

## 6 Zusammenfassung

In den Böden des Einzugsgebietes der Kara See befinden sich immense Mengen an organischen Kohlenstoff ( $C_{org}$ ), die bisher noch weitgehend den aktiven Stoffkreisläufen entzogen sind. Klimamodelle deuten jedoch darauf hin, dass diese Kohlenstoffvorräte im Zuge einer globalen Erwärmung zunehmend freigesetzt werden und so zu bisher kaum überschaubaren Rückkopplungseffekten im Arktischen Ökosystem führen können. Da große Flüsse wie Ob und Yenisei sämtliche ökosysteminternen Prozesse ihrer Einzugsgebiete integrieren, können Menge und Beschaffenheit der darin gelösten organischen Substanzen genutzt werden, um großflächig den Austausch zwischen terrestrischen und ozeanischen Kohlenstoffreservoirs zu überwachen. Voraussetzung für eine zukünftige Bewertung eines klimabedingten Wandels des Stoffhaushalts großer Sibirischer Flusseinzugsgebiete ist jedoch eine genaue Analyse der aktuellen Verhältnisse. Ein wichtiges Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, den Eintrag von organischem Kohlenstoff in die Kara See zu quantifizieren und das Verständnis der Prozesse, die die Dynamik des DOM steuern zu verbessern.

Im Rahmen des bilateralen Russisch-Deutschen Verbundprojektes „SIRRO“ (Siberian River Runoff) wurden die Ästuare von Ob und Yenisei, sowie der angrenzende Schelfbereich der Kara See jeweils während des Spätsommers der Jahre 1999, 2000 und 2001 beprobt. Neben der direkten Bestimmung von Basisparametern wie DOC und DON (gelöster organischer Kohlenstoff bzw. Stickstoff) wurde gelöstes organisches Material (DOM) an ausgewählten Stationen aus der wässrigen Lösung angereichert, um detailliertere Analysen an diesem Material durchführen zu können. Zur Isolierung von DOM wurde dabei neben der XAD-Extraktion ein Membranfiltrationsverfahren, das neben der Anreicherung von DOM gleichzeitig eine Fraktionierung in verschiedene Molekulargrößenklassen ermöglicht, eingesetzt.

Die DOC-Konzentrationen im Oberflächenwasser des Untersuchungsgebietes lagen zwischen 151  $\mu\text{M}$  in der nördlichen Kara See und 939  $\mu\text{M}$  im Flusswasser des Ob. Bedingt durch die starke saisonale Variabilität des Abflusses von Ob und Yenisei unterliegen die DOC-Konzentrationen beider Flüsse aufgrund eines „flush-effects“ einem ausgeprägtem Jahresgang. Dadurch ist auch die oberflächennahe DOC-Verteilung in der Kara See von einer hohen saisonalen Variabilität gekennzeichnet. Infolge der sommerlichen Stratifizierung der Wassersäule kommt es in der südlichen und zentralen Kara See zu stark ausgeprägten vertikalen Gradienten der DOC-Konzentrationen, wobei die Werte in der frischwasserbeeinflussten, oberflächennahen Wassermasse deutlich höher sind, als jene im salinen Tiefenwasser.

$C/N_{(a)}$ -Verhältnisse zwischen 19 und 51, sowie stabile Kohlenstoffisotope mit  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten von -29 ‰ bis -23.5 ‰ deuten darauf hin, dass das DOM in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes terrigenen Ursprungs ist. Wesentliche Quelle für das DOM im Untersuchungsgebiet sind die  $C_{org}$ -reichen Böden im

Einzugsgebiet beider Flüsse. Lediglich im Tiefenwasser der Kara See tritt neben dem terrigenen DOM auch marines DOM als bedeutende Quelle hinzu.

Insgesamt mischt sich der DOC weitgehend konservativ durch die Ästuar von Ob und Yenisei in die Kara See ein. Neben dem Mischungsverhalten deuten auch die Ergebnisse eines Inkubationsexperimentes darauf hin, dass das terrigene DOM überwiegend refraktärer Natur ist. Aufgrund der langen Translationszeiten innerhalb der Einzugsgebiete werden die labilen DOM-Bestandteile wahrscheinlich bereits vor dem Erreichen der Ästuar bakteriell umgesetzt, so dass die refraktären Komponenten sich in den Flusssystemen von Ob und Yenisei selektiv anreichern. Ein geringer Teil des terrigenen DOM wird im Ästuar durch Photooxidation in bioverfügbare Zwischenprodukte umgewandelt und kann so dem DOM-Pool entzogen werden. Dieser Prozess wird im arktischen Sommer dadurch begünstigt, dass sich das Flusswasser als dünne Süßwasserlinse über dem Seewasser großflächig ausbreitet, dennoch kommt es bedingt durch die geringe Eindringtiefe der Sonneneinstrahlung in die Wassersäule insgesamt nur zu Verlusten im Bereich von 1% durch photochemischen Abbau. Beim Zusammentreffen von Fluss- und Seewasser treten starke physikochemische Gradienten auf, die sich auch auf die Beschaffenheit des DOM auswirken. Ein Übergang von DOM-Bestandteilen in die partikuläre Phase durch Flokkulation findet in den Ästuaren jedoch nur in geringem Ausmaß (<5%) statt. Wesentliche DOM-Einträge durch Primärproduktion konnten während der Beprobungsphasen nicht nachgewiesen werden. Das autochthon gebildete DOM wird offenbar in einem internen Kreislauf rasch bakteriell umgesetzt, demzufolge spielt es bei der Betrachtung des DOC-Exports nur eine untergeordnete Rolle. Durch das konservative Einmischen von refraktärem Fluss-DOM in ein Wasserreservoir, das sich etwa alle 3-5 Jahre erneuert, kommt es zu einer Akkumulation von terrigenem DOM in der Kara See. Der jährliche DOC-Eintrag in die Kara See durch die Flüsse Ob und Yenisei beläuft sich auf etwa 8 Tg C. Der überwiegende Teil davon passiert wahrscheinlich ohne große Verluste den Schelf der Kara See und gelangt somit in den Arktischen Ozean.

Der Anteil des hochmolekularen DOC (HMW; >1 kDa) ist im Yenisei mit 63% höher als im Ob (53%), im Tiefenwasser der Kara See sinkt dieser Anteil auf bis zu 22%. Die Verschiebung des Molekulargrößenspektrums in Richtung der niedermolekularen Bestandteile mit zunehmendem Salzgehalt spiegelt die unterschiedliche Charakteristik des DOM wieder. Die terrigenen Bestandteile des DOM sind überwiegend hochmolekular und dominieren das Flusswasser-DOM, sowie den überwiegenden Anteil des HMW DOM in der Kara See. Das in-situ gebildete, autochthone DOM wird schnell zu kleineren Einheiten abgebaut, so dass es sich ebenso wie das marine „background-DOM“ vor allem in den niedermolekularen (LMW) Fraktionen des DOM in der Kara See wiederfindet. Beim Zusammentreffen des DOM-reichen Flusswassers mit dem stark elektrolythaltigen Meerwasser kommt es insbesondere bei Huminstoffen zu einer Kompaktierung einzelner Makromoleküle. Dadurch wird das Molekulargrößenspektrum des DOC im Ästuar zusätzlich in Richtung der niedermolekularen Bestandteile verschoben.

Die Analyse der mittels Membranfiltration isolierten Größenfraktionen ergab charakteristische Unterschiede in Abhängigkeit des Molekulargewichts. So steigen die C/N-Verhältnisse im Flusswasser kontinuierlich von 8 für das partikuläre organische Material (POM) bis auf 49 für die Fraktion < 0,5 kDa. Stabile Kohlenstoffisotope deuten darauf hin, dass lediglich das niedermolekulare DOM im Tiefenwasser der Kara See überwiegend marinen Ursprungs ist. Die hochmolekularen Bestandteile des Kara See DOM, sowie sämtliche Molekulargewichtsfractionen des Flusswassers werden dagegen klar von terrigenen Quellen dominiert, stammen also letztlich von Abbauprodukten terrestrischer Gefäßpflanzen. Das  $\delta^{13}\text{C}$  des HMW DOC eignet sich damit als Tracer für terrigenes Material. Elementare Zusammensetzung und Aminosäurespektren des organischen Materials deuten darauf hin, dass das DOM im Vergleich zum POM bereits ein fortgeschrittenes diagenetisches Stadium erreicht hat. Innerhalb des DOM ergibt sich ein systematischer Zusammenhang zwischen Abbaugrad und Molekulargröße. Die Sequenz des diagenetischen Abbaus verläuft demnach vom partikulären über das hochmolekulare bis zum niedermolekularen DOM. Damit konnte das für das DOM marinen Ursprungs entwickelte „size reactivity continuum model“, wonach hochmolekulare DOM-Bestandteile labilen und niedermolekulare vergleichsweise refraktären Charakter haben, erstmals auch für ein komplettes DOM-Molekulargrößenspektrum in einem System nachgewiesen werden, dass stark von terrigenen Einträgen geprägt ist.

Die Ergebnisse dieser Arbeit tragen wesentlich zum Verständnis der komplexen Zusammenhänge des DOM-Kreislaufs in den Ästuaren von Ob und Yenisei bei. Die hier ermittelten DOC-Einträge in die Kara See unterstreichen die Bedeutung beider Flüsse als Quelle für terrigenes DOM im Arktischen Ozean. Um jedoch anhand der DOC-Exporte von Ob und Yenisei in Zukunft großräumig Veränderungen des Arktischen Ökosystems zuverlässig evaluieren zu können, bedarf es weitergehender Untersuchungen. In Anbetracht der hohen Dynamik des Systems sollte in zukünftigen Studien dabei vor allem der saisonale Aspekt stärker als bisher berücksichtigt werden.