

Lucas Menzel, Jürgen Hofmann und Ralf Ibisch

Untersuchung von Wasser- und Stoffflüssen als Grundlage für ein Integriertes Wasserressourcen-Management im Kharaa-Einzugsgebiet, Mongolei

Studies of water and mass fluxes to provide a basis for an Integrated Water Resources Management (IWRM) in the catchment of the River Kharaa in Mongolia

Der Beitrag schildert zunächst wasserbezogene Probleme der Mongolei, die einerseits Folge der harschen naturräumlichen Bedingungen sind, andererseits auf das Fehlen von Strukturen zurückgeführt werden können, die eine angemessene Verteilung und einen Schutz von Wasser regeln. Es werden anschließend Arbeiten aus den Bereichen Hydrologie, Stoffkreisläufe und Fließgewässerökologie vorgestellt, die Teile eines Projektes sind, in welchem die modellhafte Entwicklung eines Integrierten Wasserressourcen-Managements für ein Flussgebiet im Norden der Mongolei verfolgt wird.

Schlagwörter: HBV-D, Integriertes Wasserressourcen-Management, MoMo-Projekt, MONERIS, Mongolei, Stoffflüsse, Wasserknappheit

The paper first reports water-related problems in Mongolia that can be traced back both to adverse natural conditions and to the lack of structures to control the appropriate distribution and protection of water. This is followed by a description of studies in hydrology, mass fluxes, and freshwater ecology that are part of a project dealing with the development of an example of a system of Integrated Water Resources Management (IWRM) in a river basin in northern Mongolia.

Keywords: HBV-D, Integrated Water Resources Management, mass fluxes, MoMo-project, MONERIS, Mongolia, water scarcity

1 Einleitung

Die Mongolei steht einer Vielzahl wasserwirtschaftlicher Probleme gegenüber, deren Lösung einen transdisziplinären Managementansatz notwendig machen. An vorderster Stelle stehen steigende Wasserentnahmen bei allgemeiner knapper Wasserverfügbarkeit, Beeinträchtigungen der Wasserqualität durch Landwirtschaft, Bergbau und Industrie sowie veraltete Infrastrukturen der Wasserver- und Entsorgung in den Städten und Siedlungen (BATSUKH et al. 2008). Obwohl punktuell große Anstrengungen zu einer in Menge und Güte ausreichenden Wasserversorgung der Bevölkerung unternommen werden, fehlen flächenhafte, der jeweiligen Situation angepasste Programme. Die naturräumlichen Bedingungen der Mongolei, unklare Zuständigkeiten und ein verbesserungswürdiger Ausbildungsstand der im Wasserwesen Beschäftigten erschweren die Entwicklung und Umsetzung von Wassermanagementprogrammen. In vielen ländlichen Gebieten der Mongolei erfolgt die Wasserversorgung der Bevölkerung aus ungesicherten Grundwasserquellen und erreicht oftmals nur 5 bis 6 Liter pro Kopf und Tag (BASANDORJ & SINGH 2008), was weit unter dem von der Weltgesundheitsorganisation genannten Schwellenwert für die Mindestversorgung der menschlichen Grundbedürfnisse liegt (WHO 2003).

Das Konzept des Integrierten Wasserressourcen-Managements (IWRM) zielt auf eine integrative, nachhaltige und partizipative Bewirtschaftung der Wasserressourcen, um wirtschaftliche und soziale Entwicklung zu fördern und die Funktionsfähigkeit der aquatischen und terrestrischen Ökosysteme zu erhalten. Auf dem Weg zu einer Umsetzung des IWRM-Gedankens, und um einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Wassernutzungssektoren zu ermöglichen, müssen zunächst hydrologische Daten erhoben, Wasserbilanzen erstellt, Wasserentnahmen ermittelt und Verschmutzungsquellen identifiziert werden. Angesichts

der vielen Probleme in der Mongolei stellen alleine diese Aufgaben eine große Herausforderung dar.

Im Rahmen der Förderinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zum Integrierten Wasserressourcen-Management (www.bmbf.wasserressourcen-management.de) wurde diese Herausforderung aufgegriffen und die Mongolei als eine Modellregion für die Entwicklung und Umsetzung von integrierten Wassermanagement-Konzepten bearbeitet (MoMo-Projekt: www.iwrm-momo.de). Dabei wurden von 2006 bis 2009 die hydrologischen Gegebenheiten sowie die wesentlichen Komponenten des Wassermanagements in einem Einzugsgebiet im Norden der Mongolei (Kharaa-Einzugsgebiet mit der Stadt Darkhan) untersucht. In dieser ersten Projektphase wurden zusammen mit wissenschaftlichen und administrativen Partnern in der Mongolei Bestandsanalysen durchgeführt, relevante Daten zusammengestellt und sektorale Arbeiten in den Bereichen Hydrometeorologie und Hydrologie, Landnutzung, Stoffkreisläufe, Ökologie, Trinkwasserversorgung und Abwasserreinigung begonnen. Hinzu kamen Ausbildungsmaßnahmen an den mongolischen Universitäten in den genannten Disziplinen. Eines der Ziele der im Jahre 2010 angelaufenen, zweiten Phase des MoMo-Projekts ist eine Verknüpfung der Erkenntnisse der Einzeldisziplinen zu einem transdisziplinären Ansatz, der die Umsetzung eines IWRM in der Modellregion ermöglicht und als Beispiel für eine mongoleiweite Umsetzung des IWRM-Gedankens dient.

2 Die Mongolei – ein landeskundlicher Überblick

Die Mongolei liegt am Nord-Ost-Rand Zentralasiens und nimmt eine Fläche von 1.565 Mio. km² ein, womit sie etwa 4,4 mal größer als Deutschland ist. Wichtigste Kennzeichen der Mongolei sind ihre meeresferne Lage, das extrem kontinentale Klima und der Hochlandcharakter, der sich aus einer mittleren Höhenlage

des Landes von 1.580 m ü. NN ergibt. Die Mongolei gehört den trockenen Mittelbreiten an (SCHULTZ 2002), die sich grob nach Grassteppen sowie nach Wüsten und Halbwüsten differenzieren lassen. In Abhängigkeit der thermisch-hygrischen Bedingungen können diese Naturräume jedoch in sehr vielfältige Teilräume untergliedert werden. Bei allen naturräumlichen Betrachtungen fällt die ausgeprägte Zonalität des mongolischen Territoriums auf, d.h. die sich in Nord-Süd-Richtung regelhaft ändernden Eigenschaften der klimatischen Randbedingungen, der Böden und der Vegetation. Die Zonalität wird lediglich durch mehrere Gebirgszüge unterbrochen, deren Gliederung nach der Höhenstufung erfolgt.

Die Mongolei ist das am dünnsten besiedelte Land der Erde. Mit nur knapp 2,7 Millionen Einwohnern kommen im Mittel gerade einmal 1,7 Menschen auf einen Quadratkilometer (Deutschland: 231). Zu berücksichtigen ist dabei, dass alleine in der Hauptstadt Ulaanbaatar (Ulan Bator; zu deutsch „Roter Held“) und ihrer näheren Umgebung schon etwa 1,1 Millionen Menschen leben. Gleichzeitig ist Ulaanbaatar die kälteste Hauptstadt der Erde und eine der jüngsten: Städtische Siedlungen sind in der stark vom Nomadismus und der Viehzucht geprägten Mongolei erst in der Aufbauphase des Sozialismus ab den 1920er Jahren entstanden. Entwicklungspotential und Bedrohung zugleich sind die reichen Bodenschätze der Mongolei: So verfügt das Land u.a. über große Gold-, Kupfer- und Kohlevorräte, die in großem Stil erschlossen und abgebaut werden. Traditionelle Wirtschaftsgüter der Mongolei stellen u.a. Woll- und Lederprodukte dar.

Ein weiteres Charakteristikum der Mongolei ist der zum Teil starke Gegensatz zwischen Regionen, die vom Menschen praktisch unbeeinflusst erscheinen, und Gebieten, die stark von menschlichen Aktivitäten geprägt sind. Neben einer vielfach zu intensiven Tierhaltung, mit Besatzdichten, die zur Bodendegradierung führen (BATKHISHIG & LEHMKUHL 2003), sind hier u.a. die meist illegalen Holzentnahmen aus den Gebirgswäldern und der nördlichen Taigazone sowie der Bergbau mit seinen drastischen Eingriffen in die Landschaft zu nennen.

3 Das Flussgebiet des Kharaa

Für die beispielhafte Untersuchung der landesspezifischen Randbedingungen und der Möglichkeiten bzw. Hemmnisse zur Umsetzung eines IWRM in der Mongolei fiel die Wahl auf das Einzugsgebiet des Flusses Kharaa (zwischen 47°53'–49°38' nördlicher Breite und 105°19'–107°22' östlicher Länge). Ausschlaggebend für die Auswahl dieses Gebietes war die Erkenntnis, dass die typischen Wasserverfügbarkeits- und -versorgungsprobleme der Mongolei dort in einem kompakten räumlichen Zusammenhang anzutreffen sind (s. Abschnitt 4). Als günstig erwies sich zudem die Nähe des Kharaa-Gebietes zur Hauptstadt Ulaanbaatar und die für mongolische Verhältnisse sehr gute verkehrstechnische

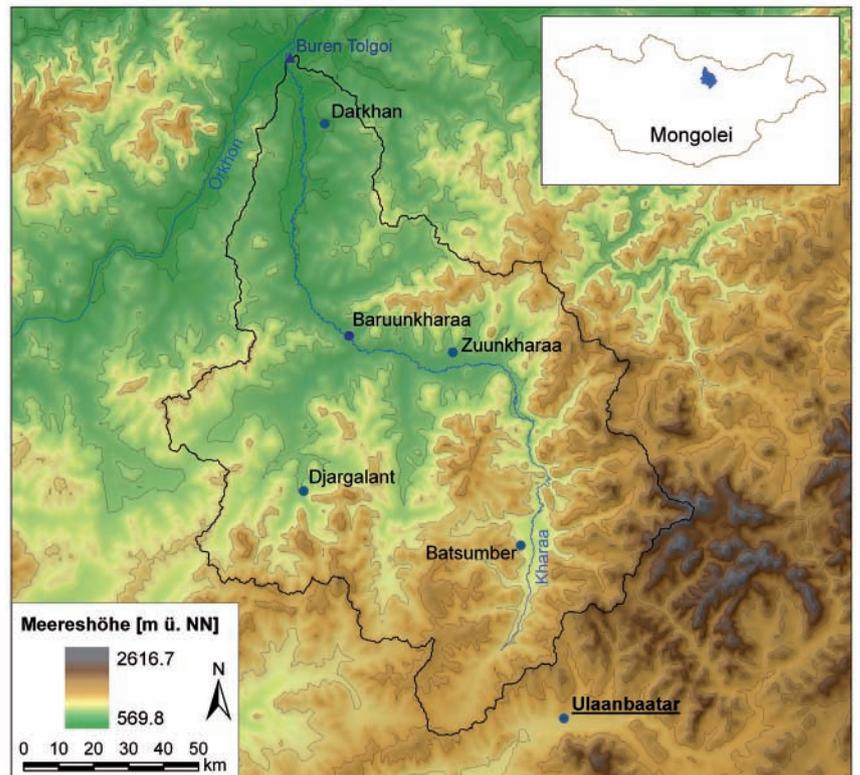


Abbildung 1

Die Lage des Kharaa-Einzugsgebietes in der Mongolei (kleines Bild) und Gebietsübersicht mit dem Pegel Buren Tolgoi und den wichtigsten Siedlungen. Das Gewässernetz ist stark vereinfacht dargestellt. Am Ostrand des Gebietes erhebt sich das Khentii-Gebirge. *Location of the Kharaa river basin in Mongolia (inset) and overview of the catchment, including the Buren Tolgoi river gauging station and important major settlements. The river network is shown strongly generalized. The Khentii mountain range stretches in the east of the catchment.*

Erreichung durch eine asphaltierte Hauptstraße und eine Bahnlinie.

Das Flussgebiet des Kharaa umfasst Teile des nordostmongolischen Khentii-Gebirges bis in eine Höhe von knapp 2.700 m sowie dessen vorgelagerte Rumpflattent und Beckenlagen (Abb. 1, 2). Der Kharaa mündet nach einer Fließlänge von 362 km nicht weit von der Stadt Darkhan auf 654 m ü. NN in den Orkhon. Der Orkhon wiederum fließt dem größten Fluss der Mongolei zu, der Selenge, die in den Baikalsee entwässert. Am Pegel Buren Tolgoi, nahe der Mündung des Kharaa in den Orkhon, umfasst das Flussgebiet des Kharaa eine Fläche von 14.534 km². Darkhan selbst ist mit ca. 74.600 Einwohnern die drittgrößte Stadt der Mongolei und ein regionaler Industrieschwerpunkt.

3.1 Klimatische Randbedingungen

Das Klima des Projektgebietes im Norden der Mongolei ist als hochkontinental zu bezeichnen. Nach der Klimaklassifikation von Köppen (KÖPPEN 1918, 1936) liegt das Untersuchungsgebiet im Übergangsbereich zwischen dem kalt-gemäßigten, borealen (Schnee-Wald-) Klima abseits der Küstenlagen und den semi-ariden, kalten Steppenklimate. Diese Klimazonen sind allgemein als trocken einzustufen, mit einem deutlichen Sommermaximum der Niederschläge. Nennenswerte Regenmengen fallen im Untersuchungsgebiet vor allem in den Monaten Juni bis August, die etwa 70 % des Jahresniederschlages betragen (Abb. 3). Während dieser Zeit können Niederschlagsereignisse hoher



Abbildung 2

Der Kharaa mäandriert durch die Steppe (links). Zubringer des Kharaa, der die Taigazone des Khentii-Gebirges entwässert (rechts). Fotos: R. Ibisch und L. Menzel.

Meanders of the River Kharaa in the steppe lowlands (left). The headwaters of the Kharaa drain the taiga zone of the Khentii mountains (right). Photographs: R. Ibisch and L. Menzel.

Intensität auftreten, die Sturzfluten und Hochwasser auslösen. Gleichwohl können einzelne Sommer durch extreme Dürre geprägt sein.

Die geringen Winterniederschläge – von November bis März nur etwa 5–6 % des Jahresniederschlages – fallen ausschließlich als Schnee. Aufgrund der insgesamt niedrigen Luftfeuchte und bewölkungsarmen, winterlichen Bedingungen sublimieren geringmächtige Schneedecken in den Steppengebieten meist nach vergleichsweise kurzer Zeit (WIMMER et al. 2009). Die Ausbildung geschlossener Schneedecken und die Schneespeicherung im Khentii-Gebirge spielen dagegen eine wichtige Rolle bei der Abflusserhöhung und damit der Wasserversorgung der Vorländer im Frühjahr. Gleichwohl sind die klimatischen und hydrologi-

schen Bedingungen im Khentii vielfach unbekannt, da Langzeitmessungen fehlen. Die jährlichen Gebietsniederschläge im Flussgebiet des Kharaa bewegen sich zwischen ca. 250 und 350 mm. Die Niederschläge bleiben in allen Monaten unter der potentiellen Evapotranspiration, deren Jahressummen zwischen 600 und 700 mm erreichen (Abb. 3).

Das Klima im Norden der Mongolei zeichnet sich weiterhin durch eine hohe zeitliche Variabilität und extreme tägliche und jahreszeitliche Temperaturschwankungen aus. Tagestemperaturamplituden von etwa 20 °C sind das ganze Jahr über zu verzeichnen, und zwischen Sommermaxima und Winterminima betragen die Temperaturdifferenzen bis zu 90 °C. Die mittlere jährliche Gebietstemperatur bewegt sich im Bereich zwischen -0,5 und

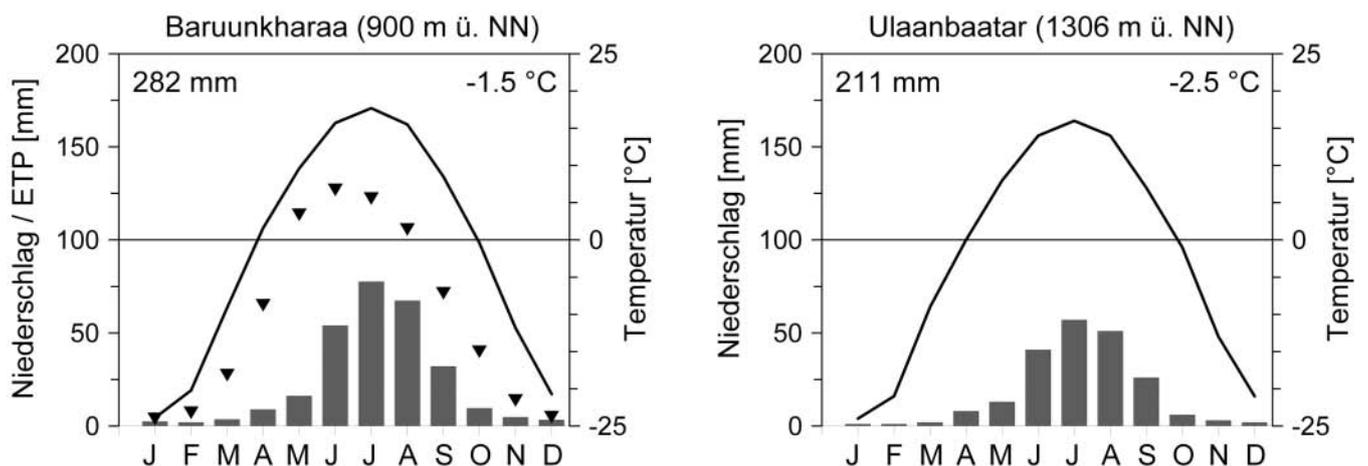


Abbildung 3

Klimadiagramme für die meteorologischen Stationen Baruunkharaa und Ulaanbaatar. Dargestellt sind mittlere monatliche Niederschläge (Säulen) sowie Monatsmittel der Lufttemperatur (Linien) für den Zeitraum 1961–1990. Für die Station Baruunkharaa sind zusätzlich Monatswerte der potentiellen Verdunstung ETP (Dreiecke) angegeben, die nach dem in MENZEL et al. (2006) beschriebenen Verfahren berechnet wurden. Die mittlere Jahressumme der potentiellen Evapotranspiration für Baruunkharaa beträgt 701 mm.

Climate diagrams of the meteorological stations Baruunkharaa and Ulaanbaatar showing mean monthly precipitation (bars) and mean monthly air temperatures (lines) in the reference period 1961–1990. The black triangles in the diagram of the station Baruunkharaa represent mean monthly values of potential evapotranspiration (ETP) that were calculated by the procedure described in MENZEL et al. (2006). The mean annual amount of ETP at Baruunkharaa is 701 mm.

-1,0 °C. Im Winter treten aufgrund häufiger Inversionswetterlagen vor allem in den Beckenlagen sehr tiefe Lufttemperaturen auf; so beträgt das Januarmittel in der Hauptstadt Ulaanbaatar etwa -25 °C (Abb. 3), wobei nahezu jährlich Minimalwerte unter -40 °C registriert werden. Im Flussgebiet des Kharaa wurde das absolute Temperaturminimum von -50,0 °C im Winter 2009/2010 gemessen. Tauwetter und erste Regenfälle treten meist im April oder Mai auf. Das kurze Frühjahr ist vor allem durch hohe Windgeschwindigkeiten geprägt. Weil die Steppenböden zu dieser Zeit noch nicht mit frischem Gras bestanden sind, entstehen hohe, windbedingte Bodenabtragsraten. Die kurzen Sommer sind wechselhaft, aber insgesamt ausgesprochen warm. Thermisch sind sie den Verhältnissen der kühl-gemäßigten Mittelbreiten ähnlich, mit Julimitteln der Lufttemperatur im Bereich zwischen +16 und +18 °C und absoluten Temperaturmaxima bis ca. +40 °C. Besonders in den Gebirgstälern können schon im August zum Teil empfindliche Nachtfröste auftreten, die den kurzen Herbst einleiten.

3.2 Vegetationszonen und Landnutzung

Aufgrund der klimatischen Gegebenheiten dominieren in den trockenen Beckenlagen des Kharaa-Einzugsgebietes die Kurzgrassteppen (59 % der Einzugsgebietsfläche), die überwiegend von Federgräsern und verschiedenen Wermutarten eingenommen werden. In den höher gelegenen Regionen im Mittel- und Oberlauf des Kharaa sind typische Übergangsformen zu den geschlossenen Waldgebieten zu finden, die Gebirgssteppen und Gebirgswaldsteppen. Diese weisen unterschiedliche Grade in der Verteilung von offenen Steppenfluren und von Wald auf. Auffallend ist dabei, dass die Nordhänge meist waldbestanden, die strahlungsreichen, trockenen Südhänge aber baumlos sind und Grasfluren mit subalpinen und alpinen Kräutern tragen. Die Quellflüsse des Kharaa entwässern das Khentii-Gebirge, welches der Gebirgstaigazone zuzurechnen und überwiegend waldbestanden ist (DULAMSUREN 2004). Hier erreichen die südlichen Ausläufer der ostsibirischen Taiga die Mongolei (BARTHEL 1988). Der Anteil der Waldfläche am gesamten Einzugsgebiet beträgt 26 %. Oberhalb von etwa 2.400–2.500 m, bis hinauf in die Gipfelzone des Khentii, schließt sich eine baumlose, mit periglazialen Frostschutt bedeckte Zone an.

Die Waldgebiete des Khentii sind praktisch unbesiedelt und machen vielfach einen vom Menschen völlig unberührten Eindruck. Diese Region ist somit als wissenschaftliche Referenzregion zu bezeichnen, in der u.a. die natürlichen hydrologischen Prozesse der Region sowie die ausschließlich von geogenen Bedingungen beeinflusste Wasserqualität untersucht werden können. Gleichwohl treten Störungen auf, die sowohl natürliche Ursachen haben als auch Anzeichen menschlicher Aktivitäten sein können: Waldbrände sind typische, regelmäßig wiederkehrende Naturereignisse in borealen Systemen, die häufig durch Blitzschlag ausgelöst werden. Ausgedehnte Waldbrandflächen im Khentii und in den Übergangsregionen zur Steppe entstehen aber häufig durch Brandstiftung und nachfolgende Holzentnahme.

Das Angebot an Wasser, Holz und Weidegebieten macht die Region für nomadisch lebende Viehzüchter und ihre Herden (vorwiegend Rinder- und Schafhaltung) attraktiv. Das Kharaa-Gebiet ist weiterhin eines der wichtigsten Zentren landwirtschaftlicher Produktion in der Mongolei. Die harschen klimatischen Bedingungen und die kurzen Vegetationsperioden von jährlich nur

etwa 120 Tagen führen jedoch dazu, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche nur etwa 11 % der gesamten Einzugsgebietsfläche darstellt. Die wichtigsten Anbauprodukte sind Kartoffeln, Sommergetreide (Weizen) und Gemüse. Regenfeldbau ist jedoch nur mit hohem Risiko möglich, weshalb ein Teil der Flächen bewässert wird und die Anbauflächen für einzelne Jahre regelmäßig in Schwarzbrachen umgewandelt werden um Verdunstungsverluste zu minimieren und die verfügbare Bodenfeuchte entsprechend zu erhöhen. Im gesamten Kharaa-Einzugsgebiet leben etwa 133.000 Menschen (ca. 5 % der Bevölkerung der Mongolei, ca. 9,2 Einwohner pro km²), die meisten davon in der Industriestadt Darkhan im nördlichen Teil des Einzugsgebietes (Abb. 1). Im Untersuchungsgebiet befinden sich außerdem einige der wichtigsten und größten Goldminen des Landes, allen voran die Boroo-Mine, die von der kanadischen Firma Centerra-Gold betrieben wird. Sie förderte im Zeitraum zwischen März 2004 und Dezember 2009 knapp 40 Tonnen Gold.

4 Wasserressourcen und Wasserknappheit

In der Mongolei ist die Dichte des hydro-meteorologischen Messnetzes äußerst gering; so sind landesweit derzeit etwa 120 meteorologische Stationen und etwa die doppelte Zahl an meteorologischen „Posten“ (Niederschlagsmesser und Wetterhütten) in Betrieb. Hinzu kommen etwa 100 Pegelstationen. Zuständig für den Aufbau und Betrieb des Messnetzes ist das in Ulaanbaatar ansässige Institut für Meteorologie und Hydrologie (IMH). Für das mongoleiweite Pegelwesen (regelmäßiges Aufsuchen der Pegel, Datenauswertung, Archivierung usw.) stehen dem IMH 12 Personen zur Verfügung (Dr. Davaa, IMH, persönliche Mitteilung). Lokale Pegelbetreuer übernehmen die Aufgabe, regelmäßige Durchflussmessungen durchzuführen. Im Einzugsgebiet des Kharaa und seiner näheren Umgebung sind derzeit weniger als 15 meteorologische Stationen bzw. „Posten“ in Betrieb. Die zur Verfügung stehenden meteorologischen Daten decken meist vergleichsweise kurze Zeiträume von etwa 20–30 Jahren ab und weisen teilweise große Datenlücken auf. Neben dem Kharaa-Pegel Baruunkharaa wird im Kharaa-Gebiet einzig der Pegel Buren Tolgoi betrieben, der nahe der Mündung des Kharaa in den Orkhon mit einer Seilkrananlage zur Durchflusserfassung ausgerüstet ist. Anlässlich einer Besichtigung des Pegels fiel auf, dass das Messprofil nicht eindeutig definiert ist und zudem die Schaufel des hydrometrischen Flügels nicht unerhebliche Verformungen aufweist, was die Verlässlichkeit der Durchflussmessungen in Frage stellt.

Während der Wintermonate liegen die meisten Flüsse der Mongolei unter Eisverschluss, was neben großen Problemen bei der Durchflusserfassung auch bedeutende Auswirkungen auf die Wasserversorgung und auf gewässerökologische Phänomene hat. Im Winter werden die Fließgewässer nur durch einen stetig abklingenden Basisabfluss gespeist. Typisch für die Abflussregime im Kharaa-Gebiet sind zwei Abflussmaxima. Ein kleineres tritt im späten Frühjahr infolge Schneeschmelze auf und zeigt sich vor allem bei den Fließgewässern, welche die Khentii-Region entwässern. Ein deutliches durch Regenfälle geprägtes Maximum ergibt sich dann im Sommer (Abb. 4), vor allem im August, wenn die (sommerlich hohe) Verdunstung schon langsam zurückgeht.

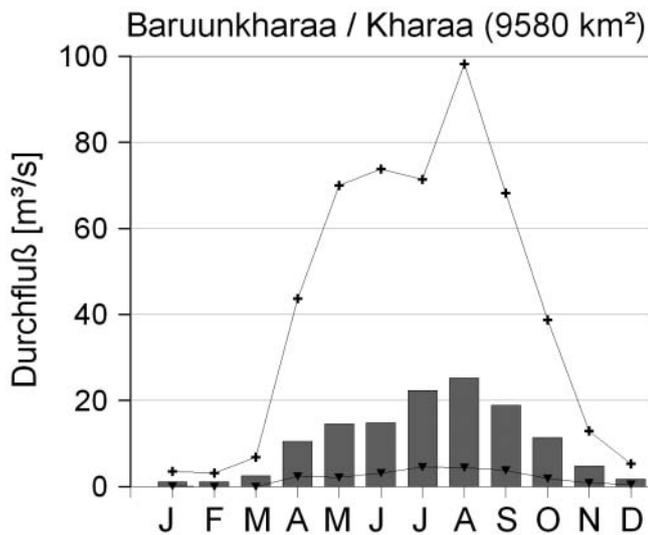


Abbildung 4
 Mittlere monatliche Durchflüsse (1951–2001) am Kharaa-Pegel Baruunkharaa. Die zusätzlich eingetragenen Linien verbinden die jeweils niedrigsten bzw. höchsten Monatswerte während des 50-jährigen Zeitraums und verdeutlichen die hohe zeitliche Variabilität.
Mean monthly streamflow (1951–2001) at the river gauge Baruunkharaa (Kharaa). The additional lines represent the respective monthly minimum and maximum values of the 50-year period and illustrate the wide temporal variability.

Die Bewirtschaftung der Wasserressourcen wird durch die naturräumlichen Bedingungen (z.B. ungleiche räumlich-zeitliche Wasserverfügbarkeit, große Frosteindringtiefen im Winter, allgemein große Frostschäden), das Fehlen einer kosteneffizienten Wasser- und Energieverteilung und die unzureichende Kenntnis der Grundwasser- und Energieverhältnisse vor erhebliche Probleme gestellt. Im geologischen Schnitt durch die Talau im Unterlauf des Kharaa ist zu erkennen, dass im Verlauf der quartären Landschaftsgenese eine bis zu 70 m tiefe Rinne in das Grundgebirge (vorwiegend aus Gneisen und Graniten bestehend) eingetieft wurde. Die allmähliche Verfüllung dieser Rinne mit Sanden und Kiesen im Quartär bildet

den Hauptgrundwasserleiterkomplex (GWLK) eines ungespannten Aquifers mit nutzbarer Grundwasserführung. Die genauere Untersuchung der Grundwasserverhältnisse (SCHARAW et al. 2009) hat ergeben, dass die Grundwasserneubildung maßgeblich durch den Grundwasserzustrom erfolgt, dessen Fließrichtung näherungsweise dem des Kharaa entspricht. Darkhan bezieht sein Trinkwasser aus dem GWLK des Kharaa vor den Toren der Stadt, wo das Grundwasser mit handgesteuerten, elektrischen Pumpen aufwendig gefördert und in einen nahegelegenen Hochbehälter geleitet wird. Die Tagesförderung beträgt etwa 23.000 m³ Grundwasser. Der Grundwasserzustrom ist maßgeblich vom Abfluss und der Grundwasserneubildung im Oberlauf des Kharaa abhängig. Aufgrund der wenig verlässlichen Abflussbildung als Folge zeitlich variabler Niederschläge sowie des steigenden Wasserbedarfs im Bergbausektor (Goldminen) und in der Landwirtschaft sind Nutzungskonflikte um die Wassermengen zu erwarten. Bereits in der ersten Projektphase war im Boroo Gol (Abb. 7) eine deutliche Abnahme des Durchflusses messbar, während der Bayan Gol (Abb. 7) bereits ausgetrocknet war. Die Wasserknappheit ist im Fall des Boroo Gol im direkten Zusammenhang mit dem Betrieb einer Brunnengalerie zu sehen, welche die Boroo-Goldmine mit Wasser versorgt.

In den Siedlungen treten hohe Leitungsverluste auf, z.B. geht in der Stadt Darkhan auf diese Weise ca. 40 % des Gesamtversorgungsvolumens verloren. Nur die Bewohner fester Bauwerke (meist mehrgeschossige Plattenbauten) sind an die Wasserversorgung und die Kanalisation angeschlossen. Die für urbane Zentren in der Mongolei typischen Jurtensiedlungen (informelle Siedlungen, bestehend aus Jurten und einfachen Holzhäusern), welche sich um die Stadtzentren gruppieren, werden lediglich über sogenannte Wasserkioske versorgt, wo die Bewohner ihr Trinkwasser zu einem vergleichsweise hohen Tarif in mitgebrachte Kanister abfüllen können (Abb. 5).

Viele Mongolen müssen ihr Trinkwasser aus kleinen Brunnen fördern, die kaum hygienischen Standards genügen, oder es wird direkt Oberflächenwasser aus Flüssen und Seen genutzt. Ver-



Abbildung 5
 Detail von der Kläranlage Darkhan (links). In den Jurtensiedlungen, wie hier in Darkhan (rechts), steht Trinkwasser nur an zentralen Wasserverteilstellen, den sogenannten Wasserkiosken, zur Verfügung. Für den Transport des Wassers müssen oft weite Fußwege in Kauf genommen werden. Fotos: L. Menzel.
Detail of the sewage-treatment plant at Darkhan (left). In the settlements, such as Darkhan (right), potable water is available only at central distribution stations (called water kiosks). Long walks have to be made to transport the water to the homes. Photographs: L. Menzel.

scharft wird die Situation durch einen seit Ende des 2. Weltkrieges auftretenden, kontinuierlichen Bevölkerungszuwachs und die hohen Viehbestände, die nach dem Ende der sozialistischen Planwirtschaft 1990 und der darauf folgenden Privatisierung deutlich zugenommen haben (BATKISHIG & LEHMKUHL 2003). Hinzu kommt, dass der Bergbausektor einen der größten Wassernutzer der Mongolei darstellt. Die Entnahmemengen werden in der Regel ohne staatliche Aufsicht von den Unternehmen selbst festgelegt und nach Bedarf entnommen. Daher liegen keine gesicherten und validen Informationen zur tatsächlichen Höhe der Wasserverbräuche vor.

Die Kläranlagen der Mongolei befinden sich meist in einem technisch veralteten und zudem maroden, dringend erneuerungsbedürftigen Zustand. In Darkhan gibt es eine Kläranlage sowjetischer Bauart aus den 1960er Jahren, deren Funktionsfähigkeit aufgrund Materialermüdung, mangelnder Wartung und fehlender Investitionen heute stark eingeschränkt ist (Abb. 5).

In den vergangenen Jahrzehnten sind in der Mongolei eine Vielzahl von Oberflächengewässern ausgetrocknet und zahlreiche Brunnen trockengefallen. In diesem Zusammenhang wird auch immer wieder der Beitrag des anthropogen bedingten Klimawandels diskutiert. So hat zwischen 1940 und 2001 die mittlere jährliche Lufttemperatur in der Mongolei um 1,7 °C zugenommen (BATIMA et al. 2005). Aufgrund der allgemein hohen, räumlich-zeitlichen Variabilität der Niederschlagsbedingungen in Trockengebieten und der meist kurzen Messreihen konnten mit den vorliegenden Daten eindeutige Niederschlagstrends bisher aber nicht nachgewiesen werden. Die aus meteorologischen Daten berechnete potentielle Verdunstung hat zwar in den 1990er Jahren zugenommen, jedoch folgt die reale Verdunstung dieser Entwicklung nicht, weil sich das Wasserangebot durch den Niederschlag nicht erhöhte.

Neben der zunehmenden Wasserverknappung bestehen mannigfache Beeinträchtigungen der Wasserqualität. Abwässer treten vor allem als Folge industrieller und bergbaulicher Aktivitäten auf. Beispielsweise können die Gewässer durch Gerbereien oder durch Abscheidungsprozesse bei der Goldgewinnung stark mit schwer abbaubaren, hochgradig toxischen Substanzen (z.B. Quecksilber-, Arsen- oder Cyanidverbindungen) belastet werden. Hinzu kommen Einträge aus diffusen Quellen, z.B. durch Bodenabtrag. Das tatsächliche Ausmaß der Verschmutzung und die signifikanten Belastungen der Wasserkörper sind im Kharaa und vielen anderen Einzugsgebieten der Mongolei unklar, weil entsprechende Daten fehlen.

5 Ausgewählte Methoden und Ergebnisse

5.1 Hydrologie

Die Kenntnis der hydrologischen Prozesse und Charakteristika und die darauf aufbauende Ermittlung der Wasserressourcen des Kharaa-Gebietes werden als Grundvoraussetzung für die Entwicklung eines IWRM angesehen. In der ersten Phase des Mo-Mo-Projektes standen aus hydrologischer Sicht die folgenden Arbeiten im Vordergrund:

1. Entwickeln eines Systemverständnisses auf Basis der vorhandenen Literatur, der verfügbaren Daten und von Feldbegehungen mit einem zunächst (Projektphase 1) sehr eingeschränkten Messprogramm (stichprobenartige Erfassung

von Durchfluss, meteorologischer Größen und Bodenparametern, ohne eine feste Installation von Geräten oder einen Aufbau von Stationen)

2. Anwendung existierender, hydrologischer Modelle mit dem Versuch, das Abflussgeschehen am Gebietsauslass plausibel wiederzugeben (im Rahmen der geschilderten Unsicherheiten). Sollte dies gelingen, würden mit den Modellen Wasserbilanzen von Teilgebieten des Kharaa ermittelt, um die Bedeutung regionaler bis lokaler Charakteristika und der dort jeweils vorherrschenden Prozesse für die Abflusspende des Kharaa abzuschätzen
3. Erarbeiten eines Konzepts zur Beobachtung bzw. kontinuierlichen Messung jener Größen, die erstens für das Systemverständnis und zweitens für die Fortentwicklung der eingesetzten hydrologischen Modelle von großer Bedeutung sind (Grundlagenarbeit für die zweite Projektphase)
4. Erste modellgestützte Untersuchungen zu den Auswirkungen von Klimavariabilitäten und Änderungen in der Landbedeckung auf die Wasserverfügbarkeit im Kharaa
5. Training mongolischer Partner und Studenten in Methoden der Hydrometrie und Grundlagen der hydrologischen Modellierung

Für die hydrologische Modellierung wurden aufgrund der umfangreichen Fragestellungen zwei unterschiedliche Modelltypen ausgewählt: Das konzeptionelle, vorwiegend auf Prozesse der Abflussbildung und -konzentration bzw. des Durchflussverlaufs in Fließgewässern abzielende Modell HBV-D (KRYSAANOVA et al. 1999; MENZEL & BÜRGER 2002) sowie das detaillierte, physikalisch basierte Modell TRAIN (MENZEL 1997; MENZEL et al. 2009), dessen Fokus auf den vertikalen Wasserflüssen im Übergangsbereich zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre liegt.

Hier sollen die Ergebnisse der unter Punkt 2 aufgeführten Arbeiten vorgestellt werden, mit Schwerpunkt auf den Modellstudien mit HBV-D. Ein Vorteil dieses Modells liegt in seinem geringen Datenbedarf; so sind für den Modellantrieb lediglich Messwerte von Niederschlag und Lufttemperatur sowie Zeitreihen der potentiellen Verdunstung erforderlich. Außerdem hat sich dieses Modell insbesondere in kalten, schneebeeinflussten Gebieten äußerst bewährt. Tageswerte der meteorologischen Daten kamen von sechs im Kharaa-Gebiet im Höhenbereich zwischen 714 und 1.514 m ü. NN betriebenen Klimastationen. Die Ermittlung täglicher Gebietstemperaturen und -niederschläge erfolgte in HBV-D mittels einer Kombination aus Abstandsgewichtung und Höhenregression; die potentielle Verdunstung wurde nach einem in MENZEL et al. (2006) beschriebenen Verfahren berechnet. Für die räumlich verteilten Analysen mit HBV-D erwies sich eine Unterteilung des Kharaa-Gebietes in zehn kleinere Flussgebiete mit Einzugsgebieten zwischen 338 und 2.944 km² als am günstigsten. Diese wurden ihrerseits in jeweils zehn Höhenzonen und in die wichtigsten Landbedeckungsklassen unterteilt (MENZEL et al. 2006). Um die Modellunsicherheiten abzuschätzen, wurden die Werte der 14 wichtigsten Parameter des Modells im Rahmen vorgegebener Grenzen mittels Monte Carlo Analyse variiert und daraus zufällige Parameterkombinationen erstellt, mit denen das Modell 30.000-mal gerechnet wurde (TÖRNROS & MENZEL 2010). 200 dieser Modell-Läufe erzielten einen Wert des von LINDSTRÖM et al. (1997) definierten Gütekriteriums (Kombination aus Nash-Sutcliffe-Kriterium und relativem Volumenfehler) größer 0,7, wobei eine perfekte Übereinstimmung den Wert

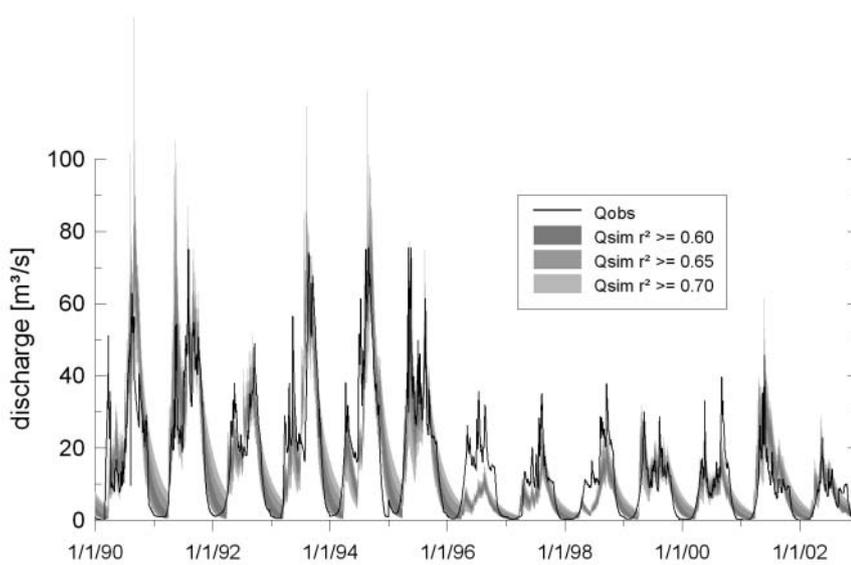


Abbildung 6

Vergleich zwischen durch Messung erhobener (Q_{obs}) und mit HBV-D simulierter (Q_{sim}) Tageswerte des Durchflusses am Pegel Buren Tolgoi. Die verschiedenen Grautöne geben die Gütemaße (r^2) der zahlreichen Simulationsläufe wieder.
Comparison between observed (Q_{obs}) and simulated (Q_{sim}) streamflow at the gauge Buren Tolgoi. The different shades of grey represent the model performances (r^2) in a high number of model runs.

1,0 bedeuten würde. In Abbildung 6 wird ein Vergleich zwischen gemessenen und den auf diese Weise simulierten Durchflusswerten gezeigt.

Für die Auswertungen stand der Zeitraum der Jahre 1990–2002 zur Verfügung. Das Modell wurde mit den Daten von drei Zeitabschnitten innerhalb dieses Gesamtzeitraums kalibriert bzw. validiert (TÖRNROS & MENZEL 2010). Begründet wird dies dadurch, dass im Bezugszeitraum, in den Jahren 1996/1997, eine sprunghafte Abnahme des Durchflusses am Pegel Buren Tolgoi registriert wurde (Abb. 6). Anfängliche Vermutungen, es würde sich um eine Inhomogenität handeln (z.B. durch Austausch eines Messgerätes oder Wasserentnahmen), haben sich nicht bestätigt. Es wurde viel mehr festgestellt, dass zwischen 1996 und 2002 die Sommertemperaturen (April-September) im Vergleich zur Periode 1990–1995 um 1,8 °C angestiegen sind, bei unveränderten Wintertemperaturen. Im Vergleich der beiden Zeiträume fiel der mittlere Jahresniederschlag (Gebietsmittel der Daten von den sechs verwendeten Klimastationen) von 352 auf 273 mm, was schließlich einen Rückgang des mittleren Durchflusses in Buren Tolgoi von 21,5 auf 8,6 m³/s zur Folge hatte (TÖRNROS & MENZEL 2010). Dies kann als eine für semi-aride Räume typische Klimavariabilität interpretiert werden; aufgrund der Kürze des Auswertzeitraums sollte von weitergehenden Interpretationen Abstand genommen werden. In der Zwischenzeit sind die Verhältnisse jedoch wieder feuchter geworden; so war das Jahr 2009 durch eine außergewöhnliche Häufung von Hochwasserereignissen geprägt.

Unter Berücksichtigung der unsicheren Durchflussmessungen und der beschriebenen Variabilität ist die Kalibrierung bzw. Validierung des HBV-D Modells als erfolgreich einzustufen. Insbesondere war es möglich, den beschriebenen Sprung im Durchflussverhalten durch das Modell nachzuvollziehen, was allein durch die Verwendung der gemessenen bzw. simulierten Klimaparameter Niederschlag, Lufttemperatur und potentielle Verdunstung

möglich war. Daher wurde HBV-D in der Folge dazu verwendet, die Gebietsbilanzen der zehn Teilgebiete des Kharaa zu bestimmen. Standörtliche Wasserhaushaltssimulationen mit TRAIN (WIMMER et al. 2009) hatten in der Zwischenzeit ergeben, dass in den trockenen Beckenlagen des Kharaa-Gebietes im Mittel mehr als 90 % des Niederschlages durch die reale Verdunstung verbraucht wird und selbst in den feuchteren Höhenlagen die Anteile der realen Verdunstung am Niederschlag bei 80 % oder mehr liegen. Diese für Trockengebiete charakteristischen Bedingungen wurden durch die Simulationen mit HBV-D bestätigt. Die im Bezugszeitraum 1990–2002 durchgeführte Modellierung des Durchflusses ergab weiterhin, dass – wie zu erwarten war – die zeitliche Variabilität der Durchflüsse in den Teilgebieten erheblich ist und dass dem Modell zufolge einzelne Zubringer des Kharaa während trockener Sommer kein Wasser führen. Dies konnte durch Beobachtungen ebenfalls bestätigt werden (s. Abschnitt 4.). In der Abbildung 7 werden die mit HBV-D für die zehn Teilgebiete simulierten Abflussspenden dargestellt.

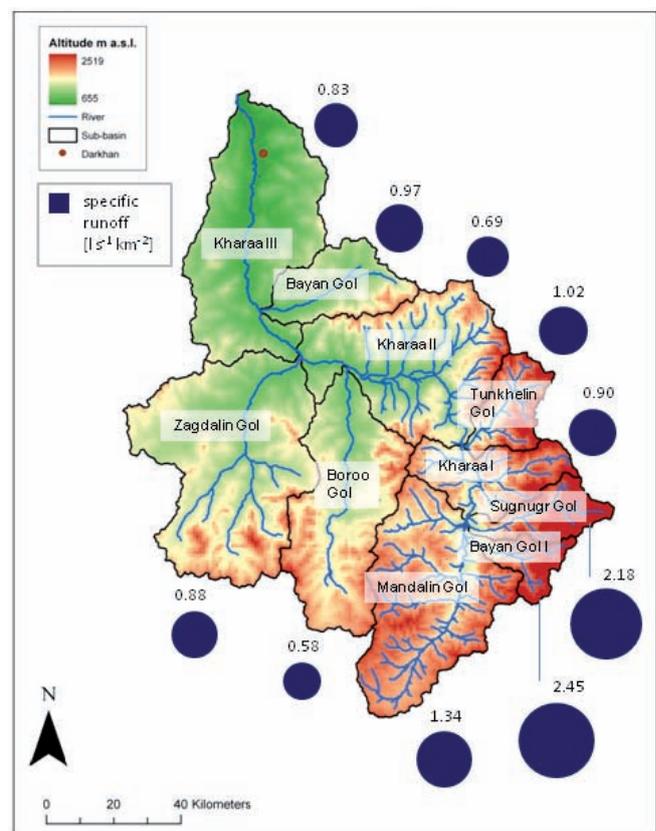


Abbildung 7

Mit HBV-D simulierte Abflussspenden für die zehn Teilgebiete des Kharaa. Mittelwerte des Zeitraumes 1990–2002; Angaben in [l s⁻¹ km⁻²].
Specific runoff simulated with HBV-D in the ten sub-basins of the River Kharaa. Data [l s⁻¹ km⁻²] are given as averages over the period 1990–2002.

Es zeigt sich, dass im Vergleich zu den Bedingungen in humiden Klimaregionen die Werte sehr gering sind und nur in den Gebieten, die Teile des Khentii-Gebirges entwässern, nennenswerte Abflussspenden auftreten (Beispiel: Sugnugur Gol = 2,2 (l s⁻¹ km⁻²). Im Vergleich dazu beträgt die mittlere jährliche (1921–1987) Abflussspende des Neckars am Pegel Plochingen 11,5 (l s⁻¹ km⁻²) sowie der Enz am Pegel Pforzheim (1923–1987) 11,3 (l s⁻¹ km⁻²). Umso mehr ist die Bedeutung dieser Gebirgsregion für die Wasserversorgung des Kharaa-Gebietes hervorzuheben.

Die während Phase 1 des MoMo-Projektes gesammelten Erkenntnisse und erzielten Ergebnisse werden in der mittlerweile angelaufenen Phase 2 des Projektes dazu genutzt, ein spezifisches Mess- und Untersuchungsprogramm umzusetzen. So ist es dringend notwendig, die hydro-meteorologischen Charakteristika des Khentii-Gebirges näher zu untersuchen, zumal bislang überhaupt keine relevanten Messungen aus diesem schwer zugänglichen Gebiet vorgelegen haben. Im Winter 2009/2010 wurde daher eine erste Kampagne zur Erfassung der Schneedeckenparameter und ihrer räumlichen Variabilität durchgeführt. Dabei konnten trotz widriger Bedingungen wichtige Daten zur Schneedeckenentwicklung und zur Abflussbildung in diesem Gebirgsraum gewonnen werden. In den kommenden Monaten werden dort u.a. mehrere Klimastationen, Pegel und Bodenfeuchte-Messstellen aufgebaut. Eine Aufgabe in Phase 2 des MoMo-Projektes wird außerdem sein, die Bedeutung der als wichtig angesehenen, kleinräumigen Prozesse (z.B. Einfluss von Permafrostböden auf die Abflussbildung) für die hydrologische Modellierung auf der Meso- (gesamtes Kharaa-Gebiet) und Makroskala (gesamte Mongolei) zu klären.

5.2 Einträge und Frachten von Nährstoffen und Schwermetallen

Die Untersuchung der Wasserqualität in Bezug auf Nährstoffe und Schwermetalle erforderte ein umfassendes Monitoring, eine qualitätsgesicherte Analytik sowie eine Erfassung der möglichen Eintragspfade. Die Nährstoffbelastung der Gewässer wird durch punktförmige und diffuse Eintragsquellen hervorgerufen. Die Kenntnis der Bedeutung der einzelnen Eintragspfade in den jeweiligen Teilgebieten ist die Voraussetzung für die Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Nährstoffbelastung. Für die Analysen bot sich daher ein interdisziplinärer Modellverbund der hydrologischen Modelle mit dem am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) entwickelten Nährstoffemissionsmodell MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in River Systems, <http://moneris.igb-berlin.de>) an, um die Möglichkeit einer räumlich und nach Eintragspfaden differenzierten Quantifizierung von Nährstoffeinträgen in die Gewässer durchführen zu können. Da sich die Stoffkonzentrationen und die dem Eintrag zugrunde liegenden Prozesse zumeist stark voneinander unterscheiden, ist eine Differenzierung in eine Reihe von Eintragspfaden zu berücksichtigen (Abb. 8).

Eine detaillierte Modellbeschreibung und eine Darstellung der Methode zur Berücksichtigung der Nährstoffrückhalte und -verluste in den Oberflächengewässern in Abhängigkeit von der hydraulischen Belastung bzw. den spezifischen Abflussspenden des Flusssystemes geben BEHRENDT et al. (1999) und VENOHR et al. (2008, 2010). Die Anwendung von MONERIS ermöglicht die Ermittlung der Nährstofffrachten aus den Nährstoffeinträgen in einem Flussgebiet und somit auch den direkten Vergleich mit

den aus Güte- und Abflussmessungen berechenbaren Nährstofffrachten. Basis für MONERIS sind zahlreiche Datengrundlagen, die einerseits über Zeitreihen als periodische Daten (z.B. atmosphärische Deposition, Stickstoff- und Phosphorbilanzen) und andererseits als statische Eingangsgrößen (z.B. Hydrogeologie, Bodeninformationen) eingehen. Die Datenverfügbarkeit beschränkte sich auf langjährige Monatswerte (seit 1986) von Durchfluss und Gewässergüte von lediglich zwei Stationen oberhalb (Baruunkharaa) und unterhalb (Buren Tolgoi) der Stadt Darkhan. Die Durchflüsse am Gebietsauslass der jeweiligen Teilgebiete wurden modellseitig von HBV-D berechnet und dienen als Eingangsgrößen für die Wasserhaushaltsbilanz von MONERIS. Ergänzend wurde für die Jahre 2006 bis 2009 ein eigenes Monitoring-Programm an über 20 Messstellen durchgeführt, mit der Untersuchung biologischer Qualitätskomponenten sowie der Erhebung folgender Gewässergüteparameter: Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, Temperatur, pH-Wert, Trübung, Gesamthärte, Nährstoffe (NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, Gesamt-N, PO₄-P, Gesamt-P), DOC, TOC, Fluorid, Chlorid, Brom, Sulfat, Natrium, Kalzium, Kalium, Magnesium. Die Analytik wurde mit Feldmessmethoden und unter Verwendung von europäischen Standardmessverfahren durchgeführt (MOMO-KONSORTIUM 2009). Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte nach der mongolischen Gewässergüteklassifikation für Oberflächengewässer (Joint Order of Minister of

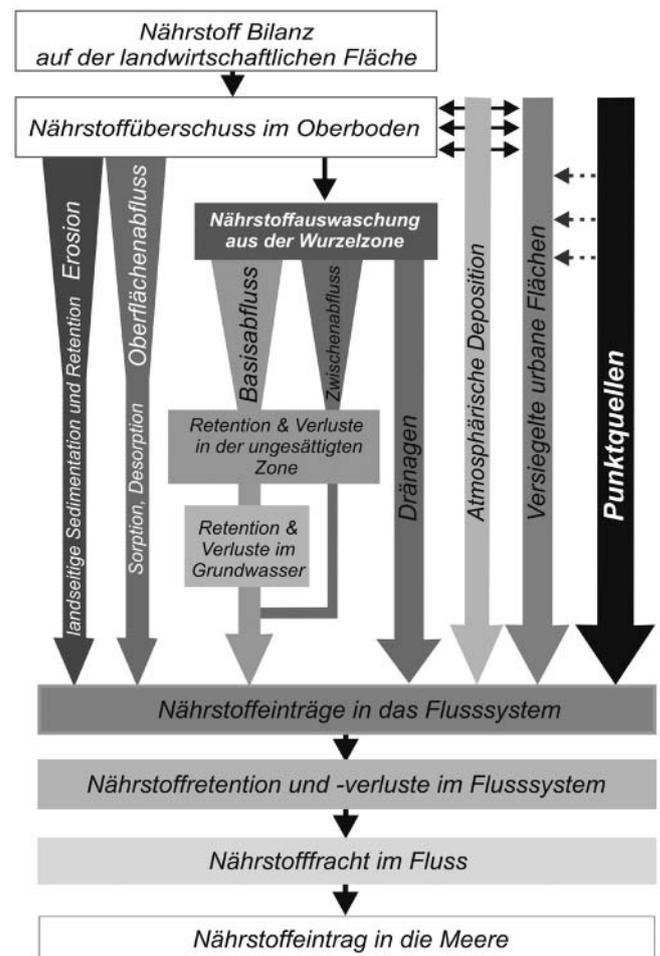


Abbildung 8
Pfade und Prozesse im Modellsystem MONERIS
Pathways and processes in the model system MONERIS

Nature and Environment and Minister of Health 1997) und für Trinkwasser (National Center of Standardisation & Meteorology 2005).

Mit dem Modell MONERIS wurden Nährstoffeinträge in die Gewässer des Kharaa auf Grundlage der N-Bilanzüberschüsse für das Jahr 2002 berechnet. Aus hydrologischer Sicht liegt das berechnete Jahr 2002 mit einem MQ-Wert von 6,5 m³/s (Pegel Buren Tolgoi) schon in der Phase deutlich verringerter Abflüsse, wie sie seit Mitte der 1990er Jahre auftreten (s. Abschnitt 5.1). Demzufolge belaufen sich die Gesamtstickstoffemissionen in die Oberflächengewässer des Kharaa Gol insgesamt auf 490 t/a und die Gesamtphosphoremissionen auf rund 125 t/a. Dies entspricht mittleren spezifischen Einträgen von 0,345 kg N/(ha · a) (Tab. 1) bzw. 0,084 kg P/(ha · a) (Tab. 2). Die resultierende Nährstofffracht des Kharaa wurde am Gebietsauslass (Teilgebiet Kharaa III) für TN mit 411 t/a, für DIN mit 294 t/a und für TP mit 62 t/a berechnet.

Als wichtigste Punktquellen sind die fünf im Unter- und Mittellauf betriebenen kommunalen Kläranlagen zu nennen, von denen die Kläranlage Darkhan am bedeutendsten ist (44.000 angeschlossene Einwohner, im Mittel 14.000 m³/Tag behandelte Abwassermenge, Auslastung der Anlage ca. 30 % der Gesamtkapazität).

Tabelle 1

Anteil der Eintragspfade an den gesamten Stickstoffeinträgen im Einzugsgebiet des Kharaa
Shares of the different sources in the total nitrogen deposits in the Kharaa basin

	Gesamt-Stickstoff		
	t/a	kg/(ha · a)	%
Atmosphärische Deposition	0,028	0	0
Drainage	0	0	0
Grundwasser	70,9	0,049	14,2
Oberflächenabfluss	0,706	0	0,141
Erosion	185,0	0,128	37
Kläranlagen	92,8	0,064	18,5
Urbane Systeme	151,0	0,104	30,2
Gesamteinträge	500	0,345	100

Tabelle 2

Anteil der Eintragspfade an den gesamten Phosphoreinträgen im Einzugsgebiet des Kharaa
Shares of the different sources in the total phosphorus deposits in the Kharaa basin

	Gesamt-Phosphor		
	t/a	kg/(ha · a)	%
Atmosphärische Deposition	0,014	0	0
Drainage	0	0	0
Grundwasser	20,3	0,014	16,6
Oberflächenabfluss	1,49	0,001	1,2
Erosion	25	0,0172	20,5
Kläranlagen	9,52	0,0065	7,79
Urbane Systeme	65,8	0,0453	53,9
Gesamteinträge	122	0,084	100

Einträge aus Punktquellen im Einzugsgebiet des Kharaa stammen aus dem Teilgebiet Kharaa III mit Anteilen von 22 % (P-Emissionen) bzw. 14 % (N-Emissionen) und Teilgebiet Kharaa II mit Anteilen von 19 % (P-Emissionen) und 22 % (N-Emissionen) an den jeweiligen Gesamt-Emissionen der Teilgebiete. In allen anderen Teilgebieten sind keine Kläranlagen vorhanden. Einträge durch industrielle Direkteinleiter konnten nicht nachgewiesen werden, da die Abwässer des einzigen größeren Industriekomplexes im Kharaa-Gebiet in der Stadt Darkhan anfallen und über ein Rohrnetz der kommunalen Kläranlage zugeführt werden.

Bei den diffusen Stoffeinträgen wird der Hauptanteil der Einträge von urbanen Systemen, d.h. durch Nährstoffeinträge von Einwohnern und versiegelten Flächen ohne Anschluss an die Kanalisation verursacht. Die Stoffströme der Siedlungen im Kharaa-Gebiet sind dadurch gekennzeichnet, dass der weitaus größte Teil der Einwohner im Kharaa-Gebiet nicht an die Kanalisation angeschlossen ist und die Abwässer mittels Latrinen bzw. Sickergruben gesammelt werden. Hierbei gelangt nur die gelöste Nährstoffabgabe in den Boden und nach sehr unterschiedlicher Bodenpassage in die Gewässer. Bei der Bodenpassage wird zwar ein Teil der Nährstoffe zurückgehalten, jedoch ist bei den Jurten-siedlungen innerhalb der Talau mit geringem Flurabstand des Grundwassers der Nährstoffrückhalt entsprechend gemindert.

Weitere bedeutende diffuse Eintragspfade sind Erosion und Grundwasser, wobei hier der Stickstoffüberschuss aus der landwirtschaftlichen Fläche eine maßgebliche Eingangsgröße darstellt. Der Eintragspfad der atmosphärischen Deposition spielt dagegen aufgrund des Fehlens industrieller Ballungsgebiete und äußerst geringer Feineinträge eine unbedeutende Rolle. Nährstoffeinträge durch Dränagen sind nicht vorhanden, da solche im Kharaa-Flussgebiet nicht existieren.

Insgesamt haben daher die Pfade der urbanen Systeme und die Punktquellen die höchsten Anteile bei den Nährstoffeinträgen (HOFMANN et al. 2010). Der Einfluss der Landwirtschaft sowie deren Flächenbilanzen für Stickstoff und Phosphor sind dagegen deutlich geringer. Dies liegt vor allem darin begründet, dass seit der politischen Wende 1990 und den veränderten ökonomischen Bedingungen im Transformationsprozess von der Planwirtschaft zur Marktwirtschaft kaum noch Mineraldünger verwendet wird. Dies kommt in den geringen Ernteerträgen zum Ausdruck. Auch ist ein erheblicher Teil der landwirtschaftlichen Nutzfläche aufgelassen und als Brachland zu klassifizieren. Durch die extensive Weidewirtschaft findet an zahllosen Viehtränken des Kharaa ein direkter Eintrag tierischer Ausscheidungen in die Gewässer statt. Dies ist in der Nähe von Siedlungen ein erhebliches hygienisches Problem, wo das Trink- und Brauchwasser oft unmittelbar dem Fluss entnommen wird. Diese organische N- und P-Düngung kann vorläufig nur anhand der Stückzahlen der Viehhaltung und der spezifischen Nährstoffeinträge geschätzt werden.

Die Ergebnisse des Monitoring belegen jahreszeitliche Variationen der Nährstoffkonzentrationen, wobei die höchsten Konzentrationen während der Schneeschmelze im Frühling auftreten. Dann gelangen die im Winter in den Talauen akkumulierten tierischen Ausscheidungen durch das Auftauen rasch in die Oberflächengewässer. Dies führt im Frühjahr zu einer temporären Belastungsspitze von Nährstoffen, die in der Mongolei als

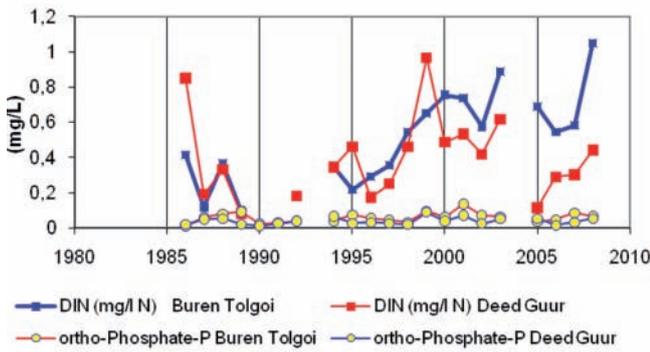


Abbildung 9

Mittlere jährliche Konzentration des gelösten anorganischen Stickstoffs (DIN) und des ortho-Phosphats der Gütepegel Buren Tolgoi (Gebietsauslass) und Baruunkharaa (Deed Guur) (oberhalb Darkhan) im Zeitraum 1986 bis 2008.

Mean annual concentration of inorganic nitrogen (DIN) and of ortho-phosphate at Buren Tolgoi (outlet of the Kharaa river basin) and Baruunkharaa (Deed Guur), upstream of Darkhan in the period 1986 to 2008.

„Shar Uus“ (gelbes Wasser) bekannt ist. Im Längsprofil von der Quelle bis zur Mündung zeigt sich der einzigartige Charakter des Kharaa darin, dass im Quellgebiet natürliche Hintergrundbedingungen gegeben sind (3 bis 6 µg/l TP; 0,3 bis 0,5 mg/l TN, NH₄-N: 0,01 ± 0,005 mg/l; NO₃-N: 0,21 ± 0,08 mg/l; Trübung: 0,6 ± 0,5 FNU; Chlorid: 0,4 ± 0,2 mg/l; detaillierte Ergebnisse siehe MOMO-KONSORTIUM 2009). Dagegen steigen die Konzentrationen im Mittel- und Unterlauf an. Am Auslass des Kharaa-Flussgebiets liegen die Werte im Jahresverlauf zwischen 54 bis 154 µg/l TP sowie 0,7 bis 0,9 mg/l TN (weitere Parameter: NH₄-N: 0,02 ± 0,001 mg/l; NO₃-N: 0,75 ± 0,38 mg/l; PO₄-P: 0,09 ± 0,06 mg/l; Trübung: 22 ± 28 FNU; Chlorid: 7,7 ± 2,3 mg/l). Generell ist die Wasserqualität hinsichtlich der LAWA-Kriterien für Nährstoffkonzentrationen (LAWA 1998, LAWA-AO 2007) als gut und lediglich im Teilgebiet Zagdalin Gol und Kharaa III als mittel einzustufen.

Im langjährigen Vergleich (1986 bis 2008) der Stationen Baruunkharaa und Buren Tolgoi zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen von NO₃-N und DIN vor allem im Zeitraum seit dem Jahr 2000, während die ortho-Phosphat-Werte mehr oder weniger konstant geblieben sind (Abb. 9). Der Konzentrationsanstieg kann zum Teil mit der Verringerung der Abflüsse im gleichen Zeitraum erklärt werden.

Schwermetalle

Durch eigene Feldarbeiten und mit Hilfe des Monitoring-Programms war es möglich, neben den wichtigsten Punktquellen auch weitere Flächen mit Kontaminationspotential zu erfassen. Die Abbildung 10 zeigt im Überblick die Brennpunkte („hot spots“) mit Stoffeinträgen aus dem Goldbergbau, Flächen mit Kontaminationsverdacht und Punktquellen. Ende 2008 waren im Kharaa-Gebiet sieben größere Goldminen und sechs Zentren des Kleinbergbaus in Betrieb, weitere vier Goldminen waren stillgelegt. Ferner wurden neun Flächen mit Kontaminationsverdacht festgestellt, von denen der Störfall in Khongor am bedeutendsten ist und landesweit für Aufsehen sorgte (HOFMANN 2008). Hier kam es durch eine illegal betriebene Goldwaschanlage zu erheblichen Verunreinigungen von Grund- und Trinkwasser mit Cyanid, Zink und Quecksilber, als dessen Folge der gesamte Ort (ca. 2.000 Einwohner) für mehrere Monate per LKW

mit Trinkwasser versorgt werden musste. Dieser Störfall offenbarte exemplarisch, dass die Strukturen der mongolischen Behörden nicht geeignet waren, die notwendigen Maßnahmen zur Schadenserkundung und Gefahrenabwehr zu ergreifen. Darüber hinaus bestand die Gefahr, dass die Schadstoff-Fahne im Grundwasser die nur 10 km flussabwärts gelegene Brunnengalerie von Darkhan erreichen und erhebliche Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit der Stadt hätte haben können (HOFMANN 2008).

Da mit Ausnahme der eigenen Messungen (Jahre 2007 und 2008) keine Schwermetalldaten aus dem Untersuchungsgebiet zur Verfügung standen, reichte die Datenbasis zur Anwendung des Modellsystems MONERIS hierfür nicht aus. Dennoch konnte durch das Monitoring-Programm im Rahmen des MoMo-Projektes eine erste Beurteilung für den Kharaa-Hauptplauf und seine wichtigsten Zuflüsse erstellt werden. Unter den analysierten Schwermetallen wiesen vor allem Eisen und Mangan deutlich erhöhte Konzentrationen auf. Dies steht offensichtlich in Zusammenhang mit einer geogen bedingten Grundlast, da ein Großteil des Flussgebietes von Gesteinen des Grundgebirges mit hohen Anteilen Fe- und Mn-haltiger Mineralien geprägt ist. Alle anderen untersuchten Schwermetalle lagen im zulässigen Bereich der mongolischen Trinkwasserrichtlinie. Auffälligkeiten waren je-

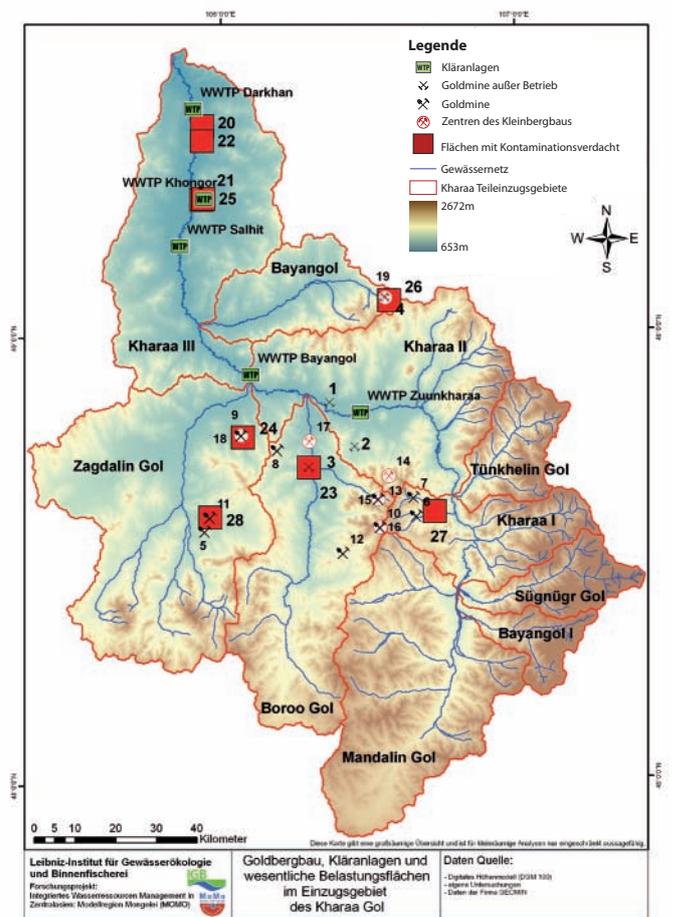


Abbildung 10

Goldbergbau, Kläranlagen und wesentliche Belastungsflächen im Kharaa-Flussgebiet
Gold mines, areas with contamination potential and point sources in the Kharaa river basin

doch bei den Arsen-Konzentrationen im Längsprofil des Kharaa-Hauptlaufs (Stichtagsbeprobung in den Sommermonaten 2007 und 2008) vorhanden. Hier konnten deutlich erhöhte Werte zwischen 1 bis 10 µg/l As im Oberflächenwasser nachgewiesen werden, die unterhalb der Goldmine Gatsuurt sogar 26 bzw. 31 µg/l As betragen. Vermutlich werden durch die Laugungstechnologie im Goldbergbau die akzessorisch vorkommenden natürlichen Schwermetalle gelöst und freigesetzt. Die zulässige Höchstkonzentration nach der mongolischen Trinkwasserverordnung beträgt 10 µg/l As. Daher ist die Trinkwassernutzung der belasteten Wässer in Gebieten mit Goldbergbau potentiell eine Gefahr für die menschliche Gesundheit (HOFMANN & SCHARAW 2009). Eine weitere Gefährdung ergibt sich aus dem Stoffkreislauf des Heizkraftwerks (HKW) Darkhan. Bei der Verfeuerung arsenhaltiger Kohle findet ein Anreicherungsprozess in der Asche statt, wobei Arsen sowohl über den Luftpfad als auch über den Wasserpfad ausgetragen wird. Die Asche wird mit Wasser gemischt und in mehreren großen Absetzbecken in der Talau des Kharaa nahe der Stadt Darkhan dauerhaft deponiert. Da die Deponien keine Basisabdichtung aufweisen, gelangen arsenhaltige Sickerwässer über Abzugsgräben in die Talau. Eigene Messungen ergaben eine Konzentration von 508 µg/l As in den Tailingwässern der Aschedeponie des HKW Darkhan, während in den angrenzenden Abzugsgräben innerhalb der Talau noch 74 µg/l As festgestellt wurden. Vereinzelt konnten im Trinkwasser der Stadt Darkhan Arsen-Konzentrationen bis zu 2,2 µg/l As nachgewiesen werden. Quecksilber ließ sich im Gewässer dagegen nur vereinzelt vor allem in Khongor (HOFMANN 2008) feststellen. Von größerer Bedeutung sind hier die Kontaminationen der Gewässersedimente mit Quecksilber im Bergbauggebiet des Boroo Gol (MOMO KONSORTIUM 2009). Generell ist die gegenwärtige Situation der Wasserqualität dadurch gekennzeichnet, dass im Mittel- und Unterlauf punktuell Belastungen („hot spots“ in Abb. 10) nachweisbar sind, die zeitweise gravierende Beeinträchtigungen der Trinkwasserversorgung mit sich bringen. Im Oberlauf sind dagegen naturnahe Hintergrundbedingungen mit geogen bedingten Einträgen vorhanden, die unbedenklich für die Wasserqualität sind.

5.3 Ökologischer Zustand der Oberflächengewässer

Neben den Kenntnissen über die hydrologischen Bedingungen und über signifikante Belastungen hinsichtlich Nährstoffen und toxischen Elementen ist eine Beurteilung des ökologischen Zustandes der Gewässer anhand von biologischen Qualitätskomponenten erforderlich. Daher wurden in der ersten Phase des MoMo-Projekts umfangreiche gewässerökologische Untersuchungen mit folgender Zielsetzung durchgeführt:

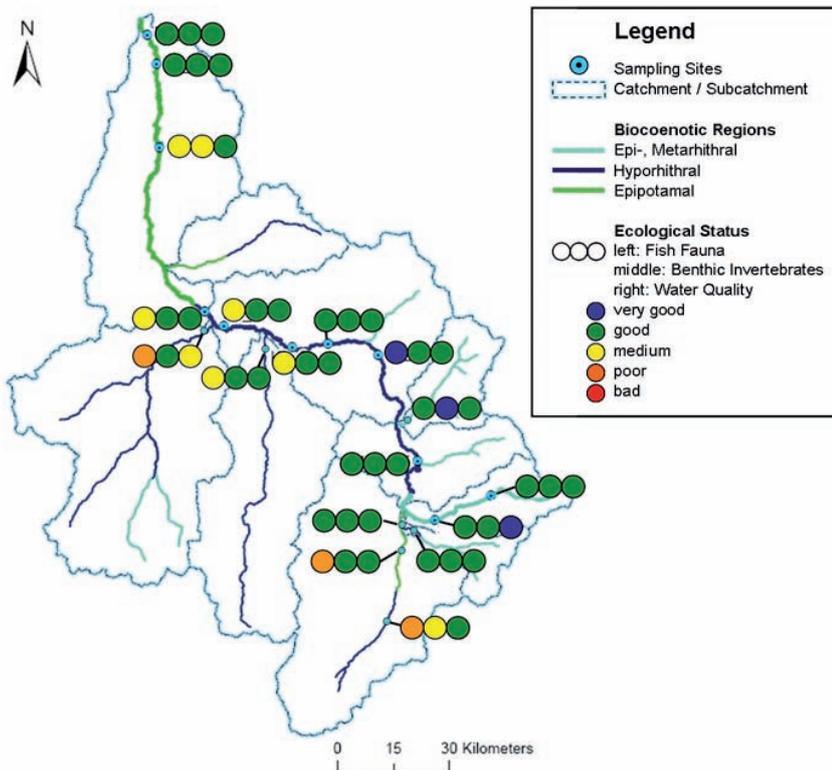
1. Analyse des ökologischen Zustandes der oberirdischen Gewässer unter Verwendung von gewässertypbezogenen und leitbildorientierten Bewertungsverfahren. Im Sinne der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie wurden biologische, chemisch-physikalische und hydromorphologische Qualitätskomponenten sowie ausgewählte Schadstoffe betrachtet. Da integrative Bewertungsansätze für die Mongolei neu sind, mussten angepasste Methoden entwickelt sowie robuste Bewertungsmaßstäbe eingesetzt werden.
2. Entwicklung eines Systemverständnisses und Erfassung der signifikanten Belastungen, die vornehmlich aus Landwirtschaft, Siedlungsbereichen und Bergbau zu erwarten waren.
3. Erarbeitung eines Konzepts zur kontinuierlichen Beobachtung langfristiger Trends und zur Fortentwicklung der ein-

gesetzten Bewertungsverfahren (als Grundlage für die zweite Phase des Projektes).

4. Aus der detaillierten Ursachenanalyse der ökologischen Defizite und dem Erkennen signifikanter Belastungen der Gewässer wurden Maßnahmen vorgeschlagen, welche die Aufrechterhaltung und Wiederherstellung der gewässerökologischen Grundfunktionen gewährleisten (MOMO-KONSORTIUM 2009).

Für die Erhebung der gewässerökologischen Grundlagendaten und die Einschätzung der signifikanten Gewässerbelastungen waren umfangreiche Feldmesskampagnen erforderlich. Dazu wurden repräsentative Messstellen im Kharaa-Einzugsgebiet sowie mehrere Referenzmessstellen im benachbarten Eroo-Einzugsgebiet ausgewählt, die im Rahmen von sieben Expeditionen in den Jahren 2006–2009 beprobt wurden. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach potentiellen Belastungsquellen (Siedlungen, Bergbau und Landwirtschaft). Neben den allgemeinen physikalisch-chemischen Parametern (s. Abschnitt 5.2) wurden die biologischen Komponenten Makrozoobenthos, Fischfauna und benthische Kieselalgen zur Untersuchung des ökologischen Zustandes herangezogen. Grundlage der verwendeten Bewertungsverfahren war eine biozönotische Einordnung der Fließgewässer (ILLIES & BOTOSANEANU 1963) in der Untersuchungsregion, wobei im Untersuchungsgebiet aus den Daten zu Gefälle und mittlerer Breite die Gewässertypen Epipotamal, Hyporhithral und Epi-/Metarhithral abgegrenzt werden konnten (BERNER 2007). Die Untersuchung der Fischfauna erfolgte mittels Elektrofischerei nach dem Catch Per Unit Effort (CPUE) Verfahren. Dazu wurden an den Untersuchungsstellen repräsentative Gewässerstrecken ausgewählt und die Habitate im Verhältnis zu ihrem Vorkommen befishet. An den Probestellen konnten anschließend die Artenzusammensetzung sowie Länge und Gewicht der Teilproben bestimmt werden. Für die Bewertung der Befunde kam in einem ersten Schritt das in Deutschland entwickelte FIBS Verfahren zur Anwendung (DUSSLING et al. 2004), wobei die Referenzartenlisten aus den Referenzgebieten im Eroo-Einzugsgebiet sowie anhand von Literaturdaten (DULMAA 1999, OCOCK et al. 2006, KRÄTZ 2009) erstellt wurden. Die Untersuchung der benthischen Invertebraten (Wirbellosen) erfolgte in Anlehnung an das PERLODES Verfahren (MEIER et al. 2006), wobei an einer zu untersuchenden Gewässerstrecke die benthischen Habitate im Verhältnis zu ihrem Vorkommen beprobt wurden, mit der Entnahme von jeweils 20 Teilproben. Nach der taxonomischen Bestimmung der benthischen Fauna wurden relative Abundanzen berechnet und von Teilproben die Biomassen ermittelt. Die Bewertung der Gewässerstrecken erfolgte anhand robuster Metrics: Artenzahl, Anzahl Steinfliegenarten (Plecoptera), Anzahl Eintagsfliegenarten (Ephemeroptera), % EPT Individuen (EPT = Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), Shannon-Diversität, % Feinsubstrat-Besiedler, mit einer jeweils gewässertypspezifischen Definition der Klassengrenzen.

Im Weiteren werden vor allem die Ergebnisse zum ökologischen Zustand der oberirdischen Gewässer dargestellt. Das Artenspektrum der Fischfauna entspricht mit insgesamt 13 nachgewiesenen Arten weitestgehend dem bekannten Arteninventar früherer Erhebungen (DULMAA 1999, OCOCK et al. 2006). Die Zusammensetzung der Fischfauna ändert sich mit der Charakteristik der Fließgewässer im Einzugsgebiet, mit einer Dominanz der Lachsartigen (v.a. Lenok-Forelle, Taimen, Arktische Äsche) in den

**Abbildung 11**

Gewässersystem des Kharaa mit Zuordnung von biozönotischen Regionen (BERNER 2007) sowie ökologischer Status an den Untersuchungsstellen (Fischfauna, Makroinvertebraten und allgemein physikalisch-chemische Komponenten).

River network in the Kharaa basin with delineation of different biocoenotic regions and ecological status of surface waters at sampling points (fish fauna, benthic invertebrates, and general physico-chemical variables).

Flussoberläufen und einer Dominanz der Karpfenartigen (v.a. Karpfen, Karausche, Elritze, Hasel) in den Flussunterläufen. Einige sensible Arten sind jedoch in den biozönotischen Regionen ihrer Hauptverbreitung unterrepräsentiert, wie z.B. der Taimen (*Hucho taimen*), die Lenok-Forelle (*Brachymystax lenok*) und die arktische Äsche (*Thymallus arcticus*). Dabei ist im Untersuchungsraum ein wesentliches Belastungselement in der Angel- und Freizeitfischerei zu sehen, deren Einflüsse jedoch derzeit noch nicht weiter quantifiziert werden können. Die fehlende Einhaltung von gesetzlich vorgeschriebenen Schonzeiten und Schonmaßnahmen wurde in einer Haushaltsbefragung jedoch dokumentiert und durch quantitative Daten zur Jungfischfauna bestätigt. Die Naturnähe der Gewässer und das jegliche Fehlen von Gewässerverbau bedingen eine hohe Vielfalt an gewässerinternen Strukturen und unterschiedlichsten Habitaten. Daher entspricht die Fischfauna auch an fast allen Untersuchungsstellen dem guten oder sehr guten ökologischen Status (Abb. 11). Nur an zwei der beprobten Stellen wurde ein mäßiger Status festgestellt, wobei hier allerdings die Unsicherheiten im Bewertungsverfahren relativ groß waren. Die benthischen Invertebraten zeigen vom Ober- zum Unterlauf ebenfalls charakteristische Verschiebungen in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft und der funktionalen Struktur: Abnahme der Taxazahl von etwa 50 Taxa auf 25 Taxa, Rückgang der Grobsubstrat- (Lithal-) besiedler und Zunahme der Feinsubstrat- (Psammal-) besiedler sowie Abnahme von Grazer- (Weidegänger-) biomassen. Hingegen waren Shredder (Zerkleinerer) überhaupt nur im Oberlauf anzutreffen (SCHAEFFER et al. 2008). Die Lebensgemeinschaften

der benthischen Invertebraten entsprechen an den meisten Untersuchungsstellen des Einzugsgebietes dem guten ökologischen Status (Abb. 11). An mehreren Gewässerstrecken, die durch starke Schwebstoffführung und Gewässertrübung gekennzeichnet sind (Teilgebiete des Zagdalin Gol und Kharaa III) treten jedoch Defizite in der benthischen Besiedlung auf. Diese äußern sich in verminderten, relativen Abundanz von Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen (Trichoptera), am Ausfall von Indikatorarten bei den Steinfliegen und an signifikant erhöhten Anteilen von Feinsubstratbesiedlern (SCHAEFFER et al. 2008). Da an diesen Gewässerstrecken auch Gewässerrandstreifen und Ufervegetation nur sehr spärlich ausgebildet sind, werden vor allem Bodenerosion und der Eintrag von Bodenmaterial als Ursachen für die defizitäre Situation gesehen. Die Quantifizierung von Erosionsvorgängen, die hinsichtlich des landwirtschaftlichen Managements notwendig sind, erfolgt nun in der zweiten Projektphase.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die hier vorgestellten Arbeiten beschreiben ausgewählte Teile eines sowohl wissenschaftlichen als auch anwendungsorientierten Projekts in der Mongolei. Das Ziel der Arbeiten in Phase 1 des MoMo-Projekts bestand darin, die Möglichkeiten zur Einführung eines IWRM unter den geschilderten Randbedingungen zu prüfen und geeignete Methoden und Instrumente bereitzustellen um die Vielzahl an Teilaufgaben bearbeiten zu können. Der Beitrag konzentriert sich auf die Darstellung von drei Kernaufgaben und soll exemplarisch die Vorgehensweise bei der Problemerkennung und bei der Entwicklung möglicher Lösungsansätze beleuchten. Wie gezeigt wird, sind die Arbeiten untereinander vernetzt, jedoch bestehen auch enge Beziehungen zu den hier nicht vorgestellten Teilprojekten aus den Bereichen Landwirtschaft und Erosion sowie Siedlungswasserwirtschaft.

Erstmalig wurde für das Flussgebiet des Kharaa eine Bilanzierung der Wasser- und Stoffflüsse sowie eine Bewertung des ökologischen Zustands der Oberflächengewässer vorgenommen. Wie sich dabei gezeigt hat, ist eine grundsätzliche Herausforderung für die Erstellung eines Wasser-Managementkonzepts in dieser Region der vorherrschende Mangel an verlässlichen Daten. Daher mussten in der ersten Phase des Projekts grundlegende Informationen erhoben bzw. von verschiedenen Institutionen zusammengetragen werden. Im Hinblick auf die Bewertung der vorgestellten Ergebnisse ist daher festzustellen, dass die Modellierung der Wasser- und Stoffflüsse bei der geschilderten Datenproblematik zunächst eine erste Abschätzung und Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse darstellt.

Durch die Anwendung von zwei unterschiedlichen hydrologischen Modellen konnten das Wasserangebot und die Wasserbilanzen für zehn Teileinzugsgebiete der Modellregion dargestellt werden. Mit dem Modell HBV-D ließen sich die starken jahres-

zeitlichen und inter-annuellen Variabilitäten der verfügbaren Wassermengen abbilden. Die Bewertung der Unsicherheit der Eingangsparameter konnte für die mittels HBV-D berechneten Wasserbilanzen quantifiziert werden und zeigte im Vergleich der simulierten zu den beobachteten Abflüssen eine gute Korrelation (TORNRÖS & MENZEL 2010). Somit liegt der Wert der Modellergebnisse von HBV-D vor allem in der Identifikation von Teilgebieten, die eine hohe Bedeutung für die Abflussbildung aufweisen. Mit dem wesentlich detaillierteren TRAIN-Modell konnten die Auswirkungen der hohen räumlich-zeitlichen Variationen der hydrologischen Steuergrößen auf die Wasserhaushaltselemente dargestellt werden. Zum Beispiel war es möglich, den Einfluss der räumlichen Verteilung der Schneeakkumulation und der Sublimationsprozesse auf die Abflussbildung in den höheren Lagen des Khentii-Gebirges erstmalig abzuschätzen und ihre Bedeutung für das Gesamtgebiet zu erkennen.

Die Regionalisierung der Nährstoffemissionen sowie der relevanten Eintragspfade durch die Modellanwendung von MONE-RIS wiederum zeigte nicht nur signifikante Emissionen aus Punktquellen (Stadt Darkhan und kleinere Siedlungen), sondern auch aus der landwirtschaftlichen Nutzung. Für die Stoffströme hinsichtlich der Nährstoffe ist die weitergehende Analyse der Eintragspfade und insbesondere der Agrosphäre sowie der Verweilzeiten in den verschiedenen Medien (ungesättigte und gesättigte Bodenzone, Grundwasser) von entscheidender Bedeutung. Da der Hauptlauf des Gewässers jedoch noch großes Verdünnungspotential aufweist, konnten keine wesentlichen Defizite im ökologischen Zustand der Oberflächengewässer hinsichtlich der Nährstoffe festgestellt werden. Für den qualitativen Zustand der Oberflächengewässer stellt jedoch der Sedimenteintrag aus der Fläche (Ufer-, Gerinne- und Gully-Erosion) werden derzeit gesondert quantifiziert) sowie aus dem Bergbau eine signifikante Belastungsquelle dar.

Das durchgeführte Monitoring-Programm zeigte weiterhin mehrere Flächen mit Kontaminationsverdacht durch toxische Stoffe, von denen Gesundheitsgefahren für die Bevölkerung ausgehen. Diese Ergebnisse dienen der Identifizierung wichtiger Teilgebiete zum Aufbau eines Monitoring-Systems, das in der zweiten Projektphase (2010 bis 2013) installiert und letztlich von mongolischer Seite künftig weiter betrieben werden soll. Untermuert wurden diese Ergebnisse durch eine flächendeckende Bestandsaufnahme der ökologischen Verhältnisse und der chemischen Wasserqualität. Demnach befinden sich die Teilgebiete in den höheren Lagen des Khentii-Gebirges in einem Zustand, der den natürlichen Hintergrundbedingungen gleichkommt und damit als Referenzgebiet für künftige Untersuchungen und Maßnahmenpläne gelten kann. Der anthropogene Einfluss vor allem auf die Wasserqualität (erhöhte Nährstoffgehalte) als auch auf die Habitatstrukturen und die Biozönosen ist im Mittellauf und noch stärker im Unterlauf feststellbar. Die Frage der Übertragbarkeit der in Mitteleuropa gängigen Bewertungsverfahren von Fließgewässern führt hier zu einer wichtigen Forschungsaufgabe, nämlich aufbauend auf den vorliegenden quantitativen und qualitativen Befunden und Taxalisten biologische Kenngrößen zu beschreiben, um einen Gesamtbewertungsindex zu ermitteln.

Die Bilanzierung der Wassernachfrage auf Einzugsgebietsniveau ist derzeit noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Gesicherte Aussagen zu zukünftigen Versorgungsempfängen sind momen-

tan daher noch nicht möglich. Dies ist vor allem darin begründet, dass verlässliche Verbrauchsangaben der wesentlichen wasserbrauchenden Sektoren (v.a. Bergbau) nicht zugänglich sind. In längeren Perioden mit Wassermangel sind zukünftig Nutzungskonflikte vorprogrammiert (z.B. zwischen Landwirtschaft und Bergbau), da es sich in beiden Fällen um wachsende Wirtschaftszweige handelt und Ansätze zur Wasserspeicherung und Wasserwiederverwendung derzeit nur in sehr geringem Umfang realisiert werden. In der Region Darkhan ist jedoch eine belastbare Wasserbilanz möglich, da Wasserangebot und Nachfrage gut abschätzbar sind. Eine der vordringlichen Managementaufgaben besteht hier in der Minimierung der hohen Verluste bei der Wasserverteilung.

Die Strategien der mongolischen Zentralregierung sehen eine deutliche Intensivierung und Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion in den nächsten Jahren vor. Durch den Einsatz von Landwirtschaftsmaschinen, Mineraldüngern und neuer Bewässerungstechnik soll eine größere Unabhängigkeit von Nahrungsmittelimporten erreicht werden. Daher ist in Zukunft mit steigenden Emissionen von Nährstoffen und Bodenmaterial zu rechnen. Eine wichtige landwirtschaftliche Managementaufgabe wird daher in der Retention dieser Stoffe bestehen, zum Beispiel durch Anwendung einer guten landwirtschaftlichen Praxis und der Bereitstellung von Retentionsflächen. Da das meiste Ackerland auf ebenen Flächen und mäßig geneigten Hängen gelegen ist, wäre bereits durch hangparalleles Pflügen eine Verbesserung der Infiltration von Niederschlagswasser und eine Minderung der Bodenabträge gegeben. Weiterhin werden viele Einflüsse der hohen Viehdichten deutlich (Ufererosion, Verlust von Auenvegetation, Eintrag von Fäkalien), eine nachhaltige Bewirtschaftung der Weideflächen ist damit nicht gegeben. Im Bereich der Siedlungen ist die Einführung dezentraler Abwasserbehandlungsanlagen eine wichtige Maßnahme zur Minderung der Stoffeinträge.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen im Projektkonsortium konnte ein umfangreiches Maßnahmenpaket auf dem Weg zur Umsetzung eines IWRM vorgeschlagen werden. Die Priorisierung der Maßnahmen, Maßnahmenauswahl, Wirkungsabschätzung, Erarbeitung von Entscheidungsalternativen und pilothafter Umsetzung werden zusammen mit mongolischen Entscheidungsträgern in einer zweiten Phase bearbeitet.

Conclusions and outlook

This paper describes selected parts of an IWRM project in Mongolia that includes both scientific and applied components. The aim of the activities in Phase 1 of the MoMo project was to check the possibilities for the development of an IWRM system with regard to the specific conditions in Mongolia and to provide appropriate methods and tools. The paper focuses on three tasks within the MoMo project that may serve as examples how solutions and procedures can be developed. The three different tasks are closely interlinked, but clear interfaces exist also to those sub-projects that are not presented here, such as land-use, erosion, and urban water management.

The water and nutrient fluxes in the Kharaa basin had never been analyzed before, and neither was the ecological state of running surface waters assessed. A great challenge for the development of an IWRM concept in this region is the general scarcity and

questionable reliability of data. Therefore, the first step made in this project was to establish a reasonable and reliable database. Thus, modelled water and nutrient fluxes presented here have to be considered as first estimates of the actual situation.

The application of two different hydrological models allowed to simulate and describe the water availability and to establish water balances of ten different sub-basins in the pilot region. The output of the HBV-D model revealed remarkable inter-seasonal, inter-annual, and spatial variability in water availability in the Kharaa catchment. The uncertainty of the input parameters could be assessed and quantified by means of Monte Carlo simulations. These model runs with optimised parameter sets showed a good correlation between simulated and observed runoff (TORNRÖS & MENZEL 2010). Hence, the value of the HBV-D model outputs consists mainly in the identification of sub-basins that have high importance for runoff generation. The application of the more detailed and physically based TRAIN model made it possible to assess how the wide spatial and temporal variations of the hydrological control factors modify the water balance. For example, TRAIN based simulations demonstrated how the spatial variations of snow accumulation and sublimation determine runoff formation on higher ground in the Kharaa catchment.

The application of the MONERIS model allowed to regionalize nutrient emissions and their relevant pathways and showed significant emissions from point sources (City of Darkhan and smaller settlements) and from diffuse sources, mainly agricultural land. With regard to fluxes of nutrients, the further analysis of relevant pathways in the agriculture as well as the retention times within different environmental compartments (saturated and unsaturated soil horizons, groundwater) are decisive. As the natural retention and dilution capacity of the Kharaa river is still high, no deficits were observed so far in the ecological nutrient status of surface waters. Sediment inputs from surrounding areas (riverbanks, riverbed, and gully erosion are being quantified in ongoing studies) and especially from mining sites were found to have significant impact on water quality and aquatic life.

The monitoring of water resources indicated several areas with high contamination potential by toxic substances, which even pose health threats to the population. These findings help to identify relevant sub-basins and suggest the installation of a monitoring system in the second project phase (2010 to 2013). After 2013, the Mongolian partners will continue the operation of the monitoring systems. The results have been substantiated by a first inventory of the ecological status and chemical water quality of the Kharaa river and its tributaries. Thus, the sub-basins on higher ground in the Khentii Mountains are close to natural background conditions and can be used as reference sites in future research and planning. Anthropogenic impacts on water quality (increased nutrient levels), habitat structures, and bio-coenotic communities were found in the middle and, especially, in the lower reaches. The question whether evaluation criteria for running waters from central Europe may also be applied in Mongolia leads to an important task: to deduce an overall evaluation index based on quantitative and qualitative findings, tax lists, and biological parameters.

An overall balance of water demands on the river-basin scale can be estimated only with relatively high uncertainties, as reliable

data of important water-abstracting sectors (above all the mining industry) were not available. In the long-term perspective it seems possible that water conflicts between different sectors (e.g. mining industry and agriculture) will occur during dry periods, because the mining industry and agriculture are both growing sectors and there are at present no concepts for water-storage schemes and for sustainable water reuse. However, in the region of Darkhan City, a much more detailed water balance was set up during the project, because here the local water supply companies exactly determined water supplies and demand. The population and industry of Darkhan are supplied from groundwater resources; however, the available amount of this source is unknown. One of the main management priorities in Darkhan City is to minimize water losses during distribution in the pipe system and to avoid wasting water.

The strategy of the Mongolian government focuses on intensification and expansion of agricultural production within the next few years. The usage of agricultural machinery, irrigation equipment as well as the application of fertilizers and other agrochemicals shall reduce the dependence of the country on food imports. Therefore, soil erosion, as well as sediment and nutrient loads in waters are expected to increase in the future. An important task within the agricultural sector is the application of best management practice and the allocation of areas for water and nutrient retention. As most of the arable land is located in flat terrain or on gentle slopes, simple contour ploughing (instead of the current practice of downhill ploughing) would increase water infiltration and nutrient retention, and reduce soil losses and pollution. Furthermore, the impact of high livestock density is obvious (river bank erosion, loss of riparian vegetation, inputs of livestock faeces) and sustainable cultivation is not the present practice. Based on the findings of this study, a comprehensive set of means and actions is proposed as a contribution to the implementation of an IWRM. Prioritisation of these tasks, selection of measures, assessment of their effects, development of management alternatives, and implementation of pilot schemes are the topics of the second phase of the project.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Förder-Kennzeichen 0330762) für die finanzielle Förderung dieser Arbeit. Die verwendeten meteorologischen und hydrologischen Daten wurden dankenswerterweise vom Institut für Meteorologie und Hydrologie in Ulaanbaatar zur Verfügung gestellt. Ein besonderer Dank gilt unseren mongolischen Projektpartnern und Kollegen von den Universitäten in Ulaanbaatar und Darkhan, ohne deren oft selbstlose Unterstützung eine Durchführung des Projektes nicht möglich wäre.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. L. Menzel
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Geographisches Institut,
Lehrstuhl für Physische Geographie
Im Neuenheimer Feld 348, 69121 Heidelberg
Lucas.menzel@geog.uni-heidelberg.de

PD Dr. J. Hofmann
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
Müggelseedamm 310, 12587 Berlin

Dr. R. Ibsch

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department
Aquatische Ökosystemanalyse und Management
Brückstraße 3a, 39114 Magdeburg

Literaturverzeichnis

- BARTHEL, H. (1988): Mongolei – Land zwischen Taiga und Wüste.
– VEB Hermann Haack, Gotha
- BASANDORJ, D. & S. SINGH (2008): Improving local service deli-
very for the millennium development goals. Restoring the
image of Blue Mongolia: Rural Water Supply & Sanitation. –
Report compiled for UNICEF & UNDP, Ulaanbaatar, Mongolia
- BATIMA, P., L. NATSAGDORJ, P. GOMBLUDEV & B. ERDENETSET-
SEG (2005): Observed climate change in Mongolia. – AIACC
Working Papers 12, Washington D.C., USA
- BATKHISHIG, O. & F. LEHMKUHL (2003): Degradation und Deserti-
fikation in der Mongolei. – Petermanns Geographische
Mitteilungen 147, 48–49
- BATSUKH, N., D. DORJSUREN & G. BATSAIKHAN (2008): The
water resources, use and conservation in Mongolia (First
national report). – Report prepared for the National Water
Committee of Mongolia, Mongolian Ministry of Nature and
Environment, Ulaanbaatar
- BEHRENDT, H., P. HUBER, M. KORNMILCH, M. LEY, D. OPITZ, O.
SCHMOLL, G. SCHOLZ & R. UEBE (1999): Nährstoffbilanzierung
der Flussgebiete Deutschlands. – UBA-Texte 75/99, 288 S.
- BERNER, S. (2007): Hydromorphologische Untersuchungen an
einem Fließgewässer im Norden der Mongolei (Kharaa-Ein-
zugsgebiet): Grundlagenerarbeitung für die Interpretation
biologischer Daten. – Unveröffentlichte Diplomarbeit an der
Universität Stuttgart, 89 S.
- DULAMSUREN, CH. (2004): Floristische Diversität, Vegetation
und Standortbedingungen in der Gebirgstaiga des We-
stkhentej, Nordmongolei. – Berichte des Forschungszent-
rums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A,
Bd. 191
- DULMAA, A. (1999): Fish and fisheries in Mongolia. – In: Petr, T.
(Hrsg.): Fish and fisheries at higher altitudes: Asia. – FAO
Fisheries Technical Paper 385, Rome, Italy
- DUSSLING, U., R. BERG, H. KLINGER & C. WOLTER (2004):
Assessing the Ecological Status of River Systems using Fish
Assemblages. – Handbuch Angewandte Limnologie 20. Erg.
Lfg. 12/04, 1–84
- HOFMANN, J. (2008) : Bericht über die Untersuchungen von
Grundwasser und Boden auf Schwermetalle und Cyanid in
Khongor Sum (Investigations on heavy metals and cyanide
in groundwater and soil of Khongor Sum 2008). – Report for
the Mongolian Water Authority, 56 S.
- HOFMANN, J. & B.SCHARAW (2009): Versorgungssituation der
ländlichen Bevölkerung mit Trinkwasser und Entsorgung des
Abwassers sowie Einschätzung der Gewässerbelastung mit
Schwermetallen. – Mongolische Notizen 18, 101–127
- HOFMANN, J., M. VENOHR, H. BEHRENDT & D. OPITZ (2010):
Integrated Water Resources Management in Central Asia:
Nutrient and heavy metal emissions and their relevance for
the Kharaa River Basin, Mongolia. – Water Science and
Technology 62, No. 2, 353–363 (doi:10.2166/wst.2010.262)
- ILLIES, J. & L. BOTOSANEANU (1963): Problèmes et méthodes de
la classification et de la zonation écologique des eaux couran-
tes, considérées surtout du point de vue faunistique. – Mit-
teilungen der internationalen Vereinigung für theoretische
und angewandte Limnologie 12, 1–57
- KÖPPEN, W. (1918): Klassifikation der Klimate nach Temperatur,
Niederschlag und Jahreslauf. – Petermanns Geographische
Mitteilungen 64
- KÖPPEN, W. (1936): Das geographische System der Klimate. – In:
Köppen, W. und Geiger, R.: Handbuch der Klimatologie, Band
1, Teil C. – Verlag Gebr. Borntraeger, Berlin
- KRÄTZ, D. (2009): Ökologie der Fischbestände in Fließgewässern
des Khentii-Gebirges (Mongolei): Bestandsaufbau, Dynamik
und Gefährdung durch den Gold-Tagebau. – Dissertation,
Technische Universität Dresden, Dresden, 173 S.
- KRYSANOVA, V., A. BRONSTERT & D.I. MÜLLER-WOHLFEIL (1999):
Modelling river discharge for large drainage basins: from
lumped to distributed approach. – Hydrological Sciences
Journal 44, 313–331
- LAWA (Hrsg.) (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von
Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – Che-
mische Gewässergüteklassifikation. 1. Auflage, Berlin, 35 S.
- LAWA-AO (2007): Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B. Bewer-
tungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. Arbeits-
papier II. Hintergrund- und Orientierungswerte für physika-
lisch-chemische Komponenten. – Länderarbeitsgemein-
schaft Wasser
- LINDSTRÖM, G., B. JOHANSSON, M. PERSSON & M. GARDELIN
(1997): Development and test of the distributed HBV-96. –
Journal of Hydrology 201, 272–288
- MEIER, C., P. HAASE, P. ROLAUFFS, K. SCHINDEHÜTTE, F. SCHÖLL,
A. SUNDERMANN & D. HERING (2006): Methodisches Hand-
buch Fließgewässerbewertung zur Untersuchung und Be-
wertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoob-
enthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenricht-
linie; <http://www.fliessgewaesserbewertung.de>
- MENZEL, L. (1997): Modellierung der Evapotranspiration im Sys-
tem Boden-Pflanze-Atmosphäre. – Zürcher Geographische
Schriften 67, ETH Zürich

- MENZEL, L. & G. BÜRGER (2002): Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). – *Journal of Hydrology* 267, 53–64
- MENZEL, L., A.H. THIEKEN, D. SCHWANDT & G. BÜRGER (2006): Impact of climate change on the regional hydrology – scenario based modelling studies in the German Rhine catchment. – *Natural Hazards* 38, 45–61
- MENZEL, L., J. KOCH, J. ONIGKEIT & R. SCHALDACH (2009): Modelling the effects of land-use and land-cover change on water availability in the Jordan River region. – *Advances in Geosciences* 21, 73–80
- MOMO-KONSORTIUM (2009): IWRM in Central Asia – Model Region Mongolia (MoMo): Case Study in the Kharaa River Basin. Final Project Report, September 2009
- OCOCK, J., G. BAASANJAV, J. E. M. BAILLIE, M. ERBENEBAT, M. KOTTELAT, B. MENDSAIKHAN & K. SMITH (Hrsg.) (2006): Mongolian Red List of Fishes. Regional Red List Series Vol. 3. – Zoological Society of London, London.
- SCHAEFFER, M., R.B. IBISCH & D. BORCHARDT (2008): Invertebrate Lebensgemeinschaften als Indikatoren für Landnutzungseffekte im Norden der Mongolei. – Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Tagungsbericht 2008, Konstanz. 308–312
- SCHARAW, B., S. RÖLL, T. WESTERHOFF, S. HOPFGARTEN & LI PU (2009): Simulation und Optimierung eines Trinkwasserversorgungssystems im Rahmen eines IWRM. – *Automatisierungstechnik* 55 (12), 601–612
- SCHULTZ, J. (2002): Die Ökozonen der Erde. – Ulmer, Stuttgart
- TÖRNROS, T. & L. MENZEL (2010): Heading for knowledge in a data scarce river basin: Kharaa, Mongolia. – In: Herrmann, A. & Schumann, S. (Hrsg.): Status and Perspectives of hydrology in small basins. – IAHS Publications 336, 270–275
- VENOHR, M., H. BEHRENDT, U. HIRT, J. HOFMANN, D. OPITZ, U. SCHERER, S. FUCHS & R. WANDER (2008): Modellierung von Einträgen, Retention und Frachten in Flusssystemen mit MONERIS, Teil II: Datengrundlage und Methodik. – In: Stoffströme in Flussgebieten. – Tagungsband der Karlsruher Flussgebietstage 2008; Schriftenreihe SWW, 128, 35–64, Karlsruhe
- VENOHR, M., U. HIRT, J. HOFMANN, D. OPITZ, A. GERICKE, A. WETZIG, K. ORTELBACH, S. NATHO, F. NEUMANN & J. HÜRDLER (2010): The model system MONERIS 2.14.1vba Manual. – Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin. 121 S.
- WHO (2003): The Right to Water. Health and Human Rights Publication Series 3; http://www.who.int/water_sanitation_health/rtwrev.pdf (letzter Zugriff am 26.8.2010)
- WIMMER, F., S. SCHLAFFER, T. AUS DER BEEK & L. MENZEL (2009): Distributed modelling of climate change impacts on snow sublimation in Northern Mongolia. – *Adv. Geosci.* 21, 117–124