari-Logone, der etwa 90% des jährlich den See erreichenden Wasservolumens liefert, sowie der aus dem Westen kommende Komadugu-Yobe, der nur mit wenig Wasser zum Seevolumen beiträgt (Abb. 3.1.4-3).

Klimatisch ist das Becken durch drei verschiedene Zonen gekennzeichnet: hyper-aride bis aride im Norden, wo der mittlere jährliche Niederschlag unterhalb



**Abb. 3.1.4-2:** Topographische Karte der Tschadsee-Region basierend auf SRTM30 Daten (USGS Shuttle Radar Topography Mission), Höhen in m über Normal Null (m üNN).

50 mm liegt, semi-aride in der zentralen Region und subtropische im Süden mit mittleren jährlichen Niederschlägen von mehr als 1.500 mm. Permanent hohe Temperaturen, sehr niedrige Luftfeuchtigkeit außerhalb der Regenperiode von Juni bis August, starke Sonneneinstrahlung sowie Winde führen zu einer hohen jährlichen potentiellen Evapotranspiration von etwa 2.000 mm (CARMOUZE 1976).

### Aktuelle Grundwasserneubildung

Laut Untersuchungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) findet Grundwasserneubildung innerhalb des Tschadbeckens nur im Bereich der quaternären Sande statt (Abb. 3.1.4-4). Sie ist hauptsächlich das Ergebnis von Versickerung aus verschiedenen Oberflächenwasserkörpern, wie Sumpfgebieten, Seen und teilweise auch Flüssen. Erste Einschätzungen zeigen, dass die Sumpfgebiete Massénya und Yaéré mit einer Grundwasserneubildung von etwa 10 mm/a erheblich zur Erneuerung der Ressourcen beitragen. Verglichen mit Literaturwerten für Grundwasserneubildung in semi-ariden Gebieten, könnten diese Mengen besonders hoch erscheinen, da in der Regel

von etwa 1 mm/a ausgegangen wird (DÖLL & FLÖRKE 2005). Die Literaturwerte beziehen sich jedoch auf von Regen verursachte Neubildung, während es sich hier um Versickerung von Wasser aus Sumpfgebieten handelt.

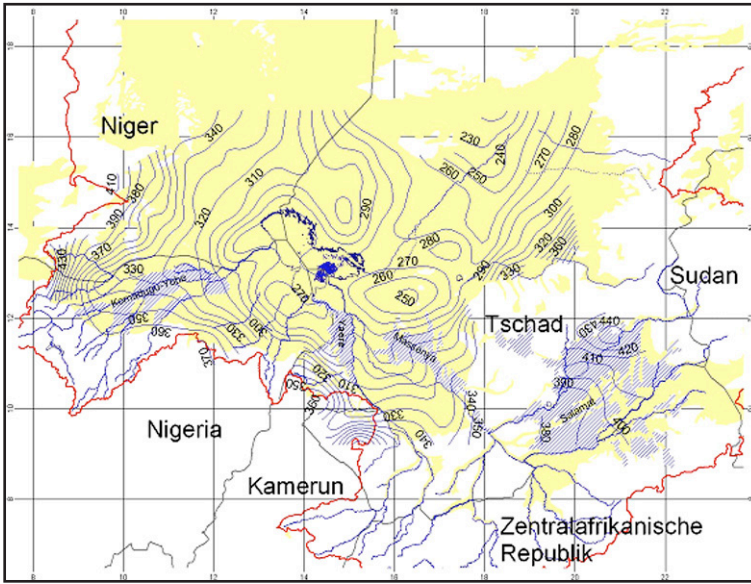
### Einfluss des Klimawandels

Die Abflüsse in der Region reagieren sehr empfindlich auf klimatische Veränderungen. Ein Beispiel dafür ist die schnelle Veränderung der Tschadseeffläche. In der Periode 1950–1972, die sehr feucht war, betrug die Seefläche 17.620 km<sup>2</sup>. Ab 1973 begann eine Dürreperiode, die fast ununterbrochen bis 1984 andauerte und in der der Niederschlag weit unter den langjährigen Mittelwert lag. In dieser Zeit verlor der Tschadsee etwa 90% seiner Fläche. Heute beträgt sie 1.920 km<sup>2</sup>.

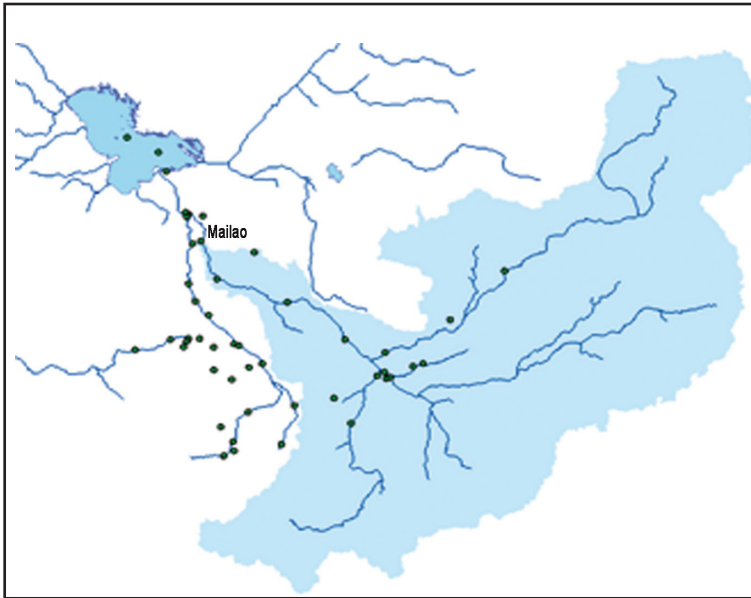
Seit Mitte der 1980er Jahre steigt der Niederschlag in der Region wieder und erreicht heute etwa das Niveau der 1960er Jahre. Der Abfluss hat sich jedoch nicht entsprechend erholt (Abb. 3.1.4-5). Er liegt etwa 40% unterhalb dessen, was in den 1960er Jahren gemessen wurde. Der Grund dafür liegt in einer Kombination aus Bevölkerungswachstum, Änderung in der Landnut-



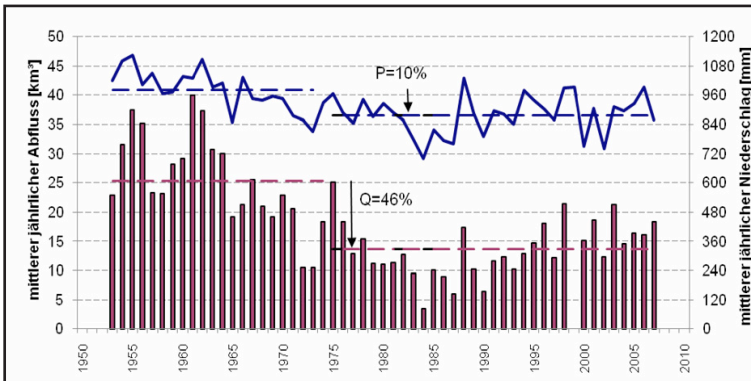
**Abb. 3.1.4-3:** Geographische Lage der Flüsse, Seen und Sumpfgebiete im Tschadseebecken. Die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet erfolgt fast ausschließlich über die Sumpfgebiete.



**Abb. 3.1.4-4:** Isolinien gleicher Grundwasserhöhen im quartären Sande (gelbe Fläche). Die Aufwölbungen der Isolinien unterhalb aller Sumpfgebiete und dem Tschadsee deuten auf erhöhte Grundwasserneubildung hin.



**Abb. 3.1.4-5:** Oben: das Einzugsgebiet und die Lage der Station Mailao am Chari River. Die Station liegt unmittelbar vor der Einmündung des Logone Flusses in den Chari Fluss vor N'Djaména. Unten: die Änderungen in Niederschlag und Abfluss zwischen einer feuchten (1953–1973) und einer trockenen Periode (1974–2008) an der Station Mailao. Der Niederschlag P (blaue Linie) hat um etwa 10% nachgelassen, woraus eine Verringerung des Abflusses Q (dunkelrote Balken) um 46% resultiert. Gestrichelte Linien: das jeweilige langjährige Mittel für Niederschlag und Abfluss.





zung, verstärkter Bewässerung und Klimawandel.

Die Grundwasserneubildung in der Tschadseeregion ist von der Fläche der Sumpfgelände abhängig und diese wiederum von Regen und Überschwemmungen, die sie regelmäßig füllen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sumpfgelände sich heute über eine kleinere Fläche als in der feuchten Periode erstrecken. Untersuchungen haben ergeben, dass der kamerunische Teil des Yaéré Sumpfgeländes heute mit jährlich etwa  $2.5 \text{ km}^3$  ungefähr die gleiche Menge an Wasser erhält wie in der feuchten Periode, die tschadische Seite jedoch durch weniger als die Hälfte der früheren Wassermengen gespeist wird ( $3.5 \text{ km}^3$  in der feuchten Periode gegenüber  $1.6 \text{ km}^3$  heute). Das bedeutet, dass sich die Grundwasserneubildung in den letzten Jahren deutlich verringert hat. Sollte der Klimawandel nicht nur erhöhte Temperaturen sondern auch eine weitere Verringerung der Niederschläge mit sich bringen, wird die Grundwasserneubildung noch geringer ausfallen. Probleme bei der Wasserversorgung sind damit vorhersehbar.

### Lösungsansätze

Um die Wasserversorgung weiterhin gewährleisten zu können, muss die Menge an Grundwasserneubildung erhalten bleiben. Dafür kann Oberflächenwasser im Untergrund gespeichert werden, um es später wieder zu entnehmen. Da jedoch der Tschadsee von einer ausreichenden Abflussmenge abhängig ist, können Maßnahmen zur künstlichen Anreicherung des Grundwasserleiters nur lokal und in geringem Umfang zum Einsatz kommen.

Künstliche Grundwasseranreicherung kann durch direkte Injektion von Wasser in Brunnen oder durch

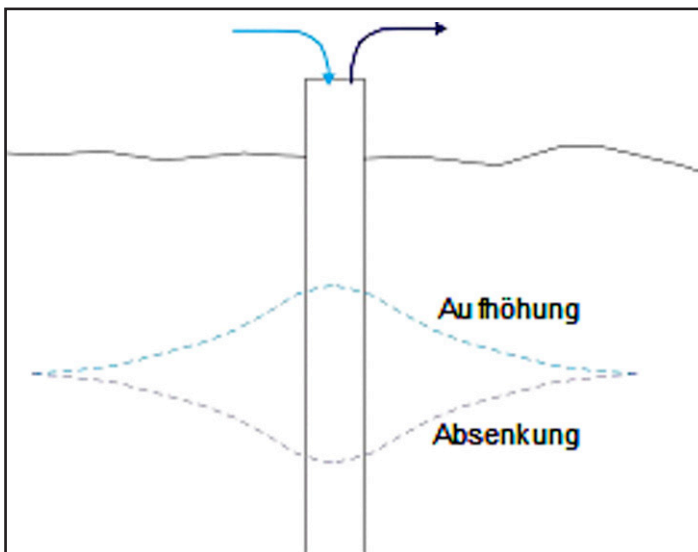
Infiltration aus dafür angelegten Infiltrationsbecken erfolgen. Injektionsmethoden erfordern ingenieurwissenschaftliche Kenntnisse und die Aufbereitung von Injektionswasser, so dass diese Methoden verglichen mit dem Infiltrationsbecken als kostengünstig gelten. Andererseits sind für den Einsatz von Infiltrationsbecken ein gut durchlässiger Untergrund und genügend Speisevolumen unbedingte Voraussetzungen.

### Injektion von Wasser

Die Injektionsmethoden können sowohl in gespannten wie ungespannten Grundwasserleitern angewandt werden. Sowohl Oberflächenwasser aus Flüssen, Kanälen, Seen oder Reservoirs, als auch geklärtes Wasser sind dafür einsetzbar. PYNE (1995) empfiehlt folgende Schritte:

- Machbarkeitsstudie und konzeptioneller Entwurf: Dieser Schritt wird häufig ausgelassen, was zu einer oft schlechteren Performance der Methode und daraus resultierend zu einem Verlust an Vertrauen in die Methode führt.
- Feldforschung und Testprogramm: Diese Phase ist entscheidend, um feststellen zu können, ob die Methode technisch, ökologisch und ökonomisch vertretbar ist.
- Aufbau des Systems

Die Injektionsmethode wird generell verwendet, um übernutzte Grundwasserleiter wieder aufzufüllen. Sie kann auch eingesetzt werden, um Wasser in Überschußperioden zu speichern und es später in trockenen Perioden über die gleichen Brunnen zurück zu gewinnen (Abb. 3.1.4-6). Diese Anwendung ist in der Literatur als »aquifer storage and recovery« oder ASR bekannt (GALE 2005). ASR kann auch eingesetzt



**Abb. 3.1.4-6:** Darstellung eines Injektion-Extraktionsbrunnens (ASR-Methode). Das Wasser wird injiziert, um es zu einem späteren Zeitpunkt zu entnehmen.

werden, um eine Süßwasserlinse in einem Salzgrundwasserleiter zu bilden, die zu einem späteren Zeitpunkt entnommen werden kann.

Bei der »aquifer storage, transfer and recovery« Methode (ASTR) wird das Wasser in einen Brunnen injiziert und nach einer mehr oder weniger langen Fließperiode im Untergrund aus einem anderen entnommen. Wird hierfür geklärtes Abwasser verwendet, sorgt die natürliche Filterkapazität des Untergrunds für die Beseitigung möglicher bakterieller Verunreinigungen. Da jedoch häufig eine Verstopfung des Porenraums auftritt, sind regelmäßig Rehabilitationsmaßnahmen nötig, um die Funktionalität des Systems zu gewährleisten.

Die Nutzung von Injektionsmethoden ist bereits weit verbreitet im Fall von sandigen Grundwasserleitern. Aber auch in Festgestein-Grundwasserleitern wird Injektion immer häufiger angewandt, wie beispielsweise in Windhuk, Namibia, wo aufbereitetes Reservoir-Wasser in zerklüftete Schichten von Quarziten injiziert wird (MURRAY 2004).

### Infiltrationsbecken

Für die Nutzung von Infiltrationsbecken werden ein gut durchlässiger Untergrund und ein großes Wasservolumen, das aufgrund der Schwerkraft versickert, benötigt. Diese Methode kann nur in freien Grundwasserleitern verwendet werden, bei denen die Grundwasseroberfläche über den Porenraum des Grundwasserleiters mit dem atmosphärischen Druck direkt in Verbindung steht.

Ein Infiltrationsbecken kann z.B. hinter einem Dammreservoir gebaut werden. Im Reservoir fällt das gespülte Feinmaterial aus. Das klare Wasser fließt dann per Gravitation durch verschiedene Kanäle zu einem oder einer Serie von Infiltrationsbecken, wo die Versickerung im Untergrund stattfindet. Diese Methode wird im Omaruru Delta, Namibia (CHRISTELIS & STRUCKMEIER, 2001) zur Anreicherung des Grundwasserleiters verwendet (Abb. 3.1.4-7).

Hochwasser aus kleinen intermittierenden Bächen kann durch laterale Kanäle abgezweigt werden und

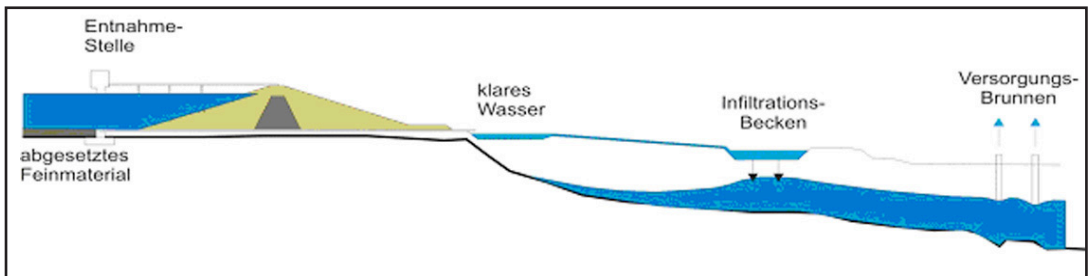


Abb. 3.1.4-7: Flusswasser wird in einem Damm gespeichert bis sich das mitgeführte Feinmaterial absetzt. Danach fließt es durch eine Serie von Becken, die der Anreicherung des Grundwasserleiters dienen. Diese Methode wird z.B. im Omaruru Delta, Namibia verwendet (S. Müller in CHRISTELIS & STRUCKMEIER, 2001, modifiziert).

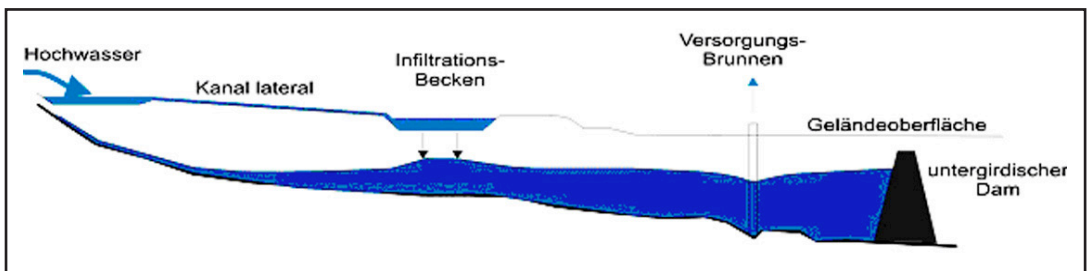
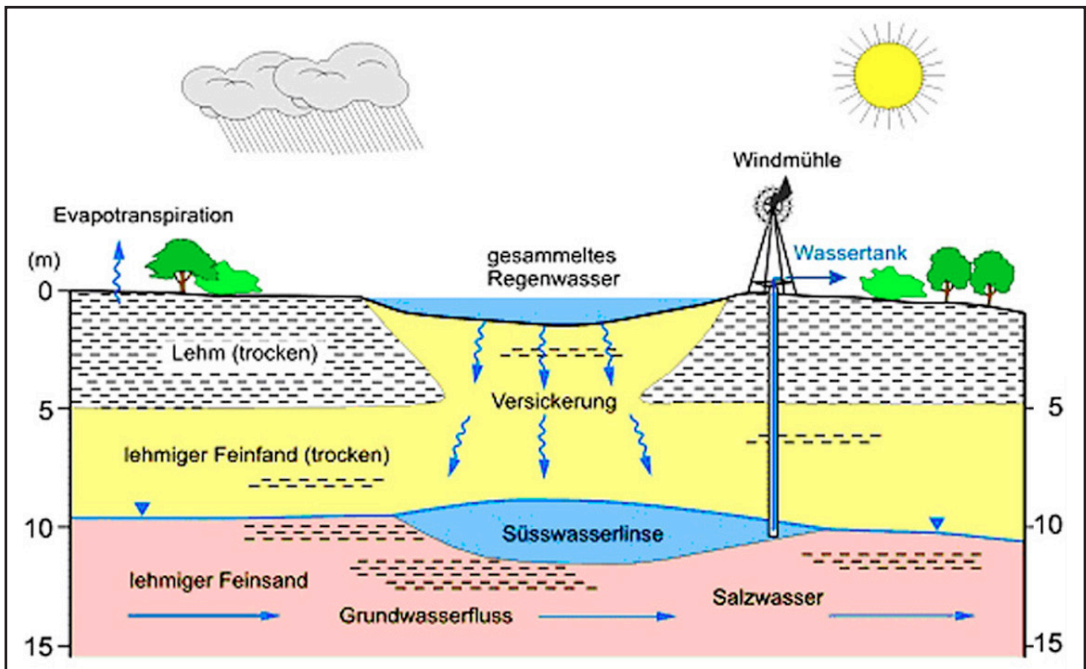


Abb. 3.1.4-8: Künstliche Grundwasseranreicherung durch Infiltration von Hochwasser in lateralen Becken. Ein untergirdischer Damm verhindert das schnelle Abfließen des angereicherten Grundwassers.



**Abb. 3.1.4-9:** Infiltrationsbecken gefüllt mit Regenwasser, das langsam in den sandigen Untergrund sickert und eine Süßwasserlinse auf dem salzigen Grundwasserleiter aufbaut. Diese Methode wird im Osten Paraguays für die Wasserversorgung von kleinen Gemeinden verwendet (nach von HOYER et al. 2000).

anschließend in Infiltrationsbecken versickern. Damit wird die direkte Neubildung aus Niederschlag erhöht. Die Fertigstellung eines zusätzlichen unterirdischen Damms kann dazu dienen, das schnelle Abfließen von künstlich angereichertem Grundwasser zu vermeiden. Diese Methode wird im Osten des Tschads, in Burkina Faso und im Norden Nigers verwendet (SCHMIDT et al. 1975, PRODABO 2009) (Abb. 3.1.4-8). Die Sumpfbereiche im Tschadseebecken agieren dabei als »natürliche« Infiltrationsbecken, in denen das Hochwasser akkumuliert, um so den Grundwasserleiter über eine viel längere Periode aufzufüllen.

Ebenso kann Regenwasser in angelegten Infiltrationsbecken gesammelt werden, von wo es langsam in den Untergrund versickert (Abb. 3.1.4-9). Diese Methode wird im Osten Paraguays eingesetzt, um künstlich eine Süßwasserlinse in einem Salzgrundwasserleiter zu erzeugen (von HOYER et al. 2000). Das künstlich neugebildete Wasser ist die einzige Süßwasserquelle in der Region und reicht aus, um kleinere Gemeinden zu versorgen.

### Schlussbetrachtung

Die Verringerung der Niederschlagsmenge seit Beginn der Dürreperiode in 1973 hat eine Verringerung der

Sumpfbereiche vor allem im Tschad verursacht. Da die Grundwasserneubildung im Tschadseebecken hauptsächlich in diesen Gebieten erfolgt, kann davon ausgegangen werden, dass sie heute geringer ausfällt. Dieses Phänomen würde durch eine von Klimamodellen vorhergesagte Erhöhung der mittleren Temperaturen verstärkt, so dass Grundwasserneubildung in der Zukunft noch stärker begrenzt wird. Eine ausreichende Menge an Wasser zur Trinkwasserversorgung oder Bewässerung wird nur möglich sein, wenn die Grundwasserneubildungsmenge mindestens konstant bleibt, was mit Hilfe künstlicher Anreicherung der Grundwasserleiter erreicht werden könnte.

Unter der Voraussetzung, dass sie in begrenzter Größenordnung angewandt werden, könnten alle genannten Methoden im Tschadseebecken zum Einsatz kommen. Große Systeme benötigen große Wasservolumen, die auch zur Erhaltung des Tschadsees nötig sind. Der Wahl der Methode hängt von den hydrogeologischen Gegebenheiten des Standortes ab.

Der nördliche Teil des Tschadseebeckens (nördlich des 14. Breitengrades), liefert die besten Voraussetzungen, um künstliche Grundwasseranreicherung zu nutzen, da der Grundwasserleiter aus gut durchlässigen Sanden äolischen Ursprungs besteht. Der Region mangelt es aber an Oberflächenwasser, so dass hier nur In-

filtrationsbecken verwendet werden können, in denen sich Regenwasser sammeln kann.

Im südlichen Teil ist zwar ausreichend Oberflächenwasser verfügbar, es herrschen jedoch geringdurchlässige Lehme und Tone vor, so dass die Anwendung von Infiltrationsbecken auch hier erheblich limitiert ist, insbesondere auf mit Flusssanden bedeckten Regionen. Darüber hinaus besteht der Grundwasserleiter aus einer Abfolge von dünnen Schichten aus Sanden und Tonen, was eine Brunneninjektion sehr kostenträchtig macht.

## Literatur

- CARMOUZE J.-P. (1976): Les grands traits de l'hydrologie et de l'hydrochimie du Lac Tchad. Cahier O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiologie, vol. X, N° 1, 1976, pp. 33-56.
- CHRISTELIS G. & STRUCKMEIER W. (2001): Groundwater in Namibia: Explanation to the Hydrogeological Map. Ministry of Agriculture, Water and Rural Development, Namibia.
- DÖLL P. & FLÖRKE M. (2005): Global-Scale Estimation of Diffuse Groundwater Recharge. Frankfurt Hydrology Paper 03. Institute of Physical Geography, Frankfurt University, Frankfurt am Main.
- GALE I. (2005): Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid areas. UNESCO-IHP.
- MURRAY E.C. (2004): Artificial groundwater recharge: Wise water management for towns and cities. Water Research Commission Report TT 219/03, Pretoria, South Africa. ISBN 1-77005-092-2.
- PRODABO - Programme de développement rural décentralisé (2009): Seuils d'épandage et la sécurité alimentaire. Une autre perception sur un des problèmes fondamentaux du Sahel. Bulletin informatif.
- PYNE D. (1995): Groundwater Recharge and Wells: A guide to aquifer storage recovery. Lewis Publishers. 376 pp. ISBN: 1-56670-097-3.
- SCHMIDT G., BOECKH E. & KLEIN-BORNHORST A. (1975): Projets d'infrastructure a l'investissement humain au Niger, projets Iférouane et Timia dans l'Aïr. Unpublished.
- VON HOYER M.; JUNKER M., CENTURIÓN C., IRRAZÁBAL SOSA, D., LARROZA F., FARIÑA S. & PAREDES ROLÓN J.L. (2000): Sustained Water Supply by Artificial Groundwater Recharge in the Chaco of Paraguay. Zeitschrift für Angewandte Geologie. Sonderheft: Geoscientific Cooperation with Latin America. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

*Dr. Sara Vassolo  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,  
Stilleweg 2 – 30655 Hannover  
S.Vassolo@bgr.de*