

Zentrum für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung der
Justus-Liebig-Universität Gießen

**Wasserressourcen und deren Nutzung
im Ili-Balchaš Becken**

von

DOSTAJ, Ž.D.¹

in Zusammenarbeit mit

GIESE, ERNST²; HAGG, WILFRIED³

Nr. 34, Giessen, November 2006

¹ Institut für Geographie, Nationale Akademie der Wissenschaften der Republik Kasachstan, Almaty

² Institut für Geographie, Justus-Liebig-Universität Gießen

³ Sektion Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität, München

Inhalt

Inhalt	II
Abbildungen	III
Tabellen	III
Vorwort	1
1. Allgemeine Kennzeichnung	2
1.1 Relief	2
1.2 Klima	4
1.3 Boden- und Vegetationsbedeckung	8
1.4 Hydrographie	9
1.5 Die Bedeutung des Grundwassers	14
2. Die hydrologische Bilanz des Beckens im naturnahen Zustand	18
3. Anthropogene Veränderungen des Wasserhaushalts	25
3.1 Der Kapčagaj-Stausee	25
3.2 Bewässerung	27
4. Hydrochemie und Wasserqualität	34
4.1 Die Mineralisierung der Fließgewässer	34
4.2 Die Mineralisierung des Kapčagaj-Stausees	36
4.3 Wasserverschmutzung	39
5. Das Ili-Delta	46
5.1 Lage und Überblick	46
5.2 Substrat, Vegetation und Landschaftstypen	48
5.3 Hydrographie des Deltas	49
5.4 Abflussverhältnisse vor und nach dem Bau des Kapčagaj-Staudammes	50
5.5 Die Pufferwirkung des Deltas	55
6. Der Balchaš-See	60
6.1 Topographie	60
6.2 Hydrologische Bilanz	61
6.3 Salzbilanz des Balchaš-Sees	66
6.4 Natürliche Seespiegelschwankungen	71
6.5 Anthropogene Beeinflussung des Seespiegels	72
6.6 Die Zukunft des Balchaš	74
Literatur	77

Abbildungen

- Abb. 1: Das Ili-Balchaš-Becken: Oro-hydrographische Übersicht
- Abb. 2: Jahreszeitlicher Verlauf der Monatsmitteltemperaturen im Ili-Balchaš-Becken
- Abb. 3: Jahreszeitliche Niederschlagsverteilung im Ili-Balchaš-Becken, Durchschnitt 1929-1990
- Abb. 4: Das Ili-Balchaš Becken: Gewässernetz und Bewässerungsfeldbaugebiete
- Abb. 5: Entwicklung der jährlichen Abflussmenge des Karatal an der Station Uštobe, 1929-1993
- Abb. 6: Entwicklung der jährlichen Abflussmenge des Lepsy an der Station Podchoz Lepsy, 1935-1996
- Abb. 7: Entwicklung der jährlichen Abflussmenge des Aksu an der Station Žansugurova, 1932-1991
- Abb. 8: Höhe des Grundwasserspiegels im Ili-Delta
- Abb. 9: Abflussganglinien von Flüssen aus verschiedenen Zonen der Abflussbildung
- Abb. 10: Entwicklung der bewässerten Fläche im Ili-Balchaš-Becken im 20. Jahrhundert
- Abb. 11: MODIS-Aufnahme der NASA vom Balchaš-Sees
- Abb. 12: Ili-Delta und westlicher Balchaš-See
- Abb. 13: Mittlere Monatsabflüsse des Ili in der Kapčagaj-Enge vor und nach dem Bau des Stausees
- Abb. 14: Monatsmittel des Grundwasser-Flurabstandes an drei Messstellen
- Abb. 15: Der Balchaš-See (Isobathendarstellung) und das Ili-Delta
- Abb. 16: Oberflächenzuflüsse in den Balchaš-See 1930 – 1986, km³.
- Abb. 17: Entwicklung der Mineralisierung des Balchaš-Sees von 1929-1987
- Abb. 18: Seespiegelschwankungen des Balchaš-Sees von 1880 bis 2002
- Abb. 19: Szenarien einer zukünftigen Entwicklung des Balchaš-Sees

Tabellen

- Tab. 1: Höhe, Dichte und Wasseräquivalent der Schneedecke während der maximalen Rücklage
- Tab. 2: Wasserhaushalt der Flüsse in der Vorgebirgszone des Balchaš
- Tab. 3: Kennzahlen zur Vergletscherung und zum Gletscherabfluss in den Teileinzugsgebieten des Ili-Balchaš Beckens, Mittelwerte für den Zeitraum von 1957 bis 1990.
- Tab. 4: Erneuerbare Wasserressourcen im Ili-Balchaš-Becken 1939-1969
- Tab. 5: Hydrologische Bilanz des Balchaš-Sees und des Kaspischen Meeres im ungestörten Zustand
- Tab. 6: Verhältnis des Nutzraums zum Oberflächen-Zufluss für einige große Stauseen in der ehemaligen Sowjetunion
- Tab. 7: Hydrologische Bilanz des Kapčagaj-Stausees 1970-1987
- Tab. 8: Verteilung der potenziellen Bewässerungsflächen nach notwendigen Meliorationsmaßnahmen, 1.000 ha
- Tab. 9: Bewässerungsflächen und Wasserverbrauch im Ili-Gebiet, Stand 1986
- Tab. 10: Empfohlene Bewässerungsmengen (unterstrichen) und tatsächlich verbrauchtes Wassers im Jahr 1993 nach Berichten der örtlichen Komitees für Wasserressourcen, m³/ha (1993).
- Tab. 11: Hydrologische und hydrochemische Kennzahlen im Akdalinskij Bewässerungsgebiet, 1982-1993
- Tab. 12: Bewässerungsflächen in der Ost-Balchaš-Region, Stand 1.01.1986
- Tab. 13: Salzgehalt des Oberflächen- und Drainagenwassers im Karatalskij Bewässerungsmassiv, 1974-1992
- Tab. 14: Entwicklung des Fischfangs im Balchaš-See, t
- Tab. 15: Abfluss und Mineralisation der Flüsse im Balchaš-Becken in den Jahren 1961 und 1969
- Tab. 16: Chemische Zusammensetzung des Ili-Wassers in verschiedenen Flussabschnitten

- Tab. 17: Mineralisation (oben) und Sulfatgehalt (unten) des Wassers im Kapčagaj-Stausee, mg/l
- Tab. 18: Chemische Zusammensetzung des in den Kapčagaj-Stausee aus dem Šengel'dinskij Bewässerungsmassiv (Nordufer des Kapčagaj) abfließenden Wassers, mg/l
- Tab. 19: Mineralisation des Abwassers aus dem Akdalinskij Bewässerungsmassiv, mg/l
- Tab. 20: Gehalt organischer Stoffe in Flussmündungen im Jahr 1987 gemessen anhand des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB₅), mgO₂/l
- Tab. 21: Bewässerungsflächen und Mengen eingesetzter Düngemittel im Almaatinskaja Oblast (ohne das Territorium des später eingegliederten Taldykorganskaja Oblast), 1985-1999
- Tab. 22: Durchschnittlicher Stickstoffgehalt in den Zuflüssen des Kapčagaj-Stausees während der Vegetationsperiode, mg/l
- Tab. 23: Gehalt an organischen und biogenen Stoffen im Wasser des Kapčagaj-Stausees, 1985-1987
- Tab. 24: Pestizideinsatz im Almaatinskaja Oblast in den Jahren 1985 bis 1987, t
- Tab. 25: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Mündungsbereich verschiedener Flüsse, mg/l
- Tab. 26: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Wasser, das von den Šengeldinskij Bewässerungsflächen im Juni 1986 abfließt, mg/l
- Tab. 27: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Wasser des Kapčagaj-Stausees entlang der Südküste, mg/l
- Tab. 28: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Wasser des Kapčagaj-Stausees entlang der Nordküste, mg/l
- Tab. 29: Chemische Zusammensetzung des Wassers im Unterlauf des Ili, mg/l
- Tab. 30: Gemessene Jahresabflüsse des Ili an der Kapčagaj-Enge von 1930 bis 1969 (vor dem Bau des Staudammes)
- Tab. 31: Gemessene Jahresabflüsse des Ili an der Kapčagaj-Enge von 1970 bis 1995 (nach dem Bau des Staudammes)
- Tab. 32: Jahreszeitliche Verteilung des Abflusses in den Flussarmen des oberen und unteren Ili-Deltas nach dem Bau des Kapčagaj-Stausees (1970 – 1989)
- Tab. 33: Durchschnittliche Wasserverluste im Ili-Delta, 1953 bis 1969 (vor dem Bau des Kapčagaj-Stausees)
- Tab. 34: Durchschnittliche Wasserverluste im Ili-Delta, 1970 bis 1989 (nach dem Bau des Kapčagaj-Stausees)
- Tab. 35: Entwicklung der Ausdehnung von Landschaftstypen im Delta des Ili aus Luftbildern vor 1984, km²
- Tab. 36: Mittlere Kenngrößen des Balchaš-Sees für die Jahre 1932 bis 1970
- Tab. 37: Mittlere jährliche Niederschlagsmengen auf der Seeoberfläche nach verschiedenen Autoren
- Tab. 38: Mittlere Jahresniederschläge (*N*) und ihre Standardabweichung (σ), mm
- Tab. 39: Verdunstung von der Seeoberfläche des Balchaš nach Angaben verschiedener Autoren, mm/a
- Tab. 40: Langjährige Mittelwerte des Wasserhaushalts des Balchaš-Sees während der naturnahen Periode von 1937 bis 1969, km³
- Tab. 41: Mineralisation der Niederschläge als prozentualer Anteil des Stoffs und Ionengehalt (mg/l) 1965 - 1968, Station Balchaš.
- Tab. 42: Salzbilanz des Balchaš-Sees nach Angaben verschiedener Autoren
- Tab. 43: Salzaustausch zwischen dem westlichen und östlichen Teil des Balchaš-Sees nach Angaben verschiedener Autoren (Millionen t/ Jahr), 1975 – 1981
- Tab. 44: Szenarien der Entwicklung des Balchaš-Sees – ökologisch verträgliche Varianten –
- Tab. 45: Szenarien der Entwicklung des Balchaš-Sees – ökonomisch vertretbare Varianten (Sicherung des Westteils) –

Vorwort

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen der Arbeiten zum Forschungsprojekt: "Wasserverknappung, Wassernutzungskonflikte und Wassermanagement in Trockengebieten Zentralasiens (Usbekistan, Kasachstan, Kirgistan, Xinjiang/VR China)" erstellt. Das Ziel des Forschungsprojektes bestand darin, die Ursachen und Auswirkungen der zunehmenden Wasserverknappung und Verschlechterung der Wasserqualität zu untersuchen. Die Untersuchungen wurden vergleichend in vier abflusslosen Beckenbereichen vorgenommen: im Aralsee-Becken, Ili- Balchaš-Becken, Issyk-Kul-Becken und Tarim-Becken.

Die vorliegende Untersuchung über das Ili-Balchaš-Becken wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Ž. D. Dostaj vom "Institut für Geographie" der Kasachischen Akademie der Wissenschaften in Almaty erstellt. Sie steht in direkter Verbindung zur Arbeit von Dr. T. Christiansen und U. Schöner, die sich bei ähnlicher Fragestellung mit dem auf chinesischem Territorium liegenden oberen Ili-Tal beschäftigt haben. Über diesen Teil des Ili-Balchaš-Beckens lagen unzureichende Informationen vor, so dass getrennt von der vorliegenden Arbeit eine auf der Auswertung von Satellitenbildern basierende Untersuchung durchgeführt wurde. Sie liegt als Nr. 20 der „Discussion Paper“-Reihe des Zentrums für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung (ZEU) der Justus-Liebig-Universität Gießen (2004) vor.

Die Finanzierung des auf vier Jahre angesetzten Forschungsprojektes (Mai 2001 - April 2005) erfolgte durch die Volkswagen-Stiftung im Rahmen der Förderinitiative "Mittelasien / Kaukasus im Focus der Wissenschaft". Dafür möchte ich mich herzlich bedanken.

Gießen im November 2006

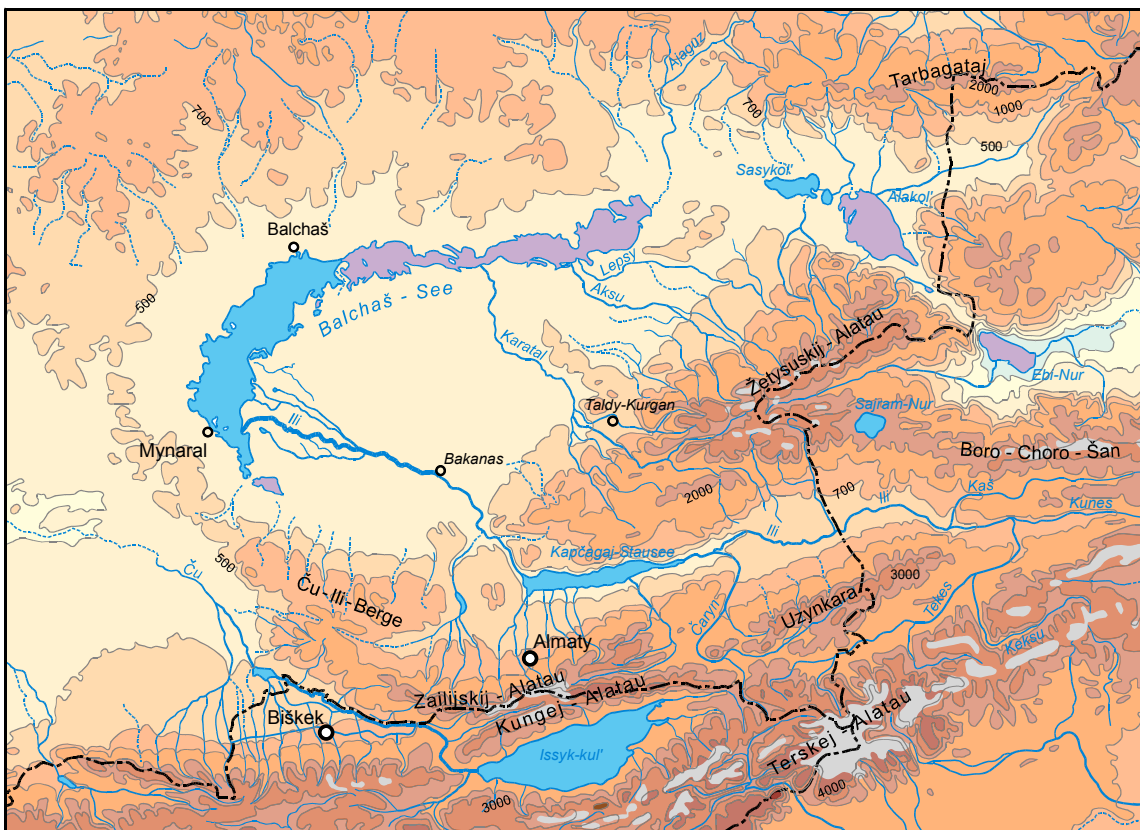
Prof. Dr. Ernst Giese
(Projektleiter)

1. Allgemeine Kennzeichnung

1.1 Relief

Das Ili-Balchaš-Becken ist eine ausgedehnte tektonische Depression, die zwischen der zentral-kasachischen Stelle (kasachisches Faltengebirge Sarjarka) und dem Tjan'-Šan' (Tanirtau-Gebirge) liegt. Seine Fläche beträgt 413.000 km², davon liegen 85% auf kasachischem Territorium, die restlichen 15% gehören zur VR China, genauer zur Autonomen Uigurischen Region Xinjiang. Im Zentrum des Beckens liegt der abflusslose Balchaš-See, mit rund 18.000 km² nach dem Kaspischen Meer der zweitgrößte Endsee der Welt, da der Aral-See seit Anfang der 1960er Jahre über 75 % seiner ursprünglichen Fläche von 69.380 km² verloren hat und auf eine Fläche unter 17.000 km² geschrumpft ist. In Fortsetzung der Senke des Balchaš-Sees liegt 180 km weiter östlich der mit einer Fläche von 2.650 km² deutlich kleinere Alakol-See. Er besitzt einen Einzugsbereich von 68.700 km² (vgl. Abb 1).

Abb. 1: Das Ili-Balchaš-Becken: Oro-hydrographische Übersicht



Quelle: Atlas Kazachskoj SSR, Moskva 1985, Bd. 1, S. 12

Das Ili-Balchaš-Becken wird allseitig von Gebirgen umgeben. Im Norden wird das Becken vom Tarbagataj (2.992 m) und nach Westen fortsetzend von der weniger hohen

Kleinhügellandschaft der zentralkasachischen Schwelle (1.565 m) begrenzt. Diese findet im Westen mit den Čū-Ili-Bergen ihre Fortsetzung (vgl. Abb. 1). Im Süden wird das Becken von den fast 5.000 m aufragenden Gebirgsketten des Zailijskij-, Kungej- und Terskij-Alatau sowie des Uzynkara abgeschlossen. Der Boro-Choro-Šan und Žety-suskij-Alatau (4.442 m) grenzen das Becken im Osten ab. Diese Gebirgsstöcke besitzen ein typisch alpines Aussehen mit scharfen Kämmen und Gipfeln, Gletschern und tiefen Tälern. Der höchste Punkt des Ili-Balchaš-Beckens befindet sich am Oberlauf des Vajankol. Der Pik Mramornaja Stena besitzt eine Höhe von 6.400 m ü. M.

Tief eingeschnittene Täler erlauben das Eindringen feuchter Luftmassen vor allem aus westlichen und nordwestlichen Windrichtungen in das Gebirge, wo sie zum Aufstieg und zur Kondensation gezwungen werden. Auf diese Weise kämmen Gebirge Niederschläge aus der Atmosphäre aus, so dass Grundwasservorräte aufgefüllt werden und der Überschuss oberflächlich in die trockenen Vorlandbereiche der Gebirge abfließt.

Die inneren Beckenbereiche nehmen Höhenlagen zwischen 350 und 800 m ein. Sie sinken im Süden von den Vorlandbereichen der Gebirge von 800 – 600 m auf unter 350 m im Norden ab, wo sich auf einer Strecke vom 920 km eine Kette von Seen aneinanderreicht. Von Westen nach Osten folgen in der Senkungszone der Balchaš-See, Sasykol', Alakol', und Ebi-Nur, der auf chinesischem Territorium liegt und mit 189 m nochmals deutlich tiefer als die westlich der „Žetysuskischen Pforte“ liegenden Seen. Die Seen sind jeweils durch seichte Landschwellen voneinander getrennt und besitzen eigene Einzugsbereiche.

Der südliche Teil des Beckens wird vom Ilital eingenommen. Die Abflussbildung des Ili erfolgt zum größten Teil auf chinesischem Territorium. Drei der vier Quellflüsse entspringen dort: der Kunes und Kaš sowie der Keksu als Nebenfluss des Tekes. Der Tekes, neben dem Kunes der zweite bedeutsame Quellfluss des Ili, entspringt auf kasachischem Territorium, fließt dann aber nach China ab und vereinigt sich dort mit dem Kunes zum Ili (vgl. auch Abb. 4).

An die nördliche Küste des Balchaš schließt sich die Sajarki-Ebene an, die als Pe-neplain das Endprodukt eines lang andauernden Abtragungsprozesses darstellt. Sie besitzt ein flachhügeliges Relief, das durch Erosions- und Denudationsprozesse aus einem kräftigen Gebirgssystem hervorgegangen ist. Die Hügel und Kuppen erreichen eine Höhe von 30 – 40 m, an machen Stellen sogar 100 – 200 m, dazwischen liegen höhere Plateaus: In diesem Bereich hat sich eine Steppenlandschaft entwickelt.

Die südlich an den Balchaš-See anschließende Fläche wird von umfangreichen Dünenfeldern und Wüstenkomplexen eingenommen. Im Westen liegen die beiden Wüsten Taukum und Moinkum. Östlich schließt sich zwischen den Flüssen Ili und Karatal die Saryesik-Atyrau-Ebene an. Noch weiter östlich folgen an den Unterläufen der Flüsse Karatal, Lepsy und Aksu die Sandwüsten Žamanžal, Ljukkum und Aralkum.

Der Ili bildet vor seiner Mündung in den Balchaš-See ein 8.000 km² großes Delta. Kennzeichnend für das Delta sind zahlreiche ausufernde Flussarme und Seen, zwischen denen Barchanfelder liegen. Im Nordosten des Ili-Deltas liegt eine ausgedehnte, lehmig-sandige, takyrtartige Ebene, die von einem alten, jetzt trocken gefallenem Flussbett des Ili (Bakanasy) zerschnitten wird.

Die tiefländischen Bereiche des Ili-Balchaš-Beckens gehen im Süden in eine von Steppen und Halbsteppen eingeommene schwach gegliederte Vorgebirgszone über, die von einzelnen Trockentälern zerschnitten wird.

Unter orographischen Gesichtspunkten lässt sich die Region in drei große Abschnitte gliedern:

1. in die nördliche und nordöstliche Pribalchaš-Region;
2. in die tiefländischen Beckenbereiche, die sich von den südlichen Ausläufern der kasachischen Schwelle (Saryarki) bis zum Gebirgsrand im Süden und Südosten des Beckens erstreckt;
3. in den südlichen Teil des kasachisch-žetyuskischen Gebirgssystems und der nördlichen Gebirgsketten des Tjan'-Šan'.

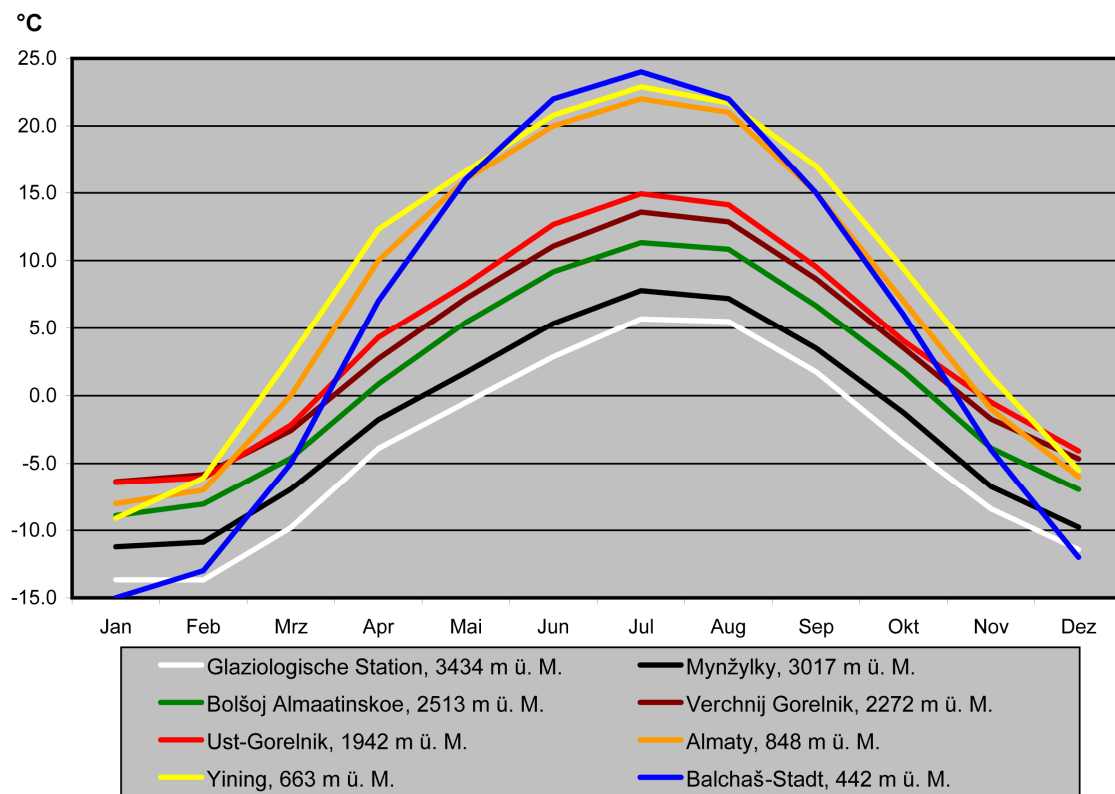
1.2 Klima

Die Lage des Balchaš-Beckens tief im Inneren der eurasischen Landmasse – der ozeanentfernteste Punkt liegt am Balchaš-See, über 2.500 km vom Ozean entfernt – bedingt, dass das Klima im Ili-Balchaš-Becken extrem kontinental ist. Im Süden und Osten wird das Becken halbkreisförmig von hohen Gebirgsketten eingerahmt. Hier tritt die Kontinentalität des Klimas in abgeschwächter Form auf.

Im Winter kann die *Lufttemperatur* an einzelnen Tagen in den tiefländischen Beckenlagen auf -45 °C, in der Vorgebirgszone auf -40 °C absinken. Im Sommer können die Lufttemperatur dagegen im Tiefland auf +45 °C ansteigen. Mit der Höhe nehmen die Maxima der Sommertemperaturen bis auf +20 °C in der Gletscherzone ab. Die durchschnittliche Jahresamplitude der Monatsmitteltemperaturen steigt im Tiefland bis auf 40 °C an (Balchaš-Stadt: 39 °C), sinkt in den Bergen auf 25 °C und darunter (Glaziologische Station: 19 °C). Die Bandbreite der täglichen Temperaturschwankungen ist hier ebenfalls erheblich, insbesondere im Sommer.

Der jahreszeitliche Verlauf der Monatsmitteltemperaturen ist für verschiedene Klimastationen im Ili-Balchaš-Becken nach verschiedenen Höhen- und Standortlagen in Abbildung 2 dargestellt.

Abb. 2: Jahreszeitlicher Verlauf der Monatsmitteltemperaturen im Ili-Balchaš-Becken



Quelle: CADB, Russia's Weather Server <http://meteo.infospace.ru>

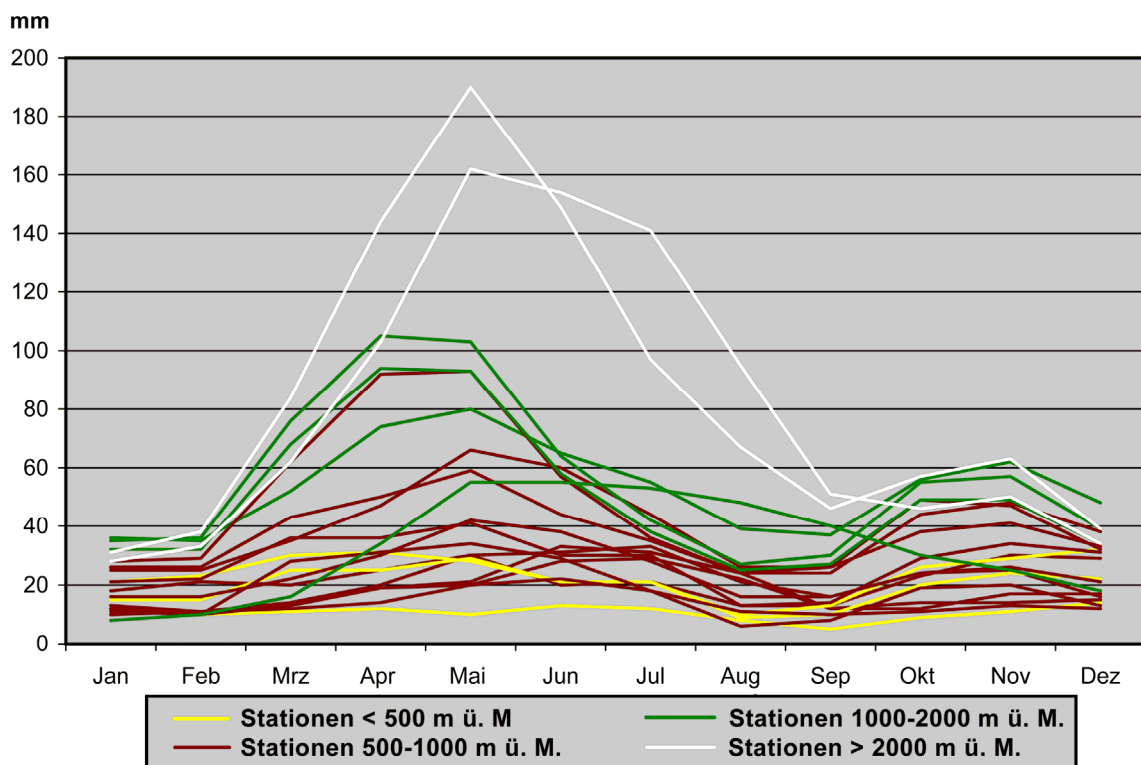
Die Kurven lassen einen extrem ausgeprägten jahreszeitlichen Verlauf der Monatsmitteltemperaturen erkennen. Durchschnittliche Monatsmitteltemperaturen von $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Winter wechseln mit solchen von $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Tiefland und $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ in den Bergen.

Kennzeichnend für die südliche Balchaš-Region ist eine lange Sonnenscheindauer und sind hohe Werte der Sonneneinstrahlung. Die Summe der jährlichen Sonneneinstrahlung schwankt zwischen 115 und 125 kcal. Die Zahl der Sonnentage beträgt 100 – 129, die Sonne der Tagesmitteltemperaturen während der Vegetationsperiode erreicht $3.500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Niederschläge treten im Ili-Balchaš-Becken in starker räumlicher und zeitlicher Differenzierung auf. Die tiefländischen Beckenbereiche erhalten im Jahresdurchschnitt nicht mehr als 200 – 300 mm Niederschlag. Minimale Niederschlagsmengen erhalten der Balchaš-See und seine Küstenregion mit ca. 150 mm pro Jahr. Von Norden nach Süden und von Osten nach Westen nehmen die Niederschlagsmengen zu. Ausgeprägt ist die Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe. Im Žetysuskij-Alatau steigen sie bis auf 2.000 mm an. Dieses ist einmal durch die atmosphärische Zirkulation, zum anderen durch den Gebirgsstau effekt zu erklären. Die atmosphärische Zirkulation wird durch Luftmassenbewegungen aus dem Norden und Westen dominiert. Vor allem im

Frühjahr dringen Zyklonen vom Atlantik und Schwarzen Meer ein, die umfangreiche Niederschläge mit sich bringen. Im Sommer häufen sich tropisch-warme und trockene Luftmassen. Im Winter befindet sich das Gebiet unter dem Einfluss der sibirischen Antizyklone. Sie wirken niederschlagssenkend. Neben der großräumigen Zirkulation existieren örtliche Berg-Tal-Wind-Zirkulationen, die für die Kondensation der Luftfeuchtigkeit in den Gebirgstälern sorgen.

Abb. 3: Jahreszeitliche Niederschlagsverteilung im Ili-Balchaš-Becken, Durchschnitt 1929-1990



Quelle: Eigene Darstellung

Wie man der Abbildung 3 entnehmen kann, werden an den meisten Stationen zwei Maxima registriert, das erste Maxima im Frühjahr (April-Mai), das zweite im Winter (Nov-Dez). Mit zunehmender Höhenlage nimmt das Frühjahrsmaximum an Bedeutung zu, bei den beiden Stationen über 2000 m ü. M. kann nur noch von einem Maximum gesprochen werden, das sich allerdings bis in den Sommer hinein ausdehnt.

Die Zahl der Niederschlagstage nimmt im Tiefland von Norden nach Süden ab, steigt mit der Höhe aber wieder an. An den nördlichen Hängen des Zailijskij- und Žetyuskij-Alatau werden doppelt so viele Niederschlagstage (Mynžilki: 161 Tage) beobachtet wie im angrenzenden Tiefland (Ili: 86 Tage).

Bis zu 2500 m überwiegen Niederschläge in Form von Regen, in höheren Lagen bilden Schneefälle einen Großteil des Jahresniederschlags. Im Tiefland der Balchaš-Region

gibt es eine dauerhafte Schneedecke normalerweise ab Mitte/Ende Dezember. In einzelnen Jahren kann sie jedoch ganz fehlen. In den tieferen Lagen des Zailijskij-Alatau beginnt an den nördlichen Hängen die Schneebedeckung ebenfalls Mitte / Ende Dezember, an den südlichen 18 bis 25 Tage später. Die Schneeschmelze konzentriert sich im Tiefland gewöhnlich auf den Februar, manchmal dauert sie bis zum März. Im Vorland der Südhänge des Žetysuskij-Alatau und im westlichen Teil des Ili-Beckens schmilzt der Schnee in der ersten Märzhälfte, im Vorland der Nordhänge Ende März bis Anfang April. In den Höhen von 1000 bis 1500 m ü. M. endet die Schneeschmelze im März - April, in der Hochgebirgszone kann sie bis Juni - Juli dauern.

Die Wasservorräte in der Schneedecke verteilen sich äußerst ungleichmäßig. Die Mittelwerte von 14 Klimastationen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tab. 1: Höhe, Dichte und Wasseräquivalent der Schneedecke während der maximalen Rücklage

Station	m ü. M.	Höhe, cm			Dichte, g/cm ²			Wasseräquivalent, mm		
		Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max	min
Najmansuek	368	16	35	8	0,20	0,28	0,14	27	76	13
Kapčagaj	456	13	37	3	0,22	0,33	0,13	26	78	0
Uryžar	489	75	116	33	0,26	0,31	0,18	184	297	103
Šilik	606	21	24	12	0,23	0,34	0,12	54	54	0
Čubartau	647	22	40	13	0,27	0,37	0,20	51	83	29
Ajagoz	654	30	54	17	0,29	0,38	0,19	80	146	40
Sarkan	763	44	67	20	0,27	0,38	0,20	108	176	36
Almaty, GMO	847	30	54	16	0,24	0,31	0,17	65	123	23
Lepsy	1 012	87	135	50	0,28	0,34	0,21	211	314	126
Kaskelen	1 137	28	47	12	0,22	0,30	0,12	59	99	22
Medeu	1 529	62	100	38	0,24	0,31	0,20	141	270	82
Ust'-Gorel'nik	1 943	76	117	39	0,25	0,38	0,18	170	243	87
Verchnij Gorel'nik	2 272	74	109	40	0,24	0,34	0,18	172	307	70
Mynžylky	3 017	88	138	39	0,30	0,41	0,20	254	524	78

Die *relative Luftfeuchtigkeit* zeigt den für aride Gebiete wie das Innere des Balchaš-Beckens typischen saisonalen Verlauf mit einem Maximum im Winter (60 - 75%) und einem Minimum im Sommer (20 - 40%) sowie einem scharfen Übergang von der kalten zur warmen Jahreszeit. Während der Vegetationsperiode treten im Mittel 115 Tage mit einer relativen Luftfeuchtigkeit $\leq 30\%$ auf. Am trockensten sind die Monate Juli und August. Das durchschnittliche Sättigungsdefizit sinkt mit steigender Meereshöhe von 8-9 hPa im Tiefland bis auf 2,6 hPa im Hochgebirge (Station Mynžylky, 3017 m ü. M.). Im Winter beträgt das durchschnittliche Sättigungsdefizit im Flachland 0,8-1,3 mb, im Frühjahr steigt es mit der Lufttemperatur schnell an und erreicht im Juli 20-25 hPa.

Das Auftreten von *Wind* wird in der Balchaš-Region hauptsächlich durch örtliche Druck- und Zirkulationsbedingungen bestimmt. In den Gebirgslagen treten Föhn-Effekte und Berg-Talwind-Systeme auf, an den Küsten des Balchaš, Alakol' und Sarykol' Land-Seewind-Zirkulationen. Die Mehrzahl der Winde kommt im Tiefland aus Nordwesten, im Vorgebirge dominieren südliche Komponenten. Im Gebirge ist der Wechsel der Windrichtung im Halbtagestakt typisch, außerdem spielen hier Kammhöhen und Hangexpositionen eine wichtige Rolle.

Typisch für die Region sind geringe Windgeschwindigkeiten, im Tiefland und Vorgebirge liegt das Jahresmittel lediglich bei 1,2 bis 2 m/s. Höhere Windgeschwindigkeiten werden mit durchschnittlich 4,1 m/s im Ili-Tal und am Unterlauf des Šilik verzeichnet. Im Gebirge wird eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe beobachtet. Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden in der Umgebung der Žetyuskischen (Kapčagajschen) Pforte erreicht. Hier werden im Jahresmittel 6 bis 7 m/s gemessen, wobei Maximalwerte von 60 bis 80 m/s während der Zeit des Evgej (Ébi) auftreten. Die saisonale Verteilung der Windgeschwindigkeiten zeigt ein Maximum, das im Tiefland im April-Mai und im Gebirge in den Sommermonaten liegt.

1.3 Boden- und Vegetationsbedeckung

Von den 350.000 km² des kasachischen Anteils am Ili-Balchaš-Becken wurden am 1. Januar 1986 nach Angaben des Agrarministeriums 250.000 km² landwirtschaftlich genutzt. Davon entfielen 90% auf Weideland, 7,5% auf Ackerland, 2,4% auf Grünland und 0,1% auf langjährige Kulturen.

Nach den natürlichen Bedingungen lassen sich 5 Zonen unterscheiden **/108/**:

Die *Wüsten-Zone* nimmt fast die gesamte Balchaš-Region ein. Die Bodenbedeckung setzt sich hier aus Trockenwiesen, Takyren, Salzböden sowie Sanddünen zusammen; entlang der Fremdlingsflüsse existieren auch Sümpfe. Die spärliche Vegetation wird durch Getreide-Bujurgun-Wermut-Arten repräsentiert, auf den Sanden dominieren Žitnjak-Wermut-Soljanka-Arten. Bei den Strauchformationen sind Saksaul und Teresken weit verbreitet. Im Küstenbereich des Balchaš sind Solončak-Karabarsk-Arten die häufigsten Vertreter **/131/**. Takyrböden existieren in den ehemaligen Flussbetten und in den Tälern des Ili und Karatal. Wiesengesellschaften kommen nahe den Wasserläufen vor und sind in den Flusstälern und –mündungen weit verbreitet. Häufig treten Schilfrohr, Veijnik-Wiesen und Tugaj- und Turang-Haine auf. In den überfluteten Niederungen überwiegen sumpfige Böden mit Schilfbewuchs; besonders ausgedehnte Vorkommen gibt es im Ili-Delta. Landwirtschaftlich wird die Wüsten-Zone extensiv vor allem durch die Haltung von Schafen und Ziegen genutzt.

Die *Wüsten-Steppen-Zone* umfasst das Ili-Tal, die Gebirgsfußflächen des Zailijskij- und Žetysuskij-Alatau sowie die Bergkette Uzynkara. In dieser Zone liegen 70 % der Bewässerungsflächen. Es kommen helle Kastanozeme (kastanienfarbene Böden) und gewöhnliche Grauerden vor. Die natürliche Vegetation setzt sich aus Tipčak-Wermut-Arten, Ébelek, Kochija sowie ephemeren Arten zusammen. Ackerbaulich nimmt diese Zone eine führende Stellung ein. Hier werden unter anderem Weizen, Reis, Mais und Zuckerrüben angebaut.

Die *Berg-Steppen-Zone* umfasst größtenteils die Vorgebirge. Die Böden setzen sich aus dunklen Kastanozemen und aus Schwarzerden zusammen, weniger häufig trifft man auch Böden der Wüsten-Steppen-Zone an. Typisch sind Kovyl'-Tipčak-Arten. In dieser Zone befindet sich die so genannte „Sazovaja-Zone“, in der eine Auspressung des Grundwassers geschieht und wo Wiesen-Böden mit einer entsprechenden Flora vorzufinden sind. Anbaukulturen sind Gemüse, Wein, Weizen und Tabak. In den östlichen Teilen wird Schafhaltung betrieben.

Die *Berg-Zone* umfasst die Nordabdachung des Žetysuskij- und Zailijskij-Alatau sowie die Hänge der Bergkette Uzynkara (Ketmen). Typische Böden sind hier dunkle Kastanozeme und Schwarzerden. Die Vegetation wird durch Berggräser-Arten bestimmt. Diese Zone ist flächenmäßig relativ klein, aber dank der günstigen Klimabedingungen wird hier intensiver Bewässerungsfeldbau betrieben. Gartenbau, Kartoffelanbau und Weidetierhaltung sind weit verbreitet.

Die *Hochgebirgs-Zone* mit alpinen und subalpinen Wiesen nimmt die oberhalb von 2.000 m ü. M. gelegenen Teile des Žetysuskij- und Zailijskij-Alatau, den nördlichen Teil der Gebirge des Uzynkara (Ketmen) sowie die Gebirgsketten des Kungej- und Terkskij-Alatau ein. Alpine und subalpine Wiesen sind weit verbreitet. Die Pflanzenwelt setzt sich aus Berg-Gräsern zusammen, die Nordhänge werden von Tjan'-Šan'-Tannen eingenommen. Auch Weidewirtschaft ist in dieser Zone noch weit verbreitet.

1.4 Hydrographie

Unter hydrologischen Aspekten lässt sich das Ili-Balchaš-Becken grob in das Gebirge als Zone der Abflussbildung und in das Vorland als Zone der Abflussverteilung und Abflussverluste gliedern.

Oberflächenabflüsse haben im Untersuchungsgebiet in den Gebirgsketten des Tjan'-Šan', Žetysuskij-Alatau und Tarbagataj ihren Ursprung. Im Oberlauf sind die Flüsse meist reißende Bergbäche mit intensiver Tiefenerosion /115/. Wenn diese die Vorgebirgsebene erreichen, verlangsamt sich ihre Fließgeschwindigkeit und durch Infiltration und Verdunstung reduziert sich auch ihre Abflussmenge.

Das Abflussregime wird hauptsächlich durch klimatische, topographische und hydrogeologische Faktoren bestimmt. Dem Relief kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil sich mit der absoluten Höhe auch das Klima verändert. Während bei der Abflussbildung im Hochgebirge die Gletscher eine wesentliche Rolle spielen, nimmt im mittleren Gebirgsabschnitt die Bedeutung der Schneedecke, des flüssigen Niederschlags sowie des Grundwassers zu /108, 117/.

Nach dem Abflussregime lassen sich im Balchaš-Becken folgende Flusstypen unterscheiden:

1. Flüsse mit Frühjahrshochwasser (nivales Regime)
2. Flüsse mit Frühjahrs- und Sommerhochwasser (nivo-glaziales Regime)
3. Flüsse mit Sommerhochwasser (glaziales Regime)
4. Flüsse, die vor allem grundwassergespeist sind („Karasu-Typ“)

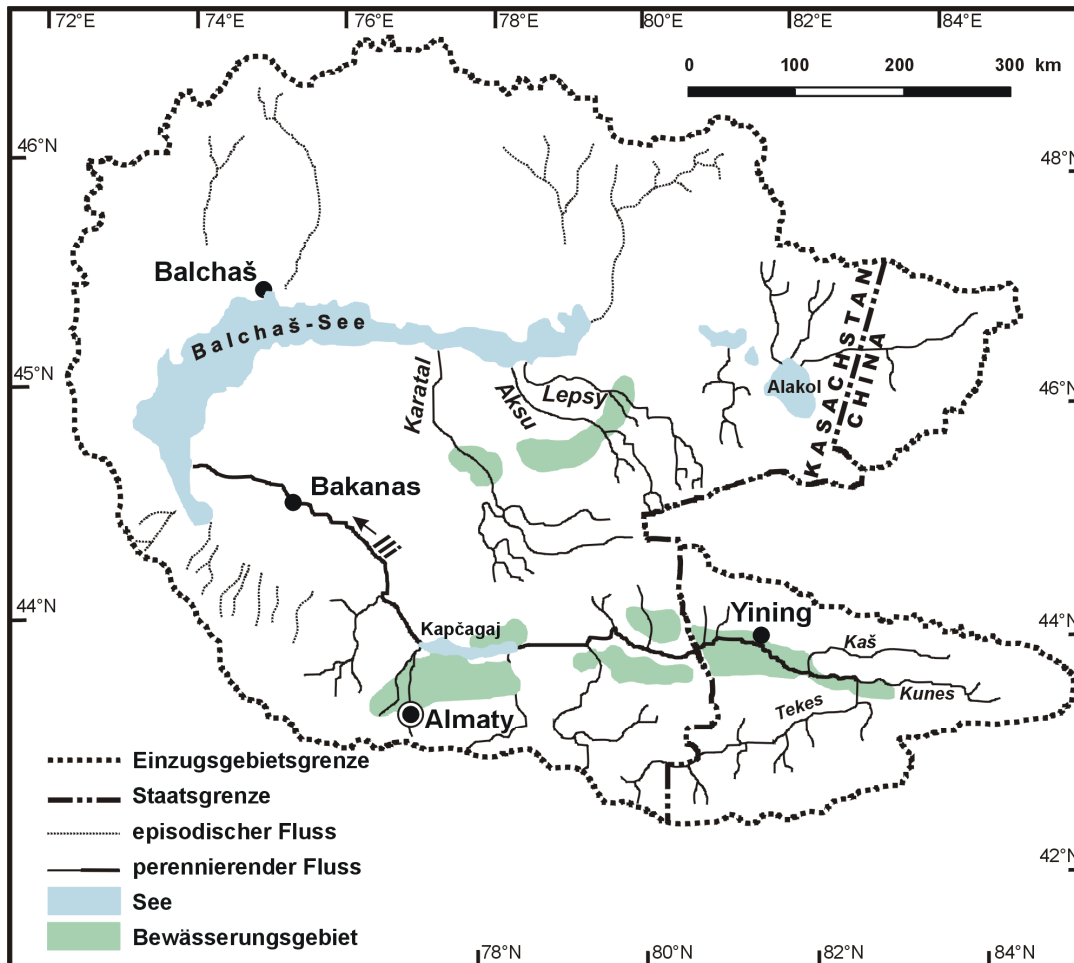
Kurze Frühjahrshochwasser sind charakteristisch für Flüsse in den Hügellandschaften der nördlichen Balchaš-Region, der Balchaš-Alakol-Vertiefung und des Ili-Tales, wo die Schneeschmelze die wichtigste Abflussquelle ist.

Frühjahrs- und Sommerhochwasser sind einerseits charakteristisch für Flüsse, die sich auf den schwachreliefierten Gebirgsplatten des Šyngystau, in den Bergen der Ču-Ili-Wasserscheide oder in den unteren bis mittleren Bereichen des Zailijskij- und Žetyuskij-Alatau, Uzynkara und der Gebirgskette des Tarbagataj befinden. Außerdem sind nivo-glaziale Abflussregime charakteristisch für einige größere Flüsse, die ihren Abfluss in verschiedenen Höhenzonen bilden (Ili, Karatal, Lepsy, Aksu, Tekes, Šaryn, Kaskelen, Šilik, Uryžar, Ėmel', u.a.). Reine Sommerhochwasser sind charakteristisch für die Hochgebirgszone (>3.000m) und für größere Flüsse mit einem hohen Anteil an Gletscherschmelzwasser (Šilik, Usek, Korgas, u.a.).

Einen ausgeglichenen Abflussgang haben die Flüsse, die überwiegend (70 bis 80%) vom Grundwasser gespeist werden. Dieser Typ tritt unter anderem im Vorgebirge des Zailijskij- und Žetyuskij-Alatau (Šangeldy) und im Bereich der Ču-Ili-Wasserscheide (Kopalysaj) auf.

In den Tälern des Vorgebirges wird das Wasser zur Bewässerung genutzt, wobei ein Teil durch Verdunstung und Infiltration verloren geht. Nur die größten Flüsse durchfließen die Trockengebiete bis zu den Endseen Balchaš und Alakol'. In den Unterläufen sowie in den Deltas dieser Flüsse treten die größten Wasserverluste auf. Die Flussdichte ist im Flachland deutlich geringer (bis 0,01 km/km²) als im Gebirge (0,6 bis 3,0 km/km²), was typisch für die Hydrographie von Trockengebieten ist.

Abb. 4: Das Ili-Balchaš Becken: Gewässernetz und Bewässerungsfeldbaugebiete



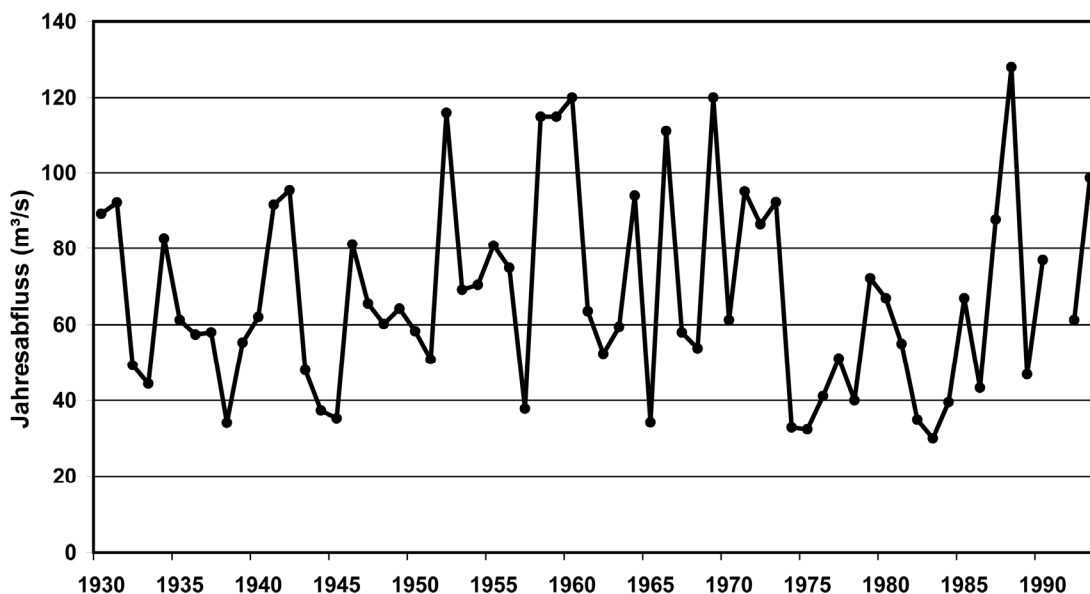
Quelle: Eigene Darstellung

Der Ili ist der Hauptstrom im Balchaš-Becken (vgl. Abb. 4). Er entsteht in NW-China aus dem Zusammenfluss von Tekes und Kunes. Seine Gesamtlänge beträgt 1.439 km, davon liegen 815 km in Kasachstan. Die Gesamtfläche des Ili-Einzugsgebiets beträgt 140.000 km² (34% des Ili-Balchaš Beckens). 77.400 km² liegen auf kasachischem Territorium. Der Großteil der Zone der Abflussbildung liegt jedoch in China, wo ein relativ dichtes Flussnetz entwickelt ist (0,6 bis 3,0 km/km²) und ca. 120 Flüsse und Bäche das obere Ili-Einzugsgebiet entwässern (Christiansen & Schöner 2004). Im Bereich des Mittel- und Unterlaufs nimmt die Flussnetzdicke immer weiter ab (bis 0,01 km/km²). Der Ili stellt oftmals den einzigen oberirdischen Abfluss dar. In Kasachstan werden ca. 30% der Wasserressourcen des Ili-Einzugsgebiets gebildet. In das Flussbett des Ili gelangt jedoch nur ein Bruchteil davon, der größere Anteil des Wassers wird von der Landwirtschaft verbraucht oder fällt den natürlichen Infiltrations- oder Verdunstungsverlusten anheim. In Kasachstan münden noch eine Reihe von Flüssen in den Ili. Die größten sind der Šaryn und Šilik. Die Flussbetten kleinerer Flüsse führen im Bereich ihrer Mündung kaum noch oder gar kein Wasser mehr. Auf diese Weise bilden sich kleinere geschlossene Einzugsgebiete innerhalb des Gesamtgebiets. Beispiele hierfür

sind die Einzugsbereiche der kleineren Flüsse der Bergkette des Usynkara, der Ču-Ili-Wasserscheide und der Hänge des Žetysuskij-Alatau.

Der *Karatal* ist hinsichtlich seiner Länge und Wasserführung der zweitbedeutendste Fluss des Balchaš-Beckens. Er ist 390 km lang, sein Einzugsgebiet besitzt eine Fläche von 19.100 km². Der Karatal wird durch den Zusammenfluss von Karoj und Čiže an den Hängen des Žetysuskij-Alatau gebildet. Danach fließt er durch eine breite Niederung, wo er mit dem Koxu seinen größten Zufluss erhält. Flußabwärts, in Richtung der Stadt Uštobe, erhält der Karatal keinen Zufluss mehr und durchfließt als Fremdlingfluss die Wüste des südlichen Balchaš. Die langjährige Abflussmessreihe der Station Uštobe ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abb. 5: Entwicklung der jährlichen Abflussmenge des Karatal an der Station Uštobe, 1929-1993



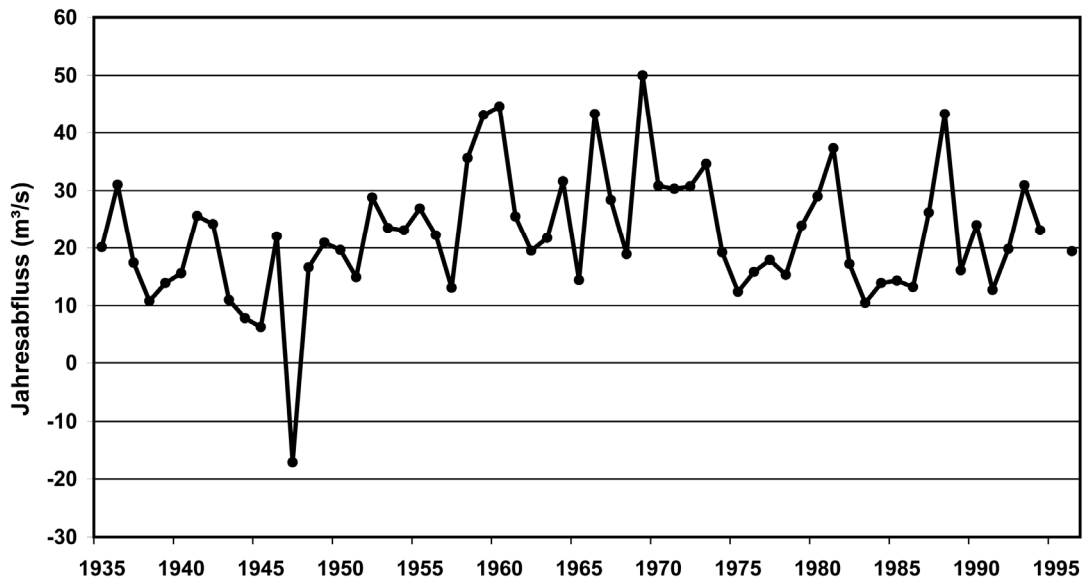
Quelle: Eigene Darstellung

An seiner Mündung bildet der Karatal ein kleines Delta, wo bis in die 1970er Jahre zwei Mündungsarme flossen. Der größere linke Arm, der nahe der Ortschaft Karakum in den See mündete, verschlammte mit der Zeit, so dass heute der Abfluss ausschließlich über den rechten Arm in der Nähe der Siedlung Saryesik den Balchaš erfolgt.

Der *Lepsy* nimmt gemessen am Abflussvolumen den dritten Platz im Balchaš-Becken ein. Auf 417 km entwässert er ein Einzugsgebiet von 8.100 km². Sein Quellgebiet sind die Gletscher des Žetysuskij-Alatau. Die wichtigsten Zuflüsse sind Agynykatty, Terkty und weiter im Unterlauf der Baskan. Bis 1960 mündete der Lepsy mit einem Arm in den Balchaš, zurzeit verlegt er seinen Lauf nach Osten und fließt in die Karašgan-Bucht. Das meiste Wasser führt der Fluss erwartungsgemäß während der Schnee- und Eis-

schmelze im Frühjahr und Sommer. Die langjährige Zeitreihe der Jahresabflüsse (Abb. 6) zeigt wie bei den anderen östlichen Balchaš-Zuflüssen keinen signifikanten Trend.

Abb. 6: Entwicklung der jährlichen Abflussmenge des Lepsy an der Station Podchoz Lepsy, 1935-1996

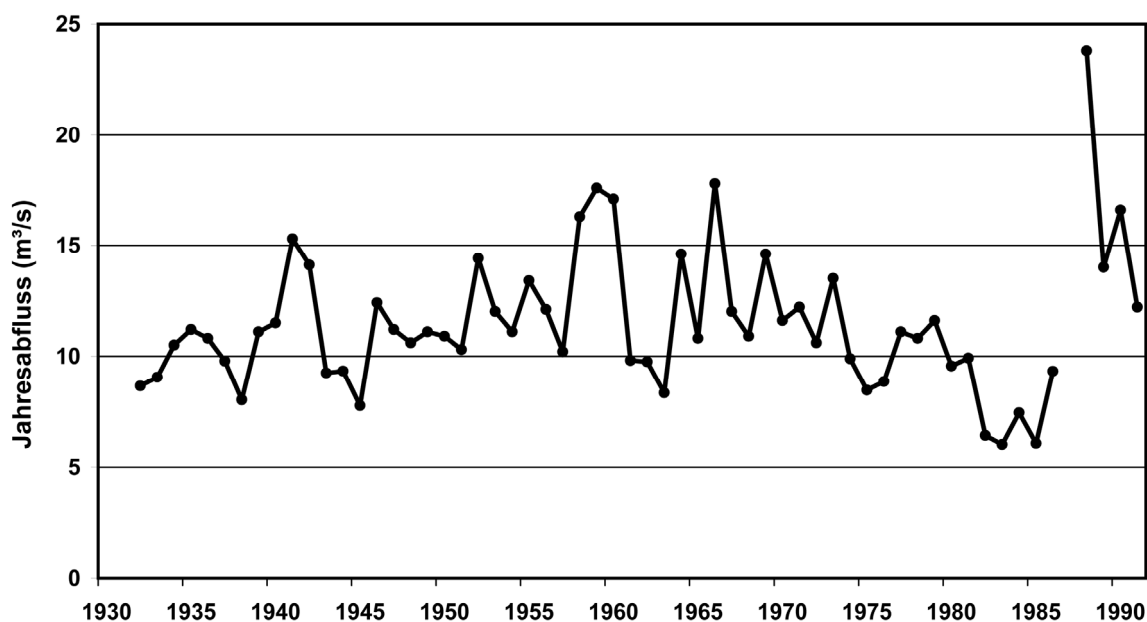


Quelle: Eigene Darstellung

Der 316 km lange *Aksu* entspringt ebenfalls an den Hängen des Žetysuskij-Alatau, sein Einzugsgebiet ist 5.040 km² groß. Sein wichtigster Zufluss ist der Sarakan. Im Oberlauf fließt der Fluss durch das Kopalskaja Tal, durchschneidet anschließend eine Bergkette und fließt in das Tiefland, wo ihm ein großer Teil des Abflusses für Bewässerungszwecke entzogen wird. Im weiteren Verlauf durchquert der *Aksu* stark mäandrierend die sandige Pribalchaš-Ebene. Bei Hochwasser wird ein Teil des Abflusses in den Lepsy umgeleitet. In der Bucht von Kukan mündet der Fluß schließlich in den Balchaš. Der *Aksu* weist ebenfalls ein nivo-glaziales Abflussregime auf; allerdings erreicht sein Wasser aufgrund der intensiven Bewässerung seit 1984 nicht mehr den Balchaš, sondern verlandet 10 bis 15 km vor der Küste (vgl. Abb. 7).

Der *Ajagus* bildet sich aus dem Zusammenfluss von des Bol'šoj Ajagus und des Malij Ajagus. Sie entspringen an der Nordabdachung der Tarbagataj-Kette. Mit 942 km Länge und einem Einzugsgebiet von 15.000 km² wäre der *Ajagus* ein bedeutender Fluss, wenn nicht sein gesamtes Wasser für Bewässerungszwecke verbraucht würde. Früher mündete der *Ajagus* in den nordöstlichen Teil des Balchaš. Weitere Zuflüsse von Norden her sind der Mointy, Tokrauyn und Bakanas, aber auch sie verlanden, bevor sie den See erreichen. Nur in seltenen Fällen wird hier noch ein Abfluss in den Balchaš beobachtet.

Abb. 7: Entwicklung der jährlichen Abflussmenge des Aksu an der Station Žansugurova, 1932-1991



Quelle: Eigene Darstellung

1.5 Die Bedeutung des Grundwassers

Grundwasser bildet sich in der Balchaš-Region durch Infiltration von Niederschlag, Schneeschmelze und oberirdischem Abfluss. Entleert werden Grundwasserkörper durch Evapotranspiration und Abfluss in den Balchaš. Ein Zufluss von Grundwasser in den Balchaš über tektonische Bruchlinien kann nicht ausgeschlossen werden. In den Gebirgsregionen geschieht die Bildung von Grundwasser in einer engen Verbindung mit den Oberflächengewässern und wird stark von der geologischen Struktur, von der Lithographie und vom Relief beeinflusst. Tiefliegende Grundwasserleiter der paläozoischen und präkambrischen Eruptivgesteine werden hauptsächlich durch Grundwasserzuström von umgebenden Berghängen gespeist **/108/**. Porengrundwasserleiter der oberen Horizonte sind entweder feinkörnige känozoische Seesedimente oder gröbere quartäre Ablagerungen. Die stärksten Quellschüttungen im Untersuchungsgebiet finden sich auf der Nordabdachung des Zailijskij Alatau (60 m³/s) und an den südlichen Hängen des Žetysuskij-Alatau (zwischen Burakožyra und Koragas, 27 m³/s). Das Grundwasser in den Schotterplatten im Vorland steht in enger Beziehung zu den oberflächlichen Gewässern. Wo liegende Lehmschichten auskeilen, tritt das Grundwasser in Quellhorizonten an die Oberfläche. Auch am Rand von Schwemmkegeln werden durch Verringerung des freien Querschnittes 30 bis 60% des Grundwassers zur Oberfläche hin ausgepresst, es kommt zur so genannten „Karasu“-Flussbildung in der „Sazovaja-Zone“. Auf dem Flachland tritt entlang von Flussläufen, in Senken und Seebe-

cken zusätzlich Grundwasser aus, hier wird ein erheblicher Teil von der Vegetation verbraucht oder verdunstet.

Somit sind Gebirge und die Schwemmkegel sowie Schotterfluren im Vorland die wichtigsten Bereiche für die Neubildung von Grundwasser, das im Flachland umverteilt und verbraucht wird. Grundwasserbildung in den Sandmassiven der Balchaš-Region erfolgt hauptsächlich durch Infiltration von Niederschlag und durch Zustrom aus Flussbetten.

Das Grundwasser in der Region am Balchaš (Pribalchaš) ist Porengrundwasser in lockeren, bis zu 300 m mächtigen quartären Sedimenten. Das Wasser ist nur schwach mineralisiert. In der Nähe des Ili zeigt es in einer Tiefe von 5 m einen Mineralgehalt von 0,3 bis 0,7 g/l, in einer Tiefe von 1,5 m steigt er auf 3 g/l. In den Wüsten liegt der Grundwasserspiegel in 10 bis 12 m Tiefe und besitzt einen Ionengehalt von 1 g/l, der in Richtung Balchaš-See auf bis zu 5 g/l ansteigt.

Im Ili-Balchaš-Becken lassen sich mehrere Komplexe von Grundwasserleitern unterscheiden:

In den quartären limnologischen Ablagerungen aus Sand und Lehm liegt das Grundwasser in einer Tiefe bis zu 2 m. Die Mächtigkeit der grundwasserführenden Schichten erreicht 10 m, die Durchlässigkeit liegt zwischen 0,11 und 0,26 l/s. Die chemische Zusammensetzung des Grundwassers ist vielfältig. Nahe dem Balchaš überwiegen chlor- und natriumhaltige Wasser mit einer Mineralisierung von 7 bis 15 g/l und mehr.

Der Grundwasserkomplex der quartären äolisch-limnologischen Ablagerungen befindet sich in der Balchaš-Senke innerhalb der zweiten oberen Ili-Terrasse. Hier liegt das Grundwasser in den feinkörnigen Sand-Linsen im Geröll in 5 bis 10 m Tiefe. Die Wasserdurchlässigkeit variiert zwischen 0,1 und 1,0 l/s. Die Mineralisierung des Grundwassers ist vielfältig, nahe den Flussläufen ist das Grundwasser süß (bis 1 g/l) und karbonatisch geprägt. Mit der Entfernung steigt die Mineralisierung und die Zusammensetzung wird von Natrium, Chlor und Sulfat geprägt.

Grundwasserführende Komplexe aus quartären äolischen Ablagerungen sind in den Wüsten Saryesik-Atyrau und Moinkum, auf der Karoj-Platte und im Ili-Tal östlich der Siedlung Kotrau verbreitet. In der Saryesik-Atyrau Wüste und im Ili-Tal hat das Grundwasser einen Flurabstand von 5 bis 10 m in den Dünentälchen und bis 30 m auf den Dünen. Die Sedimente sind bis 240 m mächtig (Bakanas-Siedlung) und dünnen in Richtung Balchaš-Sees bis zu einigen Dutzend Metern aus. Die Durchlässigkeit schwankt zwischen 0,1 l/s und 3 l/s. Im südlichen Teil ist das Wasser süß (bis 1 g/l) und karbonatisch, in den Bereichen abseits von Wasserläufen steigt die Mineralisierung auf 10 bis 15 g/l, an der Küste des Balchaš erreicht sie 50 g/l. Die Hauptionen sind Natrium, Chlorid und Sulfat.

In der Moinkum-Wüste und auf der Karoj-Platte liegt der Grundwasserspiegel zwischen den Dünen in 10 bis 30 m Tiefe und unter den Dünen in bis zu 60 m Tiefe. Die Wasserdurchlässigkeit beträgt hier 0,5 bis 1,0 l/s, das Wasser ist süß bis schwach salzig mit einer Mineralisierung bis zu 3 g/l, die sich aus Hydrogenkarbonat-, Sulfat-, Calcium- und Mangan-Ionen zusammensetzt. In weiter vom Fluss entfernten südlichen und südwestlichen Bereichen der Wüste erreicht die Mineralisierung 5 g/l /107/. Grundwasserhorizonte in quartären fluvialen Ablagerungen sind im Ili-Tal und in den Tälern der Ili-Zuflüsse weit verbreitet. In der Balchaš-Senke, wo der Ili ein weites Delta bildet, liegt das Grundwasser weniger als 5 m tief. Petrographisch dominieren Sande und weniger häufig gröbere Geröllschichten. In der Nähe von Flussläufen ist das Wasser süß und karbonathaltig, mit zunehmender Entfernung wird es sehr natriumchloridhaltig (3 bis 15 g/l). Im Ili-Tal liegt das Grundwasser im Auenbereich 1 bis 2 m tief, auf der ersten Terrasse 2 bis 5 m tief und auf der zweiten Terrasse 5 bis 8 m tief. In den Sanden beträgt die Wasserdurchlässigkeit 0,1 bis 0,2 l/s, in Kiesschichten 5 bis 6 l/s. In der Nähe der Ili-Zuflüsse ist das Grundwasser süß-karbonatisch, ansonsten existieren auch natrium-, sulfat- und chlorid-geprägte, stark mineralisierte Wasser (bis 82 g/l am Bolšoj-Sorkol'-See). In den Tälern der Ili-Zuflüsse sind wasserführende Schichten überwiegend Kiese. In den gebirgigen Abschnitten der Täler beträgt der Flurabstand 0,5 bis 1 m. Große Grundwasserkomplexe des fluvialen Typs finden sich auch in den großen Schwemmfächern am Gebirgsfuß des Zailijskij- und Žetysuskij-Alatau und der Uzynkara-Kette. Die Mächtigkeit dieser Grundwasserleiter aus Kiesen und Sanden variiert von 100-200 m an den Spitzen der Schwemmkegel bis zu 1- 2 m an deren Peripherie. Dieser Komplex enthält auch gespannte Grundwasserhorizonte und stellt den wichtigsten Grundwasserspeicher im Bergland dar. Die Durchlässigkeit ist hoch. Während in den benachbarten Talabschnitten 1 bis 5 l/s gemessen werden, kann auf den Schwemmkegeln Werte von 10 bis 30 l/s, manchmal bis 100 l/s und mehr auftreten. Artesische Bohrlöcher zeigen eine Schüttung von 5 bis 20 l/s, mit Maximalwerten von bis zu 70 l/s. Die Gewässer sind mit Ausnahme einiger oberflächennaher Horizonte, wo eine Mineralisation von 3-5 g/l, an Stellen mit hoher Verdunstung sogar bis zu 80 g/l erreicht wird, durchgehend süß und karbonatisch (typischerweise <0,5 g/l).

Ein weiterer Grundwasserkomplex aus kreidezeitlichen Ablagerungen ist in den östlichen und zentralen Teilen der Ili- und Koskuduk-Senken verbreitet. Im nördlichen Teil der Ili-Senke kommen Sedimente aus der oberen Kreide an die Oberfläche. Sie setzen sich aus gemischtkörnigen grauen und weißen Quarzen, schwachverfestigten Sandsteinen und verkitteten Böden zusammen. Die Lagerungsverhältnisse der Sedimente aus der Oberkreide sind uneinheitlich. Im östlichen Teil liegen die dichten lehmigen Schichten aus der unteren Kreide und dem Paläozoikum, im zentralen Teil liegen sie unmittelbar auf paläozoischen Ablagerungen und zeigen im Vorland des Zailiskij Alatau eine zungenförmige Verbreitung, im westlichen Teil des Beckens fehlen sie vollständig. Die Mächtigkeit des Komplexes verringert sich von 160 m im östlichen Teil bis auf 25 m am Unterlauf des Čilik. Die Lagerungstiefe vergrößert sich vom Rand der Senke zum Čilik-Tal auf 3700 m. Die Wasserspeicherkapazität dieser Schichten ist groß. In Bohr-

löchern tritt gespanntes Thermalwasser mit bis zu 45-70 l/s und einer Temperatur von 40 bis 100 °C aus. Das Wasser ist süß und weist Konzentrationen von 0,24 – 0,90 g/l an Karbonat-, Sulfat- und Natrium-Ionen auf.

Die Analyse der hydrologischen Bilanz in den Vorbergen des Žetysuskij- und Zailijskij-Alatau /48,117/ ergibt, dass der unterirdische Anteil ca. 20 % des Gesamtabflusses aus dem Gebirge beträgt. (Tab. 2). An der Gebirgsgrenze beträgt der unterirdische Zufluss 2 bis 5 % und an der Grenze des Vorgebirges am Übergang ins Flachland bereits 5 bis 20 %.

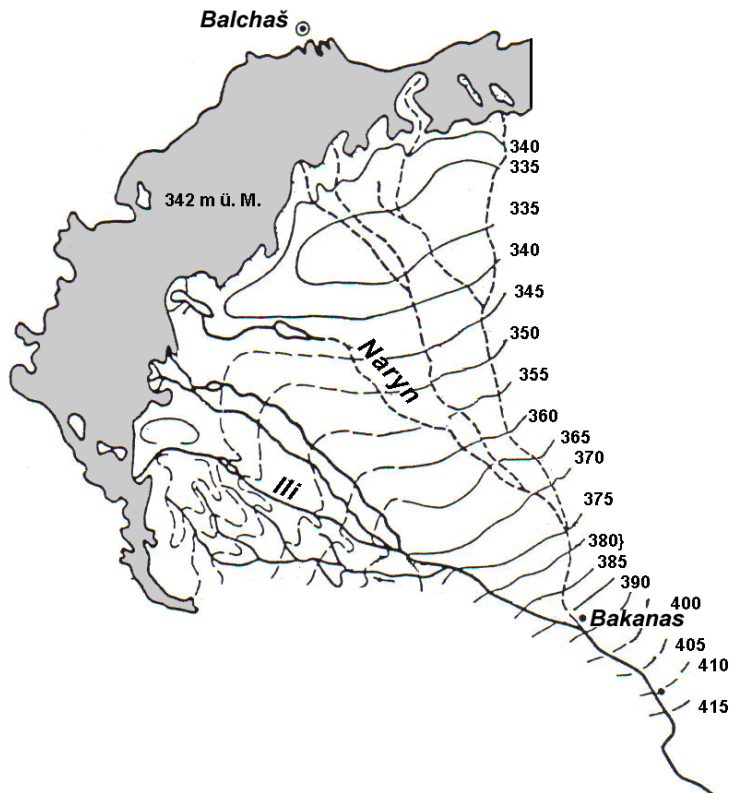
In den Niederungen der Süd-Balchaš-Region existieren trichterförmige Einbuchtungen des Grundwasserspiegels (Abb. 8), in die sowohl von Süden als auch vom Balchaš-See her Grundwasser einströmt. Der Seespiegel liegt hier 2-3 m höher als der Grundwasserspiegel. Der geschätzte unterirdische Abfluss in der Süd-Balchaš-Senke beträgt 138 m³/s oder 4,35 km³/Jahr /25/ und weist eine Mineralisierung von bis zu 5 g/l auf.

Tab. 2: Wasserhaushalt der Flüsse in der Vorgebirgszone des Balchaš

	Zufluss aus dem Gebirge				Abfluss in das Flachland					
	oberirdisch	Nieder-schlag	unterirdisch	Σ	oberirdisch	Verdunstung	Bewässerung	Grundwasser-	unterirdisch	Σ
Nordhänge des Žetysuskij-Alatau										
m ³ /s	64,6	25,6	4,2	94,4	19,0	46,4	4,2	8,2	16,6	94,4
Mio. m ³	2 038	806	132	2 976	599	1464	132	258	523	2 976
%	68,5	27,1	4,4	100	20,1	49,2	4,4	8,7	17,6	100
Nordhänge der Zailijskij-Alatau										
m ³ /s	82,4	57,4	3,5	143,3	27,0	104,3	5,11	-	6,6	143
Mio. m ³	2 600	1 813	106	4 519	853	3 289	169	-	208	4 519
%	57,5	40,2	2,3	100	18,9	72,8	3,7	-	4,6	100

Der Grundwasserzufluss, der den Balchaš-See erreicht, beträgt nach letzten Analysen des Hydrogeologischen und Hydrophysischen Instituts der Kasachischen Akademie der Wissenschaften 0,08 km³ pro Jahr.

Abb. 8: Höhe des Grundwasserspiegels im Ili-Delta



2. Die hydrologische Bilanz des Beckens im naturnahen Zustand

Wie im Abschnitt 1.4 über die Hydrographie erwähnt, kann man das Einzugsgebiet des Balchaš-Sees in die Zone der Abflussbildung und in die Zone der Abflussverluste unterteilen.

Die Bildung des Oberflächenabflusses geschieht in den Bergen durch Gletscherschmelzwasser, Schneeschmelze und Niederschlag. Verdunstung mindert den Abfluss, spielt jedoch in der Zone der Abflussbildung quantitativ noch keine bedeutende Rolle. Die Bergbäche stehen in engem Zusammenhang mit den Grundwasserkörpern, die sie auffüllen. In der Zone der Abflussverluste wird die Durchflussmenge durch Verdunstungs- und Infiltrationsverluste so stark vermindert, dass nur die großen Flüsse den Balchaš-See als Erosionsbasis und endgültigen Vorfluter erreichen.

Die *nivale-glaziale* Zone über 3000 m ü. M. umfasst den Gebirgsteil mit vorwiegender Abflussspeisung aus Schnee- und Gletscherschmelze. Gletscher sind Wasserspeicher, die über den längeren Teil des Jahres Niederschläge in fester Form ansammeln und über den kürzeren Teil des Jahres wieder abgeben. Diese saisonale Umverteilung des

Abflusses ist vor allem in Gebieten von Bedeutung, wo wegen sommerlicher Trockenheit das Bewässerungswasser während der Vegetationsperiode hauptsächlich aus Gletscherschmelze besteht. Die Intensität der Schmelze wird vor allem durch die sommerliche Lufttemperatur und Einstrahlung gesteuert, weshalb der Höhe und Exposition besondere Bedeutung zukommen.

Die gegenwärtige Vergletscherung des kasachischen Teils des Balchaš-Beckens und des Alakol' kann dem „Katalog der Gletscher der UdSSR“ entnommen werden, derjenige des chinesischen Teils dem vierbändigen „Katalog der Tjan'-Šan'-Gletscher“ /134,135. Eine Abschätzung der Eisvorräte wurde in den Arbeiten /122, 136-138 u.a./ vorgenommen. In Tabelle 3 sind alle vorhandenen Kenngrößen zur Vergletscherung im abflusslosen Ili-Balchaš-Becken zusammengefasst.

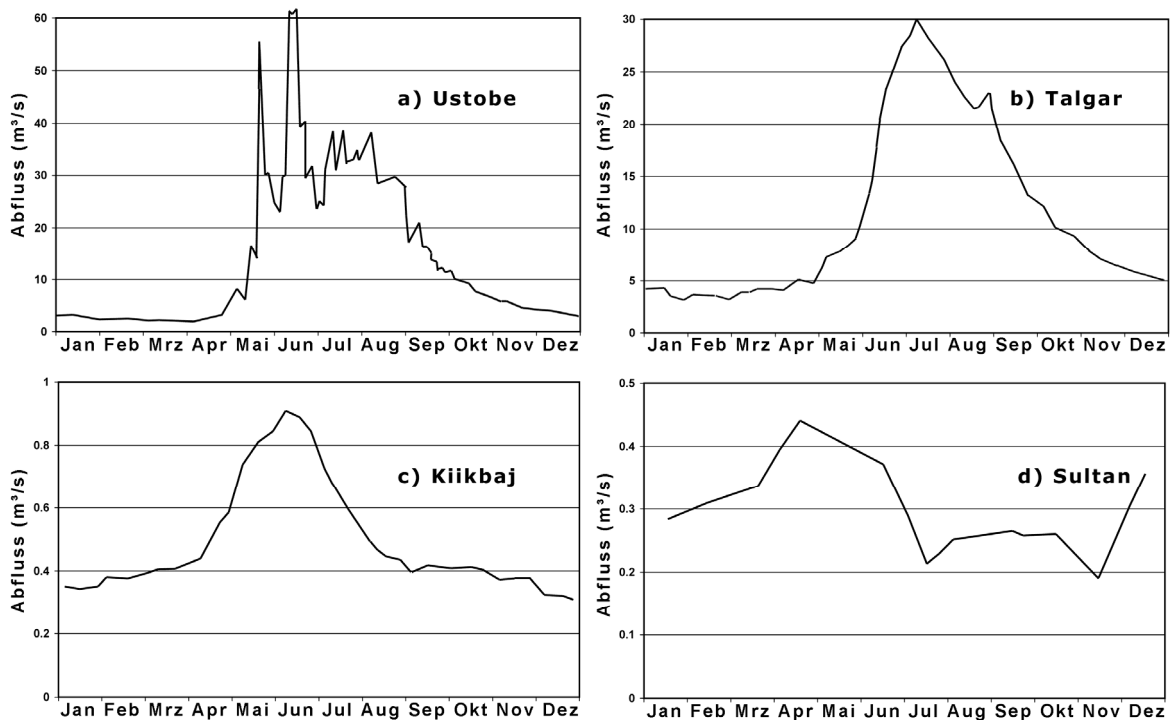
Gemäss Tabelle 3 beläuft sich der gesamte Gletscher-Abfluss im Ili-Balchaš-Becken auf ca. $3,6 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ bzw. durchschnittlich auf ca. 1 Million m^3 pro km^2 Gletscherfläche. Die Gesamtfläche der Gletscher beträgt 3.745 km^2 ; davon entfallen 47% auf Kasachstan und 53% (2015 km^2) auf China. Die Vergletscherung der Gebirgseinzugsgebiete der Flüsse variiert zwischen 0,03% (Šaryn) und 26% (Talgar).

Der Abfluss von Gletschern macht an der Gebirgsgrenze einen beträchtlichen Anteil (bis zu 52%) des Gesamtabflusses aus, wobei beachtet werden muss, dass hierunter der gesamte Abfluss von vergletscherten Flächen inklusive des Niederschlags und der Schneeschmelze zu verstehen ist. Der Anteil der reinen Eisschmelze am Gesamtabfluss beträgt 10 bis 15%, in der Ablationsperiode steigt er auf bis zu 25% an/25/. Die Schneeschmelze auf den Gletschern beginnt im Mai bis Juni, die Ablation des Eises setzt ab Ende Juni ein und dauert bis einschließlich September, was auch an der Abflussganglinie des stark vergletscherten Usek (Abb. 9a) zu sehen ist. Die Dauer der Ablationsperiode variiert zwischen 50 und 110 Tagen im Zailijskij Alatau und zwischen 40 und 90 Tagen auf den Nordhängen des Žetysuskij-Alatau. Die Schneeschmelze läuft auf den Gletschern im Vergleich zum Fels- und Moränenumland im Mittel 10 bis 12 Tage verzögert ab. Die Schmelzrate hängt von der Höhelage der Gletscher ab und schwankt von 0,5 bis 4,5 cm/Tag. Der Gradtagfaktor, also der Schmelzbetrag pro Tag und Grad Celsius beträgt dabei 4,0-7,5 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$ mit einem Mittelwert von 6,0 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$ im Zailijskij-Alatau und 7,5 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$ im Žetysuskij-Alatau. Nach Beobachtungen von Čerkasov /108/ beträgt die mittlere Abflusspende durch die Eisschmelze 2 bis 23 $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ und unter Einbeziehung der Schneeschmelze 40 bis 50 $\text{l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$. Der größte Teil des Abflusses in der Hochgebirgszone entfällt auf die Sommermonate mit einem Maximum im Juli-August (Abb. 9a). Wegen der weiträumigen Verbreitung von Permafrost ist der Grundwasserabfluss in der nival-glazialen Zone gering.

Tab. 3: Kennzahlen zur Vergletscherung und zum Gletscherabfluss in den Teileinzugsgebieten des Ili-Balchaš Beckens, Mittelwerte für den Zeitraum von 1957 bis 1990.

	Gesamtfläche, km ²	Gletscherfläche, km ²	Vergletscherung, %	Gletschervolumen, km ³	Wasservorräte in Gletschern, km ³	Abfluss, km ³ /a	Abfluss von Gletschern	
							km ³ /a	%
Einzugsgebiet des Ili								
Tekes	27.402	1.163,4	4,2	63,88	57,49	6,17	0,985	16,0
Koksu	5.379	421,6	7,8	18,45	16,61	2,31	0,403	17,4
Kunes	4.123	96,7	2,8	3,45	3,105	2,27	0,135	6,0
Kaš	8.656	421,6	4,9	21,57	19,41	4,47	0,478	10,7
Korgas	1.310	130,4	10,0	7,34	6,61	0,57	0,166	29,1
Šaryn	7.470	2,40	0,0	0,05	0,045	1,16	0,002	0,2
Čylik	4.300	302,4	7,0	19,64	17,68	1,01	0,268	26,5
Turgen'	614	39,5	6,4	1,12	1,01	0,223	0,033	15,0
Esik	256	53,0	20,7	2,33	2,10	0,155	0,050	32,5
Talgar	444	117,0	26,0	5,98	5,38	0,331	0,117	35,3
Kiši Almaty	118	11,4	9,7	0,500	0,450	0,068	0,012	18,0
Ul. Almaty	280	39,5	14,1	1,67	1,50	0,154	0,037	24,0
Kokosek	45	4,90	10,9	0,122	0,110	0,020	0,004	19,0
Aksaj	136	15,7	11,5	0,611	0,550	0,072	0,013	19,0
Kaskelen	290	12,4	4,3	0,511	0,460	0,138	0,009	6,6
Šamalgan	139	2,10	1,5	0,028	0,025	0,042	0,002	4,3
Uzynkargaly	344	12,4	3,6	0,500	0,450	0,121	0,011	9,1
Šyžyn	96	18,7	19,4	1,233	1,11	0,039	0,020	52,0
Ustobe	1.130	123,3	10,9	4,27	3,84	0,552	0,125	23,0
Burchan	92	2,2	2,4	0,072	0,065	0,021	0,002	9,3
Tyškan	144	29,5	20,5	1,000	0,900	0,080	0,026	32,0
Insgesamt	62.768	3.020,1	4,81	154,33	138,89	19,98	2,898	14,5
Einzugsgebiet der Flüsse des Ost-Balchaš								
Karoj	484	82,7	17,0	3,61	3,25	0,397	0,129	32,0
Čiže (Šyža)	479	11,6	2,4	0,511	0,460	0,359	0,020	5,6
Koksu	4.350	159,4	3,7	7,22	6,50	1,80	0,177	9,8
Bien	369	33,5	9,1	1,40	1,26	0,126	0,034	27,0
Aksu	1.330	75,1	5,6	2,79	2,51	0,341	0,064	19,0
Sarkan	645	64,1	9,9	2,42	2,18	0,21	0,053	25,0
Baskan	883	97,9	11,1	4,94	4,45	0,343	0,082	24,0
Lepsy	2220	90,9	4,1	4,58	4,12	0,872	0,087	9,9
Insgesamt	10.760	615,2	5,72	27,48	24,73	4,448	0,646	14,5
Einzugsgebiet des Alakol'-Sees								
Tentek	1.380	94,0	6,8	4,06	3,66	0,681	0,087	12,7
Rgajty	1.220	15,7	1,3	0,449	0,404	0,251	0,013	4,8
Insgesamt	2.600	109,7	4,1	4,51	4,06	0,932	0,100	8,8
Insgesamt	76.128	3745	4,9	186,307	167,694	25,356	3,644	14,4

Abb. 9: Abflussganglinien von Flüssen aus verschiedenen Zonen der Abflussbildung



Die *Mittelgebirgszone* erstreckt sich bis 1500 m ü. M., die Flüsse zeigen ein nivales Abflussregime. Neben der Schneeschmelze erfolgt die Abflussbildung durch Schauer-Niederschläge, die bei hoher Wasserführung durch Schneeschmelze Flutwellen erzeugen. Auf das Frühjahr und den Frühsommer entfallen mehr als 80% des Abflusses, für die Hochsommermonate ist ein kontinuierlicher, aber relativ geringer Abfluss ohne Spitzen charakteristisch (Abb. 9 b).

Die *untere Zone* zeigt ein nivo-pluviales Abflussregime, also Hochwasser während der Schneeschmelze und nach Regen und Grundwasserspeisung während Trockenzeiten (Abb. 9c, d). Die großen Lockergesteinskörper der Schwemmkegel bilden große Grundwasserkörper und sichern eine ganzjährige Wasserversorgung.

Die größten Flüsse im Untersuchungsgebiet fließen durch ein stark arides Gebiet und erreichen den Balchaš-See nur mit beträchtlichen Wasserverlusten. Dies sind vor allem die Flüsse der süd-östlichen Gebirgsumrahmung (Ili, Karatal, Aksu, Lepsy und Ajagus). Der Bakanas, Tokyraun, Mointy und Žamanty im nördlichen Teil des Beckens zeigen eine periodische bis episodische Wasserführung und erreichen den Balchaš-See nicht immer. Auch die Flüsse, die im Gebiet der Ču-Ili-Wasserscheide entspringen, verlieren ihr Wasser auf den Schwemmkegeln.

Tab. 4: Erneuerbare Wasserressourcen im Ili-Balchaš-Becken 1939-1969

	Abfluss, km³/a	Fläche, km²
Einzugsgebiet des Ili		
VR China		
Tekes (inkl. kasachisches Gebiet)	8,48	27 402
Kaš	4,47	8 656
Kunes	2,27	4 123
Flüsse der Südhänge des Žetysuskij-Alatau	1,55	-
Flüsse der Nordhängen des Uzynkara	0,27	-
Insgesamt	17,04	
Kasachstan		
Flüsse der Südhänge des Žetysuskij-Alatau	1,15	7 730
Flüsse der Nordhänge des Uzynkara (Kepten)	1,58	9 440
Flüsse der Nordhänge des Ile Alatau und Šilik	2,60	9 880
Kurty	0,39	4 690
Flüsse der Ču-Ili-Wasserscheide	0,10	9 440
Insgesamt	5,83	
Einzugsgebiet des Ili, insgesamt	22,87	
Östliche Zuflüsse		
Flüsse der Nordhänge des Žetysuskij-Alatau	2,16	8 350
Flüsse der Westhänge des Žetysuskij-Alatau	3,20	13 200
Insgesamt	5,36	
Sonstige		
Flüsse der Westhänge des Tarbagataj (Ajagus)	0,54	-
Flüsse des Nord-Balchaš	0,08	-
Insgesamt	0,62	
Zone der Abflussbildung insgesamt		
Ili, Station Jamadu (1950-1990)	11,44	119 186
Ili, Station Kajyrgan	12,65	60 800
Zufluss in den Balchaš		
Ili	11,85	140 000
Zuflüsse aus dem Žetysuskij-Alatau und Ajagus	3,26	47 980
Insgesamt	15,11	413 000

Die gesamten Wasserressourcen der Oberflächen-Gewässer im Ili-Balchaš-Becken betragen im naturnahen Zustand vor dem Bau des Kapčagaj-Staudammes im Jahre 1969 28,85 km³/Jahr, davon bildeten sich 22,87 km³/a im Ili-Becken, 5,36 km³/a in den Einzugsgebieten von Karatal, Lepsy und Aksu, 0,57 km³/a im Ajagus–Einzugsgebiet und 0,08 km³/a in der nördlichen Balchaš-Region (Tab. 4).

Über die größten Ressourcen (8,48 km³/a) verfügt das Einzugsgebiet des Tekes als Zufluss des Ili, über die geringsten die Flüsse im Bereich der Ču-Ili-Wasserscheide /7,36/.

Aus Tabelle 4 ist zu ersehen, dass ca. 15 km³/a Wasser der ca. 29 km³/a, die in den Bergen gebildet werden, in der naturnahen Periode (1939-1969) den Balchaš erreichte. Die Wasserverluste betragen also ca. 14 km³/a, davon entfielen 9 km³/a auf Kasachstan und 5 km³/a auf China. Zu den wichtigsten natürlichen Verlusten gehören die Transpiration der Pflanzen, die Verdunstung der zahlreichen offenen Seeoberflächen und Infiltrationsverluste. Bedingt kann man auch geringfügige anthropogene Wasserentnahmen beobachten.

Auf der Grundlage früherer Studien /21, 22–30, 107/ wurde die hydrologische Bilanz des Balchaš-Beckens im Vergleich zum Kaspischen Meer zusammengestellt (Tab. 5).

Tab. 5: Hydrologische Bilanz des Balchaš-Sees und des Kaspischen Meeres im ungestörten Zustand

	Einzugs- gebiets- fläche, km ²	Nieder- schlag		Verduns- tung		Abfluss		α (Abfluss/ Verduns- tung)
		mm	km ³	mm	km ³	mm	km ³	
Balchaš-See								
Ili	140 000	381	53,34	296	41,49	85	11,85	0,22
Zuflüsse aus dem Žety- suskij-Alatau und Ajagus	47 950	400	19,18	332	15,42	68	3,26	0,17
Zuflüsse aus dem Nord- Balchaš und der Ču-Ili- Wasserscheide	225 050	273	61,44	273	61,44	0,00	0,00	0,00
Insgesamt	413 000	356	147,0	326	134,6	36	15,11	0,10
Kaspisches Meer								
Ural	237 000	407	96,4	340	80,6	47,2	11,2	0,12
Wolga	1 360 000	657	894	470	639	176	239	0,27

Die Bilanz zeigt, dass nur ca. 10 % der im Becken fallenden Niederschläge zur Abflussbildung beitragen, da 90% verdunsten. Die Wasserläufe der nördlichen Balchaš-Region und der Ču-Ili-Wasserscheide erreichen den Balchaš-See nicht ($\alpha=0,0$). Der Koeffizient des Abflusses für das Balchaš-Becken ($\alpha=0,1$) ist sehr klein und mit dem anderer abflussloser Becken (Ural: $\alpha=0,12$) vergleichbar /140/.

Die Untersuchungen von Gal'perin /141/ zeigen, dass eine Gesetzmäßigkeit in der Anhäufung wasserarmer Jahre im Untersuchungsgebiet besteht. Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines wasserarmen Jahres ist höher, wenn auch das zuvorkommende Jahr trocken war und umgekehrt. Diese Schlussfolgerung in Verbindung mit den Zahlen der Tabelle macht deutlich, dass das Ökosystem des Balchaš unter den Rahmenbedingungen eines dauerhaften Wasserdefizits „funktioniert“. Dieser Umstand beschränkt die ökologisch zulässigen Kapazitäten bei der Entwicklung wasserintensiver Wirtschaftszweige und Landnutzungen. Die Diskrepanz zwischen dem Wasserbedarf der Wirtschaft und den verfügbaren Wasservorräten schafft unvermeidlich Konflikte. Es ist vorstellbar, dass die natürlichen Abflussschwankungen die Folgen der menschlichen Wassernutzung sowohl verschärfen als auch vermindern. Das für die Balchaš-Region typische gehäufte Auftreten mehrerer wasserarmer Jahre in Folge lassen es jedoch wahrscheinlicher erscheinen, dass die Folgen der anthropogenen Einflüsse in der Zukunft eher negativ ausfallen werden.

3. Anthropogene Veränderungen des Wasserhaushalts

3.1 Der Kapčagaj-Stausee

Der Bau der Kapčagaj-Staustufe am Mittellauf des Ili nördlich von Almaty schuf einen der größten Stauseen Zentralasiens und stellt einen der radikalsten Eingriffe in ein Ökosystem in der Sowjetunion dar. Bei der geplanten vollständigen Befüllung wäre der entstandene Stausee 180 km lang, hätte eine Tiefe am Dammbau von 45 m und würde eine Fläche von 1847 km² (bei einem Pegel von 485 m ü. M.) bedecken. Das Volumen von 28,14 km³ entspräche beinahe dem durchschnittlichen Ili-Abfluss über zwei Jahre. Der regulierbare Nutzraum des Stausees beträgt 6,64 km³, der Totraum, der unter normalen Bedingungen nicht entleert werden kann dementsprechend 21,5 km³. Der Vergleich mit anderen großen Stauseen der ehemaligen Sowjetunion (Tab. 6) zeigt, dass die potenzielle Beeinflussung der jahreszeitlichen Abflussverteilung beim Kapčagaj mit Abstand am höchsten ist. Bei keinem anderen Stausee ist der Nutzraum größer als der jährliche Zufluss.

Tab. 6: Verhältnis des Nutzraums zum Oberflächen-Zufluss für einige große Stauseen in der ehemaligen Sowjetunion

Stausee	Fluss	Nutzraum, km ³	Zufluss, km ³	Nutzraum/Zufluss, %
Kapčagaj	Ili	28,1	14,7	190
Nurek	Amudar'ja	10,5	79,5	13
Rogun (im Bau)	Amudar'ja	13,3	79,5	17
Toktogul	Syrdar'ja	14,5	37,2	52
Šardar'ja	Syrdar'ja	5,7	37,2	15
Cimljansk	Don	11,5	22,0	52
Kachovka	Dnepr	6,8	52,0	13
Kremenčug	Dnepr	9,0	48,0	19
Mingečauri	Kura	8,7	12,6	69

Der Staubetrieb veränderte das Abflussregime am Unterlauf des Ili grundlegend (siehe Kapitel 5), indem Frühjahrshochwässer aufgefangen und die Abflussmenge während der kalten Jahreszeit deutlich erhöht wurden. Im Vergleich zur naturnahen Periode fiel der Abfluss im Sommer von durchschnittlich 800-900 m³/s auf ca. 500 m³/s ab.

Geplant war der See zur Bewässerung von ca. 430.000 ha Ackerfläche am Oberlauf des Ili und ca. 120.000 ha am Unterlauf des Ili sowie zur Spitzenenergieproduktion in der Region.

In Tabelle 7 ist die hydrologische Bilanz des Stausees für die Zeit von 1970 bis 1987 zusammengestellt worden.

Tab. 7: Hydrologische Bilanz des Kapčagaj-Stausees 1970-1987

	Zufluss			Pegel (m ü. M.)	Verdun- stung (km ³)	Fläche (km ²)	Volu- men (km ³)	Auffül- lung (km ³)	Abfluss (km ³)	Wasser- verluste (km ³)
	Ili (km ³)	BAK* (km ³)	Summe (km ³)							
1970	16,3	0,560	16,86		0,32		2,32	2,32	10,1	6,76
1971	12,7	0,710	13,41	466,8	0,98	812	4,82	2,50	12,1	1,31
1972	16,3	0,811	17,11	470,8	1,119	934	9,00	4,18	10,7	6,41
1973	16,2	0,977	17,18	473,6	1,74	1092	10,00	1,00	13,7	3,48
1974	13,7	0,653	14,35	474,42	1,89	1125	12,60	2,60	11,9	2,45
1975	16,4	0,647	17,05	473,00	1,39	1055	11,70	-0,90	11,7	5,35
1976	11,4	0,814	12,21	474,02	1,70	1104	12,40	0,70	11,3	0,91
1977	10,8	0,730	11,53	474,35	1,64	1122	12,80	0,40	10,9	0,63
1978	11,7	0,793	12,49	474,62	1,81	1133	13,40	0,60	10,5	1,99
1979	12,4	0,857	13,26	475,74	1,98	1193	14,20	0,80	11,4	1,86
1980	12,2	0,840	13,04	477,41	2,25	1275	16,40	2,20	13,3	-0,26
1981	13,8	0,791	14,59	477,06	2,15	1250	15,00	-1,40	13,8	0,79
1982	15,4	0,588	15,99	475,42	2,05	1220	13,50	-1,50	12,4	3,59
1983	15,2	0,680	15,88	475,94	1,98	1204	12,80	-0,70	10,2	5,68
1984	12,6	0,530	13,13	475,78	1,95	1195	12,30	-0,50	10,6	2,53
1985	12,3	0,644	12,94	475,94	1,98	1204	12,40	0,10	10,8	2,14
1986	11,8	0,645	12,45	475,63	1,92	1204	12,50	0,10	10,5	1,95
1987	14,2	1,076	15,28	476,40	2,00	1201	12,00	-0,50	14,48	0,80
Gesamt	245,4	13,35	258,75		30,92		210,14	12,00	210,38	48,36
Ø	13,63	0,741	14,37		1,72		11,67	0,67	11,69	2,68

*) Bolšoj Almaatinskij Kanal

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die Auffüllung des Kapčagaj nur zu etwa 50% vollendet wurde. Ökologische Faktoren führten in fast jedem Jahr zu Notablässen und verhinderten die komplette Befüllung des Stauraumes. In den ersten Jahren füllte sich der Stausee in etwa nach Plan (4 km³ pro Jahr, s. Tab. 7). Ab 1973 verlangsamte sich die Auffüllung. Im Jahr 1980 erreichte der See mit 16,4 km³ einen Maximalstand, danach verringerte sich sein Volumen. Dadurch war die Bewässerung im geplanten Umfang nicht möglich, am Unterlauf werden nur 30.000 ha statt der geplanten 120.000 ha bewässert. Zur räumlichen und zeitlichen Verteilung des Bewässerungswassers mussten eine Vielzahl wasserwirtschaftlicher Regulierungsbauwerke erstellt werden. Im Ili-Balchaš-Becken existieren neben dem Kapčagaj weitere 35 Stauseen mit einer Kapazität von insgesamt 16 km³.

Die Flutung des Stauraums führte zu negativen Auswirkungen wie z.B. zur Veränderung des Abflussregimes im Winter oder zur verstärkten Verdunstung von der Stau-

seeoberfläche (ca. 1,5 bis 2,3 km³/Jahr /27, 31/). Dabei ist es anzumerken, dass die Einrichtung eines Bauwerks zur Gegenregulierung am Ili-Unterlauf geplant war, aber nicht verwirklicht wurde.

Weiterhin wurden unerwünschte Veränderungen des Mineralgehalts und ein Anstieg des Grundwasserspiegels in der Umgebung des Stausees verzeichnet, was eine Verschlechterung der Bodengüte zur Folge hatte. Trotz der schwierigen Abgrenzung unterschiedlicher Faktoren ist es offensichtlich, dass die Mineralisation des Ili vom Füllstand des Stausees mitgesteuert wird. In den oberen Teil des Stausees bestimmt das Ili-Wasser die Mineralisation. Hier ist sie niedrig (ca. 260 bis 430 mg/l), kann aber erheblich schwanken. Beim Hochwasser sinkt die Mineralisation und beim winterlichen Wasserniedrigstand erreicht sie ihr Maximum. Am Nordufer ist die Mineralisation geringer als am Südufer, wo sich dicht besiedelte Gebiete mit Industrien und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung befinden. Das Maximum befindet sich im Bereich der Keskelen-Mündung /182/.

3.2 Bewässerung

Bewässerung wird in der Region bereits seit Jahrhunderten betrieben. Die Agrarwirtschaft ist jeher der größte Wasserverbraucher. Unter dem gegebenen Klima und der Bodengüte ist es bei ausreichender Wasserversorgung möglich, hohe Erträge bei Reis, Tabak, Obst, Getreide und Futterpflanzen zu erzielen. Die Fläche, auf die Bewässerung möglich ist, beträgt nach /167/ ca. 2,8 Millionen Hektar (Tab. 8).

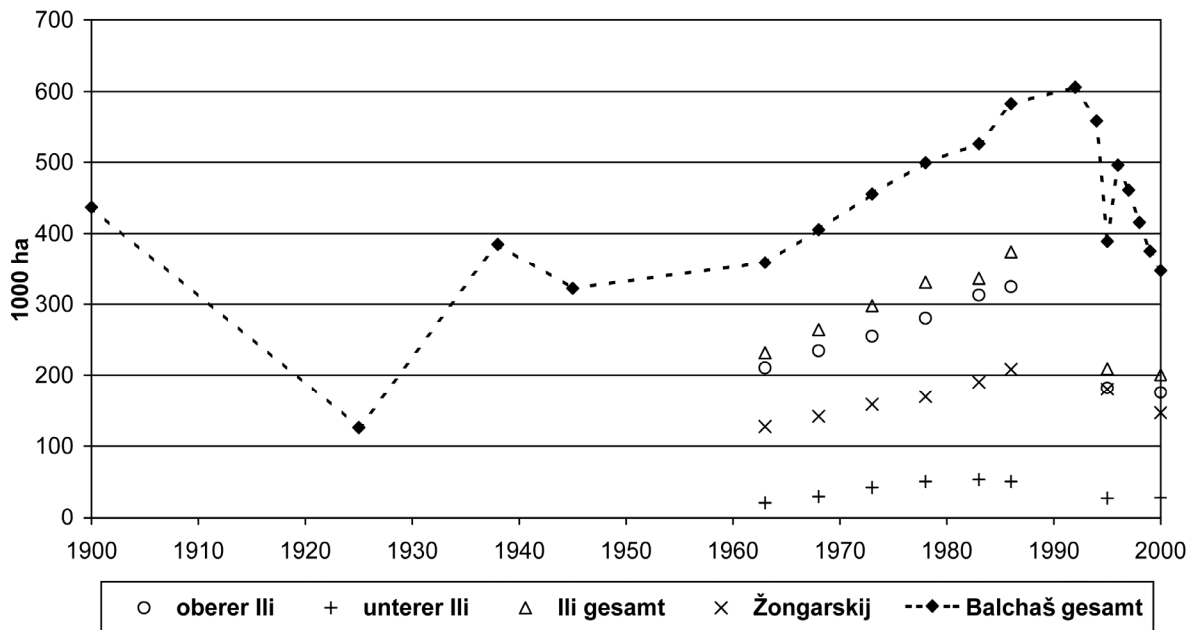
Tab. 8: Verteilung der potenziellen Bewässerungsflächen nach notwendigen Meliorationsmaßnahmen, 1.000 ha

Einzugsgebiet	Potenzielle bewässerbare Nutzfläche	Verteilung nach Meliorationsaufwand				
		Keine Melioration notwendig	Leichte Melioration notwendig	Mittlere Melioration notwendig	Intensive Melioration notwendig	Melioration nur teilweise möglich
des Ili	1443,3	352,4	418,5	133,4	172,8	366,2
des Žetysuskij-Alatau	1340,9	255,3	161,0	213,4	453,4	257,8
Insgesamt	2784,2	607,7	579,5	346,8	626,2	624,0

In der Sowjetunion wurde eine Doktrin über der Erschließung der Wasserressourcen im Becken entwickelt, laut der bis zum Jahr 2000 1 Mio. ha Bewässerungsflächen existieren und die Kapazität des Kapčagaj-Wasserkraftwerkes 1.5 Mio. Kilowattstunden erreichen sollte. Es wurde sogar die Frage „über die Unzweckmäßigkeit der Erhaltung

des Balchaš-Sees als Verdunster großer Wassermengen“ gestellt. Entsprechend dieser Doktrin begann in den 1960er Jahren die intensive Ausweitung der Bewässerungsflächen und 1970 die Flutung des größten Stausees in der Region. In der Folge kam es zu verstärkten anthropogenen Belastungen auf das Ökosystem des Sees und des Ili-Deltas. Daten aus /168-174/ zeigen einen Zuwachs der Bewässerungsflächen bis Anfang der 1990er Jahre auf ca. 600.000 ha, danach nehmen sie teilweise drastisch ab (Abb. 10).

Abb. 10: Entwicklung der bewässerten Fläche im Ili-Balchaš-Becken im 20. Jahrhundert



Quelle: Eigene Darstellung

Der Reisanbau begann im Jahr 1929. Durch Handarbeit wurden primitive Reisfelder nach ostasiatischer Art angelegt. Die Erträge betragen damals 33 Zentner/ha bei einer Bewässerung von beinahe 50.000 m³/ha. Ab 1930 verschlechterte sich die Bodenqualität und die Erträge sanken auf 24 Zentner/ha. Der Übergang zum Zuckerrübenanbau in den Jahren 1960 bis 1967 verbesserte den Zustand des Bodens, aber erst die vollständige Erneuerung des Bewässerungsnetzes und die Etablierung neuer Anbaumethoden erlaubte eine Erntesteigerung auf 42 Zentner/ha. Der Einfluss des Kapčagaj auf Bewässerungsfläche und Wasserverbrauch ist in Tab. 9 dargestellt.

Tab. 9: Bewässerungsflächen und Wasserverbrauch im Ili-Gebiet, Stand 1986

Bewässerungsgebiet	Fläche (1000 ha)	Wasserentnahme (Mio m ³)
Ili unterhalb Kapčagaj		
Akdalinskij	25,7	744,9
Kurty	37,2	227,5
Kerbulakskij	1,4	8,7
Sonstige	4,2	85,3
Insgesamt	68,5	1066,4
Ili oberhalb Kapčagaj		
Chingel'dinskij Massiv	12,6	77,9
Bol'soj Almaatinskij Kanal	152,5	1598,7
Einzugsgebiet des Šaryn	35,2	272,4
Uzynkara Bergkette	11,8	154,6
Žetysuskij-Alatau	49,8	629,7
Tekes	19,7	66,6
Almaty (Abwasser)	7,0	63,0
Sonstige	1,6	4,0
Insgesamt	290,0	1268,2

In der Sowjetunion wurde das Wasser von zentralen Stellen verteilt. Seit dem Zusammenbruch der Sowjetunion fehlen diese Behörden. Von der Wissenschaft empfohlene Entnahmemengen wurden oft weit überschritten (Tab. 10).

Tab. 10: Empfohlene Bewässerungsmengen (unterstrichen) und tatsächlich verbrauchtes Wassers im Jahr 1993 nach Berichten der örtlichen Komitees für Wasserressourcen, m³/ha (1993).

Station	Rayon	Mais	Getreide	Zucker- rüben	Futter- gras
Podgornoe	Ujgurskij, Oberlauf	<u>2410</u> 4840	<u>2410</u> 3900	-	<u>2870</u> 4830
Žarkent	Panfilovskij	<u>5320</u> 6890	<u>4320</u> 8040	-	<u>5310</u> 6350
Almaty	Kaskelenkij	<u>4050</u> 5000	<u>1920</u> 3590	<u>4450</u> 7650	<u>3320</u> 3850
Aksenger	Žambylskij	<u>4850</u> 5240	<u>1330</u> 1470	<u>4610</u> 7650	-
Talgar	Talgarskij	<u>3890</u> 4700	<u>1910</u> 2700	-	<u>3350</u> 5200
Esik	Ėnbekšij-Kazachskij	<u>2050</u> 3350	<u>960</u> 1240	<u>2420</u> 6380	<u>1230</u> 3200
Šilik	Ėnbekšij-Kazachskij	<u>4650</u> 4870	<u>2850</u> 4970	-	<u>6320</u> 1050
Bakanas	Unterlauf Bak- chaškij	<u>5340</u> 6290	<u>1390</u> 3560	-	<u>0</u> 6220
Kurty	Ilijskij	<u>3050</u> 5220	<u>1950</u> 3020	<u>5450</u> 6460	<u>2130</u> 3730
Uštobe	Karatalskij	<u>4070</u> 6220	<u>2650</u> 3020	<u>5420</u> 1250	<u>0</u> 5940
Lepsinsk	Andreevskij	-	<u>950</u> 1250	<u>3710</u> 11210	<u>1800</u> 3100
Kogaly	Gvardejskij	<u>2850</u> 3410	<u>1530</u> 1690	-	<u>2310</u> 3630
Sarkan	Sarkandskij	<u>2910</u> 3090	<u>1210</u> 2820	<u>3510</u> 14300	<u>3310</u> 6280
Taldykorgan	Taldykorganski	<u>4930</u> 5680	2340 4720	<u>6120</u> 1590	<u>3930</u> 4680

Im Folgenden werden die wichtigsten Bewässerungsgebiete im Ili-Balchaš-Becken kurz charakterisiert.

Der *Große Almaty Kanal* (Bol'soj Almatinskij Kanal, BAK) verläuft im Vorland des Zailiskij Alatau und verbindet in West-Ost Richtung die Flüsse Šamalğan und Čilik miteinander. Auf den Bewässerungsflächen, die sich nach dem Bau des Kanals von ca. 150.000 auf 300.000 ha verdoppelt haben, werden Reis, Mais, Zuckerrüben, Tabak, Gemüse und Obst angebaut.

Tab. 11: Hydrologische und hydrochemische Kennzahlen im Akdalinskij Bewässerungsgebiet, 1982-1993

		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Bewässerungsfläche, davon Reisanbau	1000 ha	24,0	26,0	28,0	29,0	25,7	27,8	27,8	13,1	31,7	12,4	12,0	12,0
		-	-	-	-	-	13,4	13,7	-	13,1	-	-	-
Gesamte Wasserentnahme aus dem Ili	km ³	1.13	1.15	1.26	1.19	1.10	1.01	1.04	1.08	1.12	—	—	—
Hauptabwasserkanal													
Abwasserabfluss in den Ili	km ³	0,113	0,155	0,193	0,332	0,362	0,427	0,415	0,517	0,418	0,345	—	0,284
Mineralisation	mg/l	-	-	-	747	834	960	-	-	810	745	691	713
Salzmenge im Abwasser	1000 t	-	-	-	248,0	301,9	398,4	-	-	338,6	257,0	-	202,5
Sulfatmenge im Abwasser	1000 t	-	-	-	71,0	90,1	145,6	-	-	108,7	72,8	-	57,1
Stickstoffmenge im Abwasser	1000 t	-	-	-	0,99	1,09	0,64	-	-	-	0,03	-	-
Verbindungskanal													
Abwasserabfluss in den Ili	km ³	0,084	0,083	0,105	0,114	0,129	0,086	0,091	0,097	0,069	0,058	-	0,056
Mineralisation	mg/l	-	-	-	558	600	595	-	-	590	556	636	592
Salzmenge im Abwasser	1000 t	-	-	-	63,6	77,4	30,4	-	-	40,7	32,2	-	33,2
Sulfatmenge im Abwasser	1000 t	-	-	-				-	-	8,69	7,02	-	6,66
Stickstoffmenge im Abwasser	1000 t	-	-	-							0,002	-	-
Abwasserabfluss in den Ili insgesamt	km ³	0,197	0,238	0,298	0,446	0,491	0,513	0,506	0,614	0,487	0,403	-	0,340
Anteil an der gesamten Wasserentnahme	%	17,4	20,7	23,6	37,5	44,6	50,8	48,6	56,8	43,5			

Das *Šengeldinskij Bewässerungsgebiet* wurde im Jahr 1978 in Betrieb genommen. Das Wasser wird durch große Pumpstationen gefördert, ca. 85% fließen nach /31/ mit

einer Mineralisation von 1,5 bis 2,5 g/l in den Kapčagaj, wo sie die Mineralisation an der Nordküste erhöhen.

Das *Akdalinskij-Bewässerungsgebiet* wurde in den Jahren 1969 bis 1982 für den Reisanbau angelegt. Es entstanden 5 Reisfarmen mit einer Fläche von 30.000 ha. Die Erträge erreichten im Durchschnitt 40 Zentner/ha. Mit über 1 km³/Jahr war das Gebiet der größte Wasserverbraucher, 0,1-0,5 km³/Jahr flossen zurück in den Ili (Tab. 11), dessen Jahreabfluss infolge dieser Entnahme am Pegel Ušžarma im Mittel um 0,5 km³/a sank /142/.

Von 1967 bis 1986 floss ein Teil des Wassers, ca. 250 Mio.m³/Jahr, über einen ausgetrockneten Flusslauf in die Sandwüste Saryesik-Atyrau. Ab dem Jahr 1987 floss das gesamte von den Feldern abfließende Wasser über zwei Kollektoren in den Ili. Der Umfang betrug im Jahr 1982 ca. 0,197 km³/Jahr, im Jahr 1989 0,614 km³/Jahr. Die Mineralisation betrug ca. 450 mg/l, nach der Bewässerung stieg der Wert auf fast 1000 mg/l. Den Hauptanteil der Salze machen Sulfite aus.

In der *Ost-Balchaš-Region* hat die Bewässerungswirtschaft eine sehr lange Tradition. Entlang vieler Flüsse wie z.B. Baskan, Karatal und Koku wurden Spuren alter Bewässerungskanäle entdeckt. Im Jahr 1915 wurden hier 140.000 ha bewässert /81/. Nach dem Ersten Weltkrieg verringerte sich die Fläche auf 70.000 ha, in den 1980er Jahren betrug sie 210.000 ha. Die Bewässerungsflächen konzentrieren sich hauptsächlich auf das Karatal-Einzugsgebiet (Tab. 12). Die wichtigsten Kulturen sind Reis und Zuckerrüben.

Tab. 12: Bewässerungsflächen in der Ost-Balchaš-Region, Stand 1.01.1986

Einzugsgebiet	Bewässerungsfläche 1000 ha	Anteil %
Karatal	100,0	52,2
Lepsy	40,8	21,3
Aksu	33,3	17,4
Bien und Kzyl-Agaš	11,4	5,9
Ajagus und Bakanas	6,2	3,2
Ost-Balchaš insgesamt	191,7	100,0

Die Bewässerungsfläche am *Karatal* beträgt ca. 5% des gesamten Einzugsgebiets. Die Wasserentnahmestellen befinden sich oberhalb der Stadt Uštobe, wo 1940 ein Damm gebaut und mit dem Uštobinskij Kanal ein rechtsseitiger Regulator mit einer Durchflusskapazität von 47 m³/s angelegt wurde. Dieser versorgt mit seinem Wasser ca. 13.000 ha Ackerfläche. Das Drainagewasser von den Reisefeldern wird über sieben Kollektoren direkt in den Fluss geleitet. Der größte Kollektor ist 2664 km lang. Dieser Kollektor dräniert einen wesentlichen Teil des Gebiets und verfügt über eine große Durchlasskapazität. Durch ihn gelangen große Mengen an Pestiziden und anderen Stoffen in das Flusswasser. /31/ Auf dem Bewässerungsgebiet am Karatal wurden wissenschaftliche Studien durchgeführt /31, 177, 180 u.a./, die es erlaubten, eine Wasser- und Salzbilanz für den oberflächlichen Abfluss zu erstellen (vgl. Tab. 13).

Tab. 13: Salzgehalt des Oberflächen- und Drainagenwassers im Karatalskij Bewässerungsmassiv, 1974-1992

	Einheit	1974	1975	1976	1990	1991	1992
Bewässerungsfläche	1000 ha	15,25	15,40	15,50	19,30	19,35	19,37
Wasserentnahme, insgesamt	km ³	0,360	0,338	0,418	0,642	0,661	0,662
Salzgehalt vor der Bewässerung	mg/l	695	925	1116	1085	1104	1230
Abfluss in den Karatal	km ³	0,190	0,186	0,214	0,346	0,327	0,331
Salzgehalt des Drainagewassers	mg/l	795	2 766	2 571	3 220	2 970	3 224
Salzmenge	1000 t	151,0	514,4	550,2	1 114	971,4	1 067

Nach der Erneuerung des Kanalnetzes in den 1980er Jahren stieg die Zufuhr von Salzen in das Flusswasser dramatisch an /31/. Dabei nahm die Mineralisation von 695 auf 1230 mg/l und der Abfluss von 0,19 auf 0,33 km³ zu.

An zweiter Stelle steht nach dem Umfang der Bewässerungsflächen das *Lepsy-Einzugsgebiet*. Mit Lepsy-Wasser werden ca. 40.000 ha, auf denen hauptsächlich Zuckerrüben kultiviert werden, bewässert.

Am *Aksu-Einzugsgebiet* existieren ca. 1.000 ha Bewässerungsfläche, die ebenfalls vorwiegend für den Zuckerrübenanbau genutzt werden. Die Bewässerungsflächen werden von schwach mineralisiertem Flusswasser bewässert (200 bis 250mg/l). Das abfließende Drainagewasser weist eine Mineralisierung von 400 bis 500 mg/l auf.

Durch die intensive Bewässerung sank der Seespiegel des Balchaš ab und erreichte 1987 sein Jahrhundertminimum (s. Kap. 6.5). Weitere Folgen waren die Verschlechterung der Wasserqualität (s. Kap. 4), die verstärkte Tiefenerosion und die Versandung vieler Flussarme im Ili-Delta (s.Kap. 5.5) sowie die Austrocknung zahlreicher Seen und Sumpfgebiete. Das Südufer des Balchaš verlagerte sich um mehrere Kilometer seewärts, was zur Austrocknung flacher Buchten führte. Die Fischfangraten gingen von

40.000 Zentner auf 8.000 Zentner pro Jahr zurück (Tab. 13). Die Jagd auf Bisam verlor ihre wirtschaftliche Bedeutung.

Tab. 14: Entwicklung des Fischfangs im Balchaš-See, t

Fischarten	1965	1975	1985	1990	1994
Brachse	630	3740	8267	8378	6228
Zander	5050	3660	1042	1037	840
Wels	30	810	558	226	389
Plötze	-	190	526	132	47
Rapfen	-	340	119	48	102
Karpfen	10320	4000	70	6	186
Graskarpfen	-	10	1	10	-
Barsch	120	-	-	-	-
Schipp Stör	-	-	0,2	-	-
Schizothorax spec.	1070	-	-	-	-
Insgesamt	17171	12750	9402	9439	7785

4. Hydrochemie und Wasserqualität

4.1 Die Mineralisierung der Fließgewässer

Bereits im Jahr 1938 begannen regelmäßige Mineralisationsmessungen der Zuflüsse. Eine erste Studie zur Ionen-Zusammensetzung in der Periode 1936 bis 1944 wurde im Jahr 1949 von Alekin veröffentlicht /223/, der eine der gebräuchlichsten hydrochemischen Klassifikationsmethoden entwickelte (Alekin 1970). Er hat das Wasser der Zuflüsse nach der quantitativen Zusammensetzung der Hauptionen klassifiziert, die Mineralisationshöchstwerte und deren Verhältnis zur Ionenzusammensetzung bestimmt.

Ibragimova erforschte 1969 den Ionen-Abfluss in den Balchaš /144/ und gab eine Mineralisation des Ili von 366 mg/l an. Für die übrigen Zuflüsse wurden, mit Ausnahme des Ajagus, fast identische Werte wie die von Tarasov (1961) berechnet (Tab. 15).

Tab. 15: Abfluss und Mineralisation der Flüsse im Balchaš-Becken in den Jahren 1961 und 1969

	Abfluss, km ³		Mineralisation, mg/l	
	1961	1969	1961	1969
Ili	10,38	11,38	312	366
Karatal	2,10	1,96	244	267
Lepsy	0,55	0,80	264	276
Aksu	0,23	0,23	351	336
Ajagus	0,18	0,22	427	738

Untersuchungen von Romanova von 1977-1979 /143/ belegen, dass das Ili-Wasser nach der Klassifikation von Alekin (1970) der Hydrogenkarbonat-Klasse der Kalzium-Gruppe des zweiten Typs zuzurechnen ist. Pozdnjakova stellte in den 1970er Jahren fest, dass die Mineralisation des Ili mit den Schwankungen seines Wasserstandes zusammenhängt. In wasserarmen Jahren ist die Mineralisation wesentlich geringer (250-270 mg/l) als in wasserreichen Jahren (310-370 mg/l). Die Seitenarme des Ili-Deltas weisen eine höhere Mineralisation auf als der Hauptfluss. Am Žideli wurden 430 mg/l, am Arystan 522 mg/l, am Karaosek 655 mg/l und am Bajminej sogar 877 mg/l gemessen. Vor allem Sulfat-, Chlor- und Natriumanteile sind in diesen Deltabereichen gegenüber dem Hauptarm um das 2,5-fache erhöht.

Die räumliche Variation der Mineralisation der Flüsse war bis zur Intensivierung der wirtschaftlichen Tätigkeit Anfang der 1960er Jahre relativ gering. Auch die in Tab. 16 aufgeführten Werte für die Jahre 1965 bis 1967 zeigen geringfügige Mineralisationsunterschiede und eine fehlende Differenzierung in der hydrochemischen Zusammensetzung des Wassers.

Tab. 16: Chemische Zusammensetzung des Ili-Wassers in verschiedenen Flussabschnitten

Messstation (Flusskilometer)		mmol/l							Mineralisation mg/l
		Na+K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Staatsgrenze (km 760)	1965-67	0,86	2,01	1,26	2,35		1,30	0,49	300
	1977-79	0,80	2,11	0,98	2,44	0,06	0,96	0,41	286
Burachožir (km 680)	1965-67	0,98	2,05	1,10	2,32		1,33	0,48	301
	1977-79	0,88	2,11	1,01	2,50	0,00	1,05	0,45	295
namenlos (km 643)	1965-67	-	-	-	-	-	-	-	-
	1977-79	0,96	2,27	1,40	2,69	0,00	1,24	0,70	335
Kapčagaj (km 392)	1965-67	-	-	-	-	-	-	-	-
	1977-79	1,29	2,16	1,44	2,63	0,12	1,35	0,79	349
Bakbaktinskij (km 330)	1965-67	-	-	-	-	-	-	-	-
	1977-79	1,37	2,28	1,46	2,39	0,17	1,63	0,92	360
Bakanas (km 290)	1965-67	-	-	-	-	-	-	-	-
	1977-79	1,54	2,30	1,46	2,56	0,15	1,65	0,94	376
Ušžarma (km 250)	1965-67	1,09	2,20	1,10	2,39		1,41	0,59	319
	1977-79	1,80	2,25	1,48	2,70	0,06	1,80	0,97	395
Akkol' (km 200)	1965-67	1,09	2,20	1,20	2,41		1,52	0,57	326
	1977-79	-	-	-	-	-	-	-	-

Vor dem Bau der Kapčagaj-Staustufe ist ein leichter Anstieg der Mineralisation von der Staatsgrenze bis Ušžarma (von 300 mg/l auf 319 mg/l) festzustellen. Die chemische Zusammensetzung bleibt dabei unverändert. In den Jahren 1977 bis 1979 stieg die Mineralisation im Abschnitt von der Grenze bis zur oberen Haltung der Staustufe von 286 mg/l auf 349 mg/l. Dazu tragen die Zuflüsse des Ili bei, die alle eine höhere Mineralisation haben **/144,145/**. Der Abschnitt nach der Staustufe zeichnet sich durch umfangreiche Sandwüsten, arides Klima, fehlende Zuflüsse, intensive Bewässerung und Rückführung des Drainagewassers in den Ili aus. Dies führt zu einer Konzentrationserhöhung der Ionen. Bis zur Station Ušžarma steigt die Mineralisation deshalb noch bis 395 mg/l an, 2 km vor der Mündung zeigt sie einen Höchstwert von 412 mg/l (nicht in der Tabelle).

Durch den Bau des Kapčagaj kam es zu einem Anstieg der Mineralisation auf über 420 mg/l an der Mündung (1970 bis 1977). Der Variationskoeffizient der Mineralisation reduzierte sich nach dem Staudambau von 0,28 auf 0,08. Auch die Korrelation zwischen Wasserstand, Mineralisation und Hauptionen-Zusammensetzung wird nach der Errichtung des Kapčagaj wesentlich schwächer **/25/**. Dies zeigt, dass der Einfluss anderer Faktoren auf die Mineralisation bei einer Flussregulierung in den Hintergrund treten.

In seinem Delta teilt sich der Ili in mehrere Arme auf. In den größeren dieser Wasserläufe (Žideli, Ketpenkaldy und Arystan) beträgt die Mineralisation nach **/141, 143/** 412-522 mg/l, in den kleineren (Karauzek und Bajmenej) bis zu 877 mg/l. Das Wasser im Delta unterscheidet sich von anderen Abschnitten des Ili. Mit der höheren Mineralisati-

on überwiegt der Sulfid-Anteil und auch Chlorid- und Natriumionen nehmen deutlich zu. Der hydrochemische Index nach Alekin (1970) verändert sich von C_{II}^{Ca} zu S_{II}^{Na} .

Während sich die Konzentration von HCO_3^- und Ca^{2+} entlang des Flusslaufs nur geringfügig ändert, steigt die Konzentration von Mg^{2+} schnell um 50%, SO_4^{2-} um 100 %, Cl^- um 140 %, $Na^+ + K^+$ um 160% an.

Seit der Inbetriebnahme der Kapčagaj-Staustufe im Jahr 1970 steigt die durchschnittliche Mineralisation an, die Schwankungsbreite nimmt ab und die Beziehung zwischen der Gesamtmineralisation und einzelner Ionengehalte wird schwächer **/143, 144/**. Laut **/146-148/** ist dies die Folge der Vermischung schwach mineralisierten Hochwassers und stärker mineralisierten Niedrigwassers im Staubecken.

Auch auf die hydrochemische Zusammensetzung des Karatal wirken sich natürliche und anthropogene Faktoren aus. Die Mineralisierung im Oberlauf ist schwach (150-280 mg/l) und steigt im Unterlauf geringfügig an. Im Bezirk von Taldykorgan steigt sie dann auf 280-360 mg/l an und geht anschließend durch den Zufluss des schwächer mineralisierten Koxu ein wenig zurück, um danach durch den Zufluss des stark mineralisierten Drainagewassers des Karatal-Bewässerungsgebiets wieder anzusteigen. Insgesamt erhöht sich die Mineralisation des Karatal vom Oberlauf zum Delta von 110-130 auf 310-480 mg/l. Die Höchstwerte wurden in der Zeit von 1981 bis 1983 verzeichnet, von 1985 bis 1993 war wieder ein Rückgang zu beobachten.

Bei den Flüssen des Zailijskij Alataus **/149-151/** überwiegen Ca^{2+} und HCO_3^- -Ionen, womit auch diese zur Hydrogencarbonat-Klasse der Calcium-Gruppe (C^{Ca}) gehören. Die Mineralisationsgrade sind höhenabhängig und steigen mit der Annäherung zur Mündung, was auch in **/31/** bestätigt wird. Zusätzlich wird eine Verschiebung der chemischen Zusammensetzung in Richtung höherer Chlorid-, Sulfat-, und Alkalimetall-Anteile beobachtet. Dies erklärt sich durch den Zufluss von Abwasser. Die Anteile an HCO_3^- und Ca^{2+} verringern sich, obwohl diese Ionen von anthropogenen Faktoren beeinflusst werden. Saisonale Änderungen der Mineralisation sind geringfügig.

4.2 Die Mineralisierung des Kapčagaj-Stausees

Die chemische Zusammensetzung des Wassers im Kapčagaj hängt von der Wasserqualität seiner Zuflüsse ab, wobei dem Ili mit 90-95% die entscheidende Rolle zukommt. Wegen der Zuflüsse mit einem wesentlich höheren Mineralgehalt als die des Ili steigt die Mineralisation im südlichen Teil des Stausees und erreicht unweit der Mündung des Esik und des Kaskelen 560 mg/l, in manchen Jahreszeiten kann die sogar 650 mg/l betragen (Tab. 17).

Tab. 17: Mineralisation (oben) und Sulfatgehalt (unten) des Wassers im Kapčagaj-Stausee, mg/l

Probestelle	1985	1986	1987
Staudamm	402	407	407
	75	95	65
Čilik	578	444	450
	160	116	84
Esik	662	549	562
	170	138	153
Kaskelen	600	541	568
	173	144	155
Pumpstation Nr. 6	559	617	470
	166	203	123
Pumpstation Nr. 4	586	642	470
	170	228	114
Pumpstation Nr. 3	583	730	446
	172	271	98
Pumpstation Nr. 2	705	682	556
	239	221	126
Erholungsgebiet	541	426	433
	162	100	101

Mit der Vergrößerung des Stausees im Jahr 1987 verbesserte sich die Wasserqualität. Der durchschnittliche Sulfat-Gehalt sank auf 120 bis 130 mg/l, die Mineralisation auf rund 550 mg/l.

Auch die chemische Zusammensetzung variiert in den einzelnen Seeteilen. Eine Reihe von Faktoren wie die großen Bewässerungsflächen von Šengeldinskij und Akdalinskij, ungeordnete Zuleitungen von Abwasser, geologische oder edaphische Besonderheiten und die Misswirtschaft in der Wassernutzung führen zu einer deutlichen Verschlechterung der Wasserqualität. Besonders belastetes Wasser tritt im Abschnitt zwischen den Pumpstationen Nr. 2 und Nr. 4 auf, von denen ca. 60% der Bewässerungsfläche versorgt werden. In der Umgebung dieser Pumpstationen erreicht die Mineralisation Werte von bis zu mehr als 700 mg/l.

Dieses wird verständlich, wenn man die chemische Zusammensetzung des von den Šengel'dinskij-Bewässerungsflächen abfließenden Wassers betrachtet (Tab. 18).

Der Mineralgehalt des Wassers ändert sich auch jahreszeitlich entsprechend dem Füllstand des Stausees. Im April erreicht die Mineralisation 490 mg/l; im Oktober sinkt sie bei einem Seevolumen von 16 km³ wieder auf 390 mg/l.

Tab. 18: Chemische Zusammensetzung des in den Kapčagaj-Stausee aus dem Šengel'dinskij Bewässerungsmassiv (Nordufer des Kapčagaj) abfließenden Wassers, mg/l

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Σ
06.05.1987	200	53,7	476,1	183,0	1050	141,8	2491,8
07.06.1987	204	53,7	430,1	231,0	1060	127,6	2344,8
18.06.1987	220	58,6	262,2	244,0	780	127,6	1903,5
10.07.1987	208	48,8	255,3	244,0	870	120,5	1746,6
07.12.1987	212	23,2	320,9	305,0	900	88,6	1859,0

Linksseitig des Ili liegt das Bewässerungsgebiet von Akdalinskij, wo vor allem Reis angebaut wird. Das von den Feldern abfließende Wasser wurde bis zum Jahr 1987 in den Ili und zum Teil in die Sandwüste Saryesik-Atyrau geleitet. Nach 1987 wurde das gesamte Wasser über zwei Kanäle in den Ili geleitet. Das Akdalinskij Bewässerungsmassiv wird mit Wasser mit einer Mineralisation von 450-500 mg/l bewässert, das abfließende Wasser zeigt eine doppelt so hohe Ionenkonzentration (Tab. 19). In den 1980er Jahren zeichnete sich eine Erhöhung des Sulfat-Anteils ab. Gleichzeitig reduziert sich der Anteil an biogenen Stoffen wie Stickstoff, was auf einen Rückgang des Düngemittleinsatzes zurückzuführen ist.

Tab. 19: Mineralisation des Abwassers aus dem Akdalinskij Bewässerungsmassiv, mg/l

	Maßeinheit	1985	1986	1987
Umfang	km ³	0,221	0,346	0,370
Salzgehalt	mg/l	747	834	960
Sulfatgehalt	mg/l	214	249	341
Stickstoffgehalt	mg/l	3,19	2,92	1,46
Salzmenge	1000 t	115,2	199,4	298,5
Sulfatmenge	1000 t	34,9	58,9	99,1
Stickstoffmenge	1000 t	0,39	0,60	0,40

Die negativen Auswirkungen dieses Abwassers auf die Wasserqualität des Ili haben während der dreijährigen Untersuchungsperiode zugenommen. Während die Mineralisation des Ili im Jahr 1985 oberhalb der Einleitung 496 mg/l und unterhalb davon 540 mg/l betrug, stieg sie im Jahr 1987 von 458 mg/l auf 573 mg/l an. Je nach der Zuleitungsmenge kann die Mineralisation bis zu 800 mg/l erreichen. Der Anteil der Sulfationen übersteigt dabei die zulässige Höchstkonzentration, während der Anteil an biogenen Stoffen sich noch innerhalb der gesetzlichen Grenzen bewegt.

4.3 Wasserverschmutzung

Besonders stark auf die Wasserqualität wirken sich industrielle und landwirtschaftliche Abwasser von den Bewässerungsfeldbaugebieten aus. Industrieobjekte konzentrieren sich auf den Großraum Almaty. Deren Abwasser gelangen größtenteils in das kommunale Kanalisationsnetz und dann in den abflusslosen Sorbulak-See. Eine wichtige Rolle hierbei spielen die Kläranlagen von Almaty und Šilik, deren Abfluss ca. 2 - 25 Mio. m³/a beträgt. Zur Sicherung der Wasserqualität müssen sich die Betriebe streng an die zulässigen Höchstwerte halten, die mit den zuständigen Wasserschutzbehörden abgestimmt wurden.

Ili und Karatal zeigen eine unwesentliche Verschmutzung durch industrielle und kommunale Abwässer. Zur Verbesserung der Wasserqualität wäre jedoch eine Verringerung der Ölreste aus einem Kraftwerk und eine Regenwasserkanalisation im Stadtgebiet von Almaty nötig. Der Anteil der Ölzeugnisse erreicht in einigen Abschnitten der Kapčagaj-Zuflüsse 0,4 bis 0,6 mg/l, bei einem zulässigen Höchstwert von 0,05 mg/l für die Gewässer mit fischereiwirtschaftlicher Nutzung. Dank der Selbstreinigungskraft der Flüsse verringern sich die Ölreste in Richtung Mündung und fügen dem Stausee keinen beträchtlichen Schaden mehr zu.

In manchen Perioden sind die Gewässer wegen ausgeschwemmter organischer und mineralischer Substanzen stärker verschmutzt. Der oberflächliche Abfluss enthält in einigen Städten des Landes bis zu 10-15 mg/l organische Stoffe und 450-5000 mg/l Schwebestoffe /155, 156/, wobei starke jahreszeitliche Schwankungen typisch sind. (Tab. 20).

Tab. 20: Gehalt organischer Stoffe in Flussmündungen im Jahr 1987 gemessen anhand des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB₅), mgO₂/l

	Apr	Jun	Jul	Aug	Sep	Nov
Kaskelen	4,2	2,2	8,6	3,2	2,9	4,6
Talgar	1,4	2,3	4,2	2,2	2,0	4,0
Esik	1,8	1,0	9,1	5,4	3,2	1,6
Šilik	1,6	1,3	-	6,7	9,0	8,0

Der BSB₅-Wert gibt an, wieviel Sauerstoff in fünf Tagen in einem Liter Wasser bei 20°C von Bakterien veratmet wird und ist ein Index für die Menge der abbaufähigen, organischen Inhaltsstoffe.

Die Höchstwerte im Juli und August erklären sich nur durch die Zufuhr des mit Düngemitteln und anderen Schadstoffen in landwirtschaftlich genutztem Wasser. Dies zeigt, dass die Landwirtschaft die höchste Gefahr für die Wasserqualität darstellt.

Im Almaatinskaja-Oblast verschärfte die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzflächen und der intensive Einsatz von Düngemitteln (Tab. 21) und Pestiziden in den 1980er Jahren die Probleme mit der Wasserqualität.

Tab. 21: Bewässerungsflächen und Mengen eingesetzter Düngemittel im Almaa-tinskaja Oblast (ohne das Territorium des später eingegliederten Tal-dykorganskaja Oblast), 1985-1999

	Bewässerungsfläche (1.000 ha)	Eingesetzte Düngemittel (1.000 t)	
		organisch	mineralisch
1985	289,9	1582,9	52,9
1986	310,9	2016,5	57,5
1987	341,5	1628,5	50,7
1992	327,1	-	
1994	322,0	-	
1995	396,4	-	
1996	274,9	83,9	58,3
1997	262,1	57,2	32,3
1998	262,0	21,8	22,6
1999	265,2	26,9	18,1

Seit Ende der 1980er Jahre reduzieren sich die Mengen an Düngemittel, so dass die Nitrat-Konzentrationen abnahmen (Tab. 22).

Tab. 22: Durchschnittlicher Stickstoffgehalt in den Zuflüssen des Kapčagaj-Stausees während der Vegetationsperiode, mg/l

	1985	1986	1987
Šilik	2,1	1,2	0,8
Esik	5,4	1,5	1,1
Talgar	3,5	2,5	0,6
Kaskelen	7,4	5,1	2,5

Im Vergleich zu früher sank in den 1980er Jahren auch die Verschmutzung des Kapčagaj mit organischen Substanzen ab (Tab. 23).

Tab. 23: Gehalt an organischen und biogenen Stoffen im Wasser des Kapčagaj-Stausees, 1985-1987

Probestelle	Jahr	BSB ₅ mgO ₂ /l	NO ₃ mg/l
Esik	1985	5,0	4,9
	1987	2,2	1,0
Talgar	1985	2,6	3,0
	1987	1,9	0,5
Kaskelen	1985	4,8	3,6
	1987	3,8	2,2
Pumpstation Nr. 6	1985	3,3	2,6
	1987	2,4	1,8
Pumpstation Nr. 4	1985	3,9	6,3
	1987	3,0	2,1
Pumpstation Nr. 3	1985	3,1	5,1
	1987	2,8	1,5
Pumpstation Nr. 2	1985	2,2	6,0
	1987	3,8	1,3

In die Oberflächengewässer gelangen Pestizide mit dem Wasser, das von den Feldern abfließt. Geringere Mengen gelangen auch durch ihre nicht ordnungsgemäße Lagerung in die Wasserläufe. Im Ili und im Kapčagaj wurden Saturn (GHCG), Propanid, HCH (Hexachlorcyclohexan, inkl. Isomere) und DDT (Chlofenotan, inkl. Metabolite) nachgewiesen. Auch der Pestizideinsatz stabilisierte sich in den 1980er Jahren, es zeichnete sich sogar die Tendenz zur Verringerung der Einsatzmengen ab (Tab. 24).

Tab. 24: Pestizideinsatz im Almaatinskaja Oblast in den Jahren 1985 bis 1987, t

Bezeichnung	1985	1986	1987
GHCG-12%	370	155	79
Saturn	39	79	26
Propanid	162	176	230
Mednyj Kuporos	220	185	167
Metaphos	42	37	30
Chlorophos	80	8	21
Insgesamt	2732	2603	2590

Die Verschmutzung der Zuflüsse geschieht vor allem durch Regen- und Schmelzwasser im April-Mai. In dieser Periode ist die Pestizid-Konzentration in allen Flüssen am höchsten (HCH bis 0,1 mg/l). Bis Mitte Juli fallen die Konzentrationen dann auf 0,010-0,015 mg/l. Ein zweites Maximum wird im Juli beobachtet, danach fällt die Konzentration bis auf Null ab.

Die Zusammenstellung der durchschnittlichen Pestizid-Konzentration von 1985-1987 (Tab. 25) zeigt eine Erhöhung der Alpha- und Gamma-HCH-Gehalte sowie eine Verringerung der DDT-, DDE- und Beta-HCH-Gehalte.

Tab. 25: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Mündungsbereich verschiedener Flüsse, mg/l

		GHCG			DDE	DDT
		α	γ	β		
Čilik	1985 1986 1987	0,018	0,004	0,005 0,037 0,001	0,006	0,031 0,023 0,000
		0,050	0,058		0,003	
		0,062	0,073		0,000	
Kaskelen	1985 1986 1987	0,027	0,019	0,017 0,040 0,007	0,007	0,063 0,020 0,000
		0,074	0,081		0,005	
		0,159	0,116		0,005	
Talgar	1985 1986 1987	0,028	0,017	0,016 0,016 0,000	0,008	0,005 0,000 0,000
		0,020	0,034		0,003	
		0,105	0,107		0,000	
Esik	1985 1986 1987	0,027	0,032	0,021 0,025 0,005	0,013	0,022 0,009 0,000
		0,030	0,051		0,003	
		0,102	0,072		0,000	

Untersuchungen /31, 149-151/ zeigen, dass der Pestizid-Gehalt im Kapčagaj-Stausee nicht nur durch seine natürlichen Zuflüsse, sondern vor allem durch den Ablauf von den Šengel'dinskij Bewässerungsflächen beeinflusst wird (Tab. 26).

Tab. 26: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Wasser, das von den Šengeldinski Bewässerungsflächen im Juni 1986 abfluss, mg/l

Probestelle	GHCG			DDE	DDT
	α	γ	β		
Pumpstation Nr. 8	0,040	0,055	0,014	0,002	0,000
Pumpstation Nr. 4	0,033	0,035	0,020	0,002	0,017
Pumpstation Nr. 3	0,080	0,050	0,060	0,002	0,000
Zwischen Nr. 3 und 2	0,033	0,035	0,020	0,002	0,017
Pumpstation Nr. 2	0,000	0,006	0,010	0,000	0,009

Im Šengel'dinskij Bewässerungsgebiet werden hauptsächlich Gemüse- und Futterpflanzen mit einem hohen Pestizidaufwand angebaut. Besonders große Mengen an HCICH kommen im abfließenden Wasser neu erschlossener Flächen vor, die dem oberen Teil des Stausees zufließen. Hohe DDT-Gehalte treten dagegen vor allem im Wasser aus alten Bewässerungsflächen auf. Trotz der im Vergleich zu HCICH geringen Mengen an DDT und DDE ist ihre Konzentration besorgniserregend. Da der Einsatz von DDT und DDE verboten ist, sollten diese Giftstoffe im Untersuchungsgebiet überhaupt nicht auftreten.

Schwankungen der saisonalen Pestizidzufuhr führen zu Unterschieden in der Wasserqualität entlang der Südküste. Es zeichnen sich ein Spitzenwert im April (bis 0,10 mg/l HCH) und einer im Juni (bis 0,035 mg/l HCH) ab, wofür vor allem die Zuflüsse Šilik und Kaskelen ausschlaggebend sind. Linksseitige Zuflüsse beeinflussen die Wasserqualität des Kapčagaj sowohl innerhalb eines Jahres als auch in der mehrjährigen Entwicklung. (Tab. 27).

Tab. 27: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Wasser des Kapčagaj-Stausees entlang der Südküste, mg/l

	Jahr	GHCG			DDE	DDT
		α	γ	β		
Staudamm	1985	0,095	0,120	0,120	0,120	0,090
	1986	0,032	0,037	0,026	0,001	0,001
	1987	0,105	0,070	0,044	0,019	0,000
Unterhalb der Mündung des Šilik	1985	0,052	0,086	0,002	0,015	0,020
	1986	0,038	0,059	0,035	0,007	0,011
	1987	0,230	0,140	0,000	0,000	0,000
Unterhalb der Mündung des Esik	1985	0,030	0,042	0,031	0,032	0,016
	1986	0,029	0,053	0,024	0,006	0,002
	1987	0,180	0,044	0,002	0,000	0,000
Unterhalb der Mündung des Talgar	1985	0,117	0,022	0,028	0,047	0,047
	1986	0,041	0,060	0,030	0,006	0,002
	1987	0,054	0,021	0,002	0,000	0,000
Unterhalb der Mündung des Kaskelen	1985	0,026	0,020	0,019	0,032	0,020
	1986	0,034	0,052	0,032	0,003	0,007
	1987	0,101	0,068	0,006	0,003	0,000

Im Jahr 1986 war die Konzentration von Alpha- und Beta-HChCH am geringsten. Im Jahr 1987 versechsfachte sich deren Gehalt, während das DDT gleichzeitig verschwand.

Die Pestizidkonzentration entlang der Nordküste wird durch das von den Šengeldinskij Bewässerungsflächen abfließende Wasser gesteuert und zeigt einen starken Anstieg im Jahr 1987 (Tab. 28).

Tab. 28: Durchschnittliche Pestizidkonzentration im Wasser des Kapčagaj-Stausees entlang der Nordküste, mg/l

	Jahr	GHCG			DDE	DDT
		α	γ	β		
Pumpstation Nr. 6	1985	0,038	0,052	0,026	0,005	0,033
	1986	0,029	0,069	0,024	0,003	0,010
	1987	0,086	0,056	0,010	0,007	0,000
Pumpstation Nr. 4	1985	0,011	6,016	0,008	0,011	0,047
	1986	0,043	0,067	0,024	0,003	0,010
	1987	0,097	0,061	0,002	0,004	0,000
Pumpstation Nr. 3	1985	0,052	0,054	0,018	0,019	0,030
	1986	0,046	0,053	0,026	0,003	0,005
	1987	0,057	0,078	0,002	0,004	0,008
Pumpstation Nr. 2	1985	0,021	0,037	0,009	0,008	0,055
	1986	0,029	0,043	0,024	0,002	0,017
	1987	0,135	0,079	0,000	0,005	0,002
Pumpstation Nr. 1	1985	0,013	0,011	0,024	0,008	0,000
	1986	0,044	0,067	0,035	0,007	0,000
	1987	0,079	0,053	0,020	0,000	0,000
Unterhalb des Erholungsgebietes	1985	0,044	0,037	0,020	0,032	0,098
	1986	0,025	0,035	0,033	0,005	0,008
	1987	0,087	0,078	0,014	0,016	0,000

Die landwirtschaftliche Produktion am Unterlauf des Ili erfordert einen intensiven Einsatz von Pestiziden (Saturn und Propanid) für die Unkrautbekämpfung. Saturn-Gehalte zeigten in den 1980er Jahren eine deutliche Reduzierung. Während die durchschnittliche Saturn-Konzentration im Jahr 1984 0,230 mg/l betrug, fiel sie im Jahr 1986 auf 0,026 mg/l, im Jahr 1987 fehlte der Stoff in den Oberflächengewässern vollständig. Saisonale Veränderungen des Saturn-Gehalts zeigen zwei Maxima, das erste Anfang Juni während der Drainage von den Reisfeldern mit Konzentrationen von 0,5 mg/l, das zweite wird im Juli (bis zu 3,5 mg/l) verzeichnet. Die sich abzeichnete Tendenz spricht für eine Verbesserung der ökologischen Situation im Ili-Becken. Im Jahr 1987 war der Saturn-Gehalt im Flusswasser sehr gering. Trotz verstärktem Einsatz auf den Reisfeldern konnte Propanid im Flusswasser nicht nachgewiesen werden. Er war nur in einzelnen, direkt nach dem Einsatz entnommenen Wasserproben feststellbar. Ein Vergleich der DDT- und DDE-Konzentrationen aus dem Akdalinskij-Bewässerungsgebiet zeigt eine Verbesserung der Wasserqualität, mit Ausnahme des HCH, dessen Konzentration im Juni und Juli relativ hoch ist.

Auf Grund chemischer, hydrodynamischer und biologischer Prozesse im Wasser des Ili-Unterlaufs kommt es zu einer Konzentrationsminderung der Schadstoffe. Die chemische Zusammensetzung des Wassers an der Spitze des Ili-Deltas ist jener im Kapčagaj-Stausee ähnlich (Tab. 29).

Tab. 29: Chemische Zusammensetzung des Wassers im Unterlauf des Ili, mg/l

	Σ	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	BPK_3	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{4-}
Kapčagaj	481,2	51,2	24,2	49,7	220,2	93,2	39,3	2,3	0,26	0,010	0,65	0,015
Delta	528,6	56,5	25,1	57,3	222,4	116,3	44,4	2,4	0,28	0,008	0,76	0,015

Untersuchungen von Romanova (1991) belegen, dass zulässige Grenzwerte von Organochlorpestiziden wie Saturn und Propanid im Ili weit überschritten werden und dass diese Giftstoffe noch in hohen Konzentrationen in Fischbeständen des Balchaš-Sees nachgewiesen werden können.

Der Karatal besitzt eine besondere Bedeutung für die Wasserqualität im Ili-Balchaš Becken. In seinem Einzugsgebiet sind viele metallverarbeitende und Lebensmittel produzierende Betriebe angesiedelt. Ein großer Wasserverbraucher ist das Tekelijskij Blei-Zink-Kombinat. Die ca. 13 Millionen m^3 Abwasser pro Jahr werden durch mechanische und biologische Verfahren gereinigt. Trotzdem gelangen organische und stickstoffhaltige Stoffe, Ölreste sowie Buntmetalle in den Karatal.

Große Mengen an organischen Stoffen gelangen über die Kanalisation der Städte Tekeli und Taldykorgan in das natürliche Gewässersystem. Der Umfang des Abwassers beträgt 3,9 und 15,8 Millionen m^3 /Jahr, die Kläranlagen besitzen Kapazitäten von 4,2 und 13,1 Millionen m^3 /Jahr und erreichen Reinigungsgrade von 90 bis 95 %. Trotzdem bleibt manchmal eine erhöhte Konzentration von BPK, Ammonium und Ölderivaten feststellbar. Das gesamte Abwasser im Karatal-Einzugsgebiet betrug Ende der 1980er Jahre ca. 167 Millionen m^3 /Jahr. Im Vergleich zum Jahr 1985 kam es zu einer Reduzierung in Folge der Verbesserung der Klärverfahren in den Zuckerfabriken von Karabulakskij und Taldykorganskij.

Einen weiteren Einfluss auf die Wasserqualität übt das Bewässerungsgebiet Karatalskij mit einem Umfang des abfließenden Wassers von 140-160 Millionen m^3 /Jahr aus. Die Mineralisation des Wassers beträgt vor der Bewässerung 200 bis 480 mg/l, nach der Bewässerung 1000 bis 1200 mg/l. Wegen der Bodenversalzung auf den Feldern ist das Wasser stark salzhaltig, im Herbst steigt der Salzanteil auf 3 g/l. In der Periode der stärksten Mineralisation ist der Wasserverbrauch minimal, weswegen der Einfluss des Bewässerungsgebiets auf die Wasserqualität relativ gering bleibt. Die Mineralisation bei Najmansuek betrug zum Beispiel im Jahr 1982 ca. 1200 mg/l, der Abfluss lag währenddessen nur bei 26 m^3 /s. In den Jahren 1985 und 1986 blieb die Mineralisation am

Unterlauf des Karatal bei Werten um 600 mg/l, was mit einem Anstieg des Abflusses auf bis zu 90 m³/s zusammenhängt. Der BSB₅-Wert variiert zwischen 0,7 und 1,2 mg O₂/l am Fluss-Oberlauf und zwischen 1,1 und 2,2 mgO₂/l (im einzelnen bis zu 3,0 mg O₂/l) am Fluss-Unterlauf. Der Anteil der biogenen Stoffe ist ebenfalls gering. So erreicht die Nitrat-Konzentration am Unterlauf den Wert von 3 mg/l bei einem zulässigen Grenzwert von 9 mg/l. Aufgrund der Selbstreinigung des Flusses ist der Karatal an der Mündung praktisch frei von Ölresten, Kupfer und Zink.

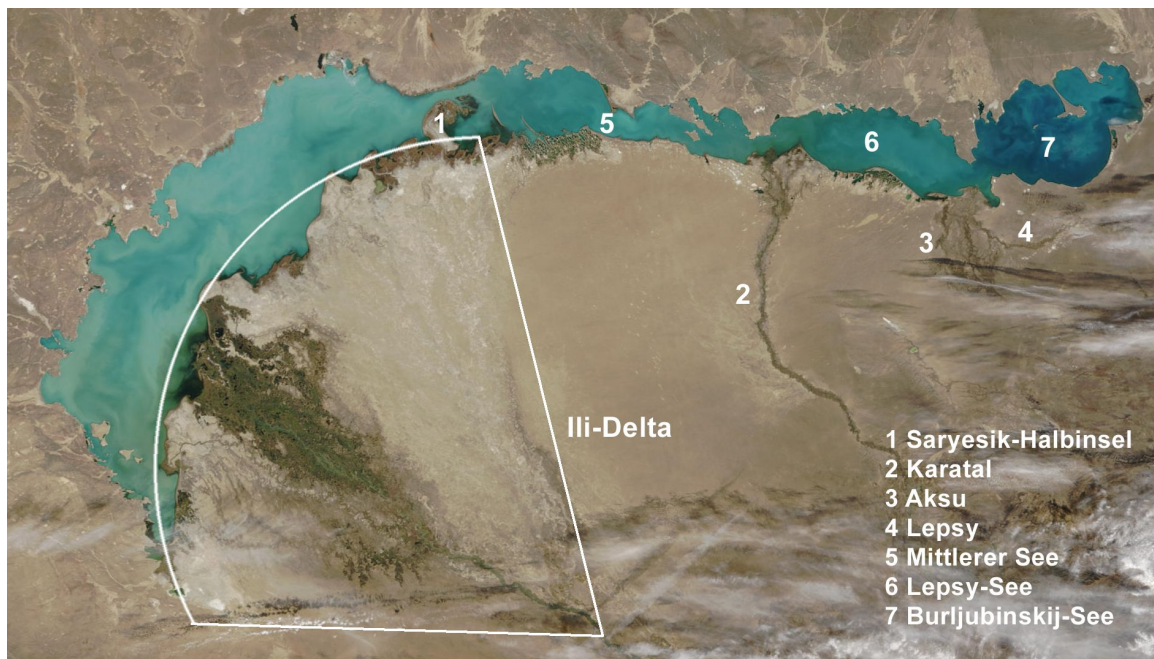
Andere Flüsse beeinflussen die Wasserqualität des Balchaš nur geringfügig. An Lepsy und Aksu liegen alle Schadstoffkonzentrationen innerhalb der zulässigen Grenzen.

5. Das Ili-Delta

5.1 Lage und Überblick

Der Ili mündet von Süden kommend in den westlichen Teil des Balchaš-Sees und hat dort eine ca. 8.000 km² große Sandfläche aufgeschüttet. Von oben hat dieses Binnen-delta vereinfacht die Form eines Kreissegments, dessen Bogen die ca. 200 km lange Uferseite bildet (Abb. 11).

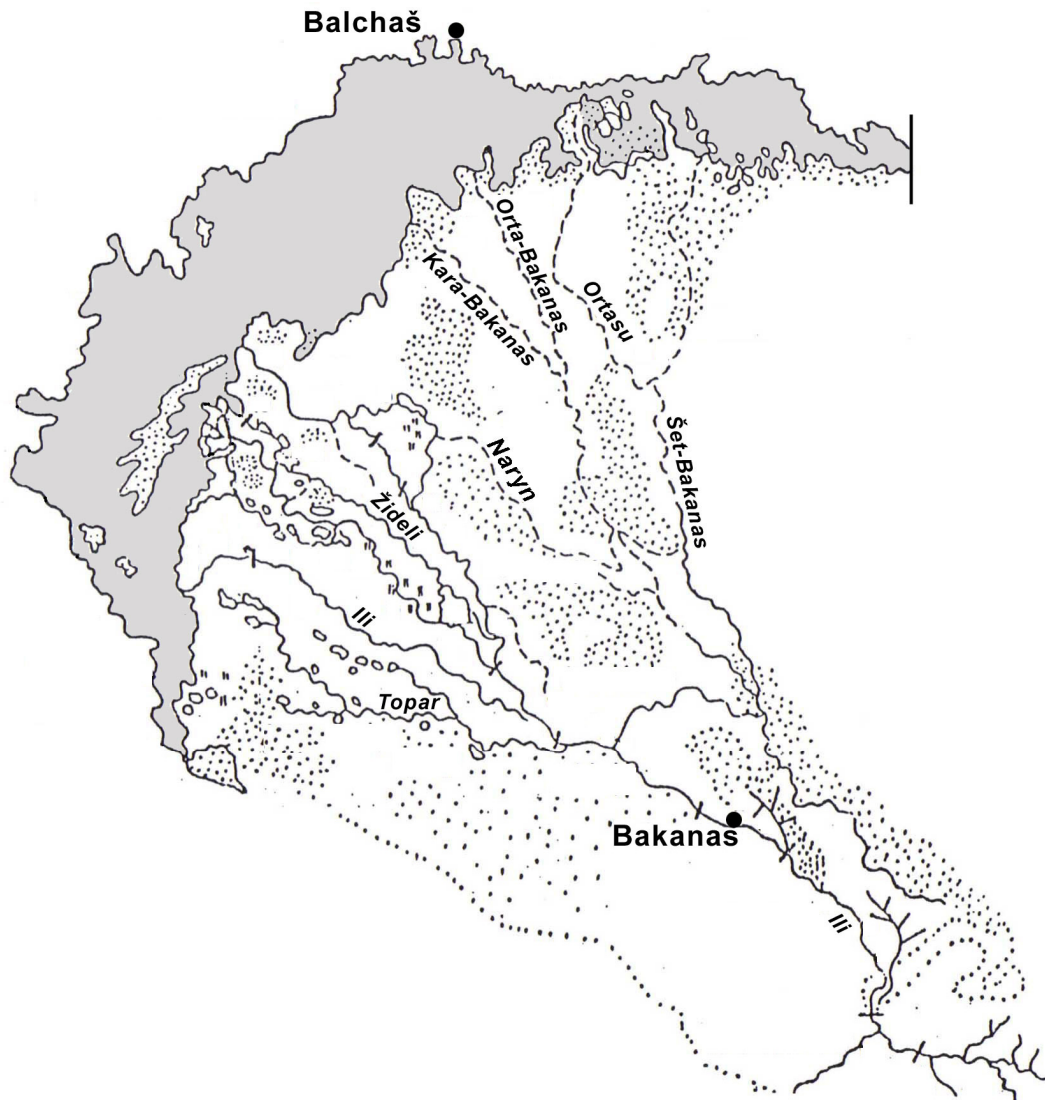
Abb. 11: MODIS-Aufnahme der NASA vom Balchaš-Sees



Die flussaufwärts gelegene Spitze des Segments, wo die Akkumulation der Feststofffracht beginnt, liegt ungefähr bei der Siedlung Bakanas (Abb. 12). Wirtschaftliche Bedeutung besitzt das Delta wegen der dort betriebenen Viehzucht, Fischerei und Jagd; ökologisch stellt es die Lunge des Balchaš dar und beeinflusst chemische und biologische Vorgänge im See.

Den östlichen Teil des Dreiecks bildet das alte, inaktive Delta. Es wird von den Seitenarmen Šet-Bakanas, Ortasu, Orta- und Kara-Bakanas sowie Naryn durchquert (Abb. 12). Die Halbinsel Saryesik (auch: Uzun-Aral-Straße) ist ein lokales Delta des Seitenarms Ortasu, dessen Größe und Höhenniveau darauf hinweisen, dass der Arm schon lange existiert und der Balchaš zur damaligen Zeit einen höheren Wasserstand gehabt hat. Nach einem Durchbruch des Ili unterhalb von Bakanas zu Beginn des letzten Jahrtausends ist das alte Delta trockengefallen und bildet zur Zeit einen Teil der Wüste Saryesik-Atyrau.

Abb. 12: Ili-Delta und westlicher Balchaš-See



Seit dieser Zeit bildet sich das rezente Delta entlang des Ili und seiner drei wichtigsten Hauptarme Žideli, Ili und Topar, die alle ca. 100-150 km lang sind. Die Entwicklung dieser Arme erfolgte in zwei Phasen. In der ersten Phase stellte das Flussbett eine Kette von miteinander verbundenen Seen dar. Auf den großen Wasserflächen kam es durch die hohen Verdunstungsraten zu großen Wasserverlusten. Schließlich wurden die Verbindungsstellen zwischen den Seen breiter und es kam in einer zweiten Phase zur Bildung von Seitenarmen. Die Wasserverluste wurden geringer, die Fließgeschwindigkeit höher und die Feststofffracht wurde weit in den See hinein getragen, wo sie sich als Sandbank ablagerte. Schließlich wurde auch in den Seitenarmen sedimentiert, wodurch es zur Aufhöhung der Flussbetten bis hin zum seitlichen Ausbruch kam. Dadurch entsteht ein neuer Seitenarm, während der alte trocken fällt.

5.2 Substrat, Vegetation und Landschaftstypen

Typisch für das Landschaftsbild zwischen den Wasserläufen sind Barchane, wassergefüllte Senken sowie beetförmige, hügelige Sandflächen. Das gesamte Deltagebiet besteht aus quartären Sedimenten, die im Durchschnitt 300 m Mächtigkeit erreichen /123/. Es lassen sich fluviale, limnologisch-fluviale und äolische Ablagerungen unterscheiden.

Fluviale Ablagerungen sind 200-300 m mächtig und bestehen aus gelb-grauen Lehmen unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzungen. Limnologisch-fluviale Ablagerungen beschränken sich auf die Überschwemmungszone entlang der Küste und sind durch grau-, braun- und blaufarbigem Schluff und Lehm repräsentiert. Sie weisen oft Salzanreicherungen auf und reichen bis 20 m und mehr in die Tiefe /131/. Äolische Ablagerungen sind durch beet- und hügelartige Sanddünen gekennzeichnet, die durch Zerstörung und Umverteilung von limnologisch-alluvialen und alluvialen Ablagerungen entstanden sind. Die Sandbeete und Sandhügel erreichen Höhen von 10 bis 20 m. Die oberen Horizonte werden je nach Abstand zum Grundwasserspiegel von wiesen- und sumpftypischen Böden oder von versalzten, wüstentypischen Takyren gebildet.

Die Vegetation des Deltas ist durch Bujurgun-Wermut-Arten und auf den Sandflächen durch Wermut-Soljanka-Arten charakterisiert. Bei den Sträuchern sind Džingil-Arten, Teresken und Saksaul am häufigsten vertreten. In den Küstenbereichen sind Soljanka- und Karabarak-Arten verbreitet /131/.

Auf den Sumpfböden entlang der Wasserarme dominieren Schilfrohrarten, Vejnik-, Weide- und Tugajgewächse, zudem kommen kleine Turang-Haine vor.

An den zahlreichen Seen, Wasserläufen und Sümpfen des Deltas existieren viele Feuchtbiotope, daneben aber auch zahlreiche Trockenstandorte. Diese große Variation der Wasserversorgung bedingt ein Mosaik von unterschiedlichen Vegetationstypen, die mit dem ständigen Wandel der hydrologischen Bedingungen ebenso ständigen Veränderungen unterworfen sind. Die Art des Pflanzenbewuchses steuert dabei wesentlich die Verdunstungsmengen.

Die flächenhafte Ausdehnung der Landschaftstypen kann mit folgenden Formeln /18/ bestimmt werden:

$$F_W = 735 - 0,19H_b$$

$$F_F = 2110 - 0,55H_b$$

$$F_S = 2140 - 0,56H_b$$

$$F_G = 245 \cdot K_q$$

F_W : Wasserfläche (km²)

F_F : Fläche der Feuchtgebiete (km²)

F_S : Fläche des trockenen Schilfgürtels (km²)

F_G : Fläche des periodisch überschwemmten Graslandes (km²)

H_B : Balchaš-Pegel (m)

K_q : Koeffizient für die Flächenvergrößerung,

$$K_q = 0,15 Q_{\max} - 1,24$$

Q_{\max} : Maximum des Ili-Abflusses an der Delta-Spitze (m³/s)

5.3 Hydrographie des Deltas

Charakteristisch für das Delta ist das komplexe System von Seitenarmen und Seen in den Auenbereichen und zwischen den Barchanen. Auf Grund von morphologischen und hydrologischen Merkmalen kann das Ili-Delta in drei getrennte Bereiche aufgeteilt werden. (Abb. 12).

Das *Topar-System* umfasst den linksseitigen Teil des Ili-Deltas. Sein Anfang bilden die Seitenarme Topar I und Topar II. Zur Zeit bezeichnet man den Wasserlauf, der das System speist als Suminka, wobei es zu natürlichem Abfluss nur bei höheren Wasserständen im Ili kommt. Deshalb wird die Wasserversorgung dieses Systems künstlich durch Ausbaggerungen gewährleistet.

Das *Ili-System* besteht aus einem mäandrierenden Ili-Seitenarm, der in seiner Mündung ein kleines Delta aufschüttet. Früher war dieser Seitenarm der wichtigste Wasserlauf im Delta, nach anhaltender Sedimentation entwickelte er sich zu einem zweitrangigen Wasserlauf mit etwa 7% der gesamten Abflusskapazität.

Das *Židelij-System* befindet sich im rechtsseitigen Teil des aktiven Deltas und ist flächenmäßig der größte Teilbereich. Es wurde in den Jahren von 1907 und 1908 gebildet. Bereits in den vierziger Jahren war seine Abflusskapazität deutlich größer als die des Ili-Systems. Zur Zeit beträgt sie ca. 90% des gesamten Abflusses. Das Židelij-System ist durch eine komplizierte Hydrographie geprägt: das Wasser verteilt sich über

zahllose Wasserläufe, Seen und Sümpfe. 24 km nach der Abspaltung des Žideli spaltet sich ein großer Wasserlauf Kogaly ab, der mit 70% des Gesamtabflusses der bedeutendste Wasserlauf im Delta ist. 20 km nach der Kogaly-Abspaltung spaltet sich der Paršinskij-Arm, über den ein Teil des Abflusses wieder dem Žideli zugeleitet wird.

Der Mechanismus der Flussbettverlagerung wiederholt sich ständig an allen Seitenarmen. In den letzten Jahren flossen ca. 80% des Ili-Wassers über den Kogaly-Arm. Der Kogaly durchbrach die zahlreichen Seeketten und floss mit dem Iir zusammen. Das Flussbett des Kogaly wurde stark mit Sand aufgeschwemmt, es liegt bereits 0,4 bis 1,0 m höher als das der anderen Arme. Wenn der Prozess weiterhin so abläuft, wird das Wasser des Kogaly in eine Niederung durchbrechen. Dann beginnt eine neue Phase, die am Kogaly durch niedrige Wasserstände gekennzeichnet sein wird.

5.4 Abflussverhältnisse vor und nach dem Bau des Kapčagaj-Staudammes

Zur Überwachung des Wasserhaushaltes wurden im Ili-Delta der Abflusspegel Ušžarma im oberen Teil des Deltas sowie eine Messstation unmittelbar an der Mündung eingerichtet. Nach der Meinung von Dostaj (1999) eignen sich die Daten der Station Ušžarma allerdings nicht für eine Beurteilung der Lage, weil der Ili hier in drei Arme verzweigt ist, die sich permanent verlagern. Wesentlich zuverlässiger sind die Messungen der flussaufwärts gelegenen Station Ilijskoje aus der Zeit von 1911 bis 1969. Nach dem Bau des Kapčagaj wurde diese Messstation in den Dammbereich verschoben und nennt sich „Illi-Fluss“ oder „Uročišče-Kapčagaj“ (Kapčagaj-Verengung). Eine Untersuchung im Jahr 1987 auf der Strecke zwischen dem Dammbereich und der Delta-Spitze zeigte nur geringfügige Abflussveränderungen. Es kommen hier keine Abflüsse hinzu, da der einzige Zufluss Kurty fast vollständig für die Bewässerung genutzt wird. Deswegen kann die Station Ilijskoje am Kapčagaj zur Bemessung des Zuflusses in das Delta herangezogen werden.

Zur Abschätzung des natürlichen Abflusses in das Delta müssten eigentlich die Messreihen in einem anthropogen ungestörten Regime benutzt werden. Solche Messreihen fehlen jedoch, da die Bewässerung in der Region bereits seit Jahrhunderten existiert. Deswegen kann nur von einer „naturnahen“ Messperiode mit einem Einfluss der Bewässerung auf den Abfluss von unter 5% gesprochen werden. Die Analysen der Messungsreihen zeigen, dass die Zeit von 1911 bis zum Bau des Kapčagaj 1969 als naturnahe Periode bezeichnet werden kann.

Die Verteilung des Abflusses innerhalb eines Jahres ist sehr ungleichmassig. Im natürlichen Abflussregime lassen sich jahreszeitlich drei hydrologische Perioden unterscheiden, das Frühjahrshochwasser, das Sommermaximum und die Niedrigwasserperiode im Herbst und Winter. Im Frühjahr steigen die Pegel um 1 bis 1,5 m an, aber nur für

einen kurzen Zeitraum. Ein weiterer Wasseranstieg ist ab Anfang Mai zu beobachten, der dann bis Ende August oder Anfang September andauert. Das Maximum wird Ende Juli oder Anfang August verzeichnet. Nach dem Rückgang im September beginnt die Periode der Minimalabflüsse.

Während der Eisbildung auf dem Ili zum Winterbeginn treten einige episodische Wasseranstiege durch Eisstau auf. Nach der Schließung der Eisdecke kommt es aufgrund des Widerstandes und des Eisdrucks zu einem Anschwellen des Flusses (um ca. 1m und mehr). Das darauf folgende Aufbrechen der Eisdecke wird ebenfalls von einem Stau durch Brucheis und mit einem nachfolgenden Anstieg der Pegel begleitet. Nach dem Verschwinden der Eisbedeckung ist ein rascher Rückgang des Wasserpegels zu beobachten (bis zu 1 m am Oberlauf).

Der mittlere Abfluss des Ili der Periode zwischen 1930 und 1969 betrug $468 \text{ m}^3/\text{sec}$ bzw. $14,75 \text{ km}^3/\text{Jahr}$. Das Maximum ($669 \text{ m}^3/\text{sec}$ bzw. $21,1 \text{ km}^3/\text{Jahr}$) wurde im Jahre 1959 beobachtet und das Minimum im Jahr 1943 ($348 \text{ m}^3/\text{sec}$ bzw. $11,0 \text{ km}^3/\text{Jahr}$) (Tab. 30). Der Variationskoeffizient des jährlichen Abflusses beträgt 0,17 und der Asymmetriekoeffizient 0,51.

Tab. 30: Gemessene Jahresabflüsse des Ili an der Kapčagaj-Enge von 1930 bis 1969 (vor dem Bau des Staudammes)

Jahr	m^3/sec	km^3	Jahr	m^3/sec	km^3
1930	443	14,0	1952	478	15,1
1931	558	17,6	1953	448	14,1
1932	418	13,2	1954	539	17,0
1933	391	12,3	1955	474	14,9
1934	514	16,2	1956	529	16,7
1935	462	14,6	1957	370	11,7
1936	530	16,7	1958	581	18,3
1937	521	16,4	1959	669	21,1
1938	366	11,5	1960	627	19,8
1939	474	14,9	1961	419	13,2
1940	426	13,4	1962	371	11,7
1941	602	19,0	1963	412	13,0
1942	559	17,6	1964	495	15,6
1943	348	11,0	1965	374	11,8
1944	429	13,5	1966	487	15,4
1945	422	13,3	1967	390	12,3
1946	500	15,8	1968	358	11,3
1947	428	13,5	1969	607	19,1
1948	410	12,9	Mittel	468	14,75
1949	450	14,2			
1950	464	14,6			
1951	389	12,3			

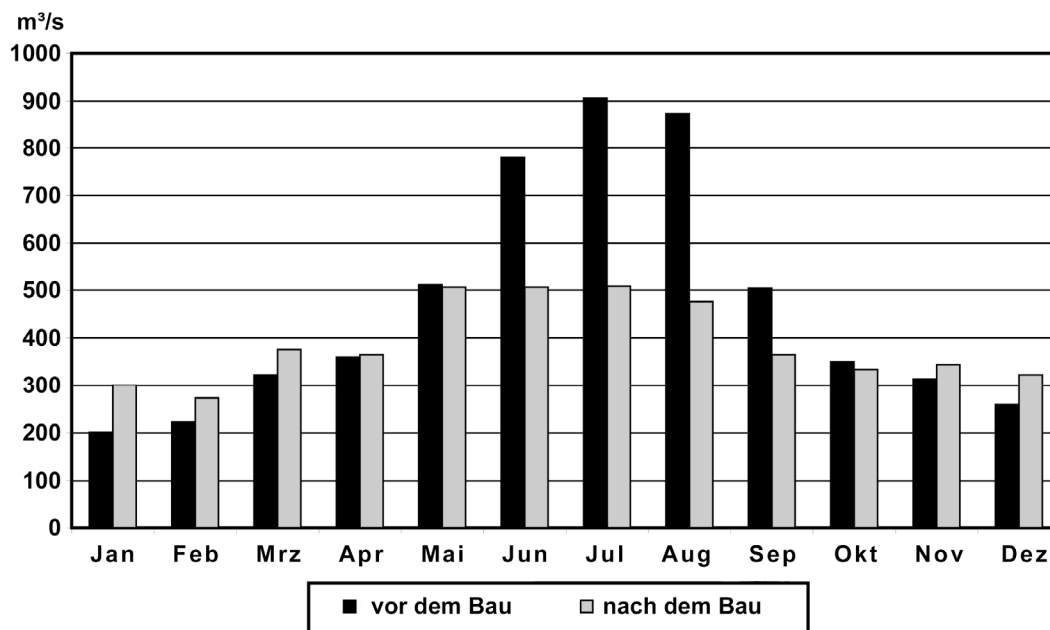
Nach dem Bau des Kapčagaj-Stausees verringerte sich der Abfluss des Ili und betrug im Zeitraum 1970-1995 nur noch 390 m³/s bzw. 12,2 km³/Jahr (Tab. 31), was im Vergleich zum naturnahen Zeitraum einer Abnahme von 17% entspricht.

Tab. 31: Gemessene Jahresabflüsse des Ili an der Kapčagaj-Enge von 1970 bis 1995 (nach dem Bau des Staudammes)

Jahr	m ³ /sec	km ³	Jahr	m ³ /sec	km ³
1970	321	10,1	1981	437	13,8
1971	392	12,4	1982	394	12,4
1972	339	10,7	1983	322	10,2
1973	483	13,7	1984	337	10,6
1974	377	11,9	1985	344	10,8
1975	372	11,7	1986	332	10,5
1976	359	11,3	1987	469	14,8
1977	346	10,9	1988	548	17,3
1978	332	10,5	1989	476	15,0
1979	363	11,4	Mittel	390	12,2
1980	421	13,3			

Vor der Regulierung durch den Kapčagaj betrug die Anteile im Frühjahr 21%, im Sommer 46%, im Herbst 21% und im Winter 12%. Nach der Regulierung reduzierte sich im Sommer der Abfluss um 40%, der Winter-Abfluss stieg dagegen um 30% an. Die jahreszeitliche Verteilung beträgt nun 21%, 24%, 32% und 22% (Abb. 13).

Abb. 13: Mittlere Monatsabflüsse des Ili in der Kapčagaj-Enge vor und nach dem Bau des Stausees



Quelle: Eigene Darstellung

Auf Grund der permanenten hydrographischen Veränderungen im Delta ist die Abflussverteilung sehr kompliziert. Sie hängt von der Abflusskapazität einzelner Seitenarme ab. Diese wird vor allem durch die aktuelle Phase im Zyklus der Akkumulation bestimmt. Das Topar- und das Ili-System befindet sich in der letzten Entwicklungsphase, wo Sedimentation und Erhöhung des Flussbetts dominieren. Durch Ausbaggerungen und den Bau von Dämmen und Kanälen wird versucht, die Entwicklung zu steuern, was wiederum zusätzliche Veränderungen der Abflussbedingungen nach sich zieht.

Tab. 32: Jahreszeitliche Verteilung des Abflusses in den Flussarmen des oberen und unteren Ili-Deltas nach dem Bau des Kapčagaj-Stausees (1970 – 1989)

		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Oberes Delta														
Žideli, km 16	m³/ s %	266 6,3	272 6,5	341 8,1	354 8,4	420 10,0	433 10,3	406 9,7	397 9,4	353 8,4	330 7,9	325 7,7	305 7,3	350 100
Ili, km 1	m³/ s %	19,2 7,4	18,4 7,1	23,9 9,3	18,9 7,3	26,2 10,2	29,8 11,6	28,3 11,0	25,0 9,7	19,6 7,6	16,9 6,6	16,6 6,4	14,8 5,8	21,5 100
Topar (Suminka)	m³/ s %	14,3 7,4	14,7 7,6	17,2 8,9	12,7 6,5	19,9 10,3	21,0 10,8	20,5 10,6	19,4 10,0	14,8 7,6	13,7 7,1	13,2 6,8	12,5 6,4	16,2 100
Unteres Delta														
Ili, oberh. Žideli	m³/ s %	12,1 6,0	12,3 6,2	18,9 9,4	18,7 9,4	20,1 10,0	24,7 12,3	20,8 10,4	19,9 10,0	15,3 7,7	13,4 6,7	12,9 6,5	10,7 5,4	25,0 100
Bajminej, Mündung	m³/ s %	33,8 7,1	35,2 7,4	38,8 8,1	44,0 9,2	43,1 9,0	43,1 9,0	40,8 8,6	40,5 8,5	40,1 8,4	40,2 8,4	39,9 8,4	37,9 7,9	39,8 100
Iir, Mündung	m³/ s %	135 5,8	143 6,2	172 7,4	247 10,7	229 9,9	223 9,6	207 9,0	200 8,6	197 8,5	199 8,6	193 8,3	171 7,4	193 100
Naryn, Mündung	m³/ s %	12,4 6,4	11,0 5,9	13,3 7,1	21,2 11,3	21,6 11,5	20,8 11,1	17,6 9,4	16,4 8,8	15,5 8,3	13,4 7,2	13,0 7,0	10,9 5,8	15,6 100
Balakaškan	m³/ s %	6,9 5,2	8,0 6,0	9,2 7,0	14,4 10,9	15,2 11,5	13,2 10,0	11,5 8,7	11,0 8,3	11,3 8,5	12,1 9,1	11,0 8,3	8,6 6,5	11,0 100

Naryn: 1970-1976, 1987-1989; Balakašan: 1984-1989

Die Abflussverteilung zwischen den wichtigsten Seitenarmen blieb durch den Bau des Dammes im wesentlichen unverändert. Wie früher gelangen ca. 90% des Abflusses in das Žideli-System. (Tab. 32). Der Zufluss in den Balchaš erfolgt hauptsächlich über die Arme Ili, Bazarbaj, Čubar-Kunan und Naryn. In jüngerer Zeit entstanden mit dem Kanal Balakaškan, der den Iir anzapft und dem Karauzek, der aus einem Kanal vom Bajnem abzweigt, noch zwei kleinere Wasserläufe, die in den See münden. Anteilsmäßig lie-

fern der Iir 61%, Čubar-Kunan 20%, Bazarbaj 7% und Ili 5% des Jahresabflusses. Den Rest des gesamten Zuflusses aus dem Delta erfolgt über den Naryn, Balakaškan und Karauzek.

Das Abflussregime hat sich durch den Bau des Kapčagaj-Staudammes gravierend verändert. In den 1970er bis 1990er Jahren reduzierte sich der Abfluss um 20%. In der Folge kam es im Balchaš zu einer Seespiegelabsenkung und daraus resultierend zu einer Verstärkung der Tiefenerosion. Die seeähnliche Entwicklungsphase des Seitenarms Kogaly-Iir wurde abgekürzt, so dass im Anschluss fast der gesamte Ili-Abfluss als starke Strömung in den Balchaš floss. Das Resultat dieser Entwicklung war eine kontinuierliche Austrocknung der übrigen Arme. Im Delta führte dies zur Verkleinerung der Wasserflächen um zwei Drittel und zur Ausbreitung von ausgetrockneten Auwaldflächen um das Vierfache. Die futterwirtschaftlich genutzten Flächen reduzierten sich fast um die Hälfte. Weiden und Tugai-Wälder trockneten aus, und es kam zur Intensivierung der Desertifikationsprozesse. Darauf reagierten die Landwirte im Delta mit spontanen Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserniveaus, was allerdings letztendlich noch größere Wasserverluste zur Folge hatte.

Erhöhte Winterabflüsse aus dem Kapčagaj-Stausee zur Deckung des erhöhten Energiebedarfs im Winter führen im Delta zu ausgedehnten Überschwemmungen. Seit der Inbetriebnahme des Kapčagaj-Kraftwerkes kommt es wiederholt zu stark erhöhten Wasserablässen (bis 1000 m³/Sek. und mehr) im Winter. Diese führen zu Eiszerstörung mit Staubbildung und damit zu einem zusätzlichen Pegelanstieg. Dieser führt zu erheblichen Schäden in Landwirtschaft und Natur. Siedlungen, Weiden, usw. werden überschwemmt. Ökologische Auswirkungen sind die Dezimierung von Wasserratten und die Verschiebung von Fischüberwinterungsplätzen in Flachwasserbereiche, die im Sommer abgeschnürt werden und austrocknen.

Ein Beispiel für die Folgen des Staudammbaus ist das Žideli-System, wo einer der wichtigsten Wasserläufe zu versiegen drohte. Im Jahr 1987 begann man hier (auf ca. 25 km, nach der Abzweigung des Kogaly) auf Grund einer Empfehlung des Geographischen Instituts in Almaty mit Ausbaggerungen. Dadurch stieg die Abflussmenge des Armes wieder an, so dass im Anschluss wieder ca. 25% des Žideli-Systems hier abflossen.

In den letzten Jahren wird auch eine Reaktivierung des Paršinskaja-Arms beobachtet. Er fließt aus dem Kogaly und mündet in den Žideli. Im Jahre 1983 flossen nur 4 bis 8 m³/s über den Paršinskaja ab; nach 1987 stieg die Menge auf 20 m³/s an, mit weiterhin steigender Tendenz. Es besteht die Hoffnung, dass sich die Abflussmengen des Kogaly bei einer Aufsedimentierung des Žideli nicht wesentlich verändert. Trotzdem scheint es notwendig, Maßnahmen zur Stärkung des Židely durchzuführen. Dabei ist anzumerken, dass sich am Unterlauf des Žideli mit dem Asubaj das größte Seesystem des Deltas befindet, das auf eine ständige Wasserzufuhr angewiesen ist. Der Asubaj besitzt

große Bedeutung für die Fischerei und ist der am stärksten besiedelte Bereich im Delta. Andererseits gilt es, mit der Wasserumverteilung zwischen Kogaly und Žideli unerwünschten Aufschwemmungen entlang des Kogaly vorzubeugen. In den Jahren 1987 und 1988 begann das Kogaly-Wasser bereits, auf die angrenzenden Niederungen auszutreten. Dies führte zur Überschwemmungen von Weideland und der Siedlungen Ajnakol' und Koškarbaj, die mit großem Aufwand evakuiert werden mussten.

Um dieser unkontrollierten Entwicklung entgegenzuwirken, schlugen Spezialisten des „Kasachischen Hydrologischen Projektierungsinstituts“ vor, den oberen Abschnitt des Žideli auszubaggern und einen Teil des Kogaly-Abflusses überzuleiten. So wurden im Sommer 1986 umfangreiche Baggerarbeiten am Oberlauf des Žideli durchgeführt. Die Abflusskapazität des Deltas stieg dadurch um $100 \text{ m}^3/\text{s}$, was den Seespiegel des Balchaš stabilisierte.

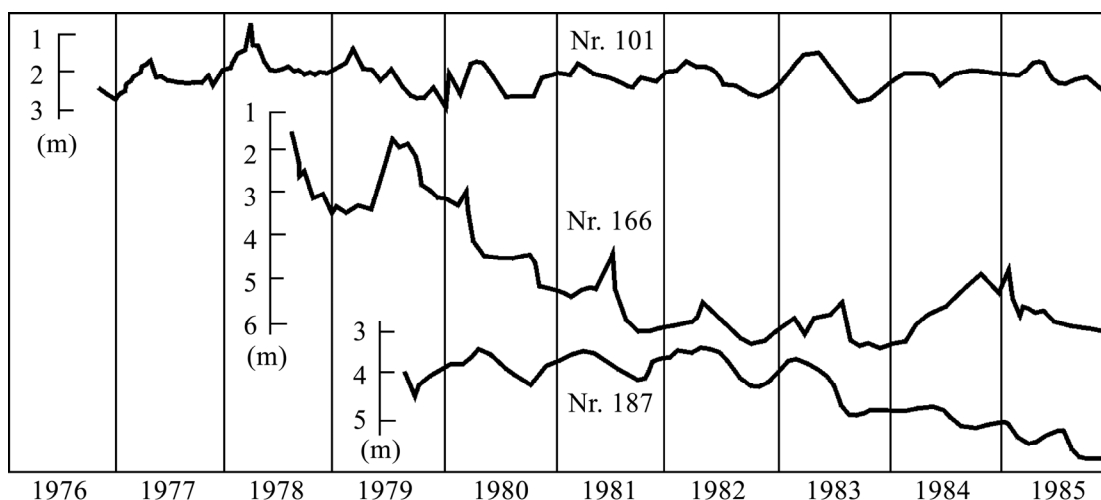
5.5 Die Pufferwirkung des Deltas

Das Ili-Delta vermag große Mengen an Wasser in seinen Oberflächengewässern, im Grundwasser, im Boden und in der Vegetation zu speichern. Da diese Speicher zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Füllstände aufweisen können, wirkt das Delta als effektiver Puffer für den Balchaš-Seespiegel.

Aufgrund der zahlreichen offenen Wasserflächen und Sümpfe geht ein bedeutender Teil des Wassers durch Verdunstung und Transpiration durch Pflanzen verloren. Ein weiterer Teil infiltriert in die Ufer und füllt dort die Grundwasserkörper auf. Je wasserreicher ein Jahr ist, desto mehr Wasser geht auch verloren, kann aber in Trockenjahren teilweise dem Kreislauf wieder zugeführt werden. Maximale Schwankungen des Grundwasserniveaus treten in unmittelbarer Nähe der Wasserläufe auf. Aus Abb. 14 wird ersichtlich, dass in den Bereichen der alten Wasserläufe (Messstellen 166, 187) das Grundwasserniveau wesentlich niedriger ist.

Um die Menge des verlorengegangenen Wassers einzuschätzen, müssen die Abflüsse an der Delta-Spitze und an der Mündung ermittelt werden. Hierzu wurden die Daten von 1953 bis 1969 benutzt. Die Analyse zeigt, dass bis zum Kapčagaj-Bau die gesamten Wasserverluste im Delta $3,2 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ oder 21% des Gesamtabflusses betragen (Tab. 33). Das Maximum wurde im wasserreichsten Jahr (1959) verzeichnet ($6,1 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ bzw. 30% des Abflusses), das Minimum im Jahr 1957 ($1,2 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ bzw. 11% des Abflusses).

Abb. 14: Monatsmittel des Grundwasser-Flurabstandes an drei Messstellen



Tab. 33: Durchschnittliche Wasserverluste im Ili-Delta, 1953 bis 1969 (vor dem Bau des Kapčagaj-Stausees)

	Zufluss		Abfluss		Verlust		
	m ³ /s	km ³	m ³ /s	km ³	m ³ /s	km ³	%
1953	473	14,9	382	12,0	91	2,9	19
1954	562	17,7	397	12,5	165	5,2	29
1955	475	15,0	383	12,1	92	2,9	19
1956	516	16,3	381	12,0	135	4,3	26
1957	358	11,3	320	10,1	38	1,2	11
1958	567	17,9	427	13,5	140	4,4	25
1959	637	20,1	444	14,0	193	6,1	30
1960	605	19,1	438	13,8	167	5,3	28
1961	431	13,6	387	11,6	64	2,0	15
1962	359	11,3	308	9,7	51	1,6	14
1963	401	12,6	324	10,2	77	2,4	19
1964	480	15,1	381	12,0	99	3,1	21
1965	368	11,6	320	10,1	48	1,5	13
1966	479	15,1	369	11,6	110	3,5	23
1967	392	12,4	325	10,2	67	2,2	18
1968	367	11,6	312	9,8	55	1,8	16
1969	643	20,3	512	16,1	131	4,2	21
Mittel	477	15,1	377	11,8	102	3,2	21

Wegen des Baus des Kapčagaj überstieg im Jahr 1970 der Zufluss in das Delta den Abfluss in den Balchaš. Dies erklärt sich durch die starke Durchfeuchtung des Deltas im äußerst wasserreichen Jahr 1969 und durch den starken Rückhalt zu Beginn der Kapčagaj-Auffüllung 1970. Aus diesen Gründen wird das Jahr 1970 in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Die durchschnittlichen Wasserverluste nach dem Bau des Stausees betragen 2,98 km³/Jahr (bei einer Schwankungsbreite von 1,17 bis 5,27 km³/Jahr) oder 24% (Tab. 34).

Tab. 34: Durchschnittliche Wasserverluste im Ili-Delta, 1970 bis 1989 (nach dem Bau des Kapčagaj-Stausees)

	Zufluss		Abfluss		Verlust		
	m ³ /s	km ³	m ³ /s	km ³	m ³ /s	km ³	%
1971	393	12,4	347	10,9	46	1,45	12
1972	340	10,7	294	9,27	46	1,45	14
1973	426	13,4	323	10,2	103	3,25	24
1974	381	12,0	291	9,18	90	2,84	24
1975	326	10,3	289	9,12	37	1,17	11
1976	319	10,1	254	8,01	65	2,05	20
1977	343	10,8	269	8,48	74	2,33	22
1978	325	10,3	249	7,85	76	2,40	23
1979	376	11,9	259	8,17	117	3,69	31
1980	399	12,6	280	8,83	119	3,75	30
1981	438	13,8	291	9,18	147	4,64	34
1982	420	13,2	253	7,98	167	5,27	40
1983	352	11,1	231	7,29	121	3,82	34
1984	358	11,3	239	7,54	119	3,75	33
1985	370	11,7	276	8,71	94	2,96	25
1986	337	10,6	271	8,55	66	2,08	20
1987	478	15,1	358	11,3	120	3,78	25
1988	551	17,4	453	14,3	98	3,10	18
1989	484	15,3	396	12,5	88	2,78	18
Mittel	390	12,3	296	9,3	94	2,98	24

Die relativen Wasserverluste in den Jahren 1988 bis 1989 sind mit denen vor dem Bau des Stausees vergleichbar. Dieses lässt sich durch höhere Niederschlagsmengen erklären. Die absoluten Zuflussmengen ins Delta haben sich jedoch reduziert, was eindeutig mit dem Bau des Kapčagaj in Verbindung gebracht werden kann.

Das „Kasachische Hydroprojektierungs-Institut“ führte im November-Dezember 1974 Abflussuntersuchungen am unteren Ili vom Kapčagaj bis zur Mündung durch. Stündliche Abflussmessungen ergaben eine tageszeitliche Schwankungsbreite am Kapčagaj von 145 bis 815 m³/s. Die Pegelschwankungen am Damm betragen 2 m, an der Delta-Spitze ca. 0,5 m und im Mündungsgebiet 0,2-0,4 m. Eine zusätzliche Analyse zeigte, dass sich die Flutwellen überlappen.

Die Messungen wurden im November 1989 vor der Eisbildung auf dem Ili und im Januar 1990 bei geschlossener Eisdecke wiederholt. Am Kapčagaj lag der Abfluss zwischen 150 und 1024 m³/s, die Pegelschwankung betrug am Damm 3 m und an der Delta-Spitze ca. 0,2 m.

Diese geringere Schwankung in der Delta-Spitze trotz einer gleichzeitigen größeren Schwankung am Damm erklärt sich durch die Pegelstände im Ili-Unterlauf, die in den Jahren 1989 und 1990 um 0,8 bis 1,0 m niedriger waren als 1974. Dies bezeugt die ausgleichende Pufferwirkung des Deltas auf den Abfluss. Das bei den Messungen teilweise vorhandene Eis auf dem Fluss war noch dünn und konnte durch den Wasserdruck leicht zerstört werden.

Die Verdunstung von offenen Wasserflächen wird zusammen mit der Transpiration durch Pflanzen berechnet, wobei sowohl empirische Beobachtungen als auch pflanzenphysiologische Abschätzungen der Transpiration von Schilfrohrgesellschaften in die Berechnung eingehen **/16,184/**. Es wird angenommen, dass die Verdunstung von Gewässerbereichen mit halbversunkenem Schilfrohrbewuchs (sog. „Epp“) die Verdunstung von offenen Wasserflächen ohne Bewuchs um das 1,44 fache übersteigt **/25/**. So berechnet beträgt die durchschnittliche Verdunstung 1495 mm/Jahr, etwas mehr als in der Literatur bisher angegeben wurde (T.M. Gelbuch: 1400 mm, I.S. Sosedov: 1447 mm, A.N. Žirkevič: 1460 mm, I.A. Šiklomanov: 1415 mm).

Was die Verdunstung von Auenflächen betrifft, ermittelten **/16/** und **/186/** anhand von Felduntersuchungen 470 bzw. 530 mm/Jahr. Nach **/187/** beträgt der Wasserverlust durch Transpiration auf der bewachsenen Aue 200 bis 530 mm. A.P. Braslavskij **/18/** geht von Verdunstungsraten von 73% gegenüber offenen Wasserflächen aus. Dies ist jedoch nicht durch Messungen abgesichert. Laut Felduntersuchungen von M. Sarsenbaev soll die Evapotranspiration in den Auen sogar 300% derjenigen über offenen Wasserflächen ausmachen.

Die Verdunstung von offenen Wasserflächen wird anhand folgender Formel **/188/** bestimmt:

$$E = 0,14n(E_L - e_L)(1+0,72V)$$

E: monatliche Verdunstung (mm)

e_L : Wasserdampfpartialdruck in 2 m Höhe (mbar)

E_L : Sättigungsdampfdruck für die Wassertemperatur (mbar)

$E_L - e_L$: Sättigungsdefizit (mbar)

V: Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (m/s)

n: Dauer der eisfreien Periode (Tage)

Der Gesamtumfang der potenziellen Wasserverluste durch Evapotranspiration berechnet sich dann aus der Summe der Evaporation über offenen Wasserflächen und der Evapotranspiration der einzelnen Landschaftstypen.

Laut **/184/** liegt die aktuelle Evapotranspiration im Delta zwischen 2,94 und 4,02 km³/Jahr, mit einem langjährigen Mittelwert von 3,55 km³/Jahr. Nach 1970 begann das Delta zwar trockener zu werden, die Verdunstung blieb jedoch während der nächsten 10 bis 12 Jahre praktisch unverändert (im Durchschnitt 3,33 km³/Jahr). Anstelle der nach dem Bau des Kapčagaj erwarteten Verringerung der Wasserverluste des Balchaš kam es zu seiner Stabilisierung der Verhältnisse.

Bis 1981 entwickelten sich die Seen mit Schilfbewuchs zu Sümpfen, bei denen die Verdunstung ungefähr gleich blieb. Dies zeigt die hohe Kompensationsfähigkeit des Deltas durch seine Fähigkeit, in feuchten Perioden Wasser zu speichern und dieses in

Trockenzeiten wieder abzugeben. Verdunstungsverluste werden durch die Mobilisierung von Oberflächen- und Grundwasservorräten kompensiert. Dabei schrumpften die Grundwasservorräte am Oberlauf des Ili im Gegensatz zur Messstelle 101 (Abb. 14).

Tabelle 35 verdeutlicht, dass es nach 1981 zu einer Umwandlung von Sumpfgebieten in Weideland gekommen ist. Auf diesen Flächen verdunstet 2 bis 3 mal mehr Wasser als in Feuchtgebieten. Durch diesen Wandel in der Landnutzung erschöpft sich die Kompensationsfähigkeit des Deltas.

Tab. 35: Entwicklung der Ausdehnung von Landschaftstypen im Delta des Ili aus Luftbildern vor 1984, km²

Jahre	Offene Wasserfläche	Wasserpflanzen-Gürtel	Sumpf	Trockenwiese	Halbwüste	Insgesamt
1956	1003	1155	1923	255	3919	8255
1958	911	1140	880	266	5001	8198
1978	575	754	1401	447	5023	8200
1981	379	747	1603	395	5076	8200
1984	354	702	820	1192	5132	8200
Mittel	644	899	1325	511	5032	8411

6. Der Balchaš-See

6.1 Topographie

Die ca. 18.000 km² große Wasserfläche erstreckt sich in ostwestlicher Richtung in Form von mehreren miteinander verbundenen Becken und stellt den zweitgrößten See Zentralasiens dar. Der Balchaš hat eine längliche, sichelähnliche Form, ist 620 km lang und bis zu 60 km breit. Das stark zergliederte Südufer ist durch zahllose Inseln und Halbinseln gekennzeichnet. Bei einem mittleren Wasserstand von 342 m ü. M. beträgt seine durchschnittliche Wassertiefe nur 5,8 m (Tab. 36). Durch die Engstelle des nur 4,2 km breiten und 2,5 m tiefen Saryesik-Sundes (auch: Uzun-Aral-Straße) wird der Balchaš in zwei große Teile getrennt (Abb. 15).

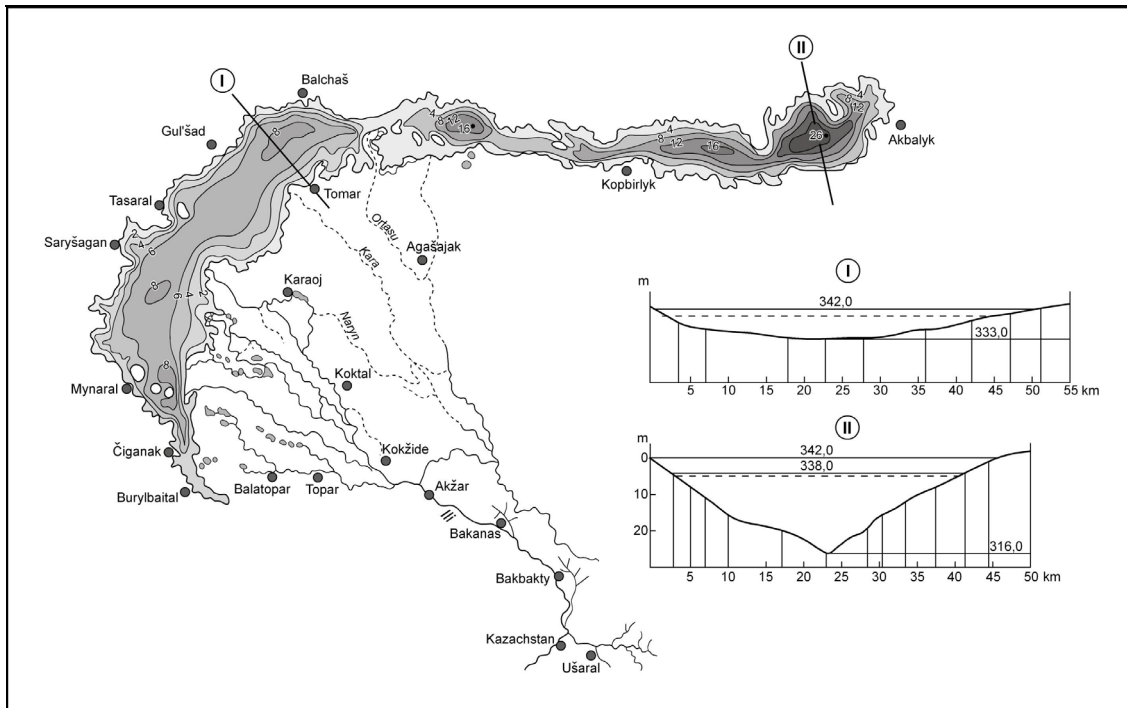
Tab. 36: Mittlere Kenngrößen des Balchaš-Sees für die Jahre 1932 bis 1970

	Westteil	Ostteil	Gesamt
Wasserstand, m ü.M.	342,0	342,0	342,0
Wasservolumen, km ³	48,5	57,5	106,0
Wasserfläche, km ²	10630	7850	18480
Mittlere Tiefe, m	4,7	7,6	5,9
Max. Tiefe, m	9,6	26,0	26,0
Mittlere Breite, km	60	25	-
Mineralisierung, g/l	1,23	3,30	2,26

Der Westteil ist ein großes, aber relativ flaches Süßwasserbecken, das die Bevölkerung als Trinkwasser nutzt. Die Südküste ist relativ flach und mit vielen Buchten und nahe gelegenen Seen versehen. Hier werden große Sandmengen verlagert, was zur Bildung zahlreicher Nehrungen und Dünen (Dosajskaja Kosa) führt. In den Westteil mündet der Ili, dessen Abfluss in der Zeit von 1930 bis 1969 12,0 km³/Jahr (80% des gesamten Abflusses) in den Balchaš betrug. Die Verdunstung liegt hier bei ca. 9,0 km³/Jahr. Die verbleibenden 3 km³ Ili-Wasser fließen jährlich in den Ostteil und führen dabei ca. 1 bis 3 Millionen t Salze mit sich.

Der Ostteil besteht aus drei miteinander verbundenen Becken (Abb. 15): der mittlere See ist ca. 15 m, der Lepsy-See ca. 11 m und der Burlitobinskij-See 26 m tief. Die Nordküste ist stark zerschnitten; es gibt mehrere Felsabschnitte. Die Südküste ist mit Ausnahme der Karabas-Bucht ein Steilhang aus grobkörnigem Sand. Sein Wasser erhält der Ost-Balchaš zur einen Hälfte durch seine Zuflüsse (Karatal, Aksu, Lepsy, Ajagus) und zur anderen Hälfte aus dem Westteil des Sees. Der Gesamtzufluss von durchschnittlich ca. 6,0 km³/Jahr wird komplett verdunstet, was zu einer starken Salz-anreicherung führt.

Abb. 15: Der Balchaš-See (Isobathendarstellung) und das Ili-Delta



Quelle: Dostaj und Tursunov 1997, S. 36; Dostaj 1999, S. 25

6.2 Hydrologische Bilanz

Während des stabilen Seespiegels in den 1960er Jahren (s. Kap. 6.4) erhielt der Balchaš einen jährlichen Zufluss von ca. 15 km^3 Wasser, 80% (12 km^3) davon lieferte der Ili. Außerhalb des Ili-Einzugsgebiets wurden in Kasachstan zusätzlich $6,4 \text{ km}^3$ pro Jahr im Žetysuskij-Alatau gebildet; davon erreichten $3,2 \text{ km}^3$ über die Flüsse Karatal, Aksu und Lepsy ebenfalls den Balchaš. Nach kasachischen Angaben wird mehr als zwei Drittel des Ili-Abflusses in China gebildet, in den 1960er Jahren waren das $17,1 \text{ km}^3$, von denen $12,4 \text{ km}^3$ auf kasachisches Territorium flossen. Heute seien dies nur noch $11,8 \text{ km}^3/\text{Jahr}$, wohingegen die chinesische Seite behauptet, sie lasse $13,3 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ ins Nachbarland fließen. Hier wird deutlich, dass all diese Angaben von politischen Motivationen mitbeeinflusst sind und deshalb sehr vorsichtig interpretiert werden müssen (vgl. hierzu die Arbeit von Christiansen und Schöner 2004).

Grundlage für die Bilanzierung bilden die in /214/ entwickelten Methoden. Folgende Gleichungen beschreiben den Wasserhaushalt des ganzen Sees und seiner beiden Teilbereiche:

$$\Delta V = QO + QU + P - E$$

$$\Delta V_w = QO + QU + P - E - A$$

$$\Delta V_E = QO + QU + P - E + A$$

wobei

ΔV : Veränderung des Wasservolumens (ΔV_w : Westteil, ΔV_E : Ostteil) (km³)

Q_O : Oberflächenzufluss (km³)

Q_U : Grundwasserzufluss (km³)

P : Niederschlag (km³)

E : Verdunstung (km³)

A : Wasseraustausch zwischen Ost- und West-Teil (km³)

Der *Abfluss* ist die wichtigste Größe auf der Gewinnseite der hydrologischen Bilanz. Derzeit wird der Ili-Zufluss durch Messungen an der Mündung bestimmt. Solche Messungen werden vom Kasachischen Hydrometeorologischen Dienst (KazHydroMet) seit 1968 an folgenden Armen durchgeführt: Ili bei der Staatsfarm „Žideli“, Iir bei der Siedlung Iir, Čubar Kunan bei der Siedlung Nauryzbaj (1,5 km oberhalb der Naryn-Mündung). Diese Stationen reichen jedoch nicht aus, um den gesamten Abfluss des Ili im Mündungsbereich zu erfassen. In einer Feldstudie des Hydrographischen Instituts wurde festgestellt, dass große Wassermengen über den Bajmenej und einem vom Iir abzweigenden Kanal abfließen. Deshalb wurden zwei zusätzliche Stationen eingerichtet. Derzeit kann also davon ausgegangen werden, dass der gesamte Abfluss erfasst wird. Bis 1982 mussten Korrekturen vorgenommen werden, weshalb z.B. im Nachschlagewerk „Wichtigste hydrologische Charakteristika“ gemessene und berechnete Abflusswerte verzeichnet sind. Berechnete Werte wurden teilweise durch empirisch abgeleitete Korrelationen mit dem Abfluss des Čubarkunan gebildet.

Bei der Festlegung des Zuflusses in den Ostteil wurden Daten von folgenden Stationen genutzt: Najmansuek-Enge (Karatal), Staatsfarm Kyzylton (Aksu), Staatsfarm Lepsy (Lepsy). Die Abflussverluste unterhalb dieser Stationen sind unerheblich /108, 168/.

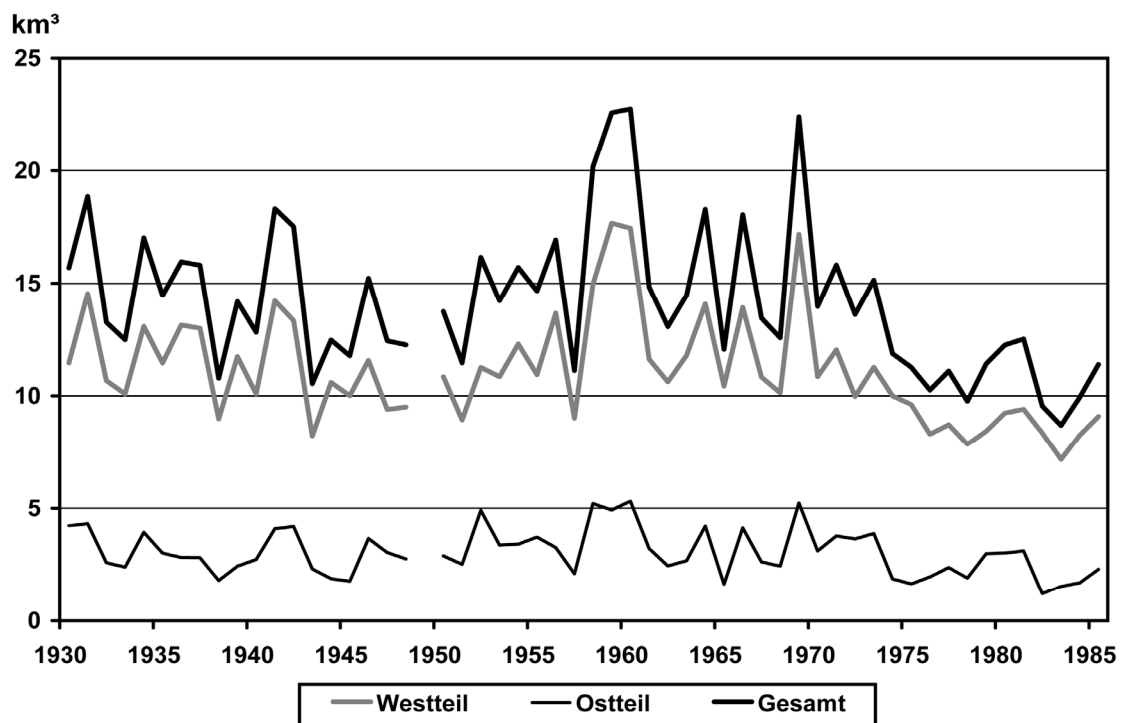
Am Karatal-Unterlauf gibt es zwei Stationen mit relativ langen Messreihen: Uštobe (seit 1916) und Najmansuek-Enge (seit 1940). Nach der Schließung dieser Stationen wurden die Messungen an der Siedlung Razdol'noe im Jahr 1974 wieder aufgenommen. Die Messreihe an diesem Punkt wurde durch eine Extrapolation mit der Station Uštobe verlängert (Korrelationskoeffizient $0,96 \pm 0,03$).

Die längste Messreihe, seit 1934, existiert am Lepsy. Der Abfluss wurde an der Mündung nahe der Staatsfarm Lepsy (16 km oberhalb der Mündung) gemessen.

In der Aksu-Mündung wurden Messungen von 1940 bis 1966 und von 1981 bis 1988 durchgeführt. Zur Schließung von Datenlücken wurden Korrelationen mit Abflussmessungen am Sarykan benutzt.

Sämtliche Jahresabflüsse sind in Abb. 16 aufgeführt. Die Abflussberechnungen zeigen, dass der Oberflächenabfluss in den Balchaš während der naturnahen Periode (1930 bis 1969) durchschnittlich $15,1 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ betrug, davon flossen $11,9 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ oder 79% in den Westteil. Nach dem Bau des Kapčagaj erreichten nur noch $11,8 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ den See; dabei steuerte der Ili mit $9,3 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ (79%) immer noch den größten Teil bei.

Abb. 16: Oberflächenzuflüsse in den Balchaš-See 1930 – 1986, km^3 .



Quelle: Eigene Darstellung

Niederschläge sind eine wichtige Komponente des Wasserhaushalts des Balchaš. Nach Berechnungen unterschiedlicher Autoren betragen sie 95 bis 250 mm pro Jahr (Tab. 37).

In älteren Untersuchungen wurden oft zu geringe Mengen angegeben, da die Messungen nicht korrigiert wurden. Die herkömmlichen Korrekturverfahren setzen jedoch eine Homogenität der Niederschläge voraus, die in der Realität nicht vorhanden ist. So steigen z.B. die Niederschlagssummen im Balchaš-Gebiet von Westen nach Osten an, genauso wie die Standardabweichung der Jahresniederschlagsmengen (Tab. 38). Solche Besonderheiten in der räumlichen Niederschlagsverteilung können mit der „Metho-

de der optimalen linearen Interpolation“ nach Braslavskij /215/) berücksichtigt werden. Auf der Grundlage dieser Vorgehensweise entwickelte das KazNIGMI eine eigene Methode /25, 209, 210, 212/, die auch in dieser Arbeit zur Anwendung kommt. Demnach beträgt die durchschnittliche Niederschlagsmenge in der naturnahen Periode 200 mm und von 1970-1985 187 mm, was einem Wasservolumen von 3,6 bzw. 3,4 km³ entspricht (Tab. 38).

Tab. 37: Mittlere jährliche Niederschlagsmengen auf der Seeoberfläche nach verschiedenen Autoren

Autor	Zeitraum	Wasserzufluss					
		Westteil		Ostteil		Gesamt	
		km ³	mm	km ³	mm	km ³	mm
A. Šnitnikov	1913-1917	-	-	-	-	4,01	180
L. Blinov	1910-1928	-	-	-	-	4,33	250
L. Blinov	1941-1947	-	-	-	-	3,46	200
G. Junusov	1911-1946	0,83	84	0,79	114	1,65	95
G. Junusov	?	1,18	110	0,98	130	2,16	118
I. Sosedov	1935-1953	-	-	-	-	1,90	110
Hydropojekt	?	-	-	-	-	1,89	100
M. Tarasov	1935-1954	0,93	-	0,77	-	1,70	110
Kazhydropojekt	1934-1958	-	-	-	-	2,30	132
GGI	1911-1946	-	-	-	-	2,30	128
T. Iskendirov	1934-1965	-	-	-	-	3,38	190
R. Kurdin u.a.	1946-1966	1,60	152	1,14	152	2,74	152
A. Žirkevič	1911-1966	1,55	146	1,26	166	2,81	154
V. Golubzov u.a.	1911-1969	-	-	-	-	2,87	154
S. Čistjaeva	1930-1972	-	183	-	199	-	-
KazNII (1985)	1937-1969	1,96	186	1,64	220	3,60	200
KazNII (1985)	1970-1983	1,94	183	1,56	205	3,50	192
KazNIGMI (1988)	1937-1969	1,96	186	1,64	220	3,60	200
KazNIGMI (1998)	1970-1985	1,87	178	1,49	199	3,36	187

Tab. 38: Mittlere Jahresniederschläge (*N*) und ihre Standardabweichung (σ), mm

	Station					Westteil	Ostteil	Gesamt
	Kujgan	Sary-Šagan	Balchaš	Algazy-Ostrov	Aktogaj			
N	200	169	210	213	234	186	220	200
σ	42,2	31,4	47,3	55,6	55,3	33	56	32

Die *Verdunstung* der freien Wasserflächen wurde nach der Formel von /188/ (S. 60) berechnet, diejenige während der Eisbedeckung nach der Formel von P. Kuzmin /134/:

$$E = 0,18 * (1 + 0,684 V) * (e_0 - e_{200}) * n \quad (14)$$

V: Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (m/s)

E_L : Sättigungsdampfdruck für die Wassertemperatur (mbar)

e_L : Wasserdampfpartialdruck in 2 m Höhe (mbar)

n: Dauer der Vereisungszeit in Tagen

Die Mittelwerte der Verdunstungsmengen in der Periode von 1937 bis 1985 betragen für den Westteil 990 mm/a oder 10,3 km³/a, für den Ostteil 1000 mm/a oder 17,5 km³/a, was einem gesamten Verdunstungsverlust von 27,8 km³/a entspricht und gut mit den Angaben anderer Autoren übereinstimmt (Tab. 39).

Tab. 39: Verdunstung von der Seeoberfläche des Balchaš nach Angaben verschiedener Autoren, mm/a

Autor	Periode	Westteil	Ostteil	Gesamt
Junusov (1950)	-	948	948	948
Blinov (1956)	1910-1947	1150	-	-
Ogneva. (1958)	-	950	969	918
Gydropoekt (1958)	1931-1956	1000	-	-
Junusov (1959)	-	960	960	960
Tarasov (1961)	1935-1954	930	952	902
Gydropoekt (1964)	1934-1958	920	-	-
Iskendirov (1968)	1934-1965	1002	-	-
Sosedov (1968)	1935-1954	930	-	-
Kazgidroproekt (1969)	1911-1966	1020	-	-
Žirkevič (1972)	1937-1970	977	1020	873
Braslavskij u.a. (1976)	1936-1975	1032	1031	1033
Fedjušin	1960-1977	1178	1162	1204
KazNII (1985)	1937-1983	1014	1010	1022
Braslavskij u.a. (1988)	1937-1985	989	979	1004

Zur Berechnung des *Wasseraustausches* durch die Engstelle des Saryesik-Sunds wurde vom Kasachischen Hydrometeorologischen Dienst folgende Formel vorgeschlagen: /169/, die sich aus der gemeinsamen Auflösung der Bilanzgleichungen für die beiden Seeteile ergibt:

$$A = K_o (Q_{uw} + Q_{uo}) - K_w (Q_{uw} + Q_{uo}) - K_o * K_w * F * (E_w - E_o)$$

A: Wasseraustausch (km³)

K_o : flächenmäßiger Anteil des Ostteils (F_o/F)

- K_w : flächenmäßiger Anteil des Westteils (F_w/F)
- F : Fläche des gesamten Sees (km^2)
- F_o : Fläche des Ostteils (km^2)
- F_w : Fläche des Westteils (km^2)
- Q_{uw} : Grundwasserzufluss in den Westteil (km^3/a)
- Q_{uo} : Grundwasserzufluss in den Westteil (km^3/a)
- E_w : Verdunstung des Westteils (km^3/a)
- E_o : Verdunstung des Ostteils (km^3/a)

Die Differenz der Verdunstung zwischen den beiden Seeteilen ist vernachlässigbar und wird deshalb gleich Null gesetzt. Somit sieht die Formel vereinfacht folgendermaßen aus:

$$A = K_o(Q_u) - K_w(Q_u) \text{ bzw. } A = Q_u(K_o - K_w)$$

Bei einem jährlichen Grundwasserzufluss von ca. $2,7 \text{ km}^3$ beträgt der durchschnittliche jährliche Wasseraustausch in den Jahren 1937 bis 1969 $2,84 \text{ km}^3$, von 1970 bis 1985 $2,27 \text{ km}^3$ /214/, was den Werten aus /24/ größtenteils entspricht.

Die vorausgehenden Berechnungen erlauben die Aufstellung einer hydrologischen Bilanz für den Balchaš (Tab. 40).

Tab. 40: Langjährige Mittelwerte des Wasserhaushalts des Balchaš-Sees während der naturnahen Periode von 1937 bis 1969, km^3

	Wassergewinne				Wasserverluste			Differenz
	Oberflächen-zufluss	Nieder-schläge	Wasser-austausch	insgesamt	Verdunstung	Wasser-austausch	insgesamt	
Westteil	11,8	1,96	0,00	13,76	10,52	2,84	13,36	0,40
Ostteil	3,28	1,64	2,84	7,76	7,49	0,00	7,49	0,27
Balchaš	15,08	3,60	0,00	18,68	18,01	0,00	18,01	0,67

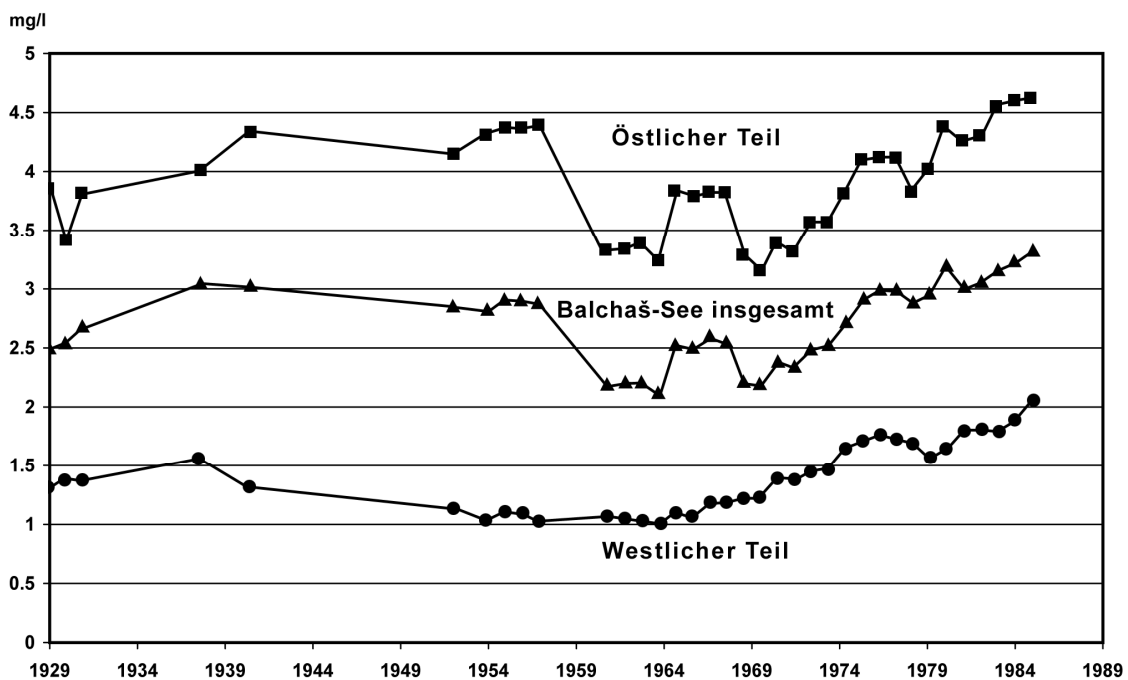
6.3 Salzbilanz des Balchaš-Sees

Die Mineralisierung und das Verhältnis der Hauptionen ändert sich im Balchaš von Westen nach Osten (Abb. 17). Langjährige Messreihen zeigen im südwestlichen Teil einen Salzgehalt zwischen $0,73$ und $1,67 \text{ g/l}$, im Ostteil bewegt er sich zwischen $5,42$ und $6,06 \text{ g/l}$. Mit dem Anstieg der Mineralisation von West nach Ost kommt es zu einem Wandel der Hauptionen von Hydrogencarbonat zu Chlorid. Für hydrochemische

Untersuchungen wird der Balchaš in 8 Bilanzierungsbereiche (Rajone) eingeteilt (Abb. 15).

Die Hauptsalzlieferanten des Balchaš sind Flüsse, die 100-500 mg/l an Carbonaten, Sulfaten, Kalzium, Manganesium und Natrium transportieren. Die Vielfältigkeit der hydrochemischen Zusammensetzung des Balchaš erklärt sich dadurch, dass Zubringerflüsse Halbwüsten durchqueren, in denen eine starke Bodenversalzung des Soda-Sulfat-Typs vorherrscht /217, 218/. Soda (Natriumcarbonatdecahydrat, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) wird bei Durchfeuchtung aus dem Boden ausgeschwemmt und gelangt in das Oberflächen- und Grundwasser. Tarasov (1961) (/220/) fasste alle bis 1957 vorhandenen Untersuchungen zum Thema Mineralisation und Ionenzusammensetzung zusammen. Nach seinen Angaben betrug die Mineralisation von 1936 bis 1957 im Mittel 312 mg/l, bei einer Salzzufuhr von 3,26 Mio. t/a. Die Mineralisationswerte des Karatal, Lepsy, Aksu und Ajagus werden aufgrund ihrer zu erwartenden Beiträge zur Gesamtmineralisation des Balchaš auf ca. 240 mg/l geschätzt.

Abb. 17: Entwicklung der Mineralisierung des Balchaš-Sees von 1929-1987



Das dem Balchaš zufließende Grundwasser hat eine Mineralisation 5 bis 10 g/l und ist karbonat- und sulfathaltig /13, 226/. Der Anteil des Grundwassers an der Salzzufuhr hat sich von 24 % im Jahr 1931 auf 17% im Jahr 1983 reduziert /13, 225/.

Ein weiterer Faktor in der Salzbilanz sind die Niederschläge. Ihr Einfluss ist jedoch wenig untersucht und es stehen nur einzelne Messungen zur Verfügung. In den Jahren 1956 und 1957 zeigten Proben im Ostteil eine hohe Mineralisation zwischen 64 und

417 mg/l, bei einem Mittelwert von 180 mg/l /13/. Bis zu einer Mineralisation von 240 mg/l dominierten Natriumkarbonate, bei noch höheren Ionengehalten überwogen Natriumsulfate. In den 1960er Jahren analysierte G. Sečnyj fünf Proben Schnee- und Regenwasser. Deren Ionengehalte waren wesentlich geringer als diejenigen von Tarasov (Tab. 41) was wahrscheinlich am geringeren Stichprobenumfang liegt. Bei den von Sečnyj untersuchten Niederschlägen sind die Hauptionen Kalzium- und Magnesiumsulfate. Es ist jedoch anzumerken, dass sulfatische Niederschläge für Kasachstan untypisch sind. Laut /205/ liegt der Karbonatgehalt bei mindestens 50% des Gesamtionensumme. Allerdings wurde in Küstenbereichen des Kaspischen Meeres und des Aral-Sees ein Anstieg der Sulfat- und Chlorid-Anteile festgestellt /205/.

Tab. 41: Mineralisation der Niederschläge als prozentualer Anteil des Stoffs und Ionengehalt (mg/l) 1965 - 1968, Station Balchaš.

Datum	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +Ka ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ	Index n. Alekin
10.2.1965	37,8	32,6	29,6	28,4	50,6	21,0		S _{II} Ca, Mg
Ionengehalt	7,2	3,8	7,0	16,5	23,0	7,1	64,6	
26.9.1965	16,0	64,4	19,6	14,8	62,0	23,2		S _{III} Mg
Ionengehalt	5,2	12,8	8,0	39,0	48,5	13,5	127,0	
5-6.5.1966	52,4	47,6	0	24,4	46,6	29,0		S _{III} Ca
Ionengehalt	37,1	20,6	0	34,2	52,2	24,5	168,6	
1.2.1967	90,0	10,0	0	15,4	60,0	24,6		S _{III} Ca
Ionengehalt	19,6	1,5	0	8,5	25,5	8,2	63,3	
15.7.1968	25,4	74,6	0	8,4	50,8	40,8		S, Cl _{III} Mg
Ionengehalt	3,4	6,1	0	3,0	14,4	8,8	35,7	
Ø [%]	44,3	45,8	9,8	18,3	54,0	27,7		S _{III} Ca, Mg
Ø Ionengehalt	14,5	9,0	3,0	20,2	32,7	12,4	91,8	

Beremžanov /12/ und Ibragimova /144/ kamen zum Schluss, dass das Endprodukt der hydrochemischen Veränderungen im Balchaš-See ein Wasser der Sulfat-Klasse der Natrium-Gruppe ist. Borovskij /17/ und Orlova /228/ zählen die Balchaš-Region zur Zone der Sulfat-Soda-Versalzung, was gut zur These der sulfatischen und karbonatischen Niederschläge im Küstenbereich passt.

Eine Übersicht über die Salzbilanz des Balchaš nach verschiedenen Autoren gibt Tabelle 42 wieder.

Tab. 42: Salzbilanz des Balchaš-Sees nach Angaben verschiedener Autoren

Autor	Zeit- raum	Zufuhr								Verlust				Salz- anreicherung	
		Flusswasser		Grund- wasser		Niederschlag		Ausspü- lung an der Küste		Karbonat- ausfällung		Ausfällung in den Buchten			
		Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%	Mio. t	%
Tarasov	1931-56	4,14	70,2	1,35	22,8	0,41	7,0			3,23	54,7	2,14	36,3	0,53	9,0
	1931-46	4,13	70,1	1,35	22,9	0,41	7,0			3,23	54,3	4,96	84,2	2,30	39,0
	1947-56	4,14	45,4	1,35	17,1	0,42	5,3			3,23	40,8			4,67	59,2
Tarasov u.a.	1939-70	5,36	71,1	1,65	22,0	0,52	6,9			4,22	56,0	2,99	39,7	0,32	4,3
Kurđin & Rubinovič	1931-69	4,70	68,4	1,65	24,0	0,52	7,6	-	-	3,75	54,6	2,80	40,8	0,32	4,6
Golubcov & Žirkevič	1931-70	4,12	65,5	1,65	26,2	0,52	8,3	-	-	5,52	87,8	-	-	0,77	12,2
Čistiaeva	1929-70	5,36	71,2	1,65	21,9	0,52	6,9	-	-	3,38	44,9	4,15	55,1	0	0
Sečnoj	1970-74	3,14	41,3	4,00	52,6	0,38	5,0	0,08	1,1	4,36	57,4	2,68	35,3	0,56	7,3

Die Salzgehalte im West- und Ost-Balchaš werden durch den Wassertransport von West nach Ost und durch den entgegengesetzten Windtransport gesteuert /190/. Der erste Prozess bewirkt einen Anstieg der Mineralisation von West nach Ost, der zweite wirkt ausgleichend auf den Salzgehalt der beiden Seeteile.

Die oben ausgeführten Zusammenhänge des Wasser- und Salz-Austausches im Balchaš wurden von Dostaj als Grundlage für die Erstellung eines Modells zur Simulation des Salzhaushalts benutzt, das sich durch folgende Gleichungen ausdrücken lässt:

$$S_{t_2} = S_{t_1} + C$$

S: Salzvorräte insgesamt, zum Zeitpunkt t_1 und t_2

C: Salzbilanz (Salzzufuhr – Salzabfuhr)

$$C = C_z - C_a$$

C_z : Salzzufuhr

C_a : Salzabfuhr

Die Salzbilanz (C) hängt von der Mineralisation im Ost- und Westteil und dem Zufluss ab:

$$C = m Q$$

Q: Wasserzufluss

m: Mineralisation

Die Salzzufuhr (C_z) durch Wasser und Wind wird durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$C_{z \text{ wasser}} = B (m_w - m_o)$$

$$C_{z \text{ wind}} = V (m_w - m_o)$$

B: Wasseraustausch West-Ost

V: Wasseraustausch West-Ost durch Wind

m_w : Mineralisation im Westteil

m_o : Mineralisation im Ostteil

Tursunov und Malkovskij führten in den Jahren 1987-1988 eine detaillierte Untersuchung zur Salzbilanz durch /230/ und berechnen die Salzzufuhr folgendermaßen:

$$C_{z \text{ wasser}} = (0,44 m_5 + 0,56 m_4) * B$$

$$C_{z \text{ wind}} = \alpha V (m_5 - m_4) = 0,12 V (m_5 - m_4)$$

m_4, m_5 : Mineralisation im fünften und vierten Rayon

α : Wasseraustauschindex

$$\alpha = \frac{m_w - m_o}{m_5 - m_4}$$

Der Wasseraustauschindex α besitzt einen Mittelwert von 0,12 und weist eine Schwankungsbreite von 0,05 bis 0,16 auf. Der Salztransport durch den Saryesik betrug demnach zwischen 1946 und 1969 5,45 Mio. t pro Jahr und der Windtransport in die Gegenrichtung 4,08 Mio. t, was einer Salzbilanz von 1,37 Mio. t entspricht. Die Ergebnisse aus anderen Untersuchungen sind in Tabelle 43 dargestellt.

Tab. 43: Salzaustausch zwischen dem westlichen und östlichen Teil des Balchaš-Sees nach Angaben verschiedener Autoren (Millionen t/ Jahr), 1975 – 1981

	Braslavskij	Kudrin	Golubcov	Čistjaeva
Durch Wasser, von West nach Ost	6,18	3,24	3,40	7,70
Durch Wind, von Ost nach West	5,05	1,83	1,80	4,69
Differenz	1,13	1,41	1,60	3,01

Während der Zeit von 1970 bis 1987 betrug die Salzbilanz nur 0,92 Mio. t/a, während der Auffüllung des Kapčagaj kam es sogar zu einem Überwiegen des Windtransports und damit zu einer Richtungsumkehr des Nettotransports.

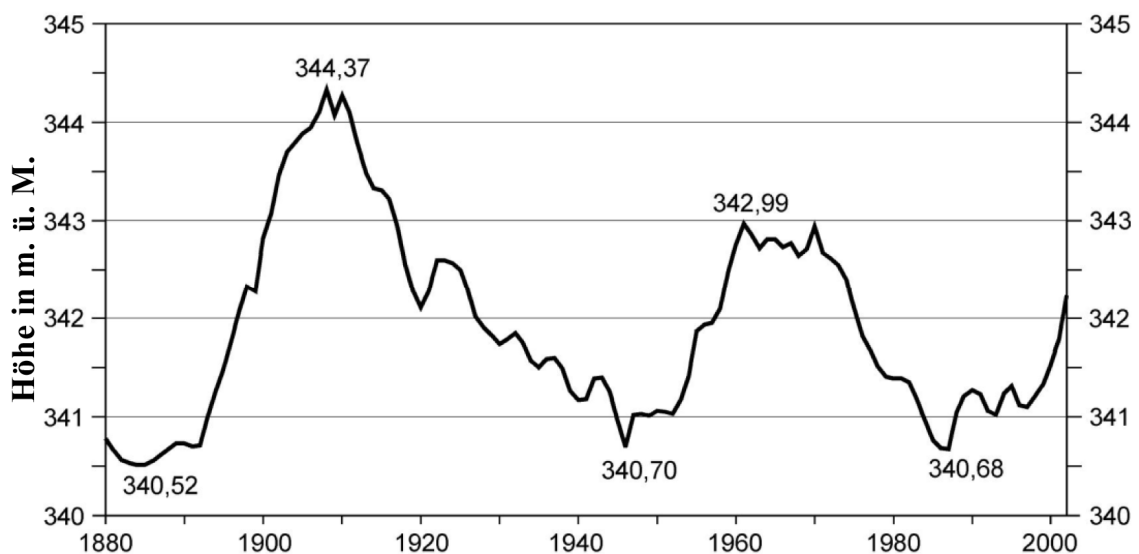
6.4 Natürliche Seespiegelschwankungen

Der Wasserspiegel des Balchaš-Sees wird an verschiedenen Stationen gemessen, wobei zuverlässige Aufzeichnungen seit 1960 existieren. Die Zahl der Stationen schwankte zwischen 7 und 13. Die Analyse der Daten zeigt, dass die Messungen der Station „Balchaš-Stadt“, wo 1931 mit der Registrierung des Seespiegels begonnen wurde, die Genauigkeitsanforderung für die Bilanzrechnung von 1 bis 3 cm erfüllen.

Junusov rekonstruierte den Seespiegel von 1878 bis 1931 /14, 15/ über die hydrologische Bilanz anhand von Abflussdaten der Station Ilijskoj (1911-1931) und Niederschlagsmessungen der Station Almaty (1878-1910). Überprüft und kalibriert wurden die Berechnungen anhand episodischer Wasserstandsmessungen /168, 195/. Trotz gewisser Ungenauigkeiten geben die gewonnenen Daten die zyklischen Schwankungen gut wieder und eignen sich für die Analyse der Periodizität. Im 20. Jahrhundert wurde der niedrigste Stand des Seespiegels im Jahr 1946 erreicht, der höchste im Jahr 1910 (Abb. 18).

Die Entwicklung des Seespiegels ist innerhalb des letzten Jahrhunderts durch ausgeprägte Zyklen bestimmt. Dies ist eine Besonderheit von Endseen, die vorübergehend größere Wassermengen ansammeln können als Seen mit Abfluss /25/. Die innerannuellen Schwankungen beeinflussen diese Zyklen nur unwesentlich. Die Analyse des Seespiegels zeigt eine Abhängigkeit vom oberflächlichen Zufluss und der Verdunstung, beides klimabedingte Faktoren. Dabei ist die Richtung der Seespiegelveränderung durch die mehrjährige Tendenz der hydroklimatischen Faktoren zu ermitteln.

Abb. 18: Seespiegelschwankungen des Balchaš-Sees von 1880 bis 2002



Quelle: Eigene Darstellung

Die Variation der Verdunstung ist geringer als die Schwankung des Abflusses. Die geglätteten Kurven weisen auf eine gute Korrelation zwischen der Verdunstung und dem Abfluss hin /25/. Der Einfluss dieser beiden Komponenten des Wasserhaushalts auf den Zyklus des Balchaš-Pegels kann als ungefähr gleich gewichtet werden. Oberflächenabfluss und Verdunstung verhalten sich gegenläufig, mit einem Korrelationskoeffizienten für die Jahre 1937 bis 1969 von -0,59. Diese Tatsache trägt zur Vergrößerung von Wasserstandsschwankungen bei, da somit beide Faktoren den Seespiegel in die gleiche Richtung beeinflussen. Abflussreiche Jahre sind verdunstungsarme und umgekehrt. Veränderungen der anderen Terme der hydrologischen Bilanz üben dagegen nur einen relativ geringen Einfluss aus /25/.

Bajdala /200/ zeigte, dass kühle und feuchte Klimaphasen mit Seespiegelanstiegen durch die meridionale Zirkulation der Typen C und E (nach der Klassifikation von Vangengeim-Girs) bedingt sind, warme und trockene Phasen dagegen durch die zonale Zirkulation des Typs W.

Eine Korrelation der Wasserstandsschwankung, des Abflusses und der Niederschlagsmenge mit der Sonnenaktivität ist bislang nicht nachgewiesen.

Der Einfluss des Ili-Deltas auf die hydrologische Bilanz des Balchaš ist in der seeähnlichen Entwicklungsphase stärker als in der flussähnlichen Phase /201/. Die Wasserverluste im Delta können die klimatischen Tendenzen verstärken oder schwächen und somit zu gewissen Verschiebungen in der Zyklizität des Seespiegels führen. Bei der Betrachtung längerer Zyklen (50 bis 60 Jahre) sind diese aber nicht mehr relevant. S. Abdrasilov und R. Djusenova /203/ haben festgestellt, dass die Wasserverluste im Delta eine bedeutende Rolle in der Gesamtbilanz des Balchaš spielen. In den Jahren 1911 bis 1969 verdunsteten hier ca. 200 km³ Wasser, was dem doppelten Wasservorrat des Balchaš entspricht. Veränderungen im Delta beeinflussen den Zufluss in den Balchaš sehr stark. So sank der Pegel in den Jahren 1911 bis 1946 aufgrund klimatischer Faktoren um 173 cm, aufgrund der dynamischen Entwicklung des Deltas um 170 cm.

Die vorwiegend flachen Küstenprofile führen bei Seespiegelschwankungen zur großen Änderungen der Wasserfläche. Bei einem Anstieg des Pegels von 340 auf 342 m ü. M. vergrößert sich die Wasserfläche von 14.850 auf 18.210 km² und das Wasservolumen von 68,5 auf 106,0 km³ (berechnet mittels Karte 1:200.000). Dieses führt zu einer Erhöhung der Verdunstung und damit zu einer gewissen Selbstregulierung.

6.5 Anthropogene Beeinflussung des Seespiegels

In der Zeit von 1946 bis 1960 stieg der Seespiegel von 340 auf 343 m ü. M. an. Das Seevolumen vergrößerte sich in dieser Zeit um ca. 1,7 km³ pro Jahr bei einer Wasserentnahme an den Zuflüssen von ca. 1,9 km³ pro Jahr und bei natürlichen Verlusten von

ca. $5,5 \text{ km}^3$ pro Jahr /173/. In den sechziger Jahren schwankte der Pegel nur leicht zwischen 342,7 und 343 m ü. M.

Durch den Bau des Kapčagaj-Stausees wurde das natürliche Gleichgewicht verändert. Von 1970 bis 1987 wurden 12 km^3 Wasser zur Auffüllung des Stausees entnommen (Tab.). Außerdem wurden in diesem Zeitraum die Bewässerungsflächen im kasachischen Teil des Einzugsgebiets von 405.000 auf 583.000 ha ausgeweitet, was bei einem mittleren Wasserverbrauch von $11.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Tursunov 2002) eine Minderung des Zuflusses um $2 \text{ km}^3/\text{Jahr}$ gegenüber 1970 bedeutet. Der Seespiegel reagierte mit einem Absinken von 2,3 m auf 340,7 m ü. M., was einer jährlichen Reduzierung von 13,5 cm entspricht. Das Volumen des Balchaš nahm während dieser Regression um 39 km^3 ab, der Mineralgehalt erhöhte sich. An der Entnahmestelle „Balchaš-Stadt“ betrug er bei einem langjährigen Mittelwert von 1,6 mg/l im Herbst 1985 2,3 mg/l.

Korrelationen zwischen Balchaš- und Alakol'-Zuflussmengen /202/ zeigen, dass der Seespiegel des Balchaš ohne den Einfluss des Kapčagaj-Stausees von 1970 bis 1974 hätte ansteigen müssen, um danach klimabedingt wieder abzufallen.

Gleichzeitig mit dem Bau des Kapčagaj setzte eine Ausweitung und Intensivierung der Landwirtschaft ein, bei der die ökologischen Rahmenbedingungen nicht beachtet wurden. Der Kapčagaj-Bau stellt den stärksten anthropogenen Eingriff in das Abflussregime des Ili dar. Die Möglichkeit des Eintretens einer natürlichen Seespiegelabsenkung wurde wegen der langanhaltenden Transgression des Balchaš während der Konzipierung und Bemessung des Baus nicht in Betracht gezogen, so dass der Auffüllungsplan des Stausees nicht eingehalten werden konnte. Es war ein Zeitraum von 4-5 Jahre bei einem konstanten Wasserpegel des Balchaš von 341,3 eingeplant. Während der Regression von 1970-1987 betragen die Verluste durch den Kapčagaj-Stausee durch Auffüllung, Verdunstung und Bewässerung insgesamt ca. $48,4 \text{ km}^3$ (Tab.), was ca. 18% des gesamten Zuflusses in den Kapčagaj entspricht. Dadurch gingen dem Balchaš ca. $2,7 \text{ km}^3$ Wasser pro Jahr verloren. Das erklärt einen Pegelrückgang von ca. 1,1 m bei einem Gesamtrückgang von 2,3 m.

Die Auffüllung des Kapčagaj begann während der niederschlagsreichen Periode von 1970-1974 und wurde während der darauf folgenden trockenen Phase weitergeführt. In den ersten fünf Jahren fiel der Balchaš-Pegel hauptsächlich aufgrund menschlicher Tätigkeit, in den folgenden 10 Jahren sowohl aufgrund anthropogener als auch klimatischer Faktoren. Im Jahr 1970 war der klimatische Faktor unbedeutend, in den Jahren 1971 bis 1974 schwächte das Klima die Auswirkung der menschlichen Eingriffe ab und ab 1975 wirkten beiden Faktoren in die gleiche Richtung /25, 40/.

Unter Normalbedingungen wird der Abfluss aus dem Stausee durch dessen Nutzraum bestimmt. Dieser beträgt $6,64 \text{ km}^3$ und ist für eine Regulierung mehrjähriger Trends unzureichend. Die kumulative Veränderung des jährlichen Zuflusses in den Kapčagaj erreicht während eines fünfjährigen Zeitraums bis zu 90 km^3 (1968 bis 1973).

Damit bleiben langjährige klimabedingte Schwankungen der hydrologischen Bilanz und des Seespiegels auch bei einem normalen Betrieb des Kapčagaj erhalten. In wasserreichen Phasen des mehrjährigen Zyklus wird der Speicher gefüllt und in Trockenperioden der Abfluss verstärkt. Der Regulierungseffekt des Kapčagaj kommt in der langfristigen Perspektive durch einer Schwächung der Abflussvariabilität und der Seespiegelschwankungen zum Tragen /24, 198/.

Seit 1987 und in besonderem Maße seit 1998 stieg der Seespiegel des Balchaš unerwartet wieder an. Er lag bereits 2002 wieder über dem langjährigen Mittel von 342 m ü. M., was vor allem auf die relativ hohen Niederschläge in diesen Jahren zurückgeführt wird.

6.6 Die Zukunft des Balchaš

Trotz des jüngsten Seespiegelanstiegs bleibt der See, gerade wegen seines geringen Volumens im Vergleich zur Oberfläche, auch in Zukunft in seiner Existenz gefährdet. Bei den hohen Verdunstungsraten (1000 mm oder 14 km³ pro Jahr) genügt eine geringe Verringerung der Zuflussmenge, um bereits eine deutliche Verkleinerung der Wasserfläche herbeizuführen. Da sowohl auf chinesischer als auch auf kasachischer Seite Pläne zur Ausweitung der Bewässerungsflächen bestehen, ist eine ähnliche Entwicklung wie beim Aral-See nicht auszuschließen.

Es wurden 6 Szenarien einer möglichen Entwicklung des Balchaš-Sees bei abnehmendem Zufluss entworfen. Bei den ersten drei Szenarien B1, B2 und B3 wird mit einem Rückgang des Wasserzuflusses in den See von ursprünglich rund 15 km³ (vgl. Tab. 40) auf 12 – 14 km³ gerechnet (vgl. Tab. 44). Es wird davon ausgegangen, damit den Wasserstand des Sees auf 340 bis 341 m halten zu können. Diese Szenarien werden als "ökologisch verträgliche Entwicklungen" angesehen, da ein hinreichender inner- wie mehrjähriger Wasseraustausch zwischen dem West- und Ostteil des Sees stattfinden kann und der Salzgehalt der ursprünglichen Verteilung entsprechen würde.

Tab. 44: Szenarien der Entwicklung des Balchaš-Sees – ökologisch verträgliche Varianten –

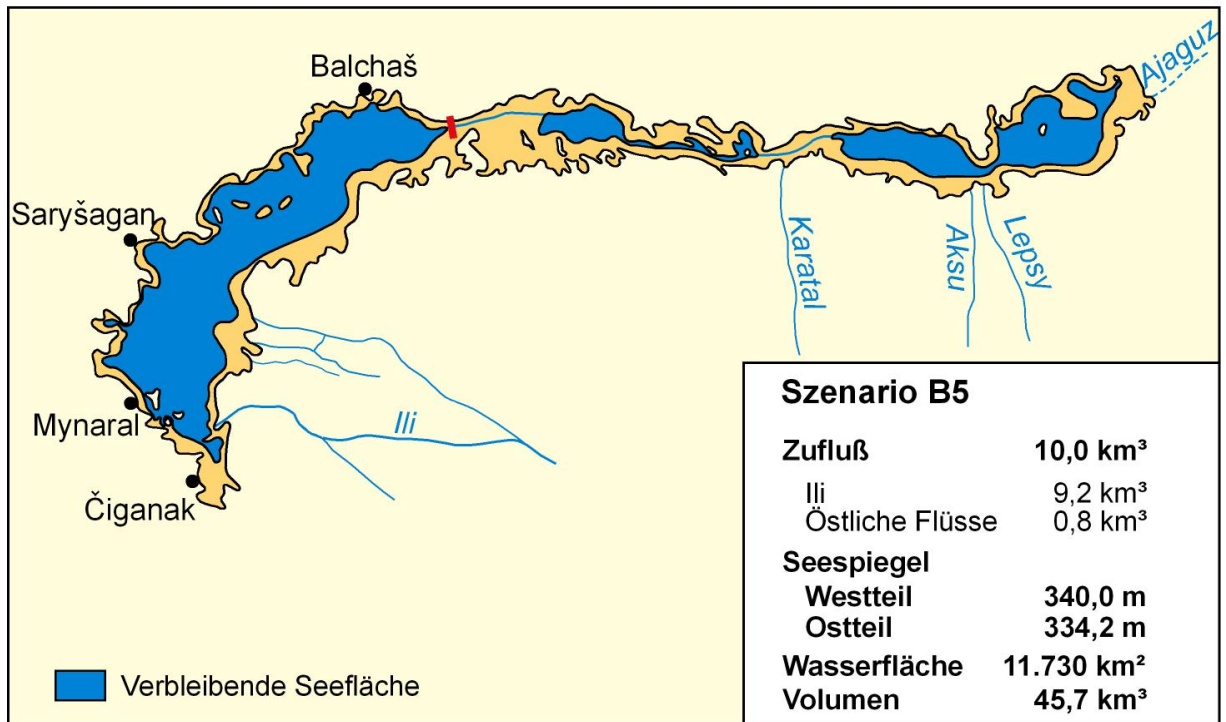
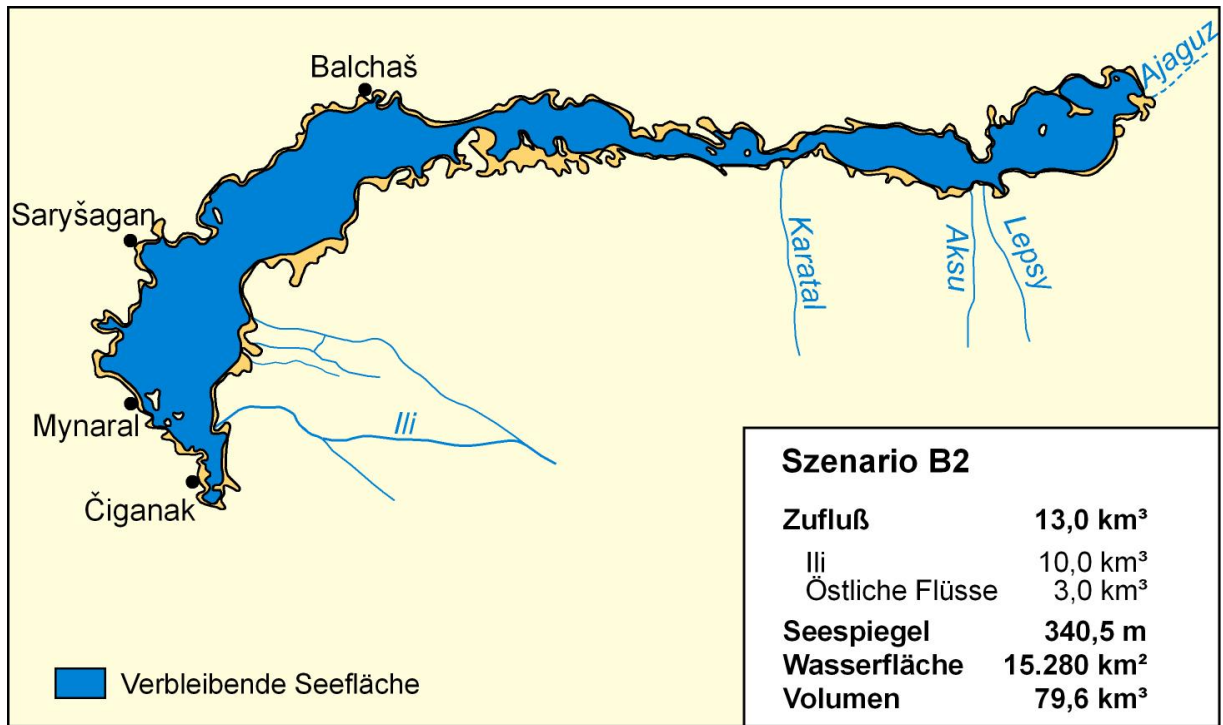
Nr.	Parameter des Sees	Szenario		
		B1	B2	B3
1	Wasserstand, m	341,0	340,5	340,0
2	Wasservolumen, km ³	86,9	79,6	72,2
3	Wasserfläche, km ²	16.450	15.280	14.120
4	Angenommener Zufluss, km ³	14,0	13,0	12,0
	- durch Ili	10,8	10,0	9,2
	- durch östliche Flüsse	3,2	3,0	2,8
5	Bilanz Wasseraustausch durch Uzun-Aral, km ³	2,6	2,3	2,0

Die nicht mehr ökologische, sondern nur noch "Ökonomisch vertretbaren Szenarien" B4, B5 und B6 gehen von geringeren Zuflussmengen aus (9 – 11 km³, vgl. Tab. 45). Diese Szenarien werden bei einer sich rasant verschlechternden wassertechnischen Situation der Region und Republik als gerechtfertigt angesehen. Auf Grund des Hautzuflusses durch den Ili in den Westteil des Sees und dessen geringeren Salzgehalt zielen die ökonomisch begründeten Szenarien auf den Erhalt des Westteils ab bei einem Wasser von 340 m, wobei eine Auflösung des Ostteils in einzelne Restbecken in Kauf genommen wird (vgl. Abb. 19). Diese Konstellation erinnert stark an die derzeitige Situation des Aralsees.

Tab. 45: Szenarien der Entwicklung des Balchaš-Sees – ökonomisch vertretbare Varianten (Sicherung des Westteils) –

Nr.	Parameter des Sees	Szenario		
		B4	B5	B6
1	Wasserstand, m			
	- Westteil	340,00	340,00	340,00
	- Ostteil	337,22	334,19	331,14
2	Wasservolumen, km ³			
	- Westteil	28,6	28,6	28,6
	- Ostteil	29,7	17,1	10,0
	- Gesamt	58,3	45,7	38,6
3	Wasserfläche, km ²			
	- Westteil	8.440	8.440	8.440
	- Ostteil	4.470	3.290	2.120
	- Gesamt	12.910	11.730	10.560
4	Angenommener Zufluss, km ³	11,0	10,0	9,0
	- durch Ili	9,2	9,2	9,0
	- durch östliche Flüsse	1,8	0,8	0,0
5	Bilanz Wasseraustausch durch Uzun-Aral, km ³	2,0	2,0	1,8

Abb. 19: Szenarien einer zukünftigen Entwicklung des Balchaš-Sees



Literatur

- Alekin O. (1970). Fundamentals of Hydrochemistry. Gidrometeoizdat, Leningrad, 121, 374 S.
- Atlas Kazachskoj SSR; Moskva 1985, 2 Bde.
- Christiansen, Th.; Schöner, U.: Irrigation Areas and irrigation Water Consumption in the Upper Ili Catchment, NW-China. Zentrum für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung (ZEU) der Justus-Liebig-Universität Gießen, Discussion Papers, Nr. 20, Gießen 2004.
- Dostaj, Ž.D. (1999): Naučnye osnovy upravlenija gidroekologičeskim sostojaniem besstočnych bassejnov Centralnoj Azii (na primere bassejna oz. Balchaš). Dissertacija na soisk. uc. st. doktora geografičeskih nauk. Almaty, 306 pp.
- Kasachstan. Prirodnye uslovija i estestvenuye resursy SSSR. (obšaja red. I. P. Gerasimov; otv. red. B. A. Federovič i O. R. Nazarevski). Moskva 1969
- Machatschek, I.: Landeskunde von Russisch Turkestan. Stuttgart 1921, S. 175 ff.
- Romanova, S.M. (1991): Monitoring of pollution in water ecosystem of Kazakstan. Materials of the 33rd IH Congress UPAK in Budapest, 12-21.
- Tarasov, M.N. (1961): Hydrochemie des Balchaš-Sees. Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR; Moskau, 229 S., Russisch.
- Tursunov, A.A. (2002): Ot Arala do Lobnora. Gidrologija besstočnych bassejnov Centralnoj Azii. Almaty, 383 pp.
7. Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Концепция равновесного природопользования в условиях Или-Балхашского региона // Вестн. КазГУ, 1995. Сер. геогр. N 2. - С. 12-25.
 12. Беремжанов Б.А. Солеобразование в некоторых континентальных бассейнах Казахстана. - Алматы: Казахстан, 1968. - 164 с.
 13. Тарасов М.Н. Гидрохимия озера Балхаш. - М.: Изд. АН СССР, 1961. - 227 с.
 14. Юнусов Г.Р. Водный баланс озера Балхаш. // Проблема водохозяйственного использования реки Или - Алматы, 1959. - С. 141-189.
 15. Юнусов Г.Р. Гидрологический режим оз. Балхаш // Материалы III Всесоюзного гидрол. съезда. - Л.: Гидрометеоиздат, 1959. - С. 192-200.
 16. Соседов И.С. Потери воды на испарение и транспирацию в дельте р. Или // Изв. АН КазССР, 1958. Сер. энерг. вып. 1(13). - С. 16-24.
 17. Боровский В.М. Геохимия засоленных почв. - М.: Наука, 1978. - 192 с.
 18. Браславский А.П., Чистяева С.П. О величине изменения стока реки Или в пределах ее дельты // Тр. КазНИГМИ, 1983. Вып. 80. - С. 76-94
 20. Беркалиев З.Т. Гидрологические основы водохозяйственного использования р. Или - Алма-Ата: Казгосиздат, 1960. - 148 с.
 21. Соседов И.С. Методика территориальных водно-балансовых обобщений в горах. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1976. - 154 с.

22. Соседов И.С. и др. Водный баланс и водные ресурсы северного склона Джунгарского Алатау - Алма-Ата: Наука КазССР, 1984. -152 с.
23. Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К. Водные ресурсы предгорной равнины северного склона Заилийского Алатау // Географические проблемы Или-Балхашского бассейна - Алматы: Гылым, 1993.- С. 42-54.
24. Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К. Водные ресурсы бассейна озера Балхаш в зоне формирования стока // Природные ресурсы Или- Балхашского региона-Алма-Ата: Наука КазССР, 1990. - С. 57-67.
25. Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы /под ред. А.А. Соколова - Л.: Гидрометеиздат, 1989. -310 с.
26. Чокин Ш.Ч. Энергетика и водное хозяйство Казахстана. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1975.-278 с.
27. Турсунов А.А., Мальковский И.М., Достаев Ж. К пересмотру проектной отметки НПУ Капчагайского водохранилища // Проблемы комплексного использования водных ресурсов Или-Балхашского бассейна // Сб. научн. статей - Алматы: Изд. КазГУ, 1985. -С.16-20.
28. Турсунов А.А., Бочков М.И., Мальковский И.М. О состоянии проблем Или-Балхашского бассейна // Вопросы гидрологии орошаемых земель Казахстана // Сб. научн. статей - Алматы: Изд. КазГУ, 1986.- С. 3-17.
29. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 271 с.
30. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. -Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 207 с.
36. Dostaev J. and Tursunov A.A. Rational utilization of natural resources in Yili-Balkhash areas // The effects of human activities on water resources and environmental in Central Asia and evolution of snow resources on Tianshan' Mountains. - Urumchy, China: Science Press, 1997. - P. 34-43.
40. Tursunov Abay A. Jappar Mahpir. An introduction to hydro-ecology in the Central Asia. - Urumchy, China: Science Press; 1996. - 213 p. 41. Турсунов
48. Достаев Ж. Водные ресурсы предгорной равнины северного склона Заилийского Алатау // Геогр. проблемы Или-Балхашского бассейна - Алматы: Гылым, 1993. -С.42-54.
81. Водное хозяйство Казахстана. // Под ред. М.Сарсембаева. - Алма-Ата: Кайнар, 1971.- 192 с.
107. Мукистанов Н.К., Мальковский И.М., Омарова Т.А. Концепция сохранения и восстановления бессточных озер аридных территорий // Вопросы изучения водных ресурсов Центральной Азии. - Алматы: Гылым, 1993. -С. 31-35.
108. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.13, вып.2. -Л.: Гидрометеиздат, 1970. -645 с.
- 115.. Жандаев М.Ж. Речные долины. -Алма-Ата: Казахстан, 1984. -184 с.

117. Достаев Ж.Д. Трансформация стока рек северного склона Заилийского Алатау/Автореферат дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук. -Л.; 1990.- 31с.
122. Токмагамбетов Г. А. Ледники Заилийского Алатау. -Алма-Ата:Наука КазССР, 1976.- 368 с.
123. Геология СССР. Т.40. Южный Казахстан. -М.:Недра, 1971. -534 с.
131. Илийская долина,ее природа и ресурсы. -Алма-Ата: Изд. АН КазССР, 1963. -341 с.
134. Glacier inventory of China.III. Tianshan mountains (Hi river drainage basin)./by Tanzhan Institute of Glaciology and Geocryology,Chines Academy of Sciences. - Science Press. 1986.
135. Glacier inventory of China.III. Tianshan mountains (Interior drainage area of Jungar basin in north-west). -Science Press, 1986.
136. Вилесов Е.Н., Кусаинов С.А. Реурсы льда и ледниковый сток бассейна р.Или // Гидрометеорология в Казахстане. -Алматы:Изд. КазГУ,1993. -С. 80-91.
137. Черкасов П. А. Расчет составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы на примере Джунгарского Алатау // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. -М., 1991.
138. Dostaev J. The glaciation and glacier runoff in Balkhash Basin.// The effect and human activites on Water resources and environment in Central Asia and evalution of snow resources on Tianshan Mountains. Urumchy. Science Press, 1997. -P.211-214.
140. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. -Л.: Гидрометеоиздат, 1974. -637 с.
141. Гальперин Р.И. Некоторые данные о многолетних колебаниях гидрометеорологических показателей в бассейнах озер Балхаш- Алаколь//Вопросы гидрологии орошаемых земель Казахстана/Сб.научн.ст. -Алма-Ата:Изд. КазГУ, 1986. -С. 25-31.
142. Отчет о научно-исследовательской работе 04.01.н3-2 "Оценка влияния хозяйственной деятельности на сток рек Или-Балхашского бассейна (1 этап исследований)(Н/рук.,отв.исп. Тленбеков О.К.).-Алма-Ата. 1989.
143. Романова СМ. Гидрохимия рисовых орошаемых систем в бассейне р.Или // Дис. на соиск. уч. степени к.г.н. Алма-Ата. 1988. -335 с.
144. Ибрагимова М.А. Физико-химическая характеристика воды рек бассейна оз.Балхаш // Автореферат дис. канд. хим. наук -Алмма-Ата. 1969. -24 с.
145. Стародубцев В.М. Влияние орошения на мелиоративные качества речного стока. - Алма-Ата:Наука, 1985. -167 с.
146. Тарасов М.Н., Павелко И.П. Изменения гидрохимического режима рек при зарегулировании водохранилищами и вопросы прогнозирования // Гидрохимические материалы. -Л. 1969.Т.50. -С. 47-56.
147. Зенин А.А. Изменения химического сотава воды равнинных рек ЕТС в результате их зарегулирования // Гидрохимические материалы. -Л. 1967. Т.45. -С.29-34.

148. Амиргалиев Н.А., Лопарева Т.Я. Оценка качества воды водохранилищ Верхнего Тобола // Гидрохимические материалы. -Л. 1986. Т.96. -С. 40-48.
149. Mutalipova P.J., Dostaev J. The fometion of chemical composition of river waters of north slope of Zailiski Alatau // Abstracts. International Simposium - Urumchy. China, Science Press, 1993. -С. 57-58.
150. Муталипова Р.Ж., Достаев Ж. Солевой баланс предгорно-равнинной территории северного склона Заилийского Алатау // Вестник КазГУ, 1996. -С. 85-91.
151. Достаев Ж и др. Формирование качества природных вод Балхаш-Алакольского региона // Тезисы докл. 3-Съезда ГО КазССР -Алма-Ата, 1990.
155. Правошинский Н.А. Об учете загрязнения рек ливневыми и поливомоечными водами городов // Водное хозяйство Белоруссии- Минск: Наука и техника, 1965. - С.322-329.
156. Шигорин Г.Г. К вопросу о загрязненности поверхностного стока городов // Водоснабжение и санитарная техника, 1956, N 2. -С. 19-20
167. Схема комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов р.Или и озера Балхаш. Первый этап. -Алматы: Казгидропроект, 1972.
168. Голубцов В.В., Жиркевич А.Н. Водный баланс оз.Балхаш и динамика его элементов в естественных условиях и проведение в бассейне водохозяйственных мероприятий // Тр. КазНИГМИ, 1973. Вып.50. С.153-177.
169. Жиркевич А.Н. Водный баланс оз.Балхаш и перспективы его изменения в связи с использованием водных ресурсов Или-Балхашского бассейна. // Тр. КазНИГМИ, 1972. Вып.44. С. 140-168.
170. Заводчиков А.Б. и др. Влияние орошения на водные ресурсы бассейна оз.Балхаш. // Тр. IV Всесоюзного гидрологического съезда. -Л., Т.4. С. 287-295.
171. Пакалн Э.В., Тленбеков О.К., Щеголева Н.Н. Оценка влияния орошения на водные ресурсы рек бассейна оз.Балхаш // Тр. КазНИГМИ, 1978. Вып.68. С. 43-53.
172. Семенов В.А., Островский В.Н. Состояние и перспективы исследования водного баланса рек Или-Балхашского бассейна в связи с развитием орошаемого земледелия. // Тр. ГГИ, 1974. Вып. 220. С.34-46.
173. Кипшакпаев Н.К., Байгисиев Ж.Е., Турсунов А.А., Мальковский И.М. Системный анализ Или-Балхашской проблемы и концепция равновесного природопользования. // Проблемы комплексного использования водных ресурсов Или-Балхашского бассейна. - Алматы: Изд. КазГУ, 1985. С. 3-16.
174. ТЭО использования водных и земельных ресурсов в междуречье Чилик-Чемолган Алматинской области Казахской ССР. книга 1. -Алма-Ата, 1976. Казгипроводхоз.
177. Баженов М.Г., Сарсенбаев М.Х. Регулирование воно-солевого режима рисовых систем. -Алма-Ата: Кайнар, 1979. -145 с.
180. Экспериментальное изучение влияния реконструкции коллекторно-сбросной сети Каратальской ирригационной системы на режим грунтовых вод. Т.3. // Заключительный отчет КазГУ, 1976. -250 с.

182. Достаев Ж. Исследование водно-солевого баланса Капчагайского водохранилища // Пробл. повыш. эффективности развития производств, сил Казахстана на перспективу/Тез, докл. Респуб. научно-практ. конфер. молодых ученых и специалистов. -Алматы, 1984. -С.78-80.
184. Сумарокова В.В., щыщенко К.В., Подольный О.В. Аэрокосмические исследования и водный баланс дельты р.Или. - Спб.:Гидрометеиздат, 1992.-162 с.
186. Гельбух Т.М. Элементы водного баланса дельты р.Или.//Тр. ГГИ, 1960. Вып.79. -С. 164-202.
187. Динамика пойменной растительности рек Чу и Или./Под ред. Б.А. Быкова и С.А. Арыстангалиева -Алма-Ата:Наука, 1986. -202 с.
188. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. -Л.: Гидрометеиздат, 1969. -83 с.
190. Клиге Р.К. Изменения глобального водообмена. -М.:Наука, 1985.
195. Курдин Р.Д. О вековых колебаниях уровней оз.Балхаш.//Сб. работ Алма-Атинской ГМО, 1969. вып. 4. -С. 38-46.
198. Курдин Р.Д. О вековых колебаниях уровня крупных естественных водоемов Казахстана и Средней Азии // Тр. IV Всесоюзн. гидролог, съезда, 1975. т. 5. -С. 98-107.
200. Байдал М.К. Погодные и климатические характеристики основных форм атмосферной циркуляции//Тр. КазНИГМИ, 1963. вып. 20. -С. 64-75.
201. Курдин Р.Д. О роли динамики дельты р.Или и климатических факторов в колебании уровня воды оз.Балхаш//Водные ресурсы, 1977. т. 10. -С. 143-180.
202. Курдин Р.Д. О связях уровней озера Алаколь с гидрометеорологическими факторами и уровнями Балхаш // Сборник работ Алма-Атинской ГМО 1969, вып. 4. - С. 5-16.
203. Абдрасилов С.А., Дюсенова Р.Х. Определение потерь стока в дельте р.Или с учетом фазы ее развития // Гидроэкологические проблемы использования водных ресурсов Казахстана. -Алматы: Казак Университе-п, 1998. -С. 114-127.
205. Отчет N ГР 01820088538 инв. N 0286.0028605. КазНИГМИ. Дать оценку водно-солевого баланса оз. Балхаш на современном этапе и на перспективу //Алма-Ата, 1985.
209. Искандиров Т. Водный баланс озера Балхаш // Метеорология и гидрология -1968. N2. С. 60-68.
210. Курдин Р.Д., Мельниченко Е.Г., Мирошниченко СТ. О водном балансе озера Балхаш // Сб. работ Алма-Атинской ГМО -1969. Вып.4. -С. 47-78.
212. Скоцеляс И.И. Определение атмосферных осадков, выпадающих на поверхность оз.Балхаш // Тр. КазНИИ Госкомгидромета СССР, 1987, вып. 97. -С. 34-44.
214. Скоцеляс И.И. Уточнение водного баланса оз.Балхаш и динамики его основных элементов // Тр.КазНИГМИ,1989. Вып.104. -С.47-65.

215. Браславский А.П. Определение среднего слоя атмосферных осадков, выпадающих на поверхность водоема по методу универсальной интерполяции // Тр.КазНИГМИ,1979. Вып.65. -С.113-117.
217. Имамеев А.Н.,Станкевич Е.Ф.,Ибрагимова М.А.,Романова СМ. К вопросу о формировании химического состава поверхностных вод Прибалхашья // Исследование многокомпонентных систем // Сб.научных тр. -Алматы:1980. -С.188-195.
218. Дурасов А.М.,Тазабеков Т.Т. Почвы Казахстана - Алматы: Кайнар, 1981. -151 с.
220. Тарасов М.Н., Угланов И.Н., Кореневская И.М. и др. Предварительный прогноз изменения минерализации воды оз. Балхаш в связи с хозяйственной деятельностью человека // Тр. ГГИ, 1974. вып. 220. -С. 58-67.
225. Позднякова Г.В. Гидрохимические аспекты современного состояния оз. Балхаш.//Прогноз комплексного и рационального использования природных ресурсов, их охрана и перспективы развития производительных сил бассейна оз.Балхаш в период до 1990-2000 гг. // Матер, конф. ч. 2. -Алма-Ата, 1983. -С. 64-69.
226. Позднякова Г.В., Шнитников А.В. О подземном питании озера Балхаш // Изв. ВТО, 1981, №6. -С 473-478.
228. Орлова М.А. Роль эолового фактора в солевом режиме территорий. -Алма-Ата: Наука КазССР, 1983. -232 с.
230. Мальковский И.М., Бабкин В.А., Имангазиев А.К. Об управлении водно-солевым режимом оз.Балхаш // Научно-технические проблемы освоения природных ресурсов и комплексного развития производительных сил Прибалхашья. -Алма-Ата, 1989. -С. 71-79.

Bisherige Veröffentlichungen in dieser Reihe:

- No. 1 HERRMANN, R., KRAMB, M. C., MÖNNICH, Ch. (12.2000): Tariff Rate Quotas and the Economic Impacts of Agricultural Trade Liberalization in the WTO. (etwas revidierte Fassung erschienen in: "International Advances in Economic Research", Vol. 7 (2001), Nr. 1, S. 1-19.)
- No. 2 BOHNET, A., SCHRATZENSTALLER, M. (01.2001): Der Einfluss der Globalisierung auf staatliche Handlungsspielräume und die Zielverwirklichungsmöglichkeiten gesellschaftlicher Gruppen. (erschieden in: "List-Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik", Bd. 27(2001), H. 1, S. 1-21.)
- No. 3 KRAMB, M. C. (03.2001): Die Entscheidungen des "Dispute Settlement"-Verfahrens der WTO im Hormonstreit zwischen der EU und den USA – Implikationen für den zukünftigen Umgang mit dem SPS-Abkommen. (überarbeitete Fassung erschienen in: "Agrarwirtschaft", Jg. 50, H. 3, S. 153-157.)
- No. 4 CHEN, J., GEMMER, M., TONG, J., KING, L., METZLER, M. (08.2001): Visualisation of Historical Flood and Drought Information (1100-1940) for the Middle Reaches of the Yangtze River Valley, P.R. China. (erschieden in: Wu et al. (eds) Flood Defence '2002, Beijing, New York 2002, pp. 802-808.)
- No. 5 SCHROETER, Ch. (11.2001): Consumer Attitudes towards Food Safety Risks Associated with Meat Processing. (geänderte und gekürzte Fassung ist erschienen unter Christiane SCHROETER, Karen P. PENNER, John A. FOX unter dem Titel "Consumer Perceptions of Three Food Safety Interventions Related to Meat Processing" in "Dairy, Food and Environmental Sanitation", Vol. 21, No. 7, S. 570-581.)
- No. 6 MÖNNICH, Ch. (12.2001): Zollkontingente im Agrarsektor: Wie viel Liberalisierungsfortschritt? Ergebnisse und Diskussion einer Auswertung der EU-Daten. (gekürzte Fassung erschienen in BROCKMEIER, M., ISERMEYER, F., von CRAMONTAUBADEL, S. (Hrsg.), Liberalisierung des Weltagrarhandels - Strategien und Konsequenzen. "Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.", Bd. 37(2002), S. 51-59.)
- No. 7 RUBIOLO, M. (01.2002): EU and Latin America: Biregionalism in a Globalizing World?
- No. 8 GAST, M. (02.2002): Zollkontingente bei US-amerikanischen Käseimporten. (gekürzte Fassung erschienen in: "Agrarwirtschaft", Jg. 51, H. 4, S. 192-202.)
- No. 9 BISCHOFF, I. (08.2002): Efficiency-enhancing Effects of Private and Collective Enterprises in Transitional China.
- No. 10 KÖTSCHAU, K. M., PAWLOWSKI, I., SCHMITZ, P. M. (01.2003): Die Policy Analysis Matrix (PAM) als Instrument zur Messung von Wettbewerbsfähigkeit und Politikeinfluss - Zwischen Theorie und Praxis: Das Fallbeispiel einer ukrainischen Molkerei.

- No. 11 HERRMANN, R., MÖSER A. (06.2003): Price Variability or Rigidity in the Food-retailing Sector? Theoretical Analysis and Evidence from German Scanner Data.
- No. 12 TROUCHINE, A. (07.2003): Trinkwasserversorgung und Armut in Kasachstan: Aktueller Zustand und Wechselwirkungen.
- No. 13 WANG, R.; GIESE, E.; GAO, Q. (08.2003): Seespiegelschwankungen des Bosten-Sees (VR China).
- No. 14 BECKER, S.; GEMMER, M.; JIANG, T.; KE, CH.. (08.2003): 20th Century Precipitation Trends in the Yangtze River Catchment.
- No. 15 GEMMER, M.; BECKER, S.; JIANG, T (11. 2003): Detection and Visualisation of Climate Trends in China.
- No. 16 MÖNNICH, Ch. (12.2003):
Tariff Rate Quotas: Does Administration Matter?
- No. 17 GIESE, E.; MOBIG, I. (03.2004)
Klimawandel in Zentralasien
- No. 18 GIESE, E.; SEHRING, J. TROUCHINE, A. (05.2004)
Zwischenstaatliche Wassernutzungskonflikte in Zentralasien
- No. 19 DIKICH, A. N. (09.2004)
Gletscherwasserressourcen der Issyk-Kul-Region (Kirgistan), ihr gegenwärtiger und zukünftiger Zustand
- No. 20 CHRISTIANSEN, TH.; SCHÖNER, U. (11.2004)
Irrigation Areas and Irrigation Water Consumption in the Upper Ili Catchment, NW-China
- No. 21 NARIMANIDZE, E. et al. (04.2005)
Bergbaubedingte Schwermetallbelastungen von Böden und Nutzpflanzen in einem Bewässerungsgebiet südlich von Tiflis/Georgien - Ausmaß, ökologische Bedeutung, Sanierungsstrategien
- No. 22 ROMANOVSKIJ, V.V.; KUZ'MIČENOK, V.A. (06.2005)
Ursachen und Auswirkungen der Seespiegelschwankungen des Issyk-Kul' in jüngerer Zeit
- No. 23 ZITZMANN, K.; TROUCHINE, A. (07.2005)
Die Landwirtschaft Zentralasiens im Transformationsprozess
(nicht mehr lieferbar!)
- No. 24 SEHRING, J. (08.2005)
Water User Associations (WUAs) in Kyrgyzstan -
A Case Study on Institutional Reform in Local Irrigation Management
- No. 25 GIESE, E., MAMATKANOV, D. M. und WANG, R. (08.2005)
Wasserressourcen und Wassernutzung im Flussbecken des Tarim (Autonome Region Xinjiang / VR China)
- No. 26 MOSSIG, I., RYBSKY, D. (08.2005)
Die Erwärmung bodennaher Luftschichten in Zentralasien. Zur Problematik der Bestimmung von Trends und Langzeitkorrelationen
- No. 27 GAST, M.: (09.2005)
Determinants of Foreign Direct Investment of OECD Countries 1991-2001

- No. 28 GIESE, E., TROUCHINE, A. (01.2006)
Aktuelle Probleme der Energiewirtschaft und Energiepolitik in Zentralasien
- No. 29 SEHRING, J. (06.2006)
The Politics of Irrigation Reform in Tajikistan
- No. 30 LANGENOHL, A. / WESTPHAL, K. (11.2006)
Comparing and Inter-Relating the European Union and the Russian Federation.
Viewpoints from an international and interdisciplinary students' project
- No. 31 WEBER, S./ ANDERS, S. (3.2007)
Price Rigidity and Market Power in German Retailing
- No. 32 GAVARDASHVILI, G./ SCHAEFER, M. / KING, L. (6.2007)
Debris Flows at the River Mletis Khevi (Greater Caucasus Mountains, Georgia) and
its Assessment Methods
- No. 33 TEUBER, R. (5.2007)
Geographical Indications of Origin as a Tool of Product Differentiation – The Case
of Coffee D
- No. 34 DOSTAJ, Ž. D. (in Zusammenarbeit mit E. Giese und W. Hagg) (6.2007)
Wasserressourcen und deren Nutzung im Ili-Balchaš Becken

Stand 1. Juni 2007

Die Diskussionsbeiträge können im Internet unter:
<http://www.uni-giessen.de/zeu/Publikation.html> eingesehen werden.