

# Überdüngung in China – ein europäisches Déjà-vu

Eine rasante wirtschaftliche Entwicklung und ein starkes Bevölkerungswachstum führen im Haihe-Flusssystem bei Peking zu einer massiven Überdüngung der Gewässer. Der Nährstoffeintrag erfolgt hauptsächlich über das Abwasser. Zwar existieren mancherorts Kläranlagen, doch viele arbeiten bereits heute über ihren Kapazitätsgrenzen oder eliminieren die Nährstoffe mangelhaft.



Michael Berg, Umweltchemiker, untersucht das Verhalten von Schadstoffen in Oberflächengewässern und im Grundwasser.  
Koautor: Beat Müller



Algenblüte auf dem stark eutrophierten Shahe-Reservoir oberhalb von Peking.

Der Nordosten Chinas gehört zu den Gegenden der Volksrepublik, die sich am stärksten und schnellsten entwickeln. So verzeichnet der zwischen den Millionenstädten Peking und Tianjin gelegene Siedlungsraum landesweit das höchste Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum. Gleichzeitig leidet die Region mit ihrem semiariden Klima unter Trockenheit und die wachsende Bevölkerung zunehmend unter Wasserknappheit. Seit den 1970er-Jahren haben die Niederschläge deutlich abgenommen. 2007 standen jeder Einwohnerin und jedem Einwohner Pekings nur 230 Kubikmeter Trinkwasser pro Jahr zur Verfügung. Das sind weniger als

acht Prozent der Menge, die Personen in der Schweiz im Durchschnitt jährlich verbrauchen können.

## Abwasser als Hauptursache für die Eutrophierung

Trotz des trockenen Klimas stammen rund 30 Prozent des in China angebauten Weizens und 20 Prozent des Mais von den landwirtschaftlichen Flächen zwischen Peking und Tianjin. Das ist nur dank intensiver Bewässerung mit Wasser aus dem Haihe-Flusssystem möglich, das sich auf einer Länge von über 250 Kilometern von oberhalb Pekings bis zum Golf von Bohai erstreckt

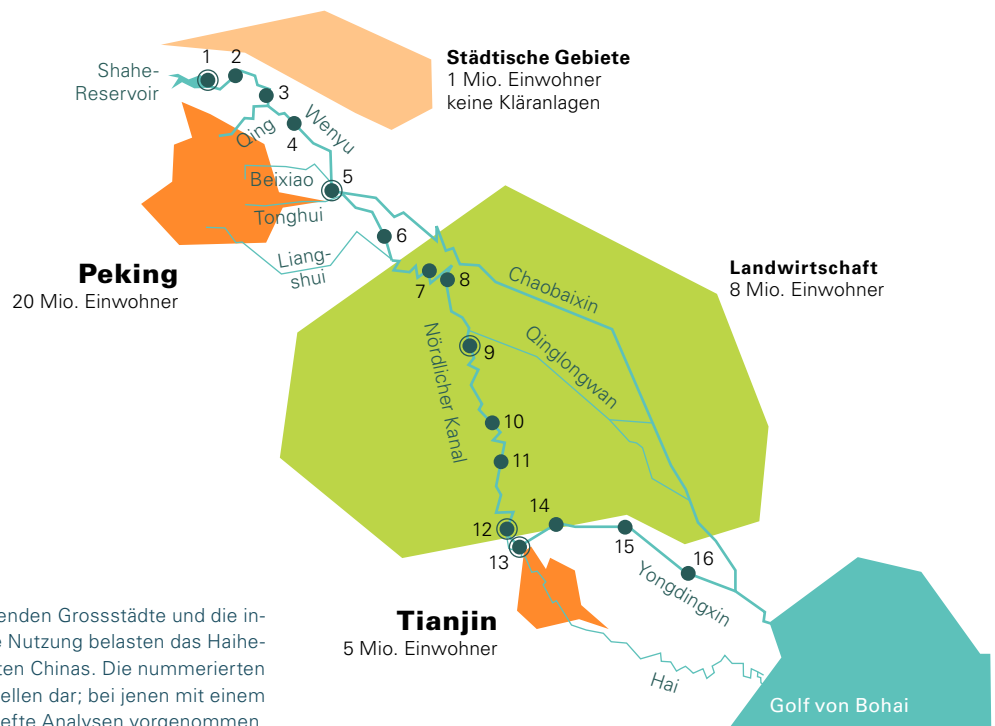


Abb. 1: Die rasant wachsenden Grosstädte und die intensive landwirtschaftliche Nutzung belasten das Haihe-Flusssystem im Nordosten Chinas. Die nummerierten Punkte stellen die Messstellen dar; bei jenen mit einem Kreis wurden vertiefte Analysen vorgenommen.

(Abb. 1). Der zunehmende Wasserbedarf von Landwirtschaft und Industrie hat zusammen mit den ausbleibenden Niederschlägen, dem Bevölkerungswachstum und dem steigenden Pro-Kopf-Konsum dazu geführt, dass viele Flüsse Nordchinas mittlerweile ausgetrocknet sind.

Daneben haben im Haihe-Flusssystem die Nährstoffkonzentrationen (Stickstoff und Phosphor) während der vergangenen 40 Jahre massiv zugenommen und zur Überdüngung (Eutrophierung) der Gewässer geführt. Das hängt teilweise mit dem gestiegenen Einsatz von synthetischem Dünger zusammen, ist aber vor allem eine Folge davon, dass ein Grossteil der Siedlungsabwässer unbehandelt in das bereits stark vom Menschen veränderte Flusssystem gelangt. Die Gewässer sind deshalb heute schwerwiegend geschädigt, Sauerstoffmangel und Algenblüten gehören zur Tagesordnung. Die Verschmutzungen gelangen zudem in die Böden, ins Grundwasser und ins Meer. Mit gravierenden Folgen: Die unnatürlichen Nährstoffverhältnisse führen zu Veränderungen in der Artenzusammensetzung mariner Algengesellschaften. Häufiger auftretende Algenblüten, bei denen sich bestimmte Arten massenhaft vermehren und dabei toxische Substanzen absondern (so genannte Red Tides), stellen eine zunehmende Gefahr dar. Die als Todeszonen bezeichneten sauerstoffarmen Bereiche entlang der chinesischen Küste, in denen praktisch kein Leben mehr gedeiht, gehören zu den weltweit grössten.

Zu einem gewissen Grad erlebte Europa während seines wirtschaftlichen Aufschwungs ab den 1950er-Jahren ähnlich katastrophale Zustände. In der Schweiz konnten die Probleme nicht zuletzt dank den Erkenntnissen der Wasserforschung mit entsprechenden Massnahmen – zum Beispiel dem Bau von Kläranlagen oder einem Phosphatverbot bei Waschmitteln – bis zu den 1990er-Jahren weitgehend entschärft werden [1]. Rigorose

Massnahmen sind heute dringend auch in China und anderen aufstrebenden Regionen rund um den Globus nötig.

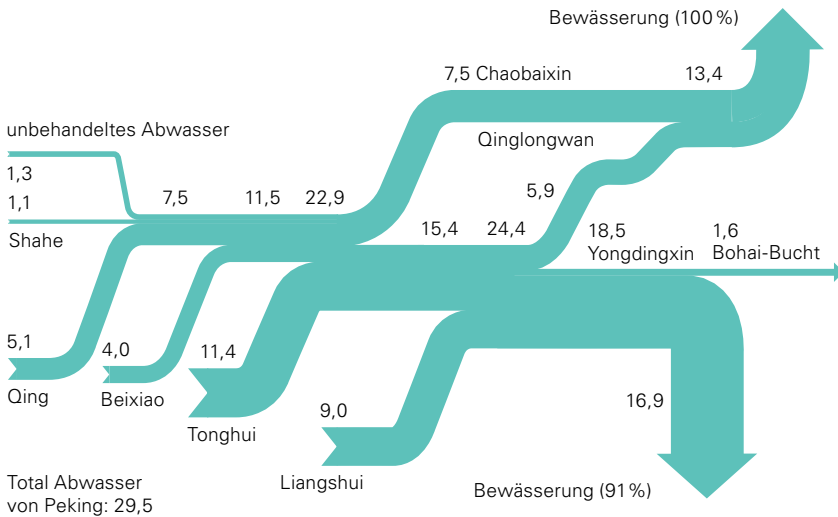
In Nordchina hat man die Dringlichkeit von Sanierungen inzwischen erkannt und das Thema auf die politische Agenda gesetzt. Die benötigten Geldmittel sind vorhanden und im Vergleich zu anderen Ländern leicht und schnell verfügbar, was die Umsetzung effizienter Massnahmen begünstigt und nicht zuletzt auch eine wirksame Zusammenarbeit mit westlichen Fachleuten sowie den Wissenstransfer erleichtert.

### Hoher Wasserverbrauch trotz Knappheit

Im Vorfeld der Olympischen Spiele in Peking 2008 hat die Stadt gleich neun Kläranlagen in Betrieb genommen, mit dem Ziel, zukünftig 90 Prozent ihres Abwassers gereinigt in das Haihe-Flusssystem zu leiten. Die Wirksamkeit dieser Massnahmen wurde bis anhin allerdings noch nicht untersucht. In einer Forschungszusammenarbeit mit dem Research Center for Eco-Environmental Sciences in Peking, einem Institut der Chinesischen Akademie der Wissenschaften, erhoben wir deshalb erstmals eine Gesamtbilanz der Nährstoffflüsse für das Haihe-Flusssystem [2]. Wir erfassten dazu die räumlichen und zeitlichen Muster der Stickstoff- und Phosphorfrachten im Gebiet vom Shahe-Reservoir oberhalb Pekings bis zur Bohai-Bucht unterhalb von Tianjin. Die Untersuchungen sollten eine wissenschaftlich fundierte Basis liefern, die es den Behörden der Region ermöglicht, sinnvolle und wirksame Massnahmen zur Verminderung der Nährstoffproblematik zu entwickeln. Eine zweite Arbeit mit Eawag-Beteiligung befasste sich mit der Belastung mit organischen Mikroverunreinigungen (siehe Artikel auf Seite 6) [3].

Um uns einen ersten Überblick über das Vorkommen und die Häufigkeit der Nährstoffe zu verschaffen, untersuchten wir 2009

a) Wasserabfluss (m³/s)



b) Stickstoff (t/Tag)

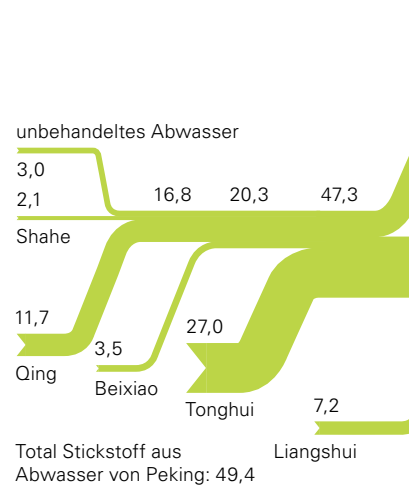


Abb. 2: Abflussmengen und Nährstofffrachten im Haihe-Flusssystem.

während der Trockenzeit (April) und der Regenzeit (Juli) entlang einer Strecke von 240 Kilometern an 16 Flussabschnitten Wasserproben. Anhand dieser ersten Analysen wählten wir für genauere Untersuchungen fünf permanente Messstellen aus, an denen wir während eines Jahres monatlich Proben nahmen (Abb. 1). Dabei erhoben wir auch tägliche und wöchentliche Schwankungen. Zudem untersuchten wir die vier Nebenflüsse Qing, Beixiao, Tonghui und Liangshui, über die Pekings Abwasser ins Flusssystem eingeleitet wird, sowie das Abwasser der fünf grössten Kläranlagen, um die Nährstofffracht pro Bewohner zu ermitteln.

Die Erhebung der Abflussmengen an den verschiedenen Messstellen gestaltete sich zunächst schwierig, denn die von den örtlichen Behörden erhobenen Daten waren für die Allgemeinheit nicht freigegeben. Erst hartnäckige Verhandlungen unserer lokalen Partner führten schliesslich zum Ziel. Aus dem 1,8 Quadratkilometer grossen, in einem öffentlichen Naherholungspark liegenden Shahe-Reservoir fliesst demnach nur ein Rinnsal von weniger als 1 Kubikmeter pro Sekunde in das Haihe-Flusssystem. Unterhalb von Peking stammen 90 Prozent des Flusswassers von den vier Nebenflüssen Qing, Beixiao, Tonghui und Liangshui. Damit speist Peking im jährlichen Mittel pro Sekunde 29,5 Kubikmeter geklärtes und ungeklärtes Abwasser ins Flusssystem (Abb. 2a). Das entspricht dem Abwasser von rund 14 Millionen Einwohnern oder 70 Prozent der gesamten Bevölkerung Pekings. Der durchschnittliche Wasserverbrauch liegt dabei bei 200 Litern pro Person und Tag, womit die Stadt trotz Wassermangel einen höheren Konsum als die Schweiz mit 170 Litern aufweist.

**Extrem hohe Nährstoffkonzentrationen**

Über Einträge aus Peking und seinem Umland gelangen durchschnittlich 54,5 Tonnen Stickstoff und 4,5 Tonnen Phosphor pro Tag in das Haihe-Flusssystem (Abb. 2b und c). Über 90 Prozent

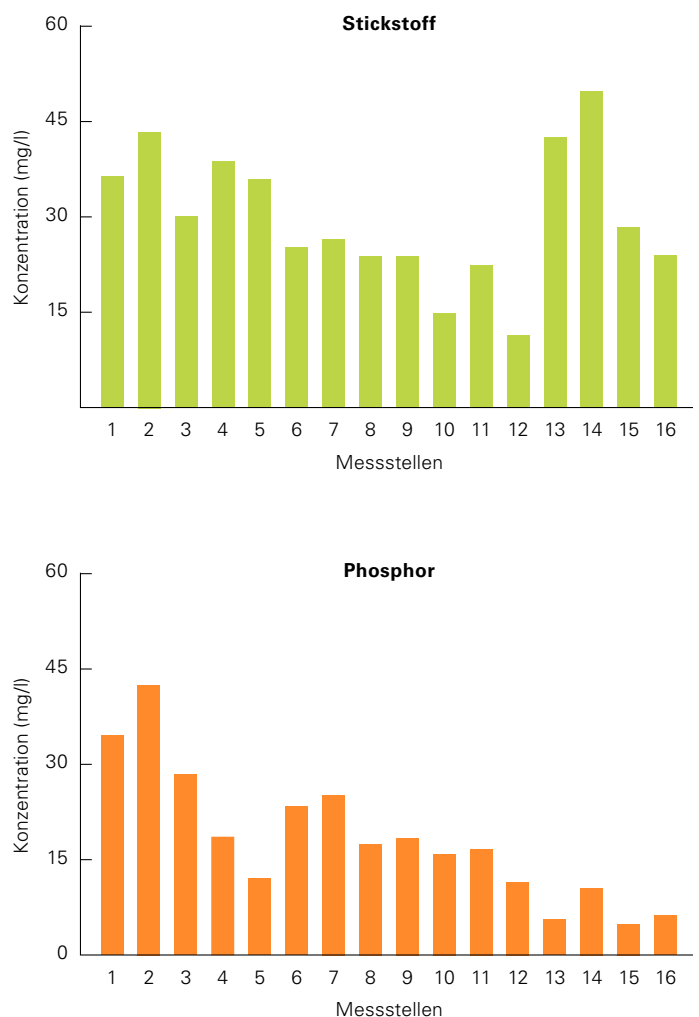
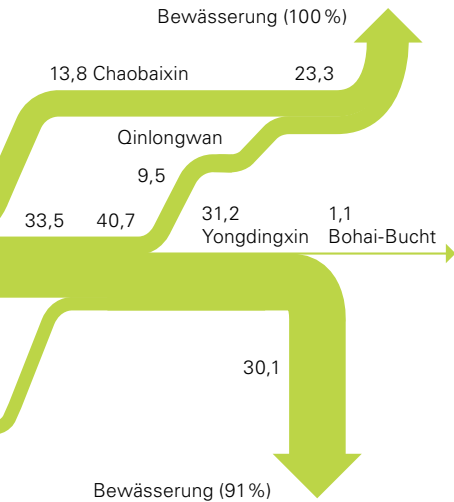
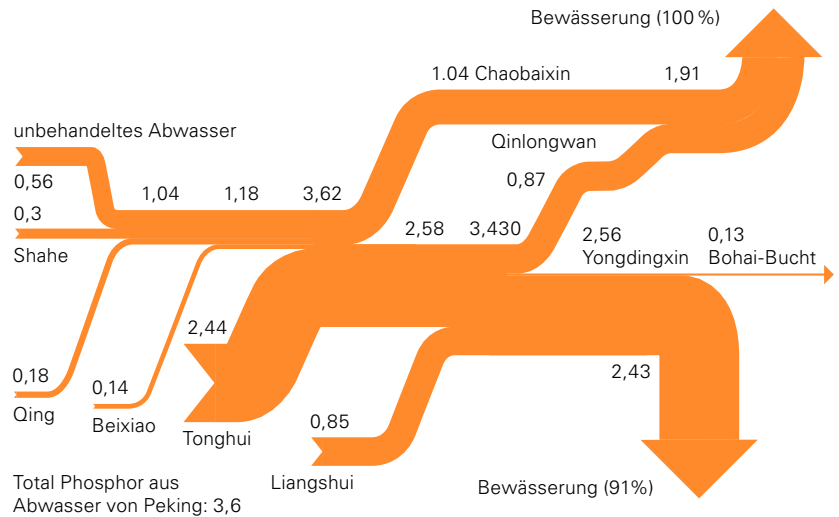


Abb. 3: Die Nährstoffkonzentrationen nehmen flussabwärts tendenziell ab.



c) Phosphor (t/Tag)



der Nährstoffe stammen aus dem Pekinger Abwasser, wobei der Tonghui über die Hälfte der Fracht einspeist.

Die im Shahe-Reservoir gemessenen Konzentrationen von Stickstoff (in Form von Ammonium) erreichen bis zu 33 Milligramm pro Liter, die Konzentrationen des gelösten anorganischen Phosphors bis zu 3,2 Milligramm pro Liter. Das ist mehr als das Zehn- beziehungsweise Sechsfache der Höchstwerte, die in der Schweiz zur Zeit der stärksten Gewässereutrophierung während der 1970er- und 1980er-Jahre gemessen wurden. Die Nährstoffe stammen zum grössten Teil aus unbehandeltem Abwasser und Schlamm aus Siedlungen und Tierzuchtbetrieben (vor allem aus der Geflügelhaltung) und setzen sich im seichten See ab. Aus den an organischem Kohlenstoff reichen Sedimenten gelangen kontinuierlich Nähr- und Spurenstoffe ins Wasser. Zudem speisen unterhalb des Sees zahlreiche kleine Abwasserleitungen unbehandeltes Abwasser in den Wenyu ein.

Damit ist der obere Bereich des Haihe-Flusssystemes besonders stark belastet, obwohl nur zirka drei Prozent der gesamten Nährstofffracht aus dieser Region stammen. Flussabwärts nehmen die Nährstoffbelastungen mehr oder weniger kontinuierlich ab (Abb. 3). Normalerweise würde man erwarten, dass die Nährstoffbelastung in der Umgebung von Städten (etwa bei Peking) und landwirtschaftlich stark genutzten Flächen (beispielsweise im Gebiet zwischen Peking und Tianjin) jeweils ansteigt. Aber die Verschmutzung aus dem Shahe-Reservoir ist so massiv, dass selbst der Eintrag des Pekinger Abwassers tendenziell eine Verdünnung zur Folge hat.

#### Kläranlagen eliminieren Stickstoff mangelhaft

Insgesamt bestätigen unsere Analysen, dass die Nährstoffe hauptsächlich über das Abwasser ins Haihe-Flusssystem gelan-

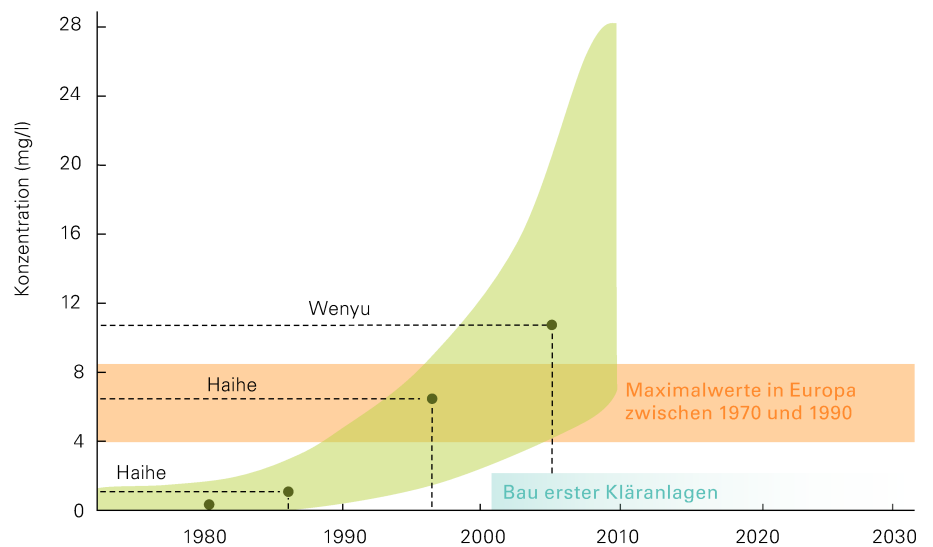
gen. Einträge aus Industrie, Landwirtschaft oder Atmosphäre sind daneben vernachlässigbar. Gemäss unseren Hochrechnungen landen in den Abwassereinigungsanlagen Pekings pro Jahr und Einwohner 1420 Gramm Stickstoff. Das entspricht annähernd den Erfahrungswerten für Kläranlagen auf der ganzen Welt, die in einem Bereich zwischen 1650 und 1850 Gramm liegen. Beim geklärten Abwasser liegt Peking mit mehr als 1200 Gramm pro Einwohner dagegen wesentlich über den internationalen Richtwerten (110 bis 800 Gramm). Die schlechte Reinigungsleistung deutet darauf hin, dass die Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse in den Kläranlagen nicht optimal funktionieren.

Im Gegensatz dazu wird Phosphor relativ effizient entfernt. Die Mengen im gereinigten Abwasser entsprechen den weltweit typischen Werten von 91 bis 211 Gramm pro Einwohner und Jahr. Die teilweise trotzdem sehr hohen Konzentrationen in den Fließgewässern sind daher eher auf einen Wassermangel als auf eine unzureichende Abwasserreinigung zurückzuführen.

Trotz des Baus von neun Kläranlagen und von über 4000 Kilometer Abwasserleitungen im Raum Peking konnte der starke Nährstoffanstieg der letzten Jahrzehnte im Haihe-Flusssystem nicht gebremst werden (Abb. 4). Zwar ist in Peking eine wachsende Anzahl Haushalte an Kläranlagen angeschlossen, doch ging man bei deren Planung Anfang 2000 von einem geringeren Bevölkerungswachstum aus, sodass sie für weniger Einwohner ausgelegt wurden. Deshalb arbeiten die Anlagen heute oft über ihrer Kapazität.

Der wirksamste Weg, die drastische Eutrophierung in der Region in den Griff zu bekommen, scheint uns der Bau zusätzlicher moderner und genügend grosser Abwassereinigungsanlagen, die auch den Stickstoff effektiv entfernen. Damit konnten die

Abb. 4: Die Stickstoffbelastung wächst auch nach dem Bau von Kläranlagen ungebremst weiter und übersteigt die höchsten je in Europa auftretenden Werte um ein Vielfaches.



Schweiz und Europa in den 1980er-Jahren die Stickstoffzunahme zumindest stoppen. In vielen Gewässern liegen die Konzentrationen trotz allem aber noch weit über den ursprünglichen Werten, denn die unzähligen diffusen Emissionsquellen sind schwer zu lokalisieren und kontrollieren.

Die chinesische Landwirtschaft könnte ebenfalls zur Schonung der Wasser- und Energieressourcen beitragen, indem sie mineralischen Stickstoffdünger zurückhaltender und verantwortungsvoller einsetzt. Das würde vor allem die Küstengebiete, etwa das Mündungsgebiet des Yangtse, entlasten [4]. Ein Verbot phosphorhaltiger Detergenzien wäre ein weiterer Schritt, die Phosphorkonzentrationen zu senken.

### Dreckiges Wasser für die Bewässerung

Die Resultate dieser schweizerisch-chinesischen Gemeinschaftsstudie haben wir in Peking den betroffenen Akteuren im Rahmen verschiedener Workshops vorgestellt und mit ihnen diskutiert. Dabei zeigte sich, dass China gewillt ist, seine Probleme in den Griff zu bekommen. Bei fünf Kläranlagen hat Peking versuchsweise bereits Verbesserungsmaßnahmen für eine effizientere Abwasserbehandlung vorgenommen. Sie sollen in naher Zukunft vollwertig ausgebaut werden.

Wie wichtig entschiedenes Handeln in dieser Sache ist, macht eine weitere Erkenntnis unserer Untersuchung deutlich: Von der Wassermenge von 31,9 Kubikmetern pro Sekunde, die im Jahresdurchschnitt durch das Haihe-Flusssystem fliesst, werden rund 95 Prozent zur Bewässerung abgezweigt. So wird praktisch die gesamte Wassermenge der beiden kanalisierten Flüsse Chaobai-xin und Qinlongwan dafür verwendet. Von den 18,5 Kubikmetern pro Sekunde, die unterhalb von Peking im nördlichen Kanal abfliessen, erreichen nur gerade 1,6 Kubikmeter pro Sekunde Tianjin und schliesslich das Meer (Abb. 2a). Verschiedene Dämme

entlang dieses Flussabschnitts leiten das Wasser in ein umfangreiches Netzwerk von Bewässerungskanälen um, aus denen es die Bauern abpumpen, um ihre Felder zu bewässern. Das verwendete Wasser weist einen höheren Verschmutzungsgrad auf als die gemäss dem chinesischen Qualitätsstandard schlechteste Stufe V. Das bedeutet, dass das Wasser eigentlich für jegliche Verwendung zu belastet ist.

michael.berg@eawag.ch

- [1] Hering J.G., Höhn E., Klinker A., Maurer M., Peter A., Reichert P., Robinson C., Schirmer K., Schirmer M., Stamm C., Wehrli B. (2012): Moving targets, long-lived infrastructure, and increasing needs for integration and adaptation in water management: An illustration from Switzerland. *Environmental Science and Technology* 46, 112–118.
- [2] Pernet-Coudrier B., Qi W., Liu H., Müller B., Berg M. (2012): Sources and pathways of nutrients in the semi-arid region of Beijing-Tianjin, China. *Environmental Science and Technology* 46, 5294–5301.
- [3] Heeb F., Singer H., Pernet-Coudrier B., Qi W., Liu H., Longrée P., Müller B., Berg M. (2012): Organic micropollutants in rivers downstream of the megacity Beijing: Sources and mass fluxes in a large-scale wastewater irrigation system. *Environmental Science and Technology* 46, 8680–8688.
- [4] Müller B., Berg M., Pernet-Coudrier B., Qi W., Liu H. (2012): The geochemistry of the Yangtze River: Seasonality of concentrations and temporal trends of chemical loads. *Global Biogeochemical Cycles* 26, GB2028.