

Rekonstruktion des überregionalen Signaltransfers aus sedimentologischen Langzeitarchiven

FKZ 03G0814

Abschlussbericht

Freie Universität Berlin

Alfred-Wegener-Institut Potsdam

Rheinisch-Westfälisch-Technische Hochschule Aachen



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen FKZ03G0814 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

Seite:

I. Kurze Darstellung zu**3**

- | | |
|--|----|
| 1. Aufgabenstellung | 3 |
| 2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 6 |
| 3. Planung und Ablauf des Vorhabens | 8 |
| 4. wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde | 11 |
| 5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 12 |

II. Eingehende Darstellung**14**

- | | |
|---|----|
| 1. der erzielten Ergebnisses im Einzelnen | 14 |
| 1.1 Tektonische und stratigraphische Befunde aus dem Gaxun-Nur-Becken (WP1; WP4; WP6) | 14 |
| 1.2 Die Sedimentkaskade analysiert an Oberflächenproben aus dem gesamten Einzugsgebiet (WP2; WP5) | 19 |
| 1.3 Geophysikalische Exploration von Bohrlokalitäten (WP4) | 29 |
| 1.4 Analysen an Bohrkernsedimenten (WP1, WP2; WP3) | 31 |
| 1.4.1 GN200 (Langkern) WP1, WP6 | 31 |
| 1.4.2 GN100 (Kurz kern) WP2 | 42 |
| 1.5 Befunde zum Einfluss der Beckenränder auf das Sedimentationsgeschehen am GN200 | 45 |
| 1.6 Sedimenttransport im Einzugsgebiet (Qilian Shan, Hexi Korridor) und spätquartäre Klimaschwankungen (WP5) | 54 |
| 1.7 Zusammenfassung | 59 |
| 2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises | 61 |
| 3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit | 61 |
| 4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwendbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes | 62 |
| 5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen | 64 |
| 6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des FE-Ergebnisses | 64 |

Literatur

71

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Die Gobi-Wüste mit ihren Beckenregionen und ausgedehnten Dünenarealen stellt ein hochsensibles Archiv dar, das die quartäre Landschafts- und Klimageschichte und deren Wechselwirkungen auf Stoffflüsse nördlich des Tibet Plateaus abbildet.

Ziel des Projektes war die Rekonstruktion überregionaler Sedimentpfade im Kontext von Klimawandel, Landnutzung und tektonischer Aktivität. Im Zentrum standen das abflusslose Gaxun-Nur-Becken sowie seine durch Gletscher- und Permafrost-Prozesse beeinflussten Teileinzugsgebiete. Das Becken selbst bildet eine wichtige Quelle des Staubtransports über Zentralasien. Die genaue Erfassung der beteiligten Prozesse und Wechselwirkungen sowie deren gesellschaftliche Relevanz standen im Fokus unserer Untersuchungen. Mit einer tiefreichenden Bohrung im östlichen Teil des Gaxun-Nur-Beckens konnten die Sedimente erfasst werden, welche in Ergänzung zu Einzugsgebietsstudien eine weitestgehend lückenlose und zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion der Stoffflüsse unter Berücksichtigung des Klimawandels ermöglicht. Mittels sedimentologischer und mathematisch-statistischer Verfahren werden die gewonnenen Daten in Modelle zur Landschafts- und Klimaentwicklung überführt, die als Grundlage für die Bewertung und Synthese der Entwicklungsgeschichte dieses Raumes dienen sowie einen Vergleich mit anderen Archiven des Tibet- und Lössplateaus ermöglichen. Unter Verwendung statistischer und konzeptioneller Modelle sind dann auch Rückschlüsse auf die klimatische Entwicklung des Raumes unter besonderer Berücksichtigung des Monsuneinflusses möglich.

Insgesamt sollten diese Aufgaben einen Beitrag zu folgenden Teilfragen des Projektes leisten:

- Welche Rückschlüsse liefern die Sedimentarchive des Gaxun-Nur-Beckens zur Monsundynamik der letzten ca. 250.000 Jahre?
- Wann setzte im Pleistozän die regionale Beckenentwicklung und die damit verknüpfte Staubbildung und Lössbildung ein und welche Rolle spielte das Gaxun-Nur-Becken als Sedimentspeicher im Zwischenbereich der vergletscherten Räume des Qilian-Shan-Gebirges und dem Lössplateau?
- Welche Sedimentparameter bzw. -parametergruppen sind geeignet, um Sedimentpfade im überregionalen Kontext zu verfolgen? Welche zeitlichen und räumlichen Wechselwirkungen zwischen Archiven der hydrologischen (evtl. klimatischen) Varianz lassen sich quantifizieren (Wirkungsintervalle der Signaltransformation)?
- Gab es nicht-klimatische, möglicherweise tektonische Prozesse, die Einfluss auf die Staubbildung nahmen? Könnte die Subsidenz des Beckens zur Entstehung der „Badain-Jaran-Sandsee“ und Bildung von Seen zwischen den Dünen beigetragen haben?

- Welche hydrologischen Besonderheiten zeichneten das Becken zu Zeiten extremer Aridität aus? Lassen sich daraus Erkenntnisse gewinnen, die im Rahmen der anthropogen verursachten Desertifikation von Belang sind? Welche Konsequenzen erwartet die Bevölkerung, welche Maßnahmen können ergriffen werden?

Die Aufgaben für die einzelnen Arbeitsgruppen gliederten sich wie folgt:

AG FU Berlin (WP1, 3 und 6): K. Hartmann, B. Wünnemann

Zentrale Aufgabe der AG der FU Berlin war die Planung und Durchführung der Tiefbohrung. Hierzu gehörte die Auswahl der Bohrlokalität basierend auf geomorphologischen Analysen (WP1), Analysen von Fernerkundungsdaten, Erstellung eines Modells der Beckenstratigraphie (WP6) und geophysikalischer Prospektion in Zusammenarbeit mit WP4 der RWTH Aachen (Neotektonik). Weiterhin war die Arbeitsgruppe verantwortlich für die Einholung der Bohrgenehmigung sowie die Durchführung bzw. Überwachung der Bohrung und Sicherstellung der Lückenlosigkeit des Kerns. Ebenfalls war die AG zuständig für die Öffnung, Erfassung der Stratigraphie und Beprobung. Im WP1 wurde die Probenlogistik sichergestellt und die Sedimentdaten zentral zusammengeführt. Für die Beckensedimente koordinierte WP1 die Analysen in Zusammenarbeit mit WP2 Sedimentationsdynamik des AWI Potsdam und dem WP5 Sedimentkaskaden der RWTH Aachen. Für ausgewählte Kernabschnitte sowie Einzelprofile übernahm die AG im WP3 die Koordination der Pollen- und NPP-(*non-pollen-palynomorphs*) Analysen (F. Schlütz) sowie die Auswertung der Befunde bzgl. der Mikrofossilien (in Zusammenarbeit mit AG S. Mischke und AG F. Riedel). Für die Aspekte der Datierung koordinierte die AG mit WP1 Beckenmorphologie und WP6 Statistik die Auswahl geeigneter Proben für die AMS Datierungen an der Queens University Belfast (AG P. Reimer/M. Blaauw) und dem AMS-Labor in Posen (T. Goslar) sowie die Zeit-Tiefen-Modellierung der Sedimentdaten. Die AG stellte gleichzeitig die Schnittstelle zum NICE der Universität Nanjing dar, welche wiederum die chinesischen AGs koordinierte (u.a. Isotopenanalysen an der Universität Lanzhou, LOI an der Universität Nanjing, XRF-Kernscans an der Universität Kunming, Paläomagnetik und MS an der Nanjing Normal University). Diese Schnittstelle bildete B. Wünnemann als Mit Antragsteller auf FU Seite und als Leiter des NICE-Zentrums an der Universität Nanjing.

Ein weiterer Aufgabenkomplex bestand in der Erfassung der Geomorphologie und Morphodynamik der Beckenränder unter besonderer Berücksichtigung der Neotektonik in Zusammenarbeit mit WP4, RWTH Aachen (K. Reicherter). Hierbei kamen sowohl Fernerkundungsmethoden und Feldaufnahmen als auch sedimentologische Methoden zum Einsatz. Im Rahmen des WP6 Geostatistik wurden Verfahren der digitalen Geländeanalyse aus Fernerkundungsdaten weiterentwickelt, Bohrkerndaten 3-D modelliert, Wahrscheinlichkeitsmodelle der Alters-Tiefen-Relation erstellt und multivariate Sedimentdaten zu Faktoren der Sedimentationsprozesse zusammengefasst. Hier arbeitete

WP6 insbesondere mit WP5 Sedimentkaskaden (PCA, FA, compositional data analyses, EMMA) zusammen, welche sich überwiegend außerhalb des Beckens in den Ober- und Mittelläufen des Hei- und Beida-Flusses (vgl. [Nottebaum et al., 2014; 2015](#)) bzw. auf den nordöstlichen Auslauf des Beckens ([Yu et al., subm.](#)) fokussierte.

AG AWI Potsdam (WP2): B. Diekmann

Die Motivation der von der AWI-Arbeitsgruppe im Rahmen von WP2 (Sedimentologie) durchgeführten Untersuchungen ergab sich aus der Vorüberlegung, dass die Gobi-Wüste mit ihren Beckenregionen und ausgedehnten Dünenarealen ein hochsensibles Archiv darstellt, welches die quartäre Landschafts- und Klimageschichte und deren Wechselwirkungen auf Stoffflüsse nördlich des Tibet Plateaus abbildet. Ziel des QuaSi-Projekts war die Rekonstruktion überregionaler Sedimentpfade im Kontext von Klimawandel, Landnutzung und tektonischer Aktivität. Im Zentrum standen das abflusslose Gaxun-Nur-Becken sowie seine durch glaziale und periglaziale Prozesse beeinflussten Einzugsgebiete. Mit einer tiefreichenden Bohrung im östlichen Teil des Gaxun-Nur-Beckens sollten Sedimente erfasst werden, welche in Ergänzung zu den Untersuchungen im Einzugsgebiet eine weitestgehend lückenlose und zeitlich hochaufgelöste Rekonstruktion der Stoffflüsse unter Berücksichtigung des Klimawandels ermöglichen sollte.

Im Rahmen von WP2 sollten Sedimentproben aus sedimentären Ablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiets sowie aus einem kurzen und einem langen Bohrkern aus dem zentralen Gaxun-Nur-Becken bearbeitet werden. Der methodische Ansatz in der Laboranalytik stützte sich auf granulometrische, mineralogische und geochemische Methoden der Herkunftsanalyse (Korngrößenspektren, Tonmineralogie, Schwerminerale, Geochemie).

AG RWTH Aachen (WP4 und 5): F. Lehmkuhl, G. Stauch, K. Reicherter

Die Arbeitsgruppen der RWTH Aachen befassen sich mit den Charakteristika sowohl des oberen Einzugsgebietes des Hei-Flusses (Heihe) als auch mit den Prozessen und Dynamiken des Gaxun-Nur-Beckens. Die Erfassung der quartären Beckenstruktur sowie die Untersuchung neotektonischer Aktivitäten und deren Einfluss auf Sedimentationsprozesse sind Gegenstand des WP4 (Lehr- und Forschungsgebiet Neotektonik und Georisiken). Die Sedimentkaskaden des Heihe-Einzugsgebietes sowie die räumlichen und zeitlichen Dynamiken der Sedimentumlagerungen sind Gegenstand des WP5 (Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie).

Im Rahmen des WP 4 sollte die Basis der quartären Sedimente im Untergrund räumlich erfasst werden und die räumliche Signifikanz der Bohrkern durch neotektonische und geophysikalische Methoden validiert werden. Eine Schlüsselposition sollte der Dynamik

des nördlichen Gaxun-Nur-Beckens, im Übergang vom rezent aktiven zum rezent inaktiven alluvialen Fächer, beigemessen werden. Die Auswahl des oberflächennahen Verfahrens des Georadars (GPR) sowie des tiefer in den Untergrund eindringenden TEM-Verfahrens (Transiente Elektromagnetik) mit einem HTS-Magnetometer (HTS: Hochtemperatur-SQUID) soll eine ganzheitliche Analyse der Strukturen von der Oberfläche bis zur Quartärbasis ermöglichen und so die sedimentologisch-tektonischen Prozesse der Beckenentwicklung erfassen. Darüber hinaus sollte eine Quantifizierung des Einflusses tektonischer Prozesse auf die gesamte Sedimentkaskade (Qilian Shan, Mittellauf des Hei Flusses, Gaxun-Nur-Becken) erfolgen. Die Betrachtung aktiver Verwerfungen im Umfeld des Arbeitsgebietes sowie die Charakterisierung möglicher Verwerfungen innerhalb des Gaxun-Nur-Beckens sollen neben der Beckenentwicklung auch die neotektonische Signifikanz der Region beleuchten. Die Ergebnisse sollen in enger Zusammenarbeit mit WP1 und WP2 vom WP6 in einem integrativen statistischen Modell vorgehalten werden.

Im Rahmen des WP5 sollten die geomorphologischen Formen und Prozesse sowie die Sedimentverbreitung im gesamten Einzugsgebiet exemplarisch erfasst werden. Über gezielt ausgewählte Teileinzugsgebiete entlang der Sedimentkaskade sollten die Verbreitungsmechanismen (glazial, fluvial, äolisch, periglazial) der Sedimente analysiert werden. Methodisch standen dafür geomorphologische Kartierungen, Korngrößenanalysen und Messung der elementgeochemischen Zusammensetzung der Proben im Mittelpunkt. Ein Schwerpunkt der Beprobung sollte auf den äolischen Sedimentarchiven und ihre Verzahnung mit den fluvialen Transportpfaden und lakustrinen Zwischenspeichern liegen. In Zusammenarbeit mit WP2 sollten über eine Provenienzanalyse die dominanten Transportpfade identifiziert werden. Datierungen, ^{14}C und optisch stimulierter Lumineszenz (OSL), sollten den Sedimenten einen chronologischen Rahmen geben und damit die potentielle raum-zeitliche Varianz erschließen, die es ermöglicht, klimatische von nicht-klimatischen Steuerungsfaktoren zu unterscheiden.

2. Voraussetzungen

FU Berlin: K. Hartmann, B. Wünnemann

Die Kooperation mit der chinesischen Seite erfolgte aufgrund von Positionswechseln einzelner Partner im Wesentlichen mit der Universität Nanjing. Dabei musste der Mittragsteller (B. Wünnemann) als Leiter des NICE (Nanjing Integrated Center for Earth System Dynamics) alle wesentlichen Aufgaben der Visums-Angelegenheiten, Arbeitsgenehmigungen und Expeditionslogistik übernehmen. Diese Aufgaben standen zusätzlich unter dem ungünstigen Einfluss des Machtwechsels in Peking und einer damit verbundenen erhöhten Sensibilität auf allen administrativen Ebenen. Dies führte zu einem finanziell und zeitlich schwerwiegenden Abbruch einer ersten Bohrkampagne und einer insgesamt mehr als 9-monatigen Verzögerung bei der Probenanalytik. Dennoch konnten die erheblichen politisch verursachten Schwierigkeiten durch die Assistentin des

Mitantragsteller, Frau D. Yan, gelöst werden. Personelle und technische Umstrukturierungen führten teilweise zum vollständigen Ausfall einzelner Partner bzw. deren Beitrag zur Probenanalytik. Weiterhin musste auf die Projektpartnerin für die Pollen- und NPP-Analyse verzichtet werden, da sich diese auf einem längeren Auslandsaufenthalt befand.

Nach 20 monatiger Mitarbeit kündigte die wissenschaftliche Mitarbeiterin des Projektes zum 31.3.2013. Der Verlust der in der Statistik (WP6) talentierten Mitarbeiterin und des informellen Wissens über die Projektabläufe konnte durch ihre Nachfolgerin trotz kostenneutraler Verlängerung nicht vollständig kompensiert werden.

AWI Potsdam

Die Voraussetzungen für WP2 waren durch die enge Kooperation der deutschen Partner in vorangegangenen DFG-Projekten sowie die gute Vernetzung mit den chinesischen Kollegen sehr gut gegeben. Die Sperrung des südlichen Gaxun-Nur-Beckens durch lokale Behörden und das chinesische Militär im Zuge des vergangenen Regierungswechsels und der verstärkten Nutzung des Raumfahrtbahnhofs Jiayuguans im südlichen Gaxun-Nur-Becken über die gesamte Projektlaufzeit sowie die deutlich verzögerte Genehmigung des Geländeaufenthaltes 2012 führte zu erschwerten Forschungsbedingungen (s. Korrespondenz und Erläuterungen zum Zwischenbericht 2012). Für das WP2 bedeutete dies eine spätere Verfügbarkeit der Bohrkerne, die dadurch noch nicht mehr vollständig während der Projektlaufzeit bearbeitet werden konnte. Die Potsdamer Arbeitsgruppe wurde von Bernhard Diekmann geleitet. Die Umsetzung erfolgte im Zuge der dreijährigen Beschäftigung des wissenschaftlichen Angestellten, Stefan Schimpf. Herr Schimpf nutzt die gewonnenen Daten zur Fertigstellung seiner Doktorarbeit, die im Laufe des Jahres 2015 bei der Universität Potsdam eingereicht wird. Zudem wurde im Laufe des Projekts eine thematisch relevante Bachelorarbeit betreut. Eine weitere Masterarbeit läuft seit Anfang 2015 an.

RWTH Aachen

Die Voraussetzungen für WP4 und WP5 waren durch die Kooperation mit den chinesischen Kollegen sehr gut gegeben. Die Sperrung des südlichen Gaxun-Nur-Beckens durch lokale Behörden und das chinesische Militär hatte kaum Einfluss auf die Forschungsarbeiten der Teilprojekte. Allerdings konnten die seismischen Analysen erst mit deutlicher Verzögerung durchgeführt werden. Des Weiteren führten Verzögerungen bei den Datierungen aufgrund von Laborengpässen zu einem zeitlich etwas gestreckten Ablauf bei der Interpretation der Daten. Die Promotion der beiden wissenschaftlichen Mitarbeiter des Projektes (A. Rudersdorf und V. Nottebaum) wird im Lauf des Jahres 2015 erfolgen. Durch die Einbindung eines weiteren, von chinesischer Seite finanzierten Doktoranden (Herrn K.

Yu am Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie) konnten weitere vertiefte Analysen durchgeführt werden. Im Rahmen des Projektes wurde eine Masterarbeit am Lehrstuhl für Physische Geographie und Geoökologie angefertigt, eine weitere steht kurz vor dem Abschluss. Am Lehr- und Forschungsgebiet für Neotektonik und Georisiken wurde eine Bachelorarbeit zum Gaxun-Nur-Becken erstellt.

3. Planung und Ablauf

FU Berlin

Nach Einstellung der wissenschaftlichen Mitarbeiterin im Sommer 2011 begann der wissenschaftliche Teil des Projektes mit einer Übersichtsexpedition vom 20.8.-17.9.2011 ins Arbeitsgebiet im Anschluss an ein Kick-off-Meeting in Lanzhou. Auf dem Kick-off-Meeting wurden mit allen deutschen und chinesischen Kollegen die gemeinsamen Fragestellungen und die einzelnen Beiträge (u.a. Laboranalysen am Langkern) fixiert. Im Zuge der Übersichtsexpedition konnten zwei Profile neu aufgenommen und eine bis dato unbekannte Störung kartiert werden. Weiterhin konnte zusammen mit M. Blaauw, Queens University Belfast, ein Torfprofil nahe der Ming-Festung Kara Khoto für Datierungen aufgenommen werden. Bis Jahresende 2011 konnte die Baugrubenkartierung und die Interpolation der chinesischen Bohrkerndaten abgeschlossen werden. Das Jahr 2012 stand für die AG ganz im Zeichen der Tiefbohrung. Aufgrund des Machtwechsels in China und geplanter Raketenstarts im Zentrum des Arbeitsgebietes verzögerte sich bereits die geophysikalische Explorationskampagne von März auf Ende April. Wegen eines Positionswechsels unseres chinesischen Hauptkooperationspartners von Nanjing nach Kunming musste das Projekt auf eine wichtige Kontaktperson zu den lokalen Behörden in Ejina Qi verzichten. Vor dem Hintergrund der politischen Umbrüche konnten die deutschen Projektteilnehmer trotz erfolgreicher Bohrgenehmigung nicht zur Tiefbohrung in das Becken einreisen. Das angereiste chinesische Bohrteam konnte lediglich einen 18m langen Kern (GN100, vgl. Abb. B1) im nördlichen Zentrum des Beckens gewinnen, bis vor Erreichen der erwarteten Endteufe in ca. 150m auf Drängen lokaler Kräfte die Bohrgenehmigung entzogen wurde. Dank intensiver Bemühungen von D. Yan an der Universität Nanjing konnte in 3 Monaten eine neue Bohr- und Arbeitsgenehmigung durch alle Instanzen und trotz der anhaltenden politischen Schwierigkeiten erwirkt werden. Im September 2012 erreichte in Anwesenheit der Antragsteller eine 223 m tiefe Bohrung mit über 97% Überdeckung die Prä-Quartär/Quartär-Grenze. Aufgrund der hohen Überdeckungsrate und der Qualität der Kerne sowie der finanziellen Verluste durch die erste nicht erfolgreiche Bohrung wurde auf einen Parallelkern verzichtet. Da die ursprünglichen Reisemittel auf der fehlgeschlagenen Kampagne verbraucht waren, musste der Kern ohne die deutschen Mitarbeiter allein durch den Mit Antragsteller und chinesischen Studenten geöffnet, beschrieben und beprobt werden. Eine Kernhälfte erreichte dann mit über 9-monatiger Verzögerung Berlin. Die zweite Kernhälfte wurde in Nanjing komplett in Einzelproben und U-Channels aufgelöst. Von jeder Probe ist ein Teil in Berlin, so dass die komplette Kernhälfte als Referenzmaterial eingelagert ist.

Zum Ende März 2013 kündigte Frau Haedke ihre Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin nach 20 Monaten. Damit ging dem Projekt neben einer in der Statistik versierten Mitarbeiterin auch erhebliches Wissen um die Projekt-internen Arbeitsabläufe verloren. Frau Bölscher übernahm ab 1.4.2013 die Stelle mit Schwerpunkt auf der Probenlogistik und –analytik. Der Verlust von Frau Haedke konnte trotz drei-monatiger kostenneutraler Verlängerung nicht voll kompensiert werden.

Personelle und technische Umstrukturierungen auf chinesischer Seite insbesondere im Bereich der XRF-Kernscan und der Paläomagnetik führten zu weiteren erheblichen Zeitverlusten. So konnte die Probenbearbeitung am Kern nur bis 100 m im Bereich Geochemie und Mineralogie vollständig abgeschlossen werden. Die XRF-Kernscans konnten durch den Mittragsteller an der Universität Kunming gemessen werden, so dass diese Daten kurz vor Projektende im August vorlagen. Die für die Alterseinschätzung notwendige Messung der Paläomagnetik konnte bis heute nicht erfolgen.

Für WP3 Paläoökologie fiel die zuständige Partnerin in Nanjing aufgrund eines langjährigen Auslandsaufenthalt komplett aus. Mit Hilfe von Komplementärmitteln der Aachener Projektpartner konnten F. Schlütz und L. Shumilovskikh für Übersichtsuntersuchungen der Pollenführung gewonnen werden.

AWI Potsdam

Das Vorhaben begann mit der Planung von mehreren Geländekampagnen, die im September 2011, April/Mai 2012 und September 2012 durchgeführt wurden. Die erste dreiwöchige Geländekampagne fand im Spätsommer 2011 statt. Gemeinsam mit den deutschen und chinesischen Partnern wurde eine Erkundung des Einzugsgebiets des Gaxun-Nur-Beckens durchgeführt. Der Geländeaufenthalt konzentrierte sich auf zwei Regionen. Zunächst wurden die nördlichen distalen Gebiete des Gaxun-Nur-Beckens im Großraum Ejina Qi besucht. Dort sind fossile Sedimente holozäner Seestandsphasen überliefert sowie äolische Ablagerungen verschiedener Trockenphasen des Spätquartärs. Weite Teile des Gebietes werden von Konglomeraten der Gobi-Oberfläche bedeckt, aus denen örtlich Grundgebirgsrücken aufragen. Spuren neotektonischer Verstellung konnten im Gelände erkannt werden. Im zweiten Abschnitt der Feldarbeiten standen das Qilian-Shan-Gebirge sowie dessen Vorland im Vordergrund der Untersuchungen. Die Gebirgsregion stellt das südliche Liefergebiet des Gaxun-Nur-Beckens dar, aus dem ein Großteil des Wasser- und Sedimenteintrags stammt, der über Niederschläge und Gletscherschmelze gesteuert wird. Das Vorland besteht aus mächtigen alluvialen Fächern mit zwischengeschalteten äolischen Ablagerungen. Diese als Hexi-Korridor bekannte Region ist dicht bevölkert und wird landwirtschaftlich intensiv genutzt.

Während der Felderkundungen erfolgte im Rahmen von WP2 eine flächenhafte Beprobung der relevanten Teileinzugsgebiete und potentiellen Sedimentliefergebiete des Gaxun-Nur-Beckens. Beprobt wurden beckenweit insbesondere äolische, fluviatile und

lakustrine Sedimente sowie glaziale Sedimente aus den Hochgebirgsregionen. Dabei handelt es sich sowohl um rezente als auch subfossile Sedimente. Die Proben dienen als Referenzmaterial bezüglich einer späteren Deutung von Herkunftssignalen im Bohrkern. Insgesamt wurden nahezu 200, für das Einzugsgebiet repräsentative Proben zur Bearbeitung nach Deutschland gebracht.

Der Arbeitsplan für das Jahr 2012 sah zunächst im Frühjahr die Abteufung einer tiefen Bohrung im Gaxun-Nur-Becken vor. Die erste Bohrung GN100 wurde von den chinesischen Partnern begonnen und schließlich auf Drängen der Regionalregierung und ohne nähere Angaben von Gründen von den Behörden abgebrochen. Immerhin wurde ein 20 m langer Bohrkern geborgen, der in der Folge schwerpunktmäßig durch die AWI-Arbeitsgruppe im Rahmen von WP2 bearbeitet wurde. Da die deutschen Projektpartner auf Grund einer Sperrung für ausländische Bürger keinen Zugang zur Bohrung hatten, wurde die Zeit genutzt, eine Verdichtung der flächenhaften Beprobung der Oberflächensedimente im Vorland des Qilian-Shan-Gebirges vorzunehmen (110 Proben).

Im September 2012 wurde schließlich die zweite Bohrung GN200 erfolgreich an der geplanten Lokalität durchgeführt. Beteiligt waren neben den chinesischen Partnern die FU Berlin und das AWI Potsdam. Nach drei Wochen wurde bei 233 m unterhalb der Gelände-Oberfläche die Quartärbasis erreicht und die Bohrung beendet. Der Kern GN200 wurde in der Folge an der Universität Nanjing beprobt und bearbeitet. Eine Probenserie des oberen Abschnitts wurde nach Deutschland überführt. Im Rahmen von WP2 wurden daran bisher nur die Tonminerale bestimmt. Weitere sedimentologische Analysen erfolgten über die Arbeitsgruppe der FU Berlin und werden im entsprechenden Berichtsteil erläutert.

RWTH Aachen

Das Vorhaben begann mit der Planung von mehreren Geländekampagnen, die im September 2011, April 2012, Mai 2012 und September 2012 sowie im Mai 2013 von den WP4 und WP5 sowohl gemeinsam als auch unabhängig durchgeführt wurden. In Vorbereitung auf die erste Kampagne wurden Satellitenbilder herangezogen um mögliche Routen und exemplarische Teileinzugsgebiete zu identifizieren. Die erste Kampagne führte alle WPs und die chinesischen Projektpartner ins Gaxun-Nur-Becken. Aufgrund der kurzfristigen Bewilligung des FE-Vorhabens konnte vom WP4 nicht auf die HTS-TEM-Methode zurückgegriffen werden – als Ersatz kam die passivseismische H/V-Methode zum Einsatz, das im Arbeitsgebiet ähnliche Eindringtiefen und damit auch die Kartierung der Quartärbasis ermöglichte. Zudem war es für Teilnehmer des WP2 und WP5 möglich, erste Teileinzugsgebiete im Qilian Shan zu beproben um einen ersten Eindruck der Sedimentverteilung und der geochemischen Eigenschaften der Sedimente zu bekommen.

Während der Kampagnen im Frühjahr 2012 wurde aufgrund der administrativen Probleme (s. Korrespondenz und Erläuterungen zum Zwischenbericht 2012) bezüglich der Bohrung im Gaxun-Nur-Becken ein ad hoc-Plan für die Region des Qilian Shan und des Hexi-

Korridors aufgestellt. Im WP4 konnten durch schnelle Kalibrierung der Messgeräte und Teilung der Expeditionsgruppe relevante Messprofile sowie mehrere mögliche Bohrstellen geophysikalisch aufgenommen werden. Während dieser Geländekampagne kam neben Georadar und H/V auch die HTS-TEM-Methode zum Einsatz. In der Kampagne des WP5 konnte eine Reihe sehr ergiebiger Profile und Oberflächenproben genommen werden. Zusätzlich konnten Lücken im Beprobungsnetz geschlossen bzw. identifiziert werden. Letztere wurden während der dritten Feldkampagne (Sommer 2012; WP5) geschlossen, sodass insgesamt eine sehr effektive Arbeit im Gelände durchgeführt werden konnte. Das Hauptaugenmerk des WP5 lag auf der Beprobung von Löss- und Sandprofilen im Qilian Shan und seinem Vorland, um die Sedimentmobilität im Spätpleistozän und Holozän zu erfassen. Anschließende Feldarbeiten im Gaxun-Nur-Becken (in der Nähe der Bohrlokalität GN200), dem Bei-Shan-Gebirge und der Wentugaole-Senke rundeten diese Arbeiten ab. Zusammenfassend konnte eine großflächige Beprobung des oberen Einzugsgebiets (Qilian Shan, Hexi Korridor, Bei Shan) wie auch des Gaxun-Nur-Beckens aus 271 Oberflächenproben und 62 Sedimentprofilen (mit bis zu 30 Proben je Profil) durchgeführt werden. Zur Datierung wurden insgesamt 57 OSL-Proben genommen. Die Datierung der OSL-Proben in Kooperation mit dem LIAG Hannover (J. Zhang, M. Frechen) und mit der Nanjing University (S. Yi, H. Lu; hierzu zusätzlich ein DAAD-gefördertes dreimonatiges Praktikum des Doktoranden V. Nottebaum) durchgeführt. Im Mai 2013 wurde eine einwöchige Geländekampagne in Kooperation mit Z. Lai von der Xining University (heute Wuhan University) durchgeführt. Dort wurden zwei Lössprofile (Caoxian und Luochuan) zu Vergleichszwecken mit der potentiellen Quellregion im Gaxun-Nur-Becken beprobt. Die Sedimentproben wurden vollständig im Labor aufbereitet und untersucht. Die Auswertung der Daten ist soweit abgeschlossen. Bis jetzt (Stand März 2015) werden aus den Daten des WP5 sieben Publikationen erstellt, von denen fünf zur Veröffentlichung angenommen wurden. Eine Publikation befindet sich aktuell noch im Begutachtungsprozess; eine Weitere wird noch im Frühjahr 2015 eingereicht. Damit sind die wichtigsten Ergebnisse des FE Projektes international verfügbar.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand der Forschung

Die Untersuchungen von Yang (1991), Wünnemann et al. (1998), Wünnemann (1999), Wünnemann & Hartmann (2002), Hartmann (2003), Hartmann & Wünnemann (2009) und Hartmann et al. (2011) diskutierten die Bedeutung der Sedimentation im Hexi-Korridor, im Gaxun-Nur-Becken und den angrenzenden Wüsten als Resultat der Interaktion klimatischer (Monsun, Westwinde), hydrologischer (Grundwasser- und Schmelzwasserdynamik) und tektonischer Faktoren (Beckengenese). Die Erkenntnis der Wechselwirkungen dieser Prozesse resultierte in dem Ansatz, die gesamte Sedimentkaskade in die Betrachtung von Umweltveränderungen und -risiken zu integrieren. Reviews zur paläoklimatischen Entwicklung des Großraums wurden über die Interpretation klimatologischer, geomorphologischer und sedimentologischer Ergebnisse

durchgeführt (Lehmkuhl & Haselein, 2000; Herzsuh, 2006; Chen et al., 2008; Yang & Scuderi, 2010, Yang et al., 2011).

Die Untersuchung von Korngrößenspektren dient der Rekonstruktion beteiligter Transport- und Depositionsprozesse (Folk & Ward, 1957; Ashley, 1978; Tsoar & Pye, 1987; Dietze et al., 2012; Ijmer et al., 2012; Stauch et al., 2012; Biskaborn et al., 2013). Zusätzlich erlauben Schwer- und Tonminerale Rückschlüsse auf die Herkunft sowohl proximal als auch distal verfrachteter Sedimentkomponenten (Diekmann & Kuhn, 1999, Diekmann et al., 2000, Popp et al., 2007). Herkunftsanalysen auf der Basis geochemischer Befunde und mineralmagnetischer Eigenschaften wurden in Teilen des Arbeitsgebiets von Wang et al. (2012) publiziert. Jüngere Forschungsergebnisse stellten verstärkt die Bedeutung lokaler geomorphologischer Standortbedingungen für die Sedimentverbreitung heraus (Hugenholtz & Wolfe, 2010; Stauch et al., 2014). Weitere wichtige Grundlage war die Bedeutung fluvialer Aktivität für das sedimentäre System, besonders in (semi-)ariden Räumen. Diese dient äolischen Transportprozessen in diesen Räumen als wichtiger Materiallieferant (Bullard & Livingstone, 2002). Unter Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren wurden repräsentative Teileinzugsgebiete identifiziert, geomorphologisch-sedimentologisch beschrieben und beprobt.

Nach den Ergebnissen von Hartmann (2003) wurden erstmals (neo-)tektonische Einflüsse der regionalen Beckengenese nachgewiesen, die insbesondere von Becken et al. (2007), Hölz (2007), Hölz et al. (2007) und Hartmann et al. (2009, 2011) geomorphologisch sowie geophysikalisch lokalisiert und quantifiziert wurden. Die überregionalen tektonischen Prozesse gliedern sich in die Betrachtung paläozoischer bis mesozoischer Genese und Paläogeographie des Bei Shan - Orogens und des Zentralasiatischen Orogengürtels (CAOB) sowie der mesozoischen Becken der Inneren Mongolei (China) und der Republik Mongolei (s. u. A. Meng 2003, Meng et al. 2003). Die känozoischen bis rezenten überregionalen Strukturen finden Betrachtung in der Forschung an den Rändern des Tibet-Plateaus südlich des Gaxun-Nur-Beckens (Hetzl et al. 2002, 2004, Hetzel 2013), sowie des transpressionalen Gobi-Altai-Gebirges nördlich des Gaxun-Nur-Beckens (Cunningham et al. 1996, 1997, Owen et al. 1997, Roberts & Cunningham 2008, Cunningham 2005, 2010, 2013).

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

H/V-Messungen wurden durch die Zusammenarbeit mit H.-B. Havenith (Université de Liège) in der Geländekampagne 2011 kostengünstig ermöglicht, eine weitere Leihgabe der Geräte (Seismometer und Station) im Frühjahr 2012 konnte helfen, die Datenbasis zu erweitern. Eine gemeinsame Veröffentlichung ist in Arbeit, gemeinsame Tagungsbeiträge wurden 2012 und 2013 vorgestellt.

Im Zuge der SQUID-TEM-Messungen wurden neben der Ausleihe des SQUID-Magnetometers (supracon AG, Jena) mit den Kollegen der Universität Münster (M. Becken, Ausleihe ADU07-Datenlogger) und TU Berlin zusammengearbeitet.

Für die Datierung organikhaltiger Sedimente besteht eine Kooperation mit der AG P. Reimer (M. Blaauw) an der Queens University Belfast. Hierdurch konnten >25 AMS Datierungen zum Selbstkostenpreis durchgeführt werden. M. Blaauw begleitete die Übersichtsexpedition 2011 und nahm am Kick-off-Meeting teil. Mit ihm besteht seit 2010 eine enge Kooperation im Bereich Statistik und Age-depth-modelling.

M. Edmunds, Oxford University, untersuchte in der Vergangenheit die Grundwässer in der Tengger und Badain Jaran Shamo. Um das Problem der zu jungen Alter in den tieferen Abschnitten des GN200 zu klären, diskutierten wir mit ihm die Möglichkeit der Kontamination von Limniten mit jüngerem Kohlenstoff.

C. Zhang (Lanzhou University) ermöglichte die Messung stabiler Isotope am Kern GN200 (Masterarbeit Starke, FU Berlin).

Die OSL-Datierungen wurden in Kooperation mit zwei Forschungsgruppen durchgeführt (S. Yi, H. Lu; Nanjing University und J. Zhang, M. Frechen; LIAG Hannover). In Zusammenarbeit mit der Nanjing University erhielt der Doktorand V. Nottebaum über ein DAAD-gefördertes Praktikum die Möglichkeit, an 29 Proben aus Sandablagerungen im Hexi Korridor die Probenaufbereitung zu erlernen und selber durchzuführen. Gemeinsame Publikationen über diese Ergebnisse sind bereits in internationalen Journals angenommen worden ([Zhang et al., 2015a](#); [2015b](#), und [Nottebaum et al., 2015](#)). Eine weitere Publikation zu den Aktivitätsphasen äolischer Sande zusammen mit der Arbeitsgruppe H. Lu (Nanjing) steht kurz vor dem Abschluss.

Die Analysen der Pollen und NPP im Kern GN200 sowie ausgewählter Profile wurde durch F. Schlütz, Niedersächsisches Institut für historische Küstenforschung und L. Shumilovskikh durchgeführt. Bestimmung von Mikrofossilien (Ostrakoden, Diatomeen) erfolgte durch M. Schmidt in Zusammenarbeit mit S. Mischke, Universität Potsdam (Ostrakoden) und F. Riedel, FU Berlin (Diatomeen, Gastropoden).

II. Eingehende Darstellung

1. Ergebnisse

1.1 Stratigraphische und tektonische Befunde aus dem Gaxun-Nur-Becken

Die Erfassung der räumlichen Sedimentverbreitung im Becken und die zugehörigen Transportpfade war ein Schwerpunkt des Projektes. Neben der Sedimentverfügbarkeit und den aktiven geomorphologischen Prozessen spielt die quartäre Tektonik eine wichtige Rolle. Im Ober- und Mittellauf des Heihe beeinflussen die gebirgsbildenden Prozesse die Sedimentationsraten durch aktive Überschiebungen und sinistrale Blattverschiebungen (Abb. 1). Die Qilian-Shan-Überschiebungsfront sowie die Zhangye- und Heli-Shan-Überschiebungen mit sinistralen Blattverschiebungskomponenten haben den Lauf des Heihe seit der Entstehung des Flusssystems immer wieder verlegt ([Hetzl et al., 2004](#)). Insbesondere eine Hebung des Heli Shans seit 610 ± 100 ka bedingt den Zugang des Heihes zum heutigen Depotzentrum, dem Gaxun-Nur-Becken. Eine letzte großräumigere Verlagerung des Heihe fand vor circa 215 ka statt ([Hetzl et al., 2004](#)). Seitdem besteht eine kontinuierliche Verbindung zwischen dem Jiuquan-Becken im Hexi-Korridor und dem Gaxun-Nur-Becken.

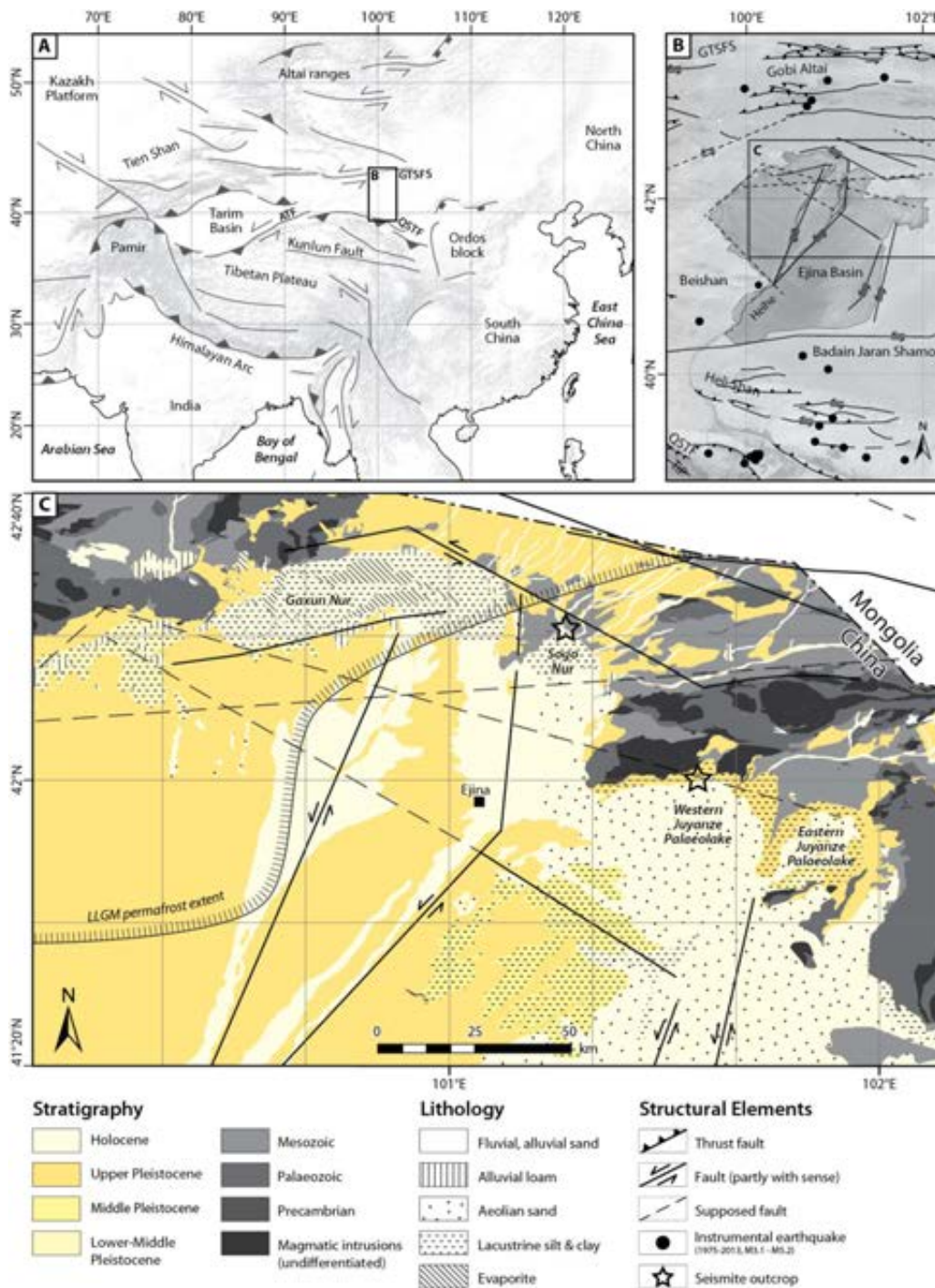


Abb. 1: A: Generalisierte tektonische Karte, ATF: Altyn Tagh-Störung, GTSFS: Gobi-Tien Shan-Störungssystem, QSTS: Qilian Shan-Überschiebungsfront. B: Übersicht über die regionalen Strukturen des Gaxun-Nur-Beckens (Ejina Basin). C: Geologische Karte des nördlichen Gaxun-Nur-Beckens.

Im Gaxun-Nur-Becken selbst sind Spuren tektonischer Aktivität aufgrund des hyperariden Klimas, der konstanten Sedimentumlagerung und fehlender Seismizität nicht ohne weiteres nachzuweisen. Im Deformationsfeld zwischen Gobi Altai-Orogen und der Orogenese des Tibet-Plateaus wurde in den Randgebieten der Gobi keine rezente interne Deformation zugerechnet. Annahmen rezent tektonischer und neotektonischer Aktivität (Wünnemann & Hartmann 2002, Hartmann 2003) basieren auf sedimentologischen und

hydrographischen Befunden. Die instrumentelle Seismizität beschränkt sich auf Aufzeichnungen nördlich und südlich des Gaxun-Nur-Beckens mit Magnituden von <5.2 .

Die bisher veröffentlichten Störungen innerhalb des Gaxun-Nur-Beckens (Abb. 1) beruhen auf fernerkundlichen Daten, die vereinzelt durch geophysikalische Messkampagnen belegt wurden (Becken et al. 2007, Hölz 2007, Hölz et al. 2007). Eine Abschätzung der Aktivität dieser Störungen konnte dort nicht vorgenommen werden.

Für die räumliche Erfassung der Sedimentstratigraphie des Beckens wurden neben den von Wünnemann et al. (2007) bereits ausgewerteten Langkernen D100 und I70 Daten aus insgesamt 64 Bohrungen zur Grundwasserexploration des Gansu Provincial Geological Bureau (1980) ausgewertet (Abb. 2). Dieser Datensatz unterscheidet für das Quartär des Gaxun-Nur-Beckens drei stratigraphische Haupteinheiten: a) frühes und mittleres Quartär (Q1-2), b) Spätpleistozän (Q3) und c) Holzän (Q4). Dabei besteht das frühe und mittlere Quartär überwiegend aus pelitischen bis psammitischen Folgen lakustriner und semilakustriner Fazies. Dieses sogenannte Q1-2 umfasst nach der Bohrung D100 von Wünnemann et al. (2007) auf der Basis eines paläomagnetischen Alters-Tiefen-Modells einen Altersbereich zwischen 250 und 45 ka BP. Auffallend in allen Lokationen des Q1-2 ist die ausgesprochene Homogenität der Ton-Schlufffolgen. Deutlich abgegrenzt zu diesem ältesten Quartärabschnitt erscheint das Q3, welches nach Wünnemann et al. (2007) dem Spätpleistozän bzw. dem MIS 4-2 zuzuordnen ist. Sowohl im D100 als auch in der Mehrheit der GW-Bohrungen sind hier Wechselfolgen äolischer, fluvialer und lakustriner Fazies in hoher räumlicher Varianz vertreten.

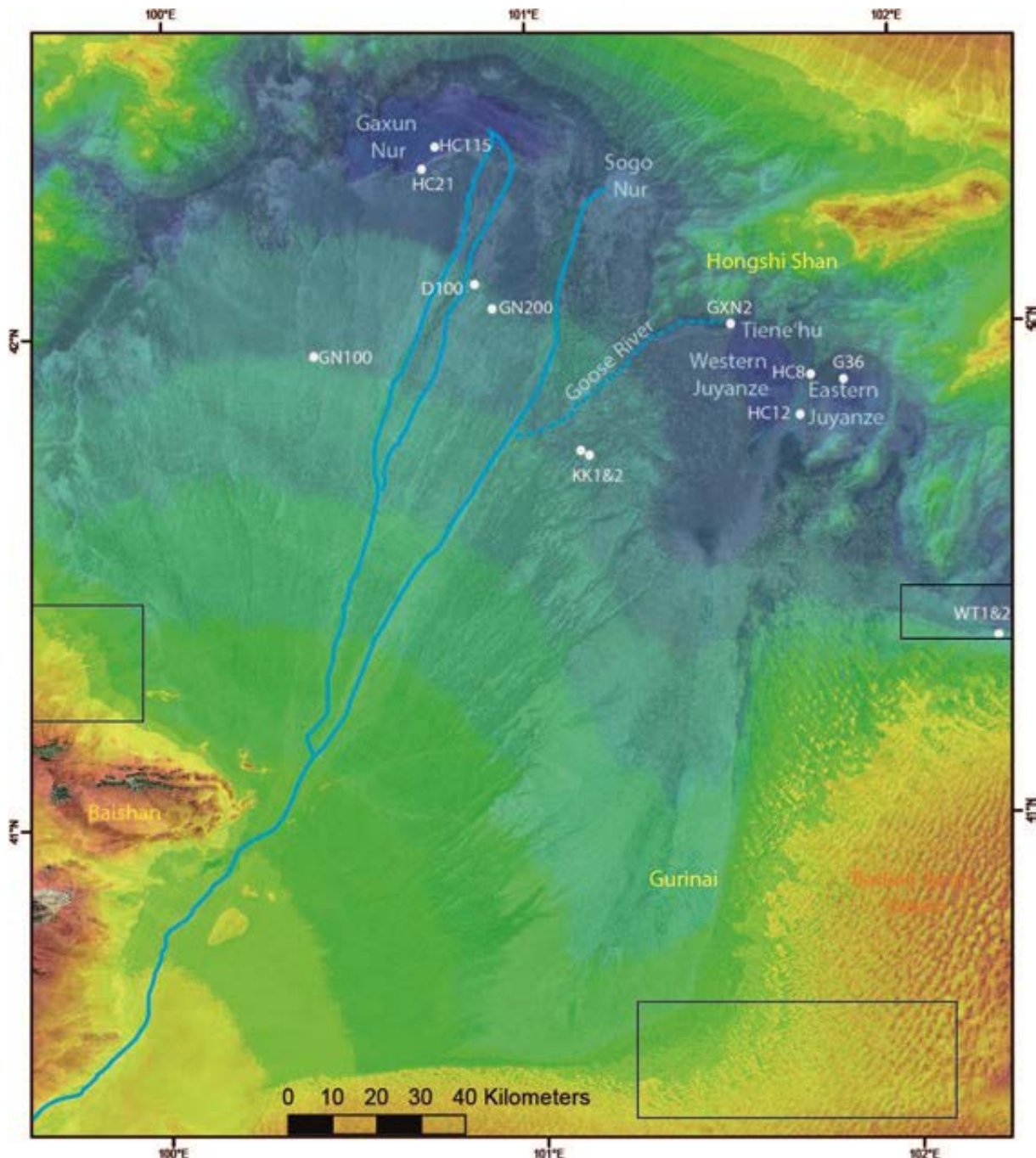


Abb. 2: Übersicht der in WP1 bearbeiteten Profilpunkte sowie wichtige Lokalitäten wie sie im Bericht erwähnt werden.

Das Holozän (Q4) besteht ebenfalls aus äolischen, lakustrinen und fluvialen Abfolgen. Ihr Auftreten beschränkt sich allerdings auf Senken entlang der Beckenränder: im Osten im Bereich der Duplexstruktur von Gurinai, im Norden im Bereich der drei Seebecken Juyanze, Sogo Nur und Gaxun Nur sowie im Westen entlang von Randsenken. Das stratigraphische Interface zwischen Pleistozän und Holozän bilden bis zu 7m mächtige Kiese. Um die räumliche Verteilung der drei stratigraphischen Haupteinheiten zu modellieren, kam ein Indikator-Kriging zum Einsatz. Die Grundlage hierfür bildeten 64 Bohrungslokalitäten mit mehr als 20 m Quartär. Diese können auf einem 95%-Signifikanzlevel ($\chi^2=14,1$ mit Freiheitsgrad von 10) als zufällig verteilt angesehen werden. Hierbei wurde für eine

Rasterzelle von 30x30 Bogensekunden (ca. 900 m x 900 m) und einer Höhe von einem Meter die Auftretenswahrscheinlichkeit mittels Indikator-Kriging für jede Haupteinheit geschätzt (WP6). Das Ergebnis ist in Abb. 3 dargestellt. Der Farbverlauf beginnt jeweils bei einer Wahrscheinlichkeit von 50%. Für Q1-2 ergeben sich demnach zwei Depotcenter in unterschiedlicher Tiefe. Diese beiden Wahrscheinlichkeitscluster werden etwa durch den heutigen Verlauf des östlichen Armes des Hei Flusses getrennt. Dabei fällt auf, dass das südöstliche Cluster etwa 100-120 m tiefer liegt als das nordwestliche. Die maximalen Wahrscheinlichkeiten liegen dabei geclustert um die Bohrlokalitäten, was auf eine sehr starke vertikale Variabilität hinweist. Die spätpleistozänen Sedimente hingegen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit fast überall im Becken innerhalb der oberen 100 m anzutreffen. Die Wahrscheinlichkeit nimmt dabei von einem nordwestlichen Zentrum zu den Rändern ab. Damit nimmt die vertikale Variabilität von eben diesem Zentrum (dunkelrot) zu den Rändern zu.

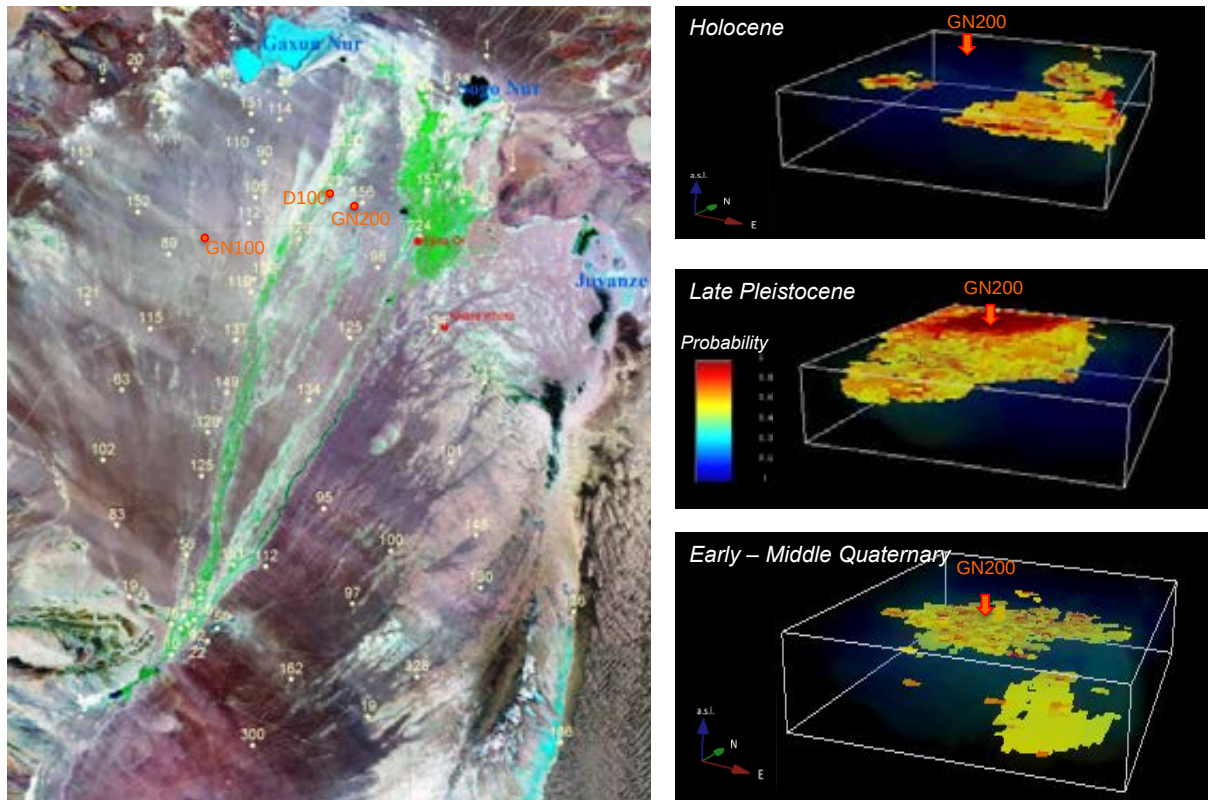


Abb. 3: Übersichtskarte (links) der Grundwasserbohrungen (*Gansu Provincial Geological Bureau, 1980*) mit Lage der Bohrkerne GN100 (18 m), GN200 (223 m) und D100 (230 m). Die angegebenen Tiefen (gelb) beziehen sich auf die Gesamttiefe, nicht die Quartärbasis! Ergebnisse des Indikator Kriging der GW-Bohrungen. Wahrscheinlichkeiten unterhalb von 0.5 sind nicht dargestellt. Bereiche hoher Wahrscheinlichkeiten (rot-braun) induzieren eine geringe Topographie der stratigraphischen Einheiten.

Das Holozän (Q4) weist wiederum zwei Cluster auf. Das größere erstreckt sich dabei vom südöstlichen Beckenrand über die Gurinai-Struktur bis in den Juyanze. Das kleinere

westliche Depozentrum liegt am Westrand und bildet offensichtlich die Erosionsbasis tektonisch beeinflusster Wadisysteme aus dem Bei Shan. Gaxun Nur und Sogo Nur werden aufgrund fehlender Bohrungen hierbei nicht erfasst. Die Befunde der Wahrscheinlichkeitsverteilungen legen folgende für das Projekt wesentliche Schlüsse nahe:

- a) Die lakustrinen bis semilakustrinen Sedimente verteilen sich auf separierte Becken, welche durch eine an der Oberfläche verdeckte Schwelle im heutigen Verlauf des westlichen Heihe getrennt sind. Dabei liegt die Oberfläche dieser pelitisch-psammitischen Folgen im Osten 100-120 m tiefer und weist gleichzeitig eine deutlich höhere Topographie (räumliche Varianz) auf.
- b) Die spätpleistozänen, sedimentologisch heterogeneren Folgen des Gaxun-Nur-Beckens sind im gesamten Becken vertreten. Dabei ist ihre räumliche Homogenität im Nordwesten maximal, d.h. dass Faziesfolgen in vergleichbaren Teufen mit höherer Wahrscheinlichkeit verfolgbar sind. Diese Homogenität nimmt nach Süden Richtung Bei Shan und nach Westen Richtung Gurinai-Duplex ab.
- c) Holozäne Abfolgen finden sich in den Senken der heterogenen Topographie des Spätpleistozäns entlang der Beckenränder. Neben den erwarteten Bereichen entlang der heutigen Endseen Gaxun Nur und Sogo Nur sind dies insbesondere der östliche Juyansee, die Duplex-Störungszone entlang der Badain Jaran Shamo bis südlich Gurinai und dem westlichen Beckenrand.

Diese Befunde unterstützen eine weitere Kuriosität des Gaxun-Nur-Beckens. Während das Becken in kleinen Maßstäben auf dem Luftbild als ein großer Schwemmfächer erscheint, zeigt das Höhenmodell in Abb. 3 ebenfalls eine Zweiteilung entlang des Beckens: nordwestlich der genannten Achse von Dingxin nach Ejina Qi zeigen die Höhenlinien einen für einen Schwemmfächer typischen konvexen Verlauf. Östlich dieser Achse induzieren konkave Höhenverläufe hingegen eine Senkung mit Herausbildung von 'Inverted Channels' Richtung Norden. Hiermit wird die These gestützt, dass das östliche Becken tektonisch aktiver ist (vgl. [Hartmann et al. 2011](#)).

1.2 Die Sedimentkaskade analysiert an Oberflächenproben aus dem Gesamteinzugsgebiet

Der Fokus von WP2 und WP5 lag auf der Entschlüsselung von Sedimentverbreitungsmustern und -prozessen entlang der Sedimentkaskade im Einzugsgebiet des Gaxun-Nur-Beckens. Die Untersuchungen ergänzen sich mit den Ergebnissen aus der Bohrung und fügen so eine räumliche Dimension bei der Erörterung der übergeordneten Fragestellungen hinzu. Vor allem die Größe des Einzugsgebiets (~360.000 km²) und die unterschiedlichen Klima- und Vegetationszonen von Hochgebirge bis in die Wüste bringen eine interne klimatische (sub-humid bis hyperarid) wie auch

tektonische und geomorphologische (Hochgebirge, Wüsten) Differenzierung mit sich, die Einfluss auf die Sedimentzwischenspeicherung haben.

Während drei Geländekampagnen wurden im WP5 271 Oberflächenproben und 62 Sedimentprofile aufgenommen (Abb. 4) und gemäß einer Prioritätenliste auf ihre Korngrößenzusammensetzung und Elementgehalte analysiert. 52 Proben wurden mit

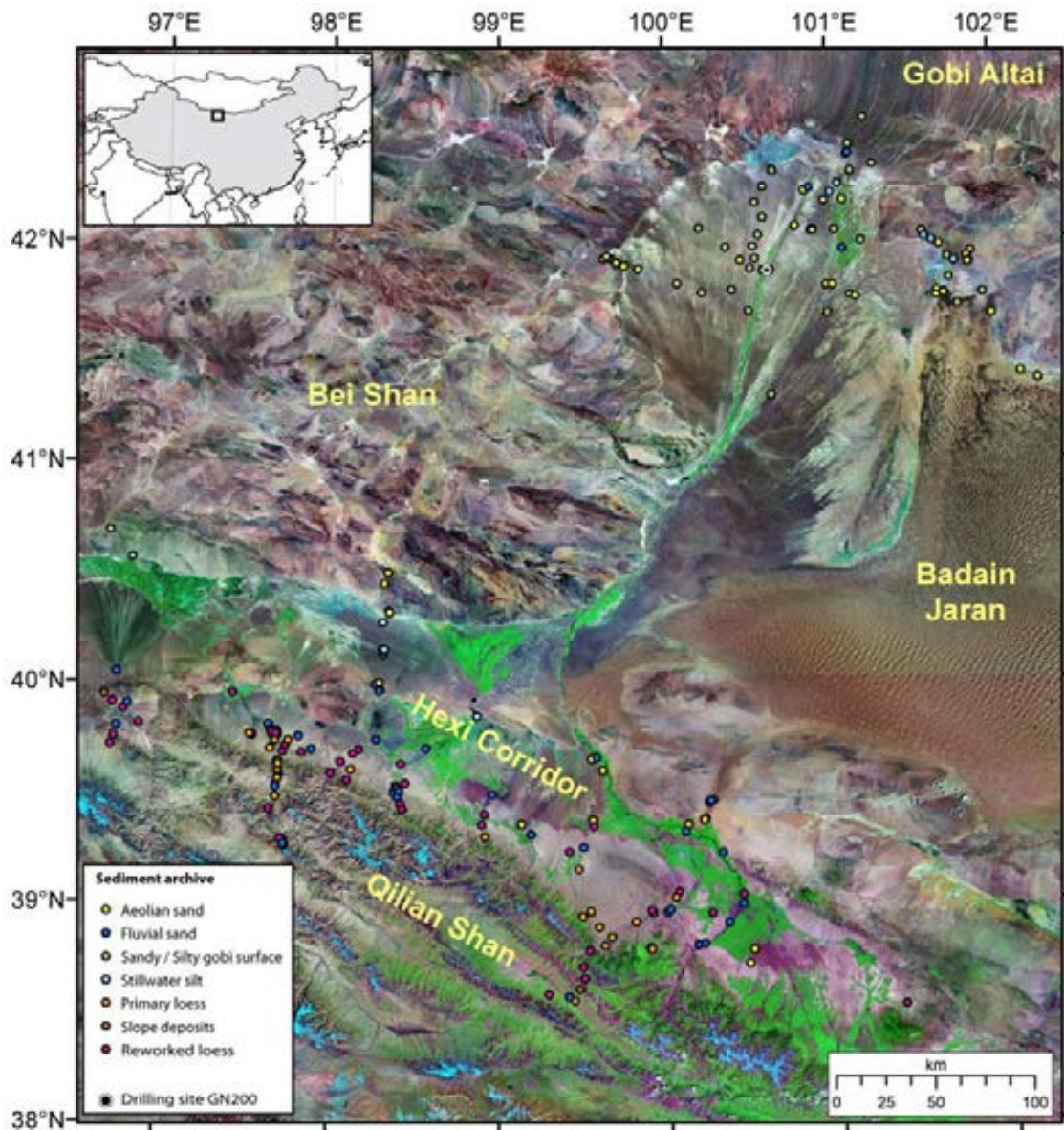


Abb. 4: Überblick über das Untersuchungsgebiet und Probenpunkte inkl. Sedimentarchivzuordnung (unveröffentlichte Darstellung)

Optisch stimulierter Lumineszenz (OSL) datiert. In einem ersten Schritt wurden Geländebefunde in Kombination mit den Labordaten in einer Karte, eingeteilt in geomorphologisch-sedimentologische Landschaftseinheiten, repräsentiert. Als ein erstes Ergebnis wurde eine Dreigliederung der sedimentologischen Zonen entlang des Höhentranssektes festgehalten (Abb. 5). Über 3800 m ü. M. dominieren periglaziale

Prozesse und verhindern kontinuierlichen Aufbau einer Vegetations- und Lössdecke. Diese setzen zwischen 3800 und 2000 m ü. M. an und überschreiten dabei die Gebirgsfront (~2600 – 3000 m ü. M.) bis ins Vorland. Unterhalb 2000 m ü. M. mischen sich fluvial verlagerte (lössbürtige) Schluffe, lakustrine Sedimente und äolische Sande, die sich in der stark landwirtschaftlich genutzten Region abwechseln (Nottebaum et al., 2014).

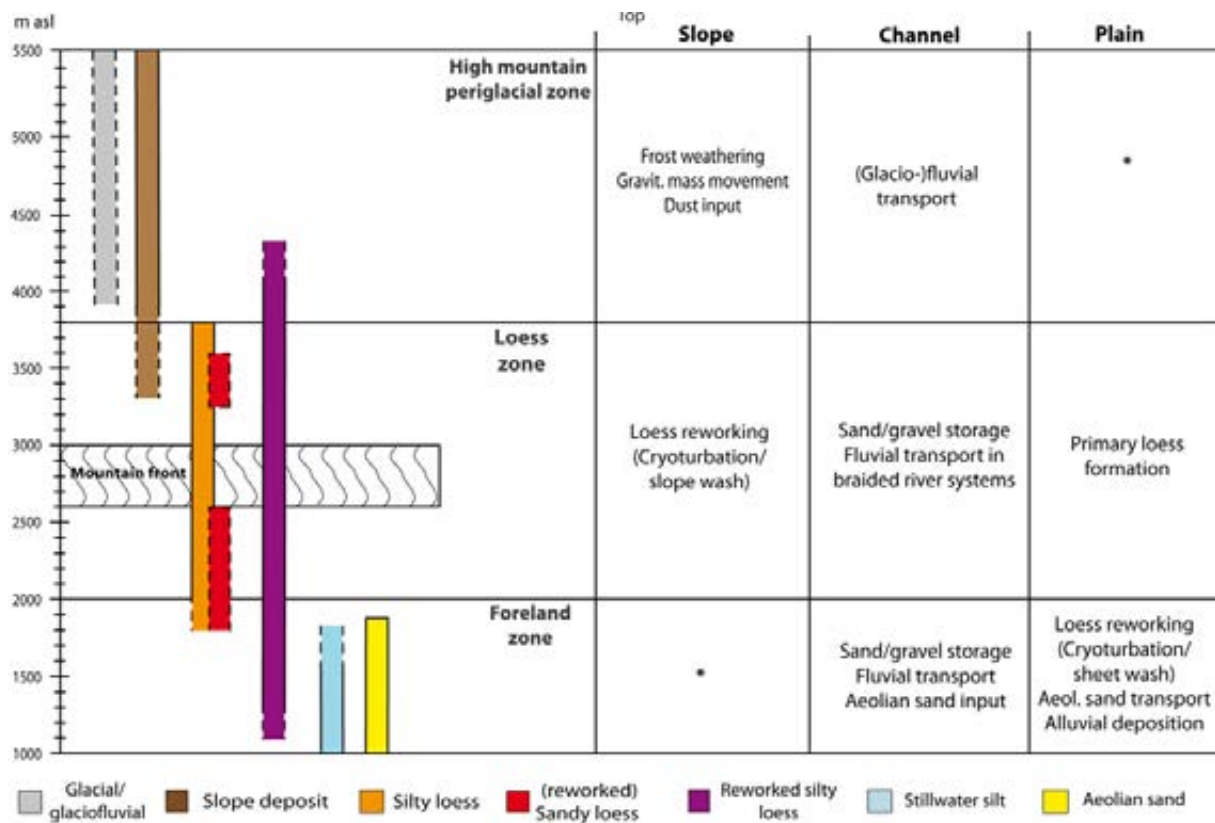


Abb. 5: Höhentransekt der sedimentologisch-geomorphologischen Dreigliederung entlang der Qilian Shan-Abdichtung inkl. dominanter sedimentologischer Prozesse (Nottebaum et al., 2014)

Die Erfassung der raum-zeitlichen Varianz der Stoffeigenschaften wurde in Kombination aus elementgeochemischen und Korngrößendaten angestrebt. Elementgehalte zeigen eine klare Abhängigkeit von Korngrößenverteilungen, die auf unterschiedliche Affinitäten der Elemente zu verschiedenen Korngrößen beruht (z.B. Ton: Ti; Sand: Si, Zr). Archivbezogen lassen sich Unterschiede zwischen fluvialen und äolischen Sanden erkennen, die sich aus erhöhten Zr-Gehalten in äolischen Sanden ergeben.

Um die Ablagerungsbedingungen des erbohrten Kernmaterials sedimentologisch zu interpretieren, wurden vergleichende Oberflächenproben aus dem gesamten Einzugsgebiet genommen und auf ihre Korngrößenzusammensetzung analysiert. Dies ermöglicht quasi-rezente Prozesse auf die Kernproben zu übertragen und Sedimentarchive auszuweisen. Qualitativ zeigt sich eine mögliche Zuordnung von äolischen (fein- bis mittelsandig), lakustrinen (feinschluffig) und eher alluvialen bis lössähnlichen Ablagerungen (grob Schluffig). In Anbetracht eines breitenverzweigten bis deltaähnlichen Flusssystems, welches den Sedimenttransport in die Beckenregion

bewerkstelligte, wird die Aussagekraft der Sedimenttypen als Paläoumweltanzeiger eingeschränkt. Diese ist indirekt insofern möglich, als dass äolische Fazies eine größere Entfernung vom fluvialen Transportpfad anzeigen, während alluviale und lakustrine Sedimente einen höheren fluvialen Eintrag voraussetzen. Trotzdem zeigen die Untersuchungen an Dünenfeldern im Hexi-Korridor eine deutliche Abhängigkeit der äolischen Archive von fluvialen Transportpfaden. Dies deutet auf fluviale Zwischenspeicher als wichtiger Materiallieferant für den äolischen Transport hin. Ein eindeutiger Gradient in einer Transportrichtung konnte nicht belegt werden, was für ein häufiges Recycling der Sande über fluviale und äolische Prozesse unter kontinuierlicher Materiallieferung aus dem Qilian Shan im Hexi-Korridor spricht. Bezüglich der Lössen in den nahen Gebirgsbereichen zeigen Profile zwar einsetzende Bodenbildung an; insgesamt jedoch sprechen element-geochemische Indikatoren (z.B. Chemical Index of Alteration, CIA) für nur geringe Verwitterungsintensitäten. Eine räumlich positive Abhängigkeit von Jahresniederschlägen wird aber deutlich.

Die statistische EMMA-Auswertung der Oberflächenproben aus dem WP2 zeigt, dass sich folgende genetische Sedimenttypen unterscheiden lassen, wenn auch zum Teil Überschneidungen existieren: (1) Kiesablagerungen der Gobi-Oberfläche und auf fluvialen Terrassen, (2) Sande der Gobi-Oberfläche und von fluvialen Terrassen, (3) Grobe Dünen- und Flusssande, (4) Dünensande, (5) lössartige Sedimente, (6) Stillwassersedimente aus Auen und Seebecken. Diese genetischen Typen konnten ebenso in den Bohrkernen auf Grund ihrer Korngrößenzusammensetzung identifiziert werden. Im Rahmen von WP4 konnte die Arbeitsgruppe der RWTH Aachen zudem nachweisen, dass sich die lössartigen Sedimente im Qilian-Shan-Vorland weiter differenzieren lassen und genetisch an höhenabhängige äolische Prozesse gekoppelt sind.

In Ergänzung zu den textuellen Parametern konnten kompositionelle Parameter ermittelt werden, die die eigentlichen Herkunftssignale kaschieren und eher auf sedimentäre Prozesse hindeuten. Sie können daher bei der genetischen Deutung die Korngrößendaten unterstützen. So weisen, wenig erstaunlich, tonige Stillwasser-Ablagerungen generell einen höheren Anteil von Schichtsilikaten (u.a. Tonminerale) gegenüber Gerüstsilikaten (Quarz und Feldspat) auf. In fossilen Seesedimenten fällt zudem ein erhöhter Smektitgehalt in der Tonfraktion ins Gewicht. Da Smektit ein extrem feinkörniges Tonmineral ist, wird es insbesondere unter Stillwasserbedingungen bevorzugt angereichert. Weitere Indizien ergeben sich aus den Elementverhältnissen. So zeichnen sich äolische Sande gegenüber anderen Sedimenttypen durch erhöhte Zr/Ti-Verhältnisse aus. Grund hierfür ist die hohe mechanische Resistenz von Zirkon, der in den Schwermineralspektren dennoch nur in untergeordneter Häufigkeit vorkommt. Hohe Al/Si- und weniger prägnant auch erhöhte K/Ti-Verhältnisse schwanken konform mit den Tonanteilen.

Herkunftssignale im Gesamtsediment

Da das Einzugsgebiet des Gaxun-Nur-Beckens durch eine heterogene Geologie charakterisiert ist, wurde im Vorfeld erwartet, dass sich die Sedimentzufuhr aus unterschiedlichen Quellen identifizieren ließe. Trotz der komplexen geologischen Verhältnisse, bestehen Alleinstellungsmerkmale der verschiedenen geologischen Provinzen (Gansu Provincial Geological Bureau, 1980; Bureau of Geology and Mineral resources of Gansu Province, 1989; Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region, 1989). So stehen im Qilian-Shan-Gebirge mesozoische Grünschiefer und Karbonate an, die weniger im Norden anzutreffen sind. Das nördlich Vorland des Qilian-Shans ist zudem durch rote Siliziklastite des Neogens geprägt, die im wärmeren Präquartär intensiver chemischer Verwitterung unterlagen. Das Bei-Shan-Gebirge im Westen des Einzugsgebiets ist vor allem durch saure Kristallingesteine des Präkambriums charakterisiert, während das Gobi-Altai-Gebirge im Norden wiederum einen ähnlich heterogenen Aufbau wie das Qilian-Shan-Gebirge im Süden aufweist.

Eine Sedimentherkunft aus dem Qilian Shan äußert sich räumlich durch eine nordwärtige Abnahme des Chloritgehalts in den Sedimenten des Qilian-Shan-Vorlands zum Gaxun-Nur-Becken. Ein zweites lokales Chloritmaximum tritt lediglich im äußersten Nordosten des Beckens auf. Erhöhte Dolomitgehalte aus Karbonaten des Qilian Shan lassen sich im westlichen Qilian-Shan-Vorland nachweisen (Abb. 6).

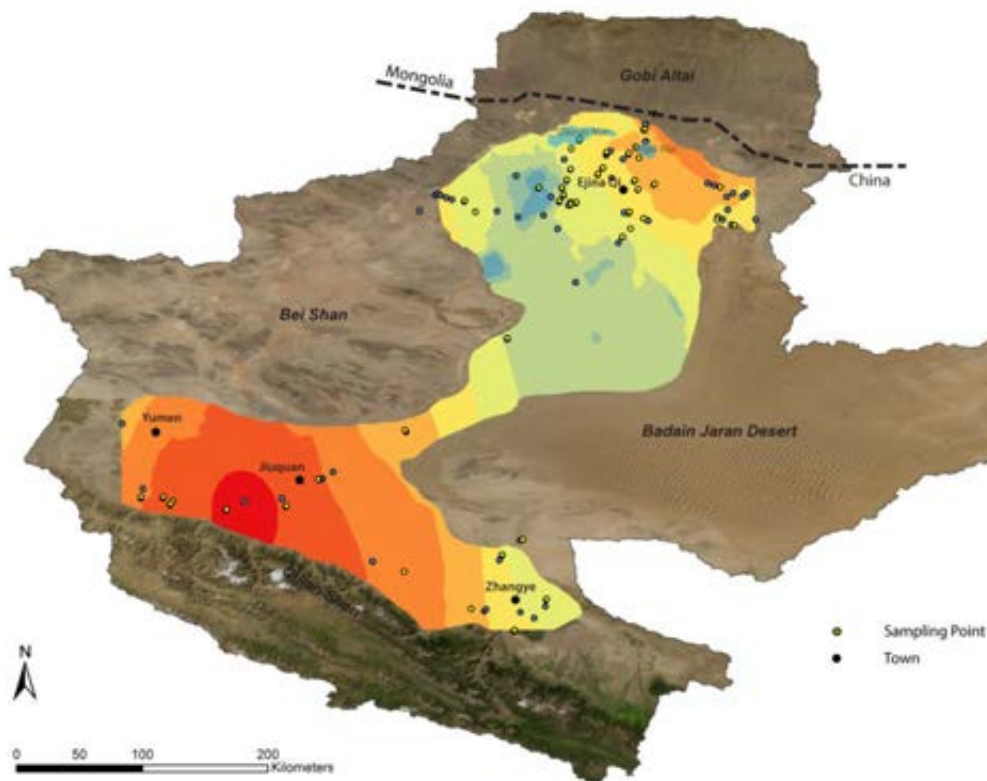


Abb. 6: Dolomitgehalte in Oberflächenablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiets (Gesamtsediment)

Ein aussagekräftiges Herkunftssignal stellt im Arbeitsgebiet das Cr/Rb-Verhältnis dar, welches in der Literatur als Korngrößenunabhängiger Parameter beschrieben wurde (von Eynatten et al., 2012). Niedrige Verhältnisse deuten auf felsische, erhöhte Verhältnisse auf mafische Quellen hin. Im Arbeitsgebiet zeigen vor allem die äolischen Sedimente im nördlichen Abschnitt des Arbeitsgebietes niedrige Verhältnisse, die mit einer Sedimentzufuhr aus der Bei-Shan-Region in Einklang stehen. Aquatische Sedimente zeigen hingegen keine signifikante Nord-Süd-Differenzierung (Abb. 7).

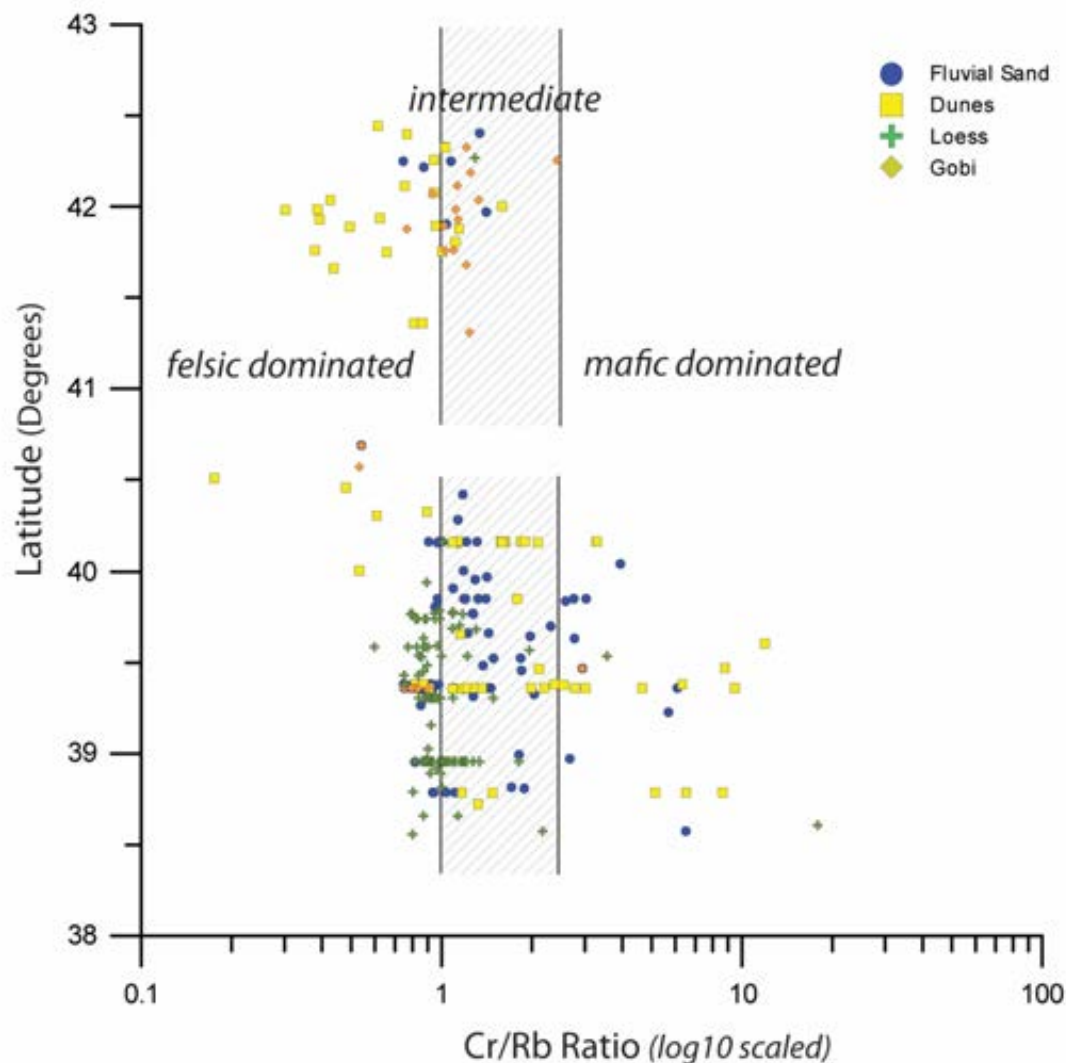


Abb. 7: Breitengradabhängige Variationen der Cr/Rb-Verhältnisse in Oberflächenablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiets (Gesamtsediment). Deutlich zeigt sich die Differenzierung zwischen äolischen und aquatischen Sedimenten

Herkunftssignale in der Tonfraktion

Die Tonmineralogie wurde genutzt, um die Sedimentherkunft von feinkörnigen Komponenten, die dem Ferntransport (Schwebfracht) unterliegen, zu erkennen. Hierbei wird der Befund aus der Gesamtmineralogie gestützt, wonach die relative Chlorithäufigkeit

mit zunehmender Entfernung von den Grünschiefern des Qilian Shan von Süden nach Norden abnimmt (Abb. 8). Als lokales Phänomen sind erhöhte Kaolinitgehalte in den neogenen Ablagerungen des Qilian-Shan-Vorlands erkennbar, die jedoch kein überregionales Signal implizieren.

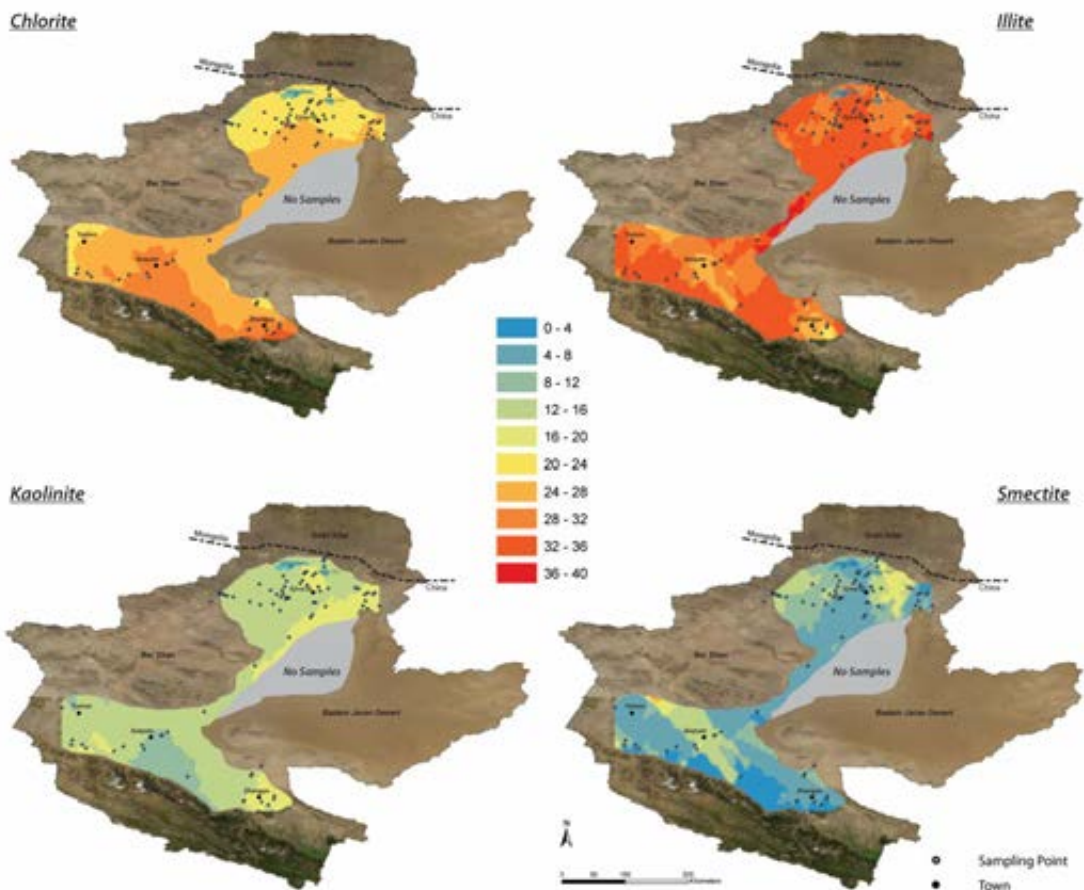


Abb. 8: Tonmineralverteilung in Oberflächenablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiet

Herkunftssignale in der Sandfraktion

Zur Herkunfts-Charakterisierung der Sandkomponente wurden Schwerminerale genutzt, da diese Hinweise auf Ausgangsgesteine und petrographische Charakteristika im Liefergebiet gestatten (Abb. 9-12). Im Gegensatz zu den Herkunftssignalen im Gesamtsediment und in der Tonfraktion lässt sich kein systematischer großräumiger Trend der Sandherkunft erkennen (Abb. 11). Vielmehr zeigt sich innerhalb der Proben eine enorme Varianz der mineralogischen Zusammensetzung (Abb. 10). Als besonders hilfreich hat sich der methodische Ansatz des 'Computer Controlled Scanning Electron Microscopy' erwiesen (Keulen et al., 2012), der noch deutlicher als die reine Mineralogie die geochemische Variabilität einzelner Schwermineraltypen verdeutlicht (Abb. 9). So zeigt zum Beispiel die Elementzusammensetzung der Hornblenden markante räumliche Kontraste, die in der Regel den Hauptanteil am Schwermineralspektrum haben (Abb. 12). Der Befund der Schwermineral-Heterogenität ist Abbild der enormen geologischen Vielfalt

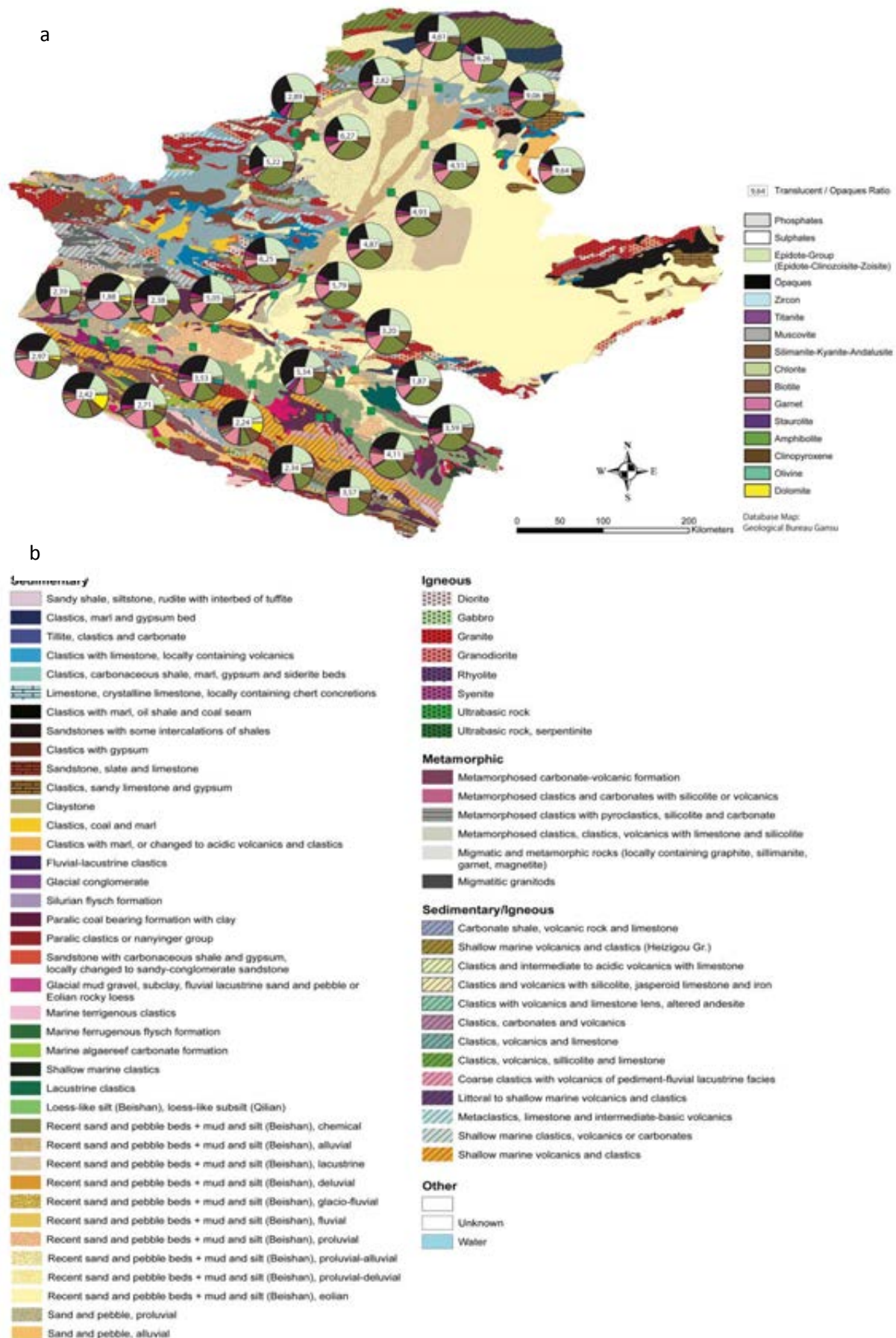


Abb. 10a: Schwermineralverteilung in Oberflächenablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiets (Sandfraktion 63-125 µm); 10b: Legende zur unterlagernden geologischen Karte.

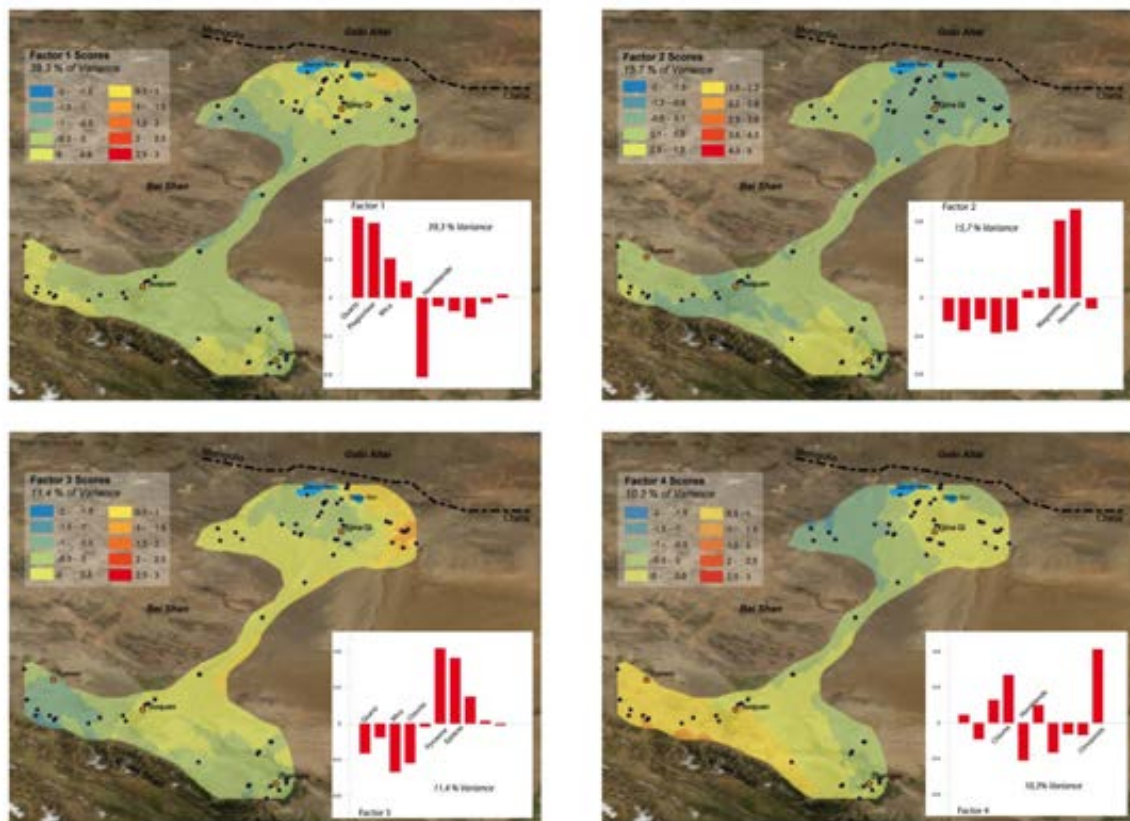


Abb. 11: Schwermineralverteilung in Oberflächenablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiets (Sandfraktion 63 – 125 μm), basierend auf Hauptkomponentenanalyse.

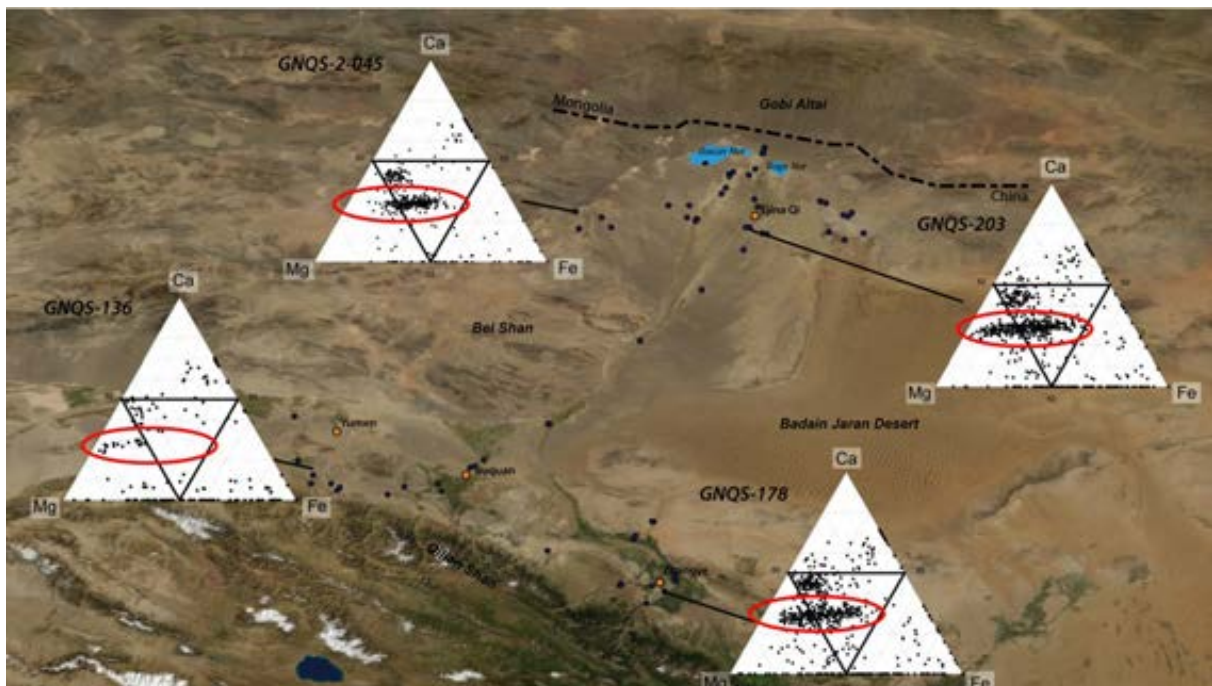


Abb. 12: Beispiel der räumlichen Varianz der Schwermineralchemie (Mg, Ca, Fe) in Oberflächenablagerungen des Gaxun-Nur-Einzugsgebiets (Sandfraktion 63 – 125 μm). Die roten Markierungen verdeutlichen die unterschiedlichen Bandbreiten der Hornblende-Chemie.

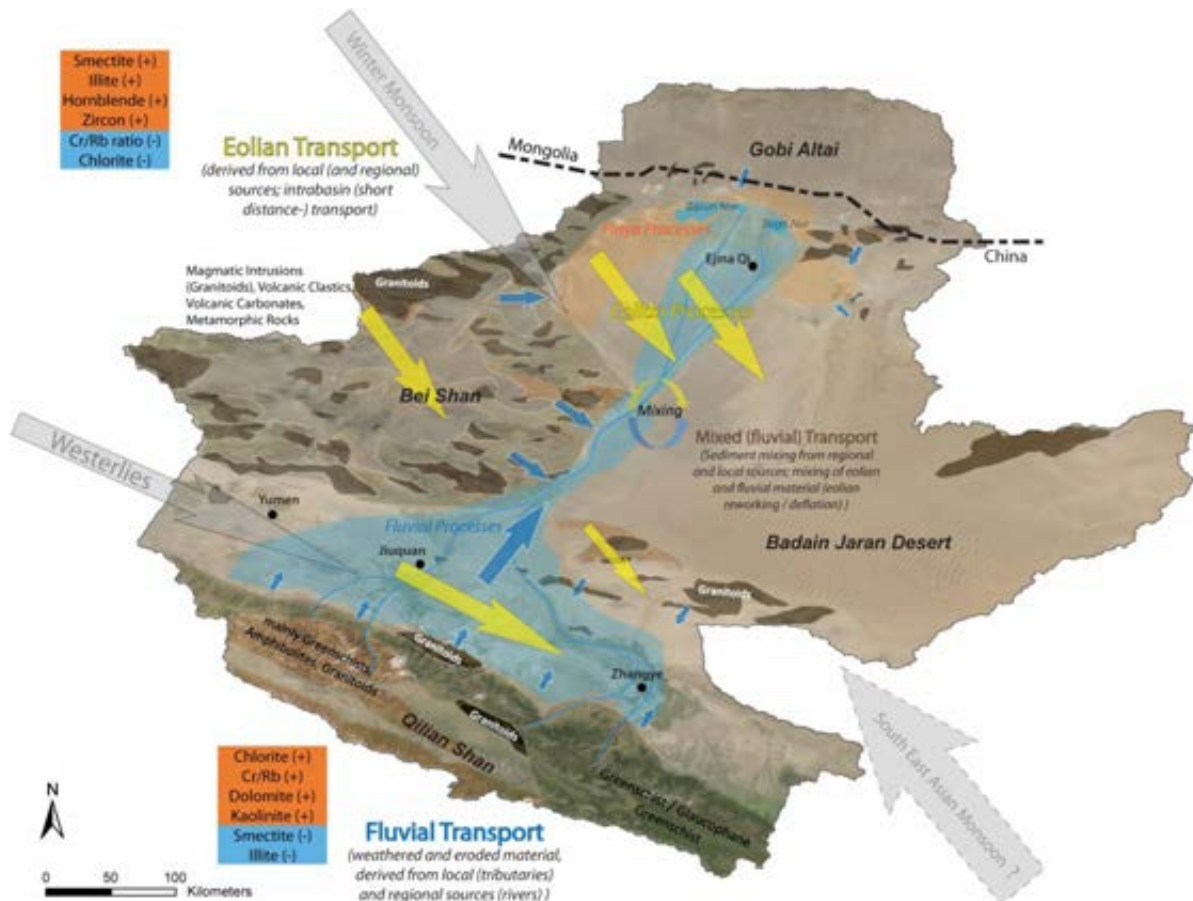


Abb. 13: Synthese der sedimentären Transportpfade im Gaxun-Nur-Einzugsgebiet.

1.3 Geophysikalische Exploration

Zur Untersuchung der Quartären Sedimentationsdynamik wurde in Rahmen des Projektes eine Tiefbohrung abgeteuft (WP1, FU Berlin und WP2 AWI). Hierbei sollte die Sedimentfolge möglichst lückenlos das gesamte Quartär des Beckens repräsentieren, wobei der unmittelbare Einfluss von Tektonik auf die Sedimentabfolge zu minimieren war. Hierfür war das Problem maximaler Teufe und Entfernung zu aktiven Störungen zu minimieren. Neben den administrativen Problemen im südöstlichen Teil des Beckens (ursprünglich im Antrag geplante Lokalität) ergaben die Befunde des Wahrscheinlichkeitsmodells eine maximal zu erwartende Quartär-Abdeckung im nordwestlichen Teil. Eine Feinjustierung der optimalen Bohrlokalität erfolgte in Zusammenarbeit mit WP4 (Neotektonik) auf der Basis von H/V-Messungen im Schwemmfächerbereich nordwestlich von Ejina Qi mit Schwerpunkt zwischen den beiden rezenten Flussarmen.

Die geophysikalische Prospektion der Quartärbasis mittels HTS-T-Elektromagnetik und der mikroseismischen H/V-Methode fand im zentralen nördlichen Gaxun-Nur-Becken statt. Hier wurden insbesondere die für die Tiefbohrung des Forschungsvorhabens mehrere relevante Areale untersucht (Abb. 14 und 15). Im Fokus stand hier zum einen die

Sicherstellung der Durchführbarkeit der Bohrung, um eine kontinuierliche Sedimentabfolge der quartären Einheiten zu erreichen.

Da die HTS-TEM wegen der kurzfristigen Bewilligung des FE-Vorhabens erst in 2012 eingesetzt werden konnte, wurde die Untersuchung der Bohrlokationen mit der H/V-Methode erfolgreich durchgeführt. Nach Kalibrierung der Messungen am D100-Bohrkern (Wünnemann, 1999, Wünnemann et al., 2007) konnte die Tiefe der Quartärbasis für den Bohrkern GN200 auf 221 m vorhergesagt werden. Die Bohrung im September 2012 erreichte die Quartärbasis in einer Tiefe von 222,3 m. Diese Genauigkeit zeigt die hervorragende Eignung der Methode für Messungen in sedimentären Becken. Die Tiefe der Quartärbasis wurde mittels H/V-Messung auf 221 m vorhergesagt. Die tatsächliche Basis im Kern wurde bei 218 m erreicht.

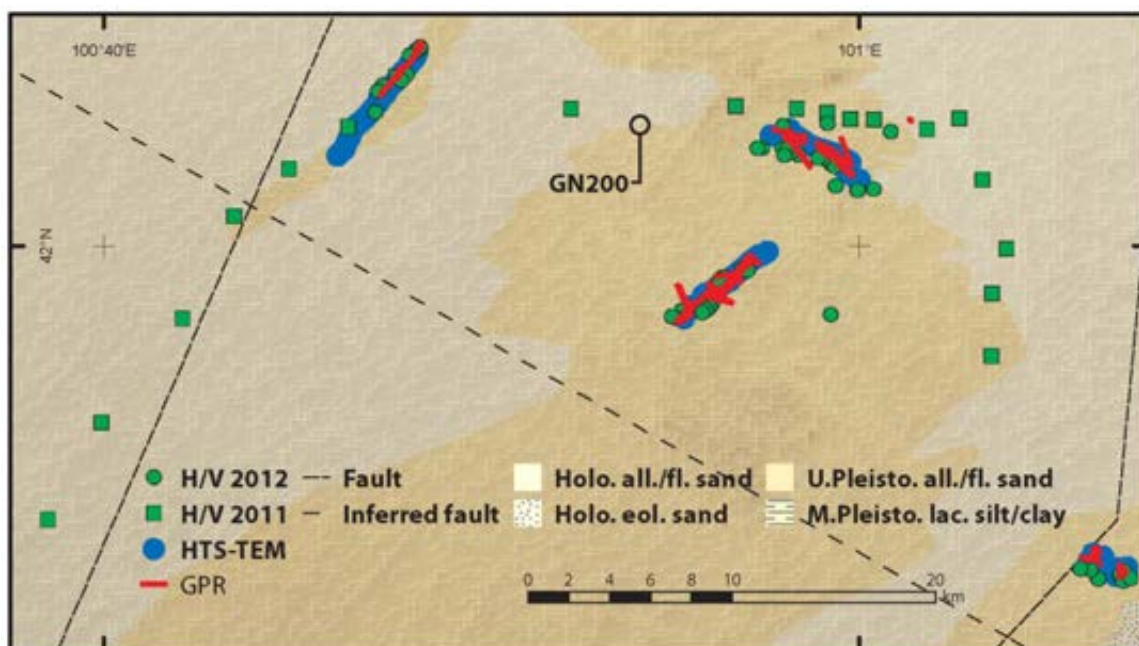


Abb. 14: Geophysikalische Messpunkte der Geländearbeiten des WP4.

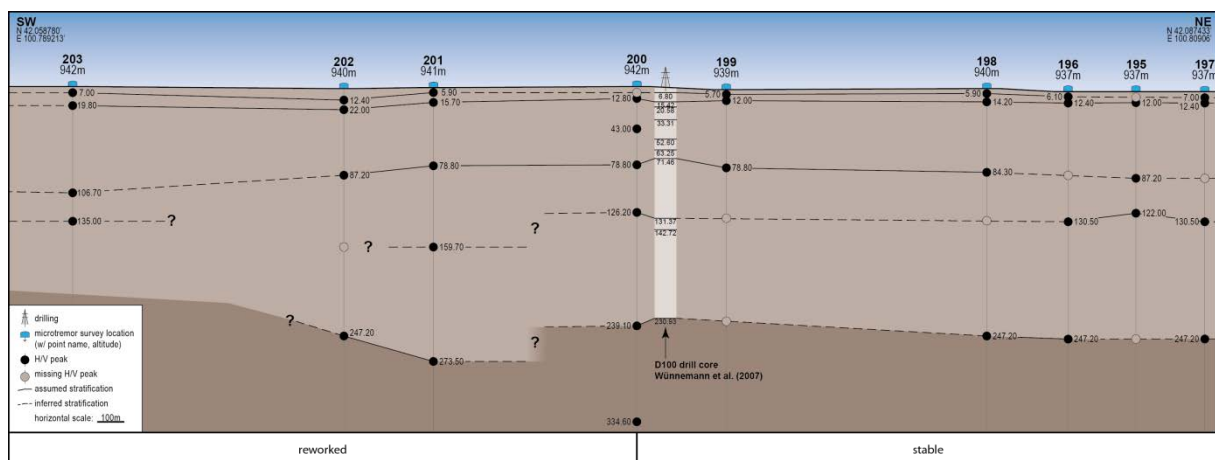


Abb. 15: Auswertung der H/V-Messungen (Profillinie A-A' siehe Abb. 14) im nördlichen Gaxun-Nur-Becken.

1.4 Analysen an Bohrkernsedimenten im Gaxun-Nur-Becken

1.4.1 Befunde aus dem Bohrkern GN200

Der im Oktober 2012 gewonnene Bohrkern mit einer Gesamtkernlänge von 223 m (97,5% Sedimentabdeckung, 105 Kernabschnitte, Quartär: 218m) wurde auf der ebenen Gobifläche außerhalb der morphologisch sichtbaren Drainagebahnen des Heihe niedergebracht (Abb. 2).

Methodisch wurden folgende Analyseschritte gewählt:

- Beprobung des Bohrkerns in 5 cm Abschnitten bis 100 m Sedimentkerntiefe, Entnahme von U-Liner-Profilen (1 m Länge) für XRF Linescan-Analysen und RGB Farbwerten bis 100 m Kernstrecke
- Entnahme von ungestörten und gerichteten Würfelproben für die Paläomagnetik in 10-15 cm Auflösung. Analyse an der Universität Lanzhou (noch nicht abgeschlossen)
- Messung der organischen Substanz und des Gesamtkarbonatgehalts mittels Glühverlust in 3-5 cm Auflösung (2800 Proben) in Nanjing
- Semi-quantitative Röntgen-Fluoreszenz Messungen (XRF-Linescans) in 1 cm Auflösung zur Erfassung der chemischen Elementzusammensetzung mit Aavatech Core Scanner an der Yunnan Normal University.
- Quantitative Multielementmessungen per ICP-AES in 10 cm Auflösung bis 100 m Kerntiefe
- Röntgendiffraktometrie (XRD) zur Bestimmung der Mineralkomponenten bis 100 m Kerntiefe in ca. 20 cm Auflösung (110 Proben) mittels RIGAKO XRD , 2-70°Theta, Cu-k- α Strahlung, Auswertung mit X'Pert Highscore Software.
- Korngrößenanalysen mittels Laserdiffraktometrie (Beckmann Coulter Counter an der RWTH Aachen) in 5-10 cm Auflösung bis 65 m Kerntiefe.
- Ausgewählte Einzelproben für die Bestimmung der Pollen
- Datierung ausgewählter Proben mittels Radiocarbon-AMS an der Gesamtprobe in Belfast (Gruppe P. Reimer) sowie bei Beta Analytik, USA

Sedimentzusammensetzung

Der Bohrkern zeigt hinsichtlich der Sedimentzusammensetzung eine klare Zweigliederung. Die hangenden ca. 110 m Kernstrecke sind durch häufige Wechsel zwischen fluvialen und äolischen Komponenten (Sand- Fazies) und Stillwasserablagerungen (Ton-Schluff-Fazies) unter einer ca. 4 m mächtigen sandigen Kiesschicht (im Top) gekennzeichnet. Der Anteil fluvial/äolisch geprägter Abfolgen überwiegt deutlich die pelitischen Stillwassersedimente. Ab ca. 83 m Kerntiefe kehrt sich das Verhältnis zu Gunsten der Feinkomponenten um. Lediglich zwischen 7 und 11 m Kerntiefe tritt eine tiefschwarze Sandmudde in Erscheinung. Besonders im oberen Teil des Bohrkerns (bis 35 m Tiefe) weisen homogene Fein- bis Mittelsandlagen auf äolische Einlagerungen hin. Ab 110 m

Kerntiefe folgen bis zur Quartärbasis (218 m) tonig-schluffige lakustrine bis semilakustrine Sedimente. Abschnittsweise treten cm-dicke Wechselfolgen zwischen hellen und dunklen Lagen auf, wie auch schon im Bohrkern D100 beschrieben ([Wünnemann et al., 2007](#)). Der basale Teil des Kernes (218-223 m) ist durch tiefrot gefärbte kantige Kiese in einer tonig-schluffigen Matrix mit zwischengeschalteten Sandlagen gekennzeichnet. Diese Sequenz ist eindeutig als prä-quartäre Abfolge zu werten. Eine ähnliche Gliederung der Sedimentfolgen konnte bereits in dem Bohrkern D100 einige Kilometer südwestlich dieser Bohrung im Rinnenverlauf des Heihe nachgewiesen werden ([Wünnemann, 1999](#), [Wünnemann et al., 2007](#)).

Messungen der magnetischen Suszeptibilität zeigen durchgehend relativ geringe Schwankungen und niedrige Werte (0,05-0,15 SI) an, die auf geringe Anteile ferromagnetischer Minerale hindeuten (Abb. 16). Ausnahmen bilden Peak-Gruppen in den oberen 7 m des Kernes sowie um 16 m, 65-68m, 83-91m und um 107 m Kerntiefe. Deutlich höhere Werte treten besonders in den Abschnitten um 150 m, 157-167 m und zwischen 200 und 216 m Kerntiefe auf. Insbesondere in den drei letztgenannten Abschnitten konnten zahlreiche Mollusken (Gastropoda, Bivalven, Ostrakoden und Organikreste) gefunden werden, die ein biologisch aktives Flachwassermilieu anzeigen.

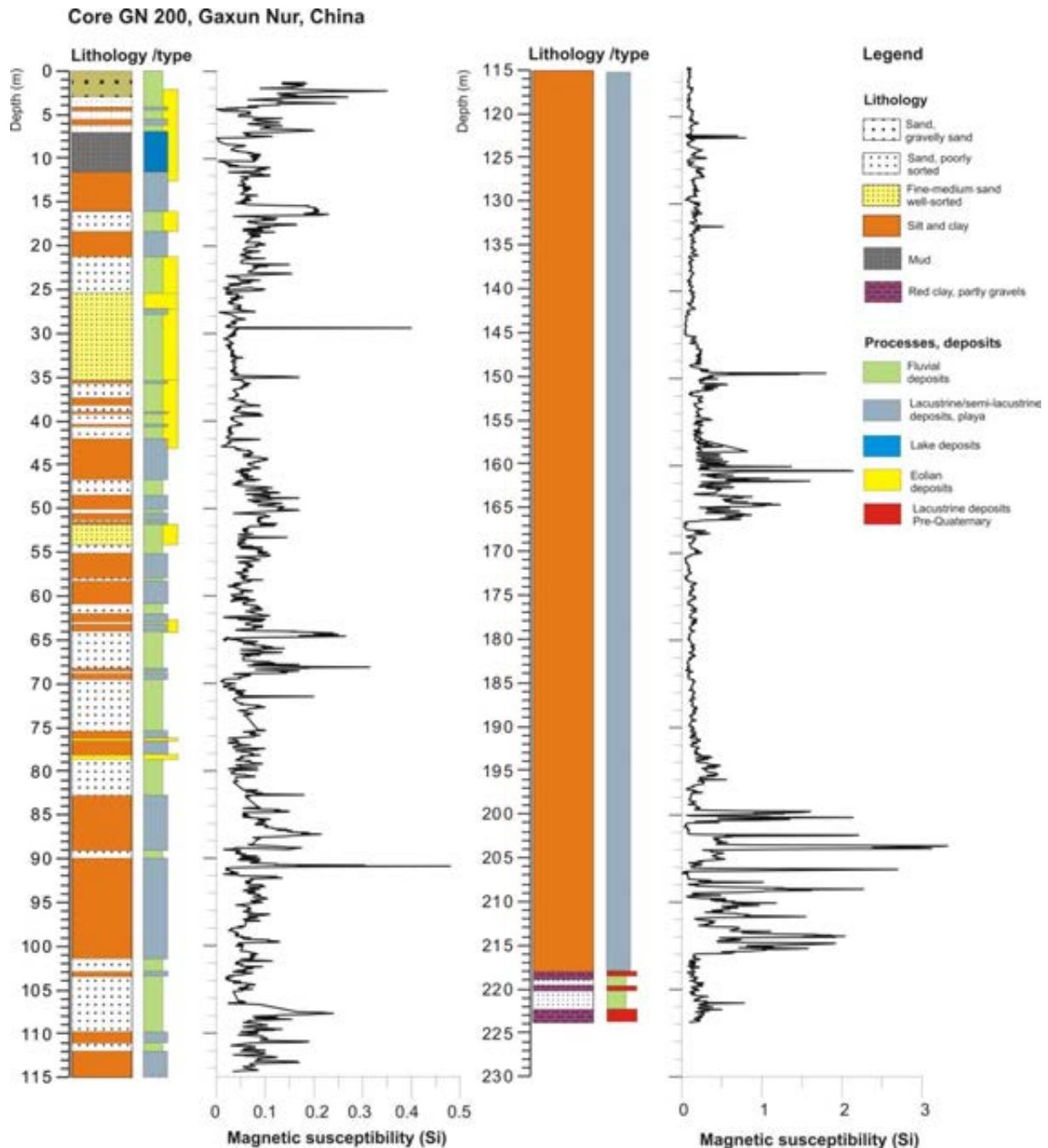


Abb. 16: Bohrkern GN200, Gaxun-Nur-Becken. Lithologie und Magnetische Suszeptibilität.

Korngrößenanalysen (Abb. 17) der oberen 65 m Kernstrecke bestätigen die Dominanz der Sandfraktionen besonders im mittleren Abschnitt des Bohrkerns, wobei die Stillwasserbereiche - jeweils durch Ton und Schluff (bis zu 85%) gekennzeichnet - vor allem im unteren Teil der Kernstrecke bis 65 m Tiefe dominieren. Insgesamt bestätigt die Korngrößenverteilung einen eher niedrig-energetischen Transport innerhalb von Abflussbahnen, unterbrochen von Stillwasserphasen. Die Medianwerte in Abb. 17 zeigen deutlich die Wechsel zwischen fluvial/äolisch und semilakustrin/lakustrin geprägten Phasen der Akkumulation.

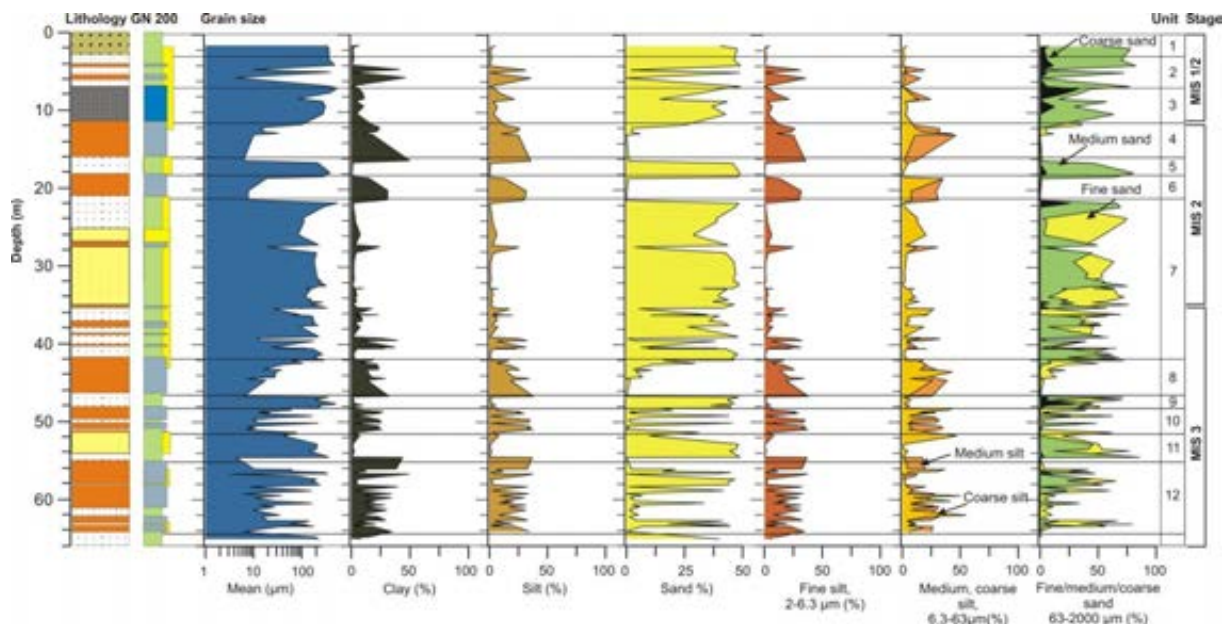


Abb. 17 Korngrößendaten Bohrern GN200 bis 65 m Kerntiefe. Legende zur Lithologie und den Prozesseinheiten siehe Abb. 16.

Die Endmember-Modellierung nach [Dietze et al. \(2012\)](#) führte zu vier prozessgebundenen Endmembers: äolische, fluviale, semilakustrin bewegte und lakustrine (Stillwasser) Faziesgruppen (Abb. 18). EM5 ist trotz der hohen Bandbreite an Korngrößen aufgrund des deutlichen Tongehaltes nicht als fluviales Sediment anzusprechen, sondern eher der lakustrinen Prozesseinheit zuzuordnen.

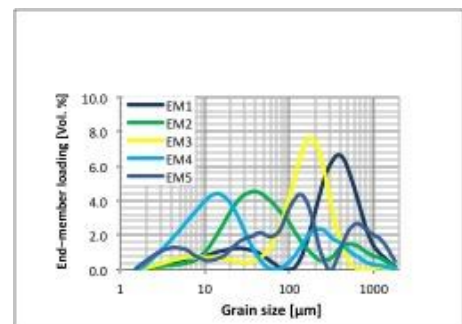
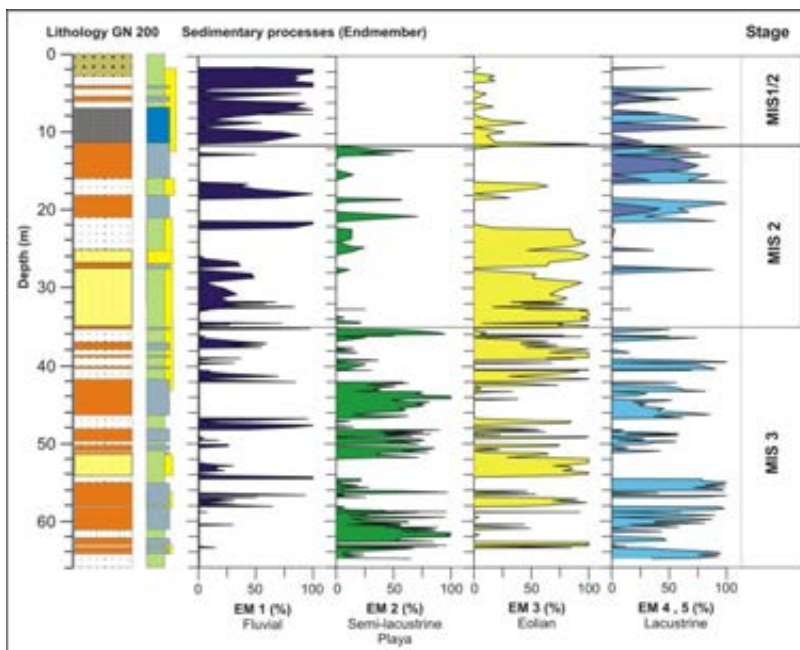


Abb. 18: Lithostratigraphie des Bohrerns GN200. Die Prozess-bezogene Interpretation basiert auf Endmember Modellierungen nach [Dietze et al. \(2012\)](#) anhand von Korngrößendaten. Linke Graphik: Prozentuale Verteilung der EM über die Kernstrecke und ihre Zuordnung in Prozesseinheiten; rechte Graphik: Endmember-Ladungen. Legende zur Lithologie und den Prozesseinheiten siehe Abb. 16.

Fluviale Sedimente (EM1) dominieren vor allem in den oberen 10 Kernmetern, sind aber auch lückenhaft bis zur Basis dieses Kernabschnittes nachweisbar. Auch die semilakustrinen Sedimente (EM2) spiegeln einen schwach bewegten Flachwasserkörper (Feuchtgebiete) wider, sind aber vor allem in den tonig-schluffigen Sequenzen vertreten. Wechselfolgen von tonig-schluffigen zu sandig-schluffigen Lagen sind charakteristisch. Äolische Sedimente (EM3) treten als Dünensand auf und sind außerdem in den anderen Komponenten mehr oder wenig stark inkorporiert. Sie treten fast durchgehend in den oberen 42 Kernmetern auf und tragen wesentlich zur Sedimentmatrix bei. Lakustrine Sedimente (EM4 und 5) sind mit den Ton-Schluff Sequenzen gekoppelt, können aber auch gemäß EM5 eine größere Bandbreite an Korngrößenklassen aufweisen. Eine bessere Auftrennung der EM ist möglicherweise deshalb schwierig, da in stabilen Seephase Dünensande über das winterliche Eis auch in tiefere Seebereiche eingelagert werden. Ähnliches konnte auch von [Dietze et al. \(2012\)](#) am Donggi Cona beobachtet werden.

Minerale, Geochemie, Isotope

Hinsichtlich der Mineralzusammensetzung (Abb. 19) innerhalb der oberen 100 Kernmeter dominieren Quarz und Feldspäte. Unterschiede zwischen fluvialen und lakustrinen Abschnitten sind marginal. Calcit und Mg-Calcit sind die dominierenden Karbonatminerale (10-30%) und sind in den lakustrinen/semilakustrinen Sequenzen angereichert, während in den fluvialen Abschnitten die Anteile weit unter 5% liegen, hier dann aber der Mg-Calcit gegenüber dem stöchiometrischen Calcit dominiert. Daraus kann geschlossen werden, dass der über fluviale Prozesse eingetragene partikuläre detritische Anteil an Calcit und Mg-Calcit stets gering war, während in den Stillwassersedimenten offensichtlich vermehrt Calcit gebildet wurde. Der Dolomitanteil, ebenfalls einzustufen als detritische Komponente, schwankt zwischen 1 und 3%, ist damit also ähnlich niedrig wie der Gehalt an fluvial eingetragenen Calcit mit leicht zunehmendem Trend ab ca. 40 m Kerntiefe bis 100 m Tiefe (Units 8-18). Aragonit tritt nur gelegentlich unterhalb 42 m Kerntiefe in geringen Mengen (bis 1,5%) und dann nur in pelitischen Sedimenten auf. Ihm kann aufgrund der sporadischen Präsenz keine prozess-orientierte Rolle zukommen.

Die Tonminerale Chlorit und Kaolinit treten in allen Sequenzen mit geringfügigen Schwankungen auf (Abb. 19). Ihr Verhältnis zueinander zeigt einen interessanten Wechsel um 40 m Kerntiefe. Während in den hangenden Sequenzen (0-40 m, Units 1-7) Chlorit gegenüber Kaolinit dominiert, ist das Verhältnis in den liegenden Sequenzen (40-100 m, Units 8-18) umgekehrt. Hier zeigt sich ein markanter Wechsel im Eintrag dieser beiden Verwitterungsprodukte, der wahrscheinlich auf eine Änderung der Eintragspfade und damit auch der Herkunftsgebiete zurückgeführt werden kann. Deutlichere Signale ergeben sich auch aus den Tonmineralanalysen (Chlorit/Kaolinit-Verhältnisse; Abb. 19), und führen zu der Annahme, dass hohe Chloritgehalte den Eintrag aus dem Süden (Qilian Shan) des Einzugsgebietes nahelegen.

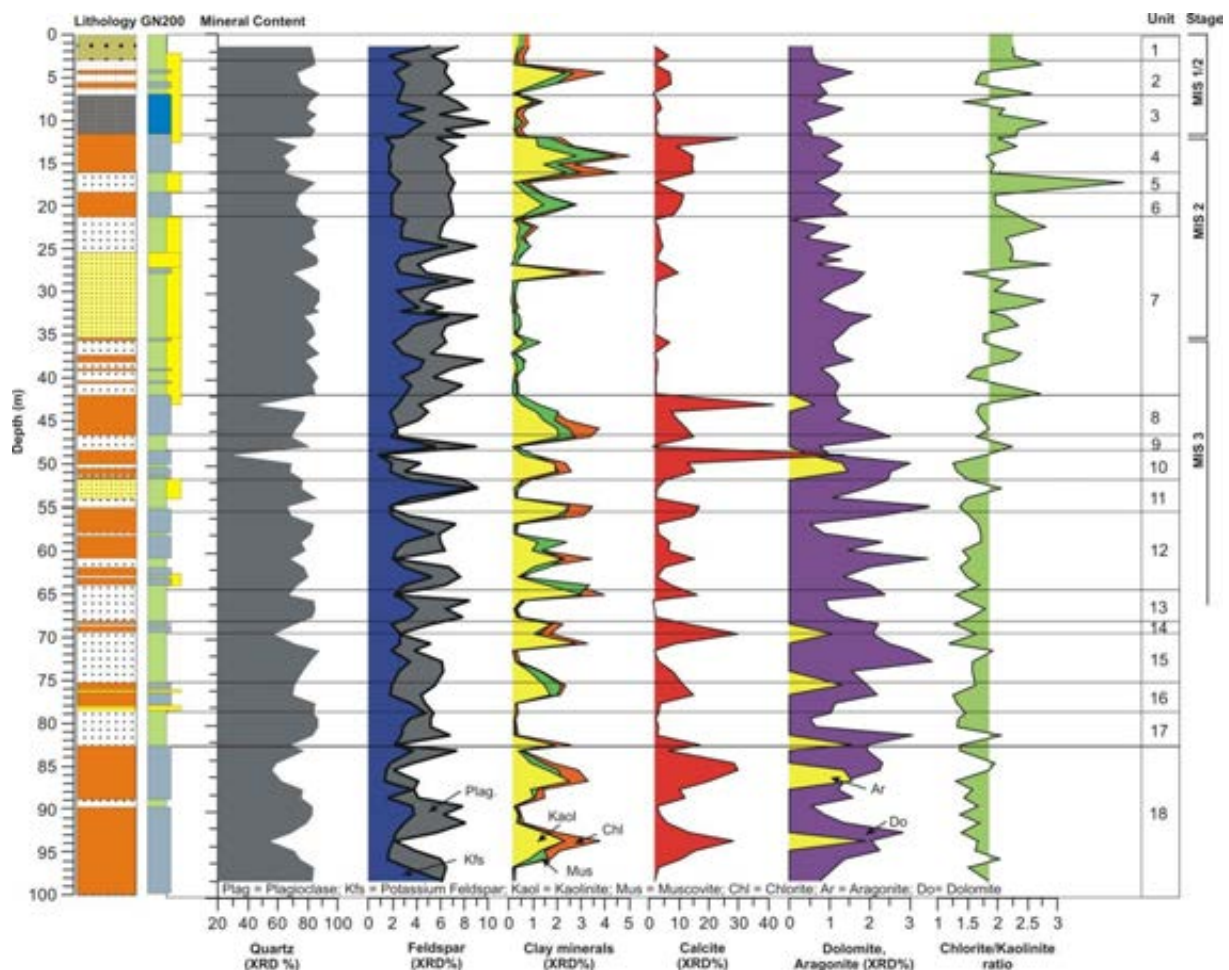


Abb. 19: Mineralzusammensetzung im Bohrkern GN200 bis 100 m Kerntiefe. Legende zur Lithologie und den Prozesseinheiten siehe Fig. 16.

Die geochemische Charakterisierung der Sedimente bezieht sich hier auf die Gehalte an organischem und anorganischem Kohlenstoff (organic matter: OM; CO₃; Gesamtkarbonat, Abb. 20) sowie auf die Elemente Kalzium, Schwefel, Eisen und Sr-Ca/Mg-Ca Verhältnisse. Hierbei zeigt sich, dass relativ hohe Organikgehalte (8->10% OM) jeweils in den lakustrinen-semilakustrinen Sequenzen auftreten. Deutlich geringere Werte (um 2% OM) finden sich in den sandig-schluffigen Abschnitten fluvialer und äolischer Genese, womit zu vermuten ist, dass dieser Anteil nicht aus lokalen Quellen, sondern aus dem weiteren Einzugsgebiet stammt. Gesamtkarbonat-Variationen folgen dem Muster der OM-Werte und laufen ebenfalls parallel mit den gemessenen Ca-Werten aus der ICP-Analyse (Abb. 20). Schwefel (2 bis 20 mg/g) tritt nur in nennenswerten Mengen ab 62 m Kerntiefe auf, konnte aber in den XRD Analysen nicht detektiert werden. Eisengehalte (1-10 mg/g) sind ebenfalls vornehmlich in den pelitischen Abfolgen nachweisbar, bleiben aber insgesamt auf einem überraschend niedrigen Level. Höhere Fe-Gehalte finden sich nur in den Abschnitten 2-16 m (Units 1-4) 42-52 m (Units 8-10) und zwischen 58 und 64 m Kerntiefe (Unit 12).

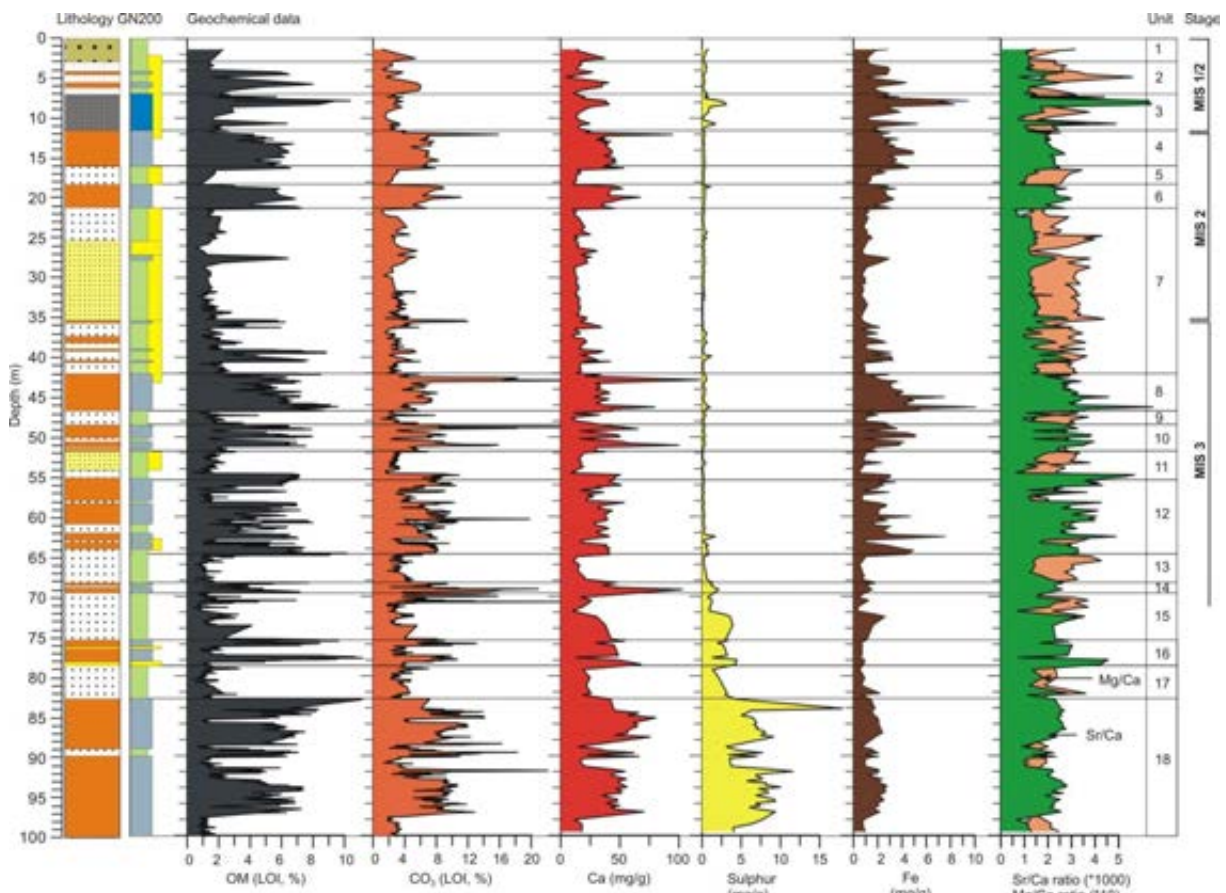


Abb. 20: Geochemische Komponenten im Bohrkern GN200 bis 100 m Kerntiefe. Legende zur Lithologie und den Prozesseinheiten siehe Abb. 16.

Sr/Ca- und Mg/Ca-Verhältnisse - potentielle Indikatoren für Salinitätsänderungen - zeigen keine wesentlichen Variationen über die 100 Kernmeter. Höhere Mg/Ca Verhältnisse sind vor allem in den fluvial geprägten Sedimenten nachweisbar und spiegeln somit den höheren Mg-Eintrag aus detritischen Quellen wider. Sie können daher nicht als Salinitätsanzeiger gelten.

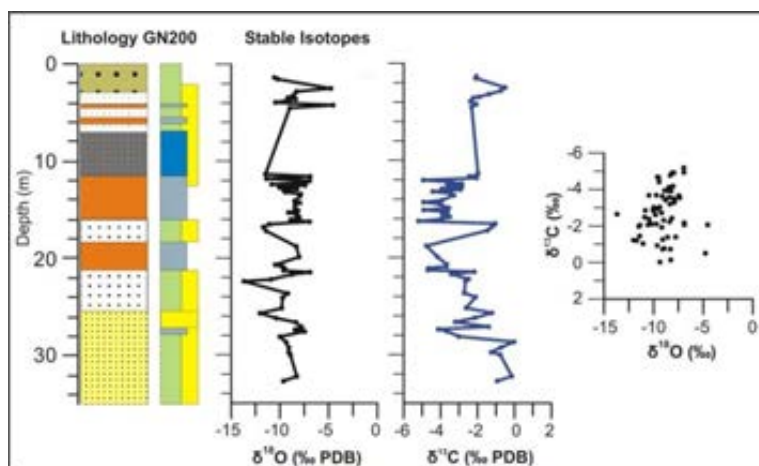


Abb. 21: Stabile Sauerstoff- und Kohlenstoffisotope des Bohrkerns GN200 bis 34 m Kerntiefe. Korrelationsmatrix zwischen $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ (rechte Graphik). Legende zur Lithologie und den Prozesseinheiten siehe Abb. 16.

Die Messungen der stabilen Isotope $^{18}\text{O}/^{13}\text{C}$ für die oberen 30 m des Bohrkerns (Abb. 21) zeigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen -5‰ und -15‰ (Mittelwert: -9,03‰, PDB). Aktuelle Sauerstoffisotopengehalte aus sommerlichen Niederschlägen und Abfluss des Heihe bewegen sich zwischen -0,44‰ und -1,9‰ (Sommerniederschläge) und -2,24‰ und -7,59‰ (Heihe, Mittelwert: -4,77‰); je nach Schmelzwasseranteil kommen auch im Frühsommer Werte um -10‰ vor. (Wang et al., 2013). Die Ergebnisse aus dem Bohrkern zeigen signifikant stärker abgereicherte Werte, weshalb zu vermuten ist, dass ein wesentlicher Teil des Wasserdargebotes und des mitgeführten Materials über die Drainagesysteme aus Schnee- und Gletscherschmelze resultieren. Das gilt insbesondere für die sandigen Sedimentabschnitte (starke äolische Komponente) in 7-11 m, 16-18 m und 21-30 m Kerntiefe mit Werten um -10‰ und darunter. Lokale Niederschläge im Gaxun-Nur-Becken selbst spielten in dem hier betrachteten Zeitraum (MIS 2) vermutlich keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Hinsichtlich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte, welche nicht mit den $\delta^{18}\text{O}$ -Daten korrelieren, kann von einem hydrologisch offenen System ausgegangen werden (u.a. Fontes et al., 1996). Sie schwanken zwischen 0‰ und -4,7‰. Stärker negative Werte beziehen sich auf die jeweils tonigen Sequenzen mit höherem Organikgehalt und deuten damit Fraktionierungsprozesse durch Pflanzen an.

Datierungsergebnisse

Die chronologische Einschätzung der Sedimentation im Bohrkern GN200 basiert auf insgesamt 39 Radiokarbon-AMS Datierungen an der organischen Substanz, gemessen im Labor der Queens University Belfast (P. Reimer). Die Absicht war, die Datierungsgrenze der Radiokarbonmethode im Bohrkern gegen die Tiefe zu erfassen. Wie aus der Abb. 21 erschlossen werden kann, führen die Datierungsergebnisse leider nicht zu einem konsistenten Alters-Tiefenmodell, weil die Altersdaten einerseits weit streuen, mehrfach Datierungsinversionen auftreten und die Alter mit der Sedimenttiefe ab ca. 65 m Kerntiefe nicht mehr zunehmen. Trotz der großen Streuung sehen wir aber einen Trend der Alterszunahme vom Frühholozän/Spätglazial (MIS1/2) bis ca. 42 ka BP in 65 m Kerntiefe (MIS 3). Alle folgenden Alter bis 140 m Kerntiefe zeigen gleiche Altersbereiche zwischen 25 und 32 ka BP und können nicht als repräsentativ angesehen werden. Ähnliche Altersinversionen wurden bereits beim Bohrkern D100 thematisiert (Zhang et al., 2006) und auf Sedimentumlagerungen durch tektonische Prozesse entlang einer die Bohrung querenden Störungszone zurückgeführt. Diese Annahme kann nicht für die Bohrung GN200 gelten, da diese nach den seismischen Befunden deutlich außerhalb von jungen Störungen angesetzt wurde. Sedimentumlagerungen im Rahmen der aktiven fluvialen Phasen durch Flusslaufverlagerung, Erosion vorher abgelagerten Materials und Redeposition ist ein anzunehmender Mechanismus, der die Streuung und zum Teil inversen Alter erklärt. Dieser Prozess gilt auch für das Altersmodell der Bohrung GN100 (WP 2, AWI), jedoch nur eingeschränkt für die Sedimente unterhalb 65 m Tiefe. Die Ursachen für die streuenden Alter ab 65 m sowie für vermutete Altersverjüngung liegen wahrscheinlich in der Inkorporation von jungem gelösten Kohlenstoff (möglicherweise auch partikulärer junger Kohlestoff), der über die Grundwasserzirkulation des tieferen

Grundwasserleiters (30 - ca. 100 m unter Flur) in die Sedimente diffundierte und zur Kontamination der Sedimente beitrug (Diskussion mit Prof. M. Edmunds, Oxford). Nach Wang et al. (2013) ist das fossile Grundwasser im Gaxun-Nur-Becken zwischen 4000 und 9000 Jahre alt, könnte aber sogar älter als 20 ka BP sein, wie aus Datierungsbefunden in der Nachbarregion (Tengger Wüste: gleiches Grundwasserstockwerk) hervorgeht (Ma, 2003; Ma and Edmunds, 2006; Edmunds et al., 2006). Damit scheint diese Form der Kontamination zumindest eine potentielle Quelle der Verjüngung zu sein. Kontaminationen durch „toten Kohlenstoff“, welche zu höheren Altern führt (Reservoireffekt) halten wir für eher unbedeutend, da nicht anzunehmen ist, dass mehr als 100 Sedimentmeter in jüngerer Zeit als die Datierungen anzeigen akkumuliert werden konnte.

Aufgrund unserer Altersdaten können wir gegenwärtig noch keine zuverlässige Chronologie der Sedimentation mit hinreichend genauer Alters-Tiefenbeziehung erstellen. Ein vorläufiges, statistisch bearbeitetes Altersmodell ergibt sich aus der Abb. 22. Eine Überprüfung des Modells wird durch die Ergebnisse aus der Paläomagnetik möglich. Daten hierzu werden im Laufe des ersten Halbjahres 2015 erwartet.

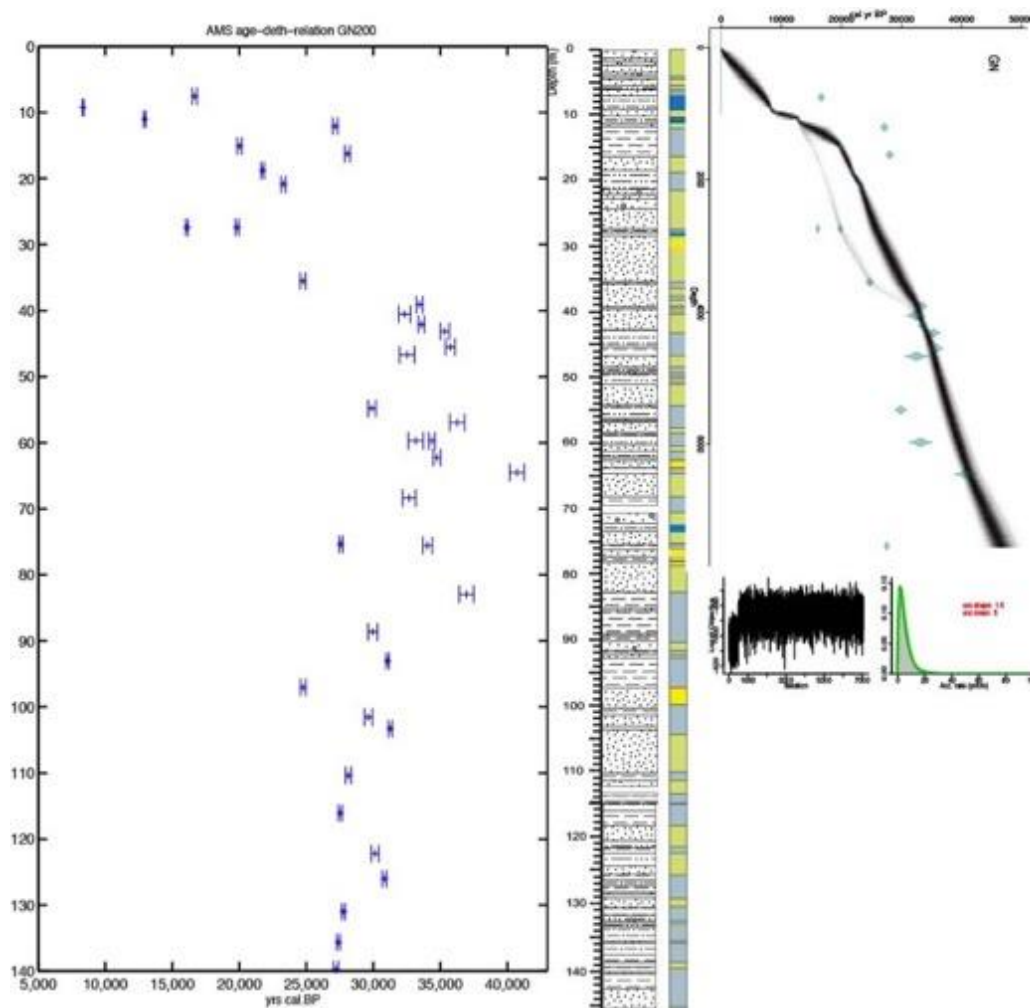


Abb. 22 Altersmodell der hangenden 65m des Bohrkerns. Im linken Diagramm sind die AMS-Datierungen mit Fehlerbalken dargestellt. Deutlich zu sehen ist die generelle Inversion ab 65m Tiefe zu relativ gleichmäßigen jüngeren Altern. Rechts ist ein Altersmodell bis 65m Tiefe basierend auf einer Bayes'schen

Abschätzung der Sedimentakkumulationsraten (SAR) aus einem t-walk Random sampling mittels MCMC (R-code Bacon nach [Blaauw & Christen, 2011](#)). Nach etwa 1000 Permutationen der Alter zeigt sich eine relativ stabile Varianz der SAR. Zur Abschätzung des Wahrscheinlichkeitsbereichs der Alters-Tiefen-Beziehung dient die aus dem autoregressiven Prozess resultierende Gamma-Verteilung als Wahrscheinlichkeitsmodell.

Informationen aus Pollendaten des Bohrkerns GN200

In einem ersten Schritt wurden Pollenanalysen an 35 Sedimentproben verschiedener Zusammensetzung und Tiefe aus dem Bohrkern GN200 vorgenommen. Weitere 50 Proben aus unterschiedlichen Abschnitten des Kerns sind noch in der Bearbeitung. Es kann also hier nur auf die vorliegenden Befunde zurückgegriffen werden. Lediglich in den tonig-schluffigen Abfolgen konnten ausreichend Pollen für die Analyse gefunden werden, fluviale/äolische Sequenzen sind weitgehend pollenfrei. Gemäß Tabelle 1 und Abb. 23 sind daher nur 8 Proben für eine erste Charakterisierung der Vegetation im Umkreis der Bohrlokalität auswertbar.

Die Probe aus 44,15-44,20 m Tiefe zeigt, ungeachtet der geringen Pollendichte, eine Dominanz von Nadelgehölzen (*Picea*, *Pinus*) im Verbund mit Eichen (*Quercus*), Gräsern (*Poaceae*, *Chenopodiaceae*) und Farnsporen und deuten auf einen Koniferenwald im Einzugsgebiet hin. Aufgearbeitete Pollen zeigen Umlagerung und Erosion in Ufernähe eines Gewässers (*Sparaganium*, *Typha latifolia*, *Botryococcus*). Bedeutsam sind Holzkohlereste, die lokale Brände anzeigen.

Die Probe aus 46,15-46,20m Tiefe wird dominiert durch *Chenopodiaceae* (49%) und *Poaceae* (20%). Salztolerante Arten (*Armeria*-Typ, *Nitraria*) weisen auf lokale salzige Feuchtstandorte hin. *Botryococcus* und Zygnemataceae (Algen) sind Anzeiger für see-ähnliche Bedingungen in einer eher durch Steppen/Wüsten- Vegetation (*Ephedra distachya*-type, *Hippophae*, *Calligonum* und *Juniperus*) gekennzeichneten Landschaft. Geringe Pollenanteile von *Pinus*, *Picea*, *Tsuga*, *Abies* und *Betula* gehen vermutlich auf Ferntransport (aus dem oberen Einzugsgebiet) zurück.

Pollen aus 49 m Tiefe sind vollständig dominiert bei *Poaceae* (bis 98%) mit Anzeichen von Feuchtstandorten (*Phragmites*) oder oberflächennahem Grundwasser. Baumpollen (*Tsuga*, *Juniperus* und *Ulmus*) sind sehr gering vertreten, vermutlich durch Ferntransport eingetragen.

Section	Depth, cm	Magn.	Pollen conc/cm ³	Pollen preserv.	Additional findings
13-10	727-729	100	0	-	Silicates, charcoal
14-12	853-855	100	0	-	Silicates, charcoal
15-5	923-925	100	0	-	Silicates, charcoal
17-17	1205-1207	100	0	-	Silicates, charcoal
18-24	1623-1624	100	0	-	Silicates, charcoal
20-05	1991-1993	100	0	-	Silicates, charcoal
21-14	2127-2128	100	0	-	Silicates, charcoal
23-11	2755-2757	100	0	-	Silicates, charcoal
28	3780-3784	100	0	-	Silicates , charcoal

29-24	3925-3930	100	<50	bad	Silicates, charcoal, org. remains
30-36	4205-4210	100	<50	bad	Silicates, charcoal, org. remains
30-2	4255-4259	100	0	-	Silicates, charcoal, 1 fungal spore, org. remains
31-2	4415-4420	100	150-200	bad	Silicates, charcoal
32-1	4615-4620	400	4000	good	Charcoal , fungal spores
33-1	4900-4905	400	6000	middle	charcoal
33-1	4915-4920	100	0	-	Silicates, charcoal, org. remains
34-1	5165-5170	100	0	-	Silicates, charcoal
34-1	5175-5180	100	0	-	Silicates , charcoal
35-47	5553-5557	100	<50	bad	Silicates, charcoal, org. remains
36-1	5630-5635	100	0	-	Silicates, charcoal
37-2	5897-5900	100	0	-	charcoal
38-1	6085-6090	100	0	-	Silicates, charcoal
38-1	6120-6125	100	<50	bad	Silicates , charcoal
38-1	6165-6170	100	0	-	Silicates , charcoal
39-1	6355-6360	100	0	-	Silicates, charcoal, 1 fern spore
39-38	6450-6455	400	3000	bad	charcoal
42-2	6997-7000	100	<50	bad	Silicates, charcoal
62-3	11238-11240	100	1500	mid./bad	Silicates, charcoal
68-3	12840-12843	400	1200	middle	Silicates, charcoal
87-1	17698-17700	100	200	bad	Silicates, charcoal
87-02	17748-17750	100	<50	bad	-
90-2	18498-18500	100	0	-	Silicates, charcoal
95-1	19748-19750	400	700	bad	Charcoal, org. remains
95-6	19978-19980	400	1200	bad	Charcoal, pyrite
105-4	22293-22299	100	0	-	-

Tabelle 1 Probenliste zur Pollenanalyse. Grau markierte Proben wurden ausgewertet. Sie enthielten ausreichend Pollen.

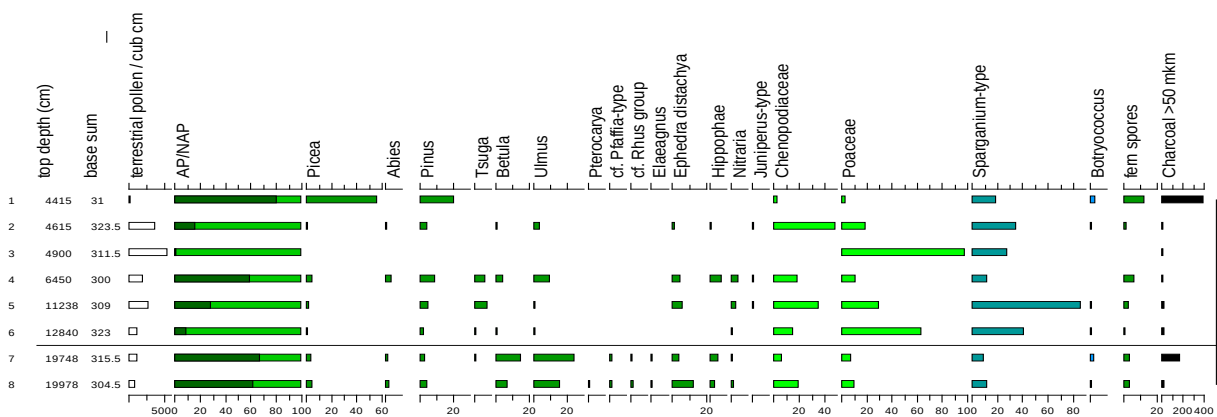


Abb. 23: Ausgewählte Pollen Taxa (%) aus dem Bohrkern GN200 sowie das Verhältnis von Baumpollen (AP) zu Nichtbaumpollen (NAP). Terrestrische Pollen = AP+NAP.

Baumpollen (*Pinus* (9.5%), *Tsuga* (6%), *Abies* (4%), *Betula* (4%) sowie geringe Mengen an *Quercus*, *Acer*, *Corylus* und *Ulmus* aus 64,5 m Tiefe machen 60% aller Pollen aus. Daneben treten Wüstensteppenelemente wie *Ephedra distachya*-Typ, *Hippophae*, *Juniperus* und halophile Arten (*Nitraria*, *Armeria*-Typ) auf.

Die Probe aus 112,38 m Tiefe wird dominiert von Chenopodiaceae (36%), Poaceae (30%) and *Sparganium*-Typ (86%), vergesellschaftet mit Kräutern und Sträuchern (*Artemisia*, Cichorioideae, *Scabiosa*-type, Caryophyllaceae) sowie Sträuchern/Gehölzen (*Ephedra distachya*-type, *Hippophae*, *Nitraria*, *Juniperus*).

Die Probe aus 128,4 m Tiefe enthält nur sehr wenige Baumpollen (<10%), während Poaceae dominieren. Die Anwesenheit von *Botryococcus* and *Mougeotia* (Algen) deuten auf offenes Wasser hin.

Die Pollen Spektren der beiden Proben aus 197,5 und 199,8 m Tiefe unterscheiden sich deutlich von den hangenden Proben durch das Auftreten von exotischen Arten wie *Pterocarya* (<1%), *Eleagnus* (1%), cf. *Pfaffia*-Typ (2%) und cf. *Rhus* Gruppe (2%). Ansonsten dominieren Baumpollen wie *Ulmus* (16-25%), *Betula* (8-15%), *Ephedra distachya*-Typ (4-13%) und *Hippophae* (3-5%), zusammen mit *Picea*, *Pinus*, *Tsuga*, *Abies*, *Larix*, *Taxus*, *Corylus* und *Quercus*. Nichtbaumpollen bestehen aus Chenopodiaceae (7-20%), Poaceae (8-11%) und *Sparganium*-Typ (10-12%) begleitet von Cyperaceae, *Artemisia*, Cichorioideae, und weiteren 12 Arten. *Botryococcus* als Wasseranzeiger ist wiederum vertreten. Die hohe Anzahl an korrodierten Pollen deutet auf Umlagerung hin.

Vegetationseinschätzung

Eine genauere Rekonstruktion der Vegetationsentwicklung ist anhand der Proben derzeit noch nicht möglich. Erste Einschätzungen zeigen aber, dass die Untersuchungsregion stets von einem Nebeneinander sowohl von Feuchtstandorten als auch salinaren Umweltbedingungen charakterisiert war. Diese beiden Landschaftselemente lassen sich aus fast allen Proben rekonstruieren. Andererseits scheinen wüstenhafte bzw. steppenartige Bedingungen in allen untersuchten Proben ein wichtiges Umweltsignal zu sein. Eine Ausnahme bilden die Proben nahe der Kernbasis wegen der Anwesenheit von seltenen Pollen wie *Pfaffia*- und *Rhus* Arten, die im heutigen Vegetationsbild nicht auftreten und daher vermutlich floristische Elemente älterer Interglaziale sind. Hohe Baumpollenanteile z.B. in 64 m Tiefe sind Anzeiger für warm-feuchte Bedingungen, die für Interstadiale (MIS 3) oder Interglaziale (z.B. MIS 5) charakteristisch. Entsprechend unserem gegenwärtigen Altersmodell würde die Probe aus 64 m Tiefe noch in das Stadium 3 (MIS 3) zu stellen sein. Dagegen sind die Proben aus 46m, 49m und 128m mit sehr geringen Baumpollenanteilen und eher steppen- bis wüstenartigen Anzeigern charakteristisch für kühlere und vor allem trockenere Bedingungen.

1.4.2 Befunde aus dem Bohrkern GN100

Im Rahmen von WP2 wurde insbesondere der 20 m lange Bohrkern GN100 aus dem zentralen Gaxun-Nur-Becken untersucht (Abb. 24-26). Trotz der Bandbreite und hohen Variabilität beteiligter Lithologien zeigt sich lithostratigraphisch eine Dreiteilung mit vorwiegend kiesigen Sedimenten in den oberen 8 Metern, gefolgt von überwiegend sandigen Sedimenten bis 13 m und basalen Feinklastiten bis 19,5 m (Abb. 24). Die

lithologischen Schwankungen deuten auf kleinräumige und abrupte Wechsel im Ablagerungsmilieu hin, die sich auch in der Streuung der Radiokarbonalter zeigt (Abb. 26). Altersinversionen deuten auf wiederholte Umlagerungsprozesse hin. Dennoch ist erkenntlich, dass die Datierungen der beiden unteren Sedimenteinheiten im Wesentlichen den Zeitraum vom letzten globalen glazialen Maximum bis ins Spätglazial abdecken (24 bis 11 ka) und die hangenden Kiese jünger sind. Die Dateninterpretation der Korngrößenverteilungen, mineralogischen und geochemischen Parameter entsprechend der zuvor genannten Kriterien deuten auf eine dreiphasige Umweltentwicklung (Abb. 24 - 26). Der älteste Abschnitt war demnach durch feuchte Bedingungen charakterisiert, wie die vielfache Präsenz aquatischer Ablagerungen verdeutlicht, gefolgt von einer äolischen Phase. Beide Prozesse sind typisch in endorheischen Systemen und können dort auch zeitlich parallel auftreten. Daher ist eine zeitliche Deutung mit Vorsicht zu erachten.

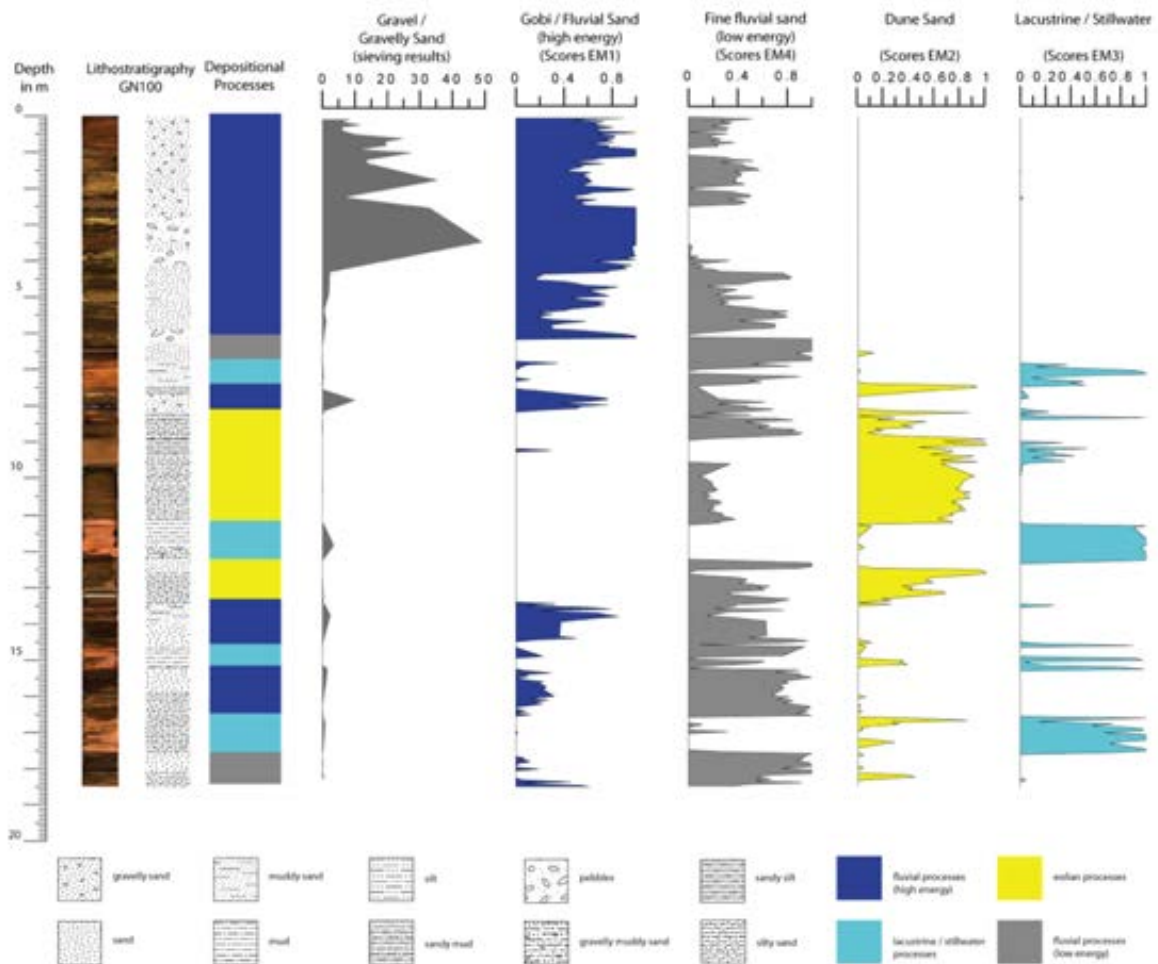


Abb. 24: Lithostratigraphie des Bohrkerns GN100, im zentralen Gaxun-Nur-Becken bei Ejina. Deutung basierend auf End-Member (EM) Modeling von Korngrößendaten

Entscheidend ist die Überdeckung mit Kiesen, die auf eine hochenergetische postglaziale Phase hinweist. Evaporitische Ausscheidungen im Sediment deuten darauf hin, dass die Kiese Relikte einer älteren Phase im Spätglazial oder frühen Holozän sind (angezeigt durch Schwefel aus Gipsen in Abb. 25). Die Salzausscheidungen sind sekundärer Natur und

deuten auf Übersättigung des Grundwassers in Folge von kapillarem Sog ("evaporite pumping") im heutigen Trockengebiet der Gobiwüste. Die sogenannten Gobi-Kiese bedecken heute einen Großteil des Gaxun-Nur-Beckens bis ins Qilian-Shan-Vorland. Die Aachener Arbeitsgruppe konnte sie auf Grund der Datierung liegender Sande ebenfalls zeitlich an die Grenze Spätglazial-Holozän einstufen. Im langen Sedimentkern GN200 zeigt sich zudem, dass die Ablagerung der Gobi-Kiese mit einem entscheidenden Umschwung in der Sedimentherkunft der Tonfraktion einhergeht, die sich in einem signifikanten Eintrag von Chlorit äußert. Das Chloritsignal ist ebenfalls im Bohrkern GN200 ersichtlich, wenn auch weniger ausgeprägt. Entsprechend der räumlichen Befunde deutet dies auf einen verstärkten aquatischen Eintrag aus dem Süden.

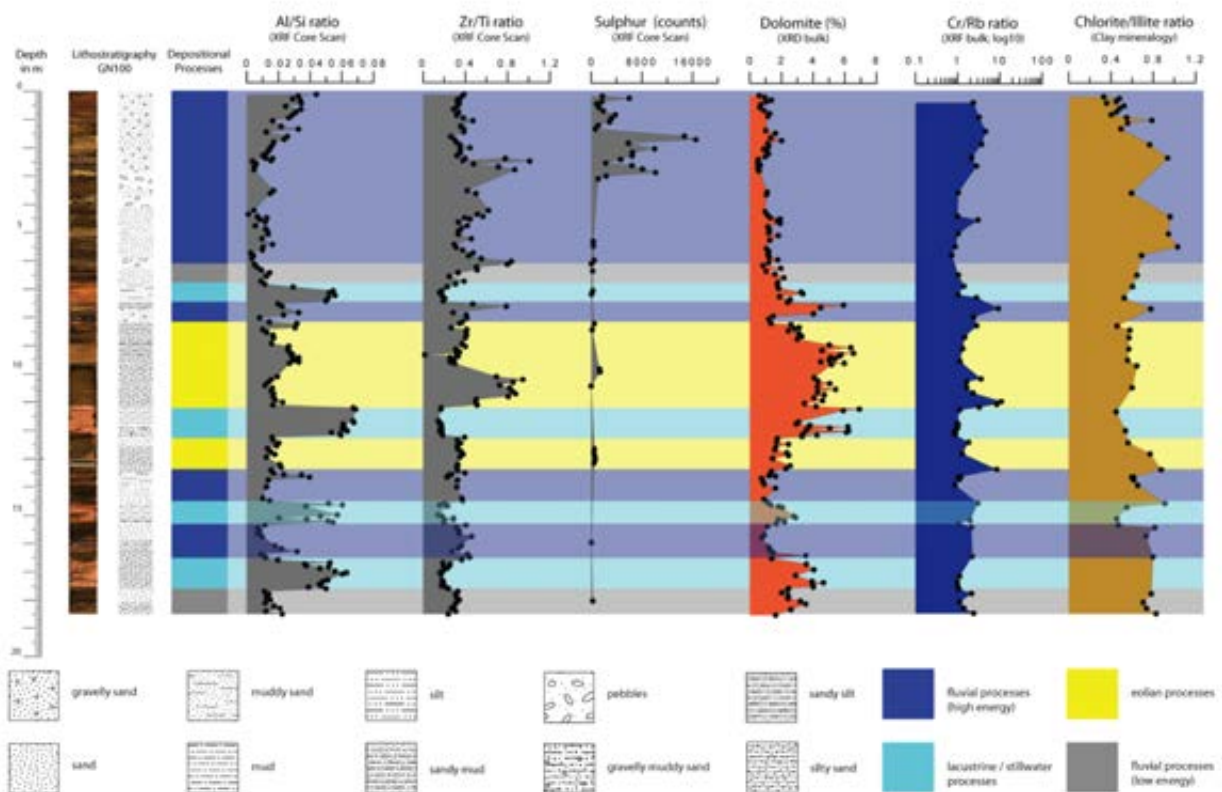


Abb. 25: Mineral- und Elementverteilung in Bohrkern GN100

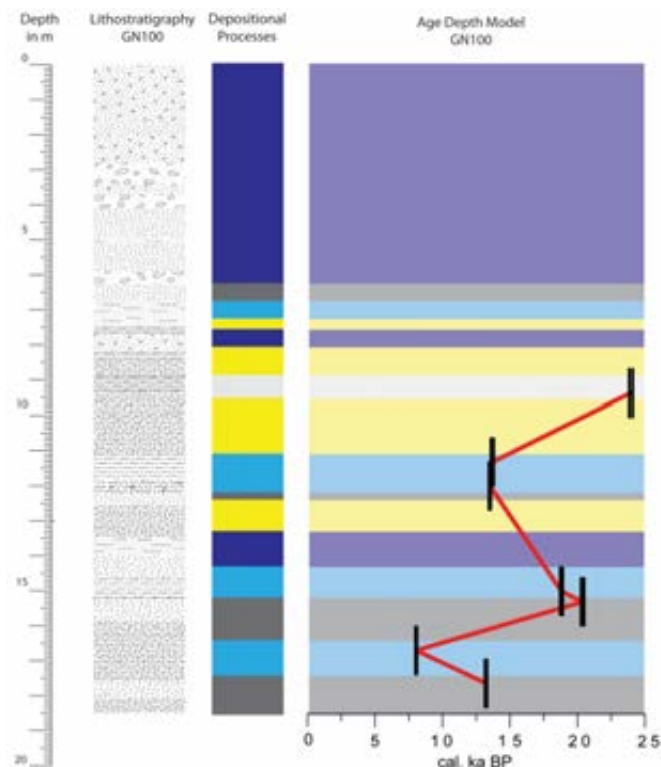


Abb. 26: Radiokarbondatierungen in Bohrkern GN100 und Deutung der Umweltbedingungen. Legende s. Abb. 25.

Aus den bisherigen Befunden scheint die Verbreitung des Gobi-Kieses ein singuläres Phänomen darzustellen (Wünnemann et al., 2007; Hartmann et al., 2011). Es gibt drei Erklärungsmöglichkeiten: (1) Die Progradation des alluvialen Großfächers erreichte erstmalig im Spätpleistozän das zentrale Gaxun-Nur-Becken, ein Prozess, der durch interne sedimentäre Dynamik gesteuert wird; (2) klimatisch induzierte Ereignisse, wie beispielsweise ein rapider Umschwung der klimatischen Bedingungen zur Zeit des Pleistozän-Holozän-Übergangs (Nottebaum et al., in prep.) im höheren Einzugsgebiet führte zu wiederholten hochenergetischen Abflussereignissen; oder (3) die umweltrelevanten Rahmenbedingungen haben sich nachhaltig geändert, wie beispielsweise neotektonisch bedingte Verlagerung von Wasserscheiden.

1.5 Geomorphologische Befunde und Interpretationen

Befunde zum Einfluss der Beckenränder auf das Sedimentationsgeschehen

Gaxun Nur

Zur Validierung der räumlichen Signifikanz der Langkerne D100 und GN200 wurde im Sommer 2011 das Profil HC21 (Abb. 27 bzw. vgl. Hartmann et al., 2011: Fig. 7) am Südrand des Gaxun Nur neu aufgenommen und beprobt. Die Sedimente des insgesamt 13 m tiefen Talschnittes zeigen an der Basis 5,20 m lakustrine Schluffe mit einer etwa 30 cm mächtigen Gipsanreicherung. AMS-Datierungen aus 2,50m, 3,80m, 4,20m (direkt oberhalb der Gipslage) und 5,20m (aus abschließender Tonlage) zeigen eine konsistente Altersfolge von

27,6 ± 0.1 ka cal. BP bis 21,7 ± 0.2 ka cal. BP. Darüber folgen homogene Sande (bis 6,20 m), sandige Kiese in Kreuzschichtung (bis 7,90m) sowie geschichtete Grobsande (bis 8,80 m). Eine Schicht feinsandiger Seekreide wurde bereits von Hartmann et al. (2011) an enthaltenen Ostrakodenschalen auf 27,1 ± 0,2 ka cal. BP datiert. Eine weitere Datierung im Rahmen dieses Projektes an Organikresten zeigte ein um 5 ka jüngerer Alter. Damit ist die Organik in diesem Horizont etwa gleich alt wie die Organik in den ca. 4 m tieferen Tonen. Inwieweit diese Altersabweichung auf einen Hartwassereffekt zurückzuführen ist oder ob jüngere Organik eingearbeitet wurde, kann an dieser Einzelprobe nicht geklärt werden. Sieben Proben der liegenden und 2 Proben der hangenden Seesedimente wurden auf Mikrofossilien (WP3) untersucht. Dabei wurde überwiegend die Ostrakoden-Spezies *Eucypris inflata* angetroffen. Daneben fand sich auch in geringerer Anzahl *Limnocythere inopinata* und *Cyprideis torosa*. Während mit *E. inflata* klar brackische (bis marine) Verhältnisse angezeigt werden, gelten *L. inopinata* und *C. torosa* als ausgesprochen tolerant hinsichtlich der Salinität (vgl. Mischke, 2001). Diatomeen wurden möglicherweise aufgrund des hohen Kalkgehaltes nicht gefunden. Die hangenden 3,50 m mächtigen Kiese bilden in diesem Profil den Abschluss und stützen damit die These von Hartmann et al. (2011), dass die Einschneidung des Tales infolge einer Absenkung des rautenförmigen Seebeckens (Pull-apart) zum Ende oder nach dem LGM erfolgt sein muss.

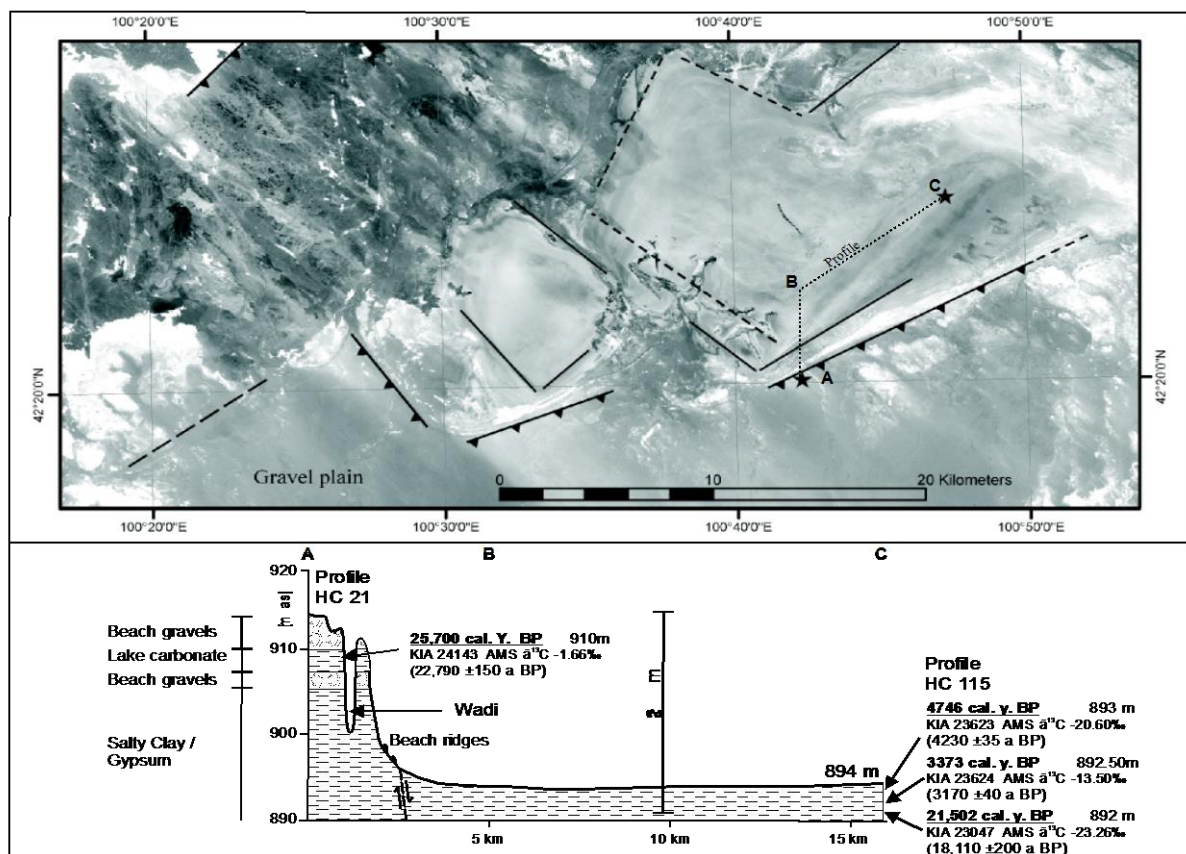


Abb. 27 Profil HC21 und Geomorphologische Situation im Kontext mit HC115 nach Hartmann et al. (2011)

Juyanze und Inverted Channels

Zur Untersuchung der Dynamik der Beckenränder konnte eine wesentliche Frage zu aktiven Störungen am Nordrand des Juyanze vorangebracht werden. Aus geomorphologischen Untersuchungen (u.a. Inverted Channels) und einer verstärkten Häufung von Datierungsinversionen wurde von Hartmann (2003) die Hypothese aufgestellt, dass das Becken des westlichen Juyanze als junges Subsidenzbecken in Fortsetzung der Gurinai Störung zu betrachten ist. Während von [Becken et al. \(2007\)](#) keine jungen Störungen in einem nördlich anschließenden Grabensystem nachgewiesen werden konnten, legten die Inverted Channels am Südrand sowie der Vergleich von Datierungen an Seesedimenten innerhalb und zwischen benachbarten Profilen am Nordrand des „Rest-Juyanze“ Tiene'hu (bzw. Jingshutou) den Verdacht nahe, dass es sich bei den in mehreren Profilen beobachteten Sedimentstrukturen und Verstellungen (Verwürgungen) um Seismite und nicht um Kryoturbationen handelt. Diese Deformationsstrukturen in nichtverfestigten Sedimenten (engl. soft-sediment deformation structure, SSD) wurden vom WP4 kartiert, analysiert und datiert ([Rudersdorf et al., subm.](#)). SSDs sind das Ergebnis post-depositionaler Überprägung von unkompaktierten, unverfestigten sSedimenten, die dazu herangezogen werden können, Ablagerungsprozesse und -milieus zu betrachten. Diese Strukturen können durch gravitative Prozesse, differentielle Korngrößenverteilungen, glaziale und periglaziale (Bodenfließen, etc.) sowie seismische Prozesse erzeugt werden. Bodenbeschleunigungen können zu Sedimentmobilisierung und bruchhafter Verformung führen. Darüber hinaus führen seismische Wellenereignisse zu ansteigenden Porendrücken, die ab Magnituden >5-5.5 schließlich zu einer Verflüssigung des Sedimentes führen können (Bodenverflüssigung, engl. Liquefaction). Sedimente und Gesteine, die seismisch induzierte Deformationsstrukturen zeigen, werden Seismite genannt.

Im nördlichen Gaxun-Nur-Becken zeigen sich diese Deformationsstrukturen in vereinzelt Yardang-Feldern, im Einzelnen am Juyanze-Paläosee und nördlich des Sogo Nur. Diese positiven Landformen erhalten die spätquartäre Sedimentationshistorie. Die Deformationsstrukturen begrenzen sich auf Schichten von einer Mächtigkeit von 40-50 cm. Ein Sedimentprofil am Juyanze-Paläosee (Abb. 28 A) zeigt eine Abfolge von äolischen Sanden auf lakustrinen Schluffen und Sanden intakter Lagerung auf einer Abfolge eines deformierten, sehr schlecht sortierten Schluffs und eines deformierten, gut sortierten Sandes. Im Liegenden der Abfolge folgen intakte Lagen äolischer Sande auf massiven, zementierten tonigen bis schluffigen Sanden. Die Mächtigkeit der Deformationsstrukturen betragen hier 42 cm.

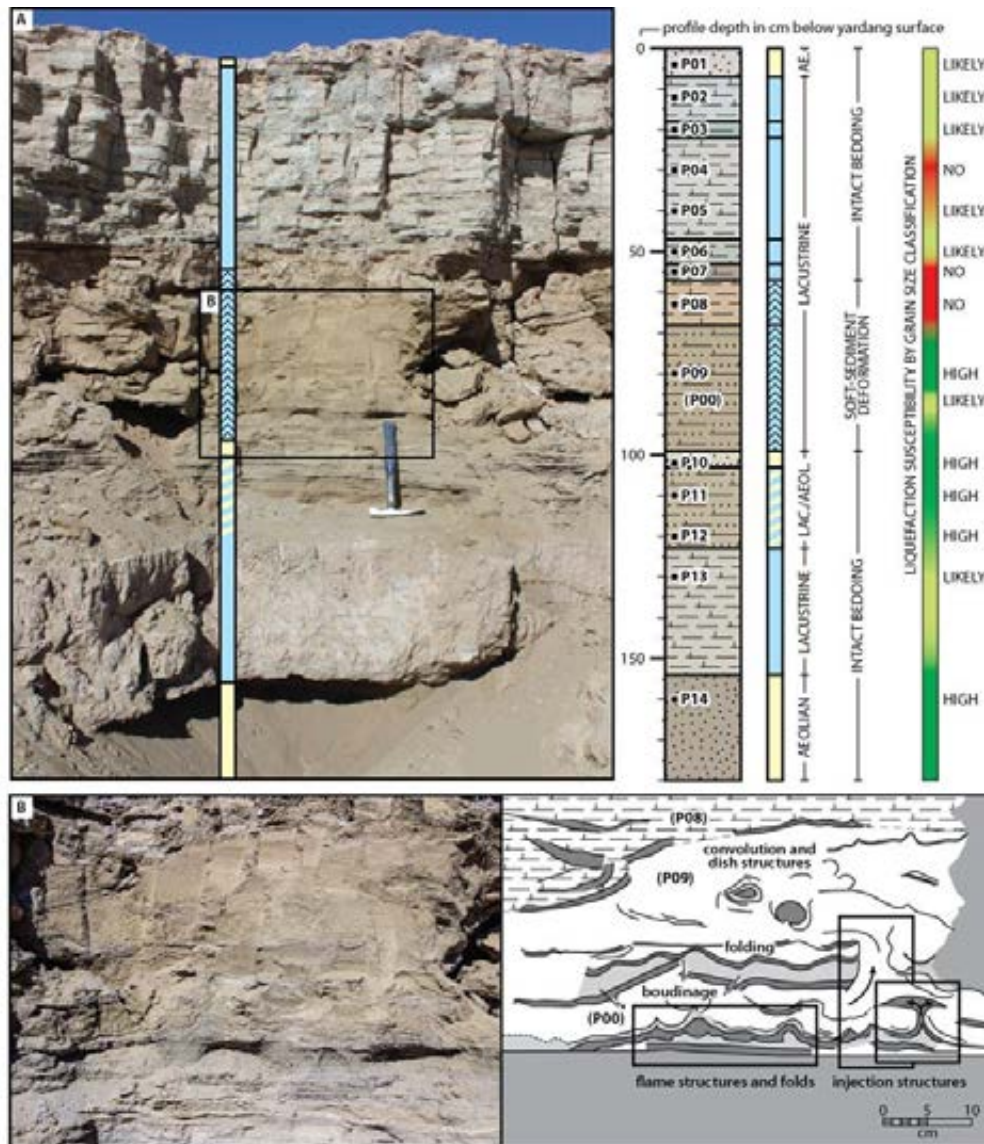


Abb. 28: Profilaufnahme der Seismite in Sedimenten des Juyan-Paläosees

In Abhängigkeit der Intensität des seismischen Wellenereignisses, des Wassergehaltes des Sediments und des Kornverbandes werden unterschiedliche Deformationsstrukturen gebildet: Flammen-, Injektions-, und Entwässerungsstrukturen, Verfaltungen, sowie Abschiebungen und Rücküberschiebungen (Abb. 28 B & C). Die Deformationsstrukturen können aufgrund des verfügbaren Wassergehaltes (Qin et al. 2012, nach Peng et al. 2011) und den Kornverteilungen als verflüssigbar klassifiziert werden.

Seismische Wellenereignisse (Erdbeben) als Auslöser für die Deformationsstrukturen können geschlussfolgert werden, da Störungen in mittelbarer und unmittelbarer Nähe der Aufschlüsse liegen (außerhalb und innerhalb des Gaxun-Nur-Beckens), gravitative, glaziale, sowie periglaziale Mechanismen ausscheiden: Die Suszeptibilität für Massenbewegungen ist gering, außerdem war das nördliche Gaxun-Nur-Becken in den betroffenen Zeitspannen nicht von glazialen und periglazialen Prozessen betroffen (Zhao et al. 2013, Vandenberghe et al. 2014).

Die Radiokarbondatierungen dieser deformierten Sedimente gibt Aufschluss über das Alter der Deformationen im nördlichen Gaxun-Nur-Becken. Die Datierungen der Seismite belaufen sich auf einen Zeitraum von 5852 ± 83 cal BP bis 8485 ± 65 cal BP. Damit kann nicht nur für das Spätquartär eine tektonische Aktivität angenommen werden (siehe Literatur), sondern es kann eine (diffuse) Seismizität im Holozän nachgewiesen werden.

Mittels Georadar war es möglich, die Deformationsstrukturen zu erfassen (Abb. 29). Dies ermöglicht das Kartieren weiterer Seismit-Strukturen im Untergrund, ohne auf die wenigen Aufschlüsse im Gaxun-Nur-Becken angewiesen zu sein.

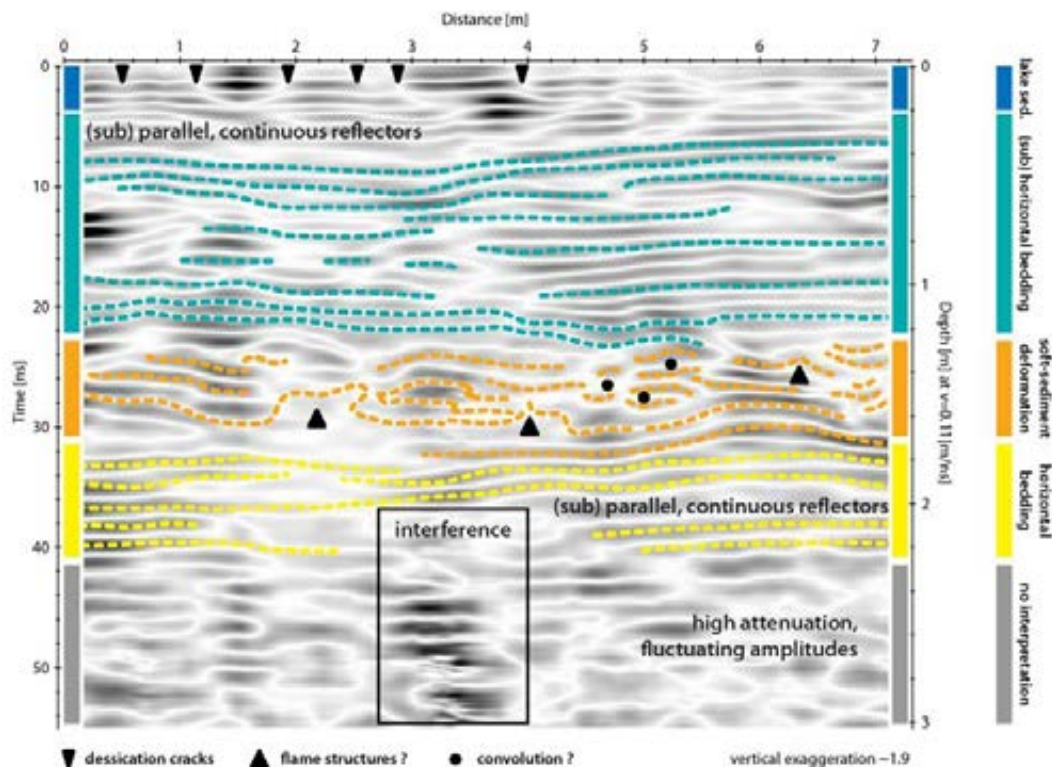


Abb. 29: Georadar-Interpretation des Juyansee-Paläosee-Seismits, Deformationsstrukturen zwischen 22 und 31 ns zwischen nicht deformierten Einheiten

Für die Identifizierung der seismischen Quellen wurden sämtliche kartierte Lineamente und Störungen aus der Literatur und eigener Arbeiten betrachtet (Abb. 30). Grundsätzlich kommen lange, regional aktive Störungen (50-200 km Länge) in Betracht, Bodenverflüssigung und die Deformation unverfestigter Sedimente auch über größere Entfernungen von bis zu mehreren hundert Kilometern zu induzieren. Aufgrund der fehlenden räumlichen Verteilung von Seismiten, insbesondere fehlend im Gobi Altai mit häufig wiederkehrenden Erdbebenereignissen, kann eine lokale seismische Quelle bevorzugt werden. Diese hatte womöglich eine Magnitude von 5-6.5 und befände sich demnach in einer Entfernung von bis zu 70 km.

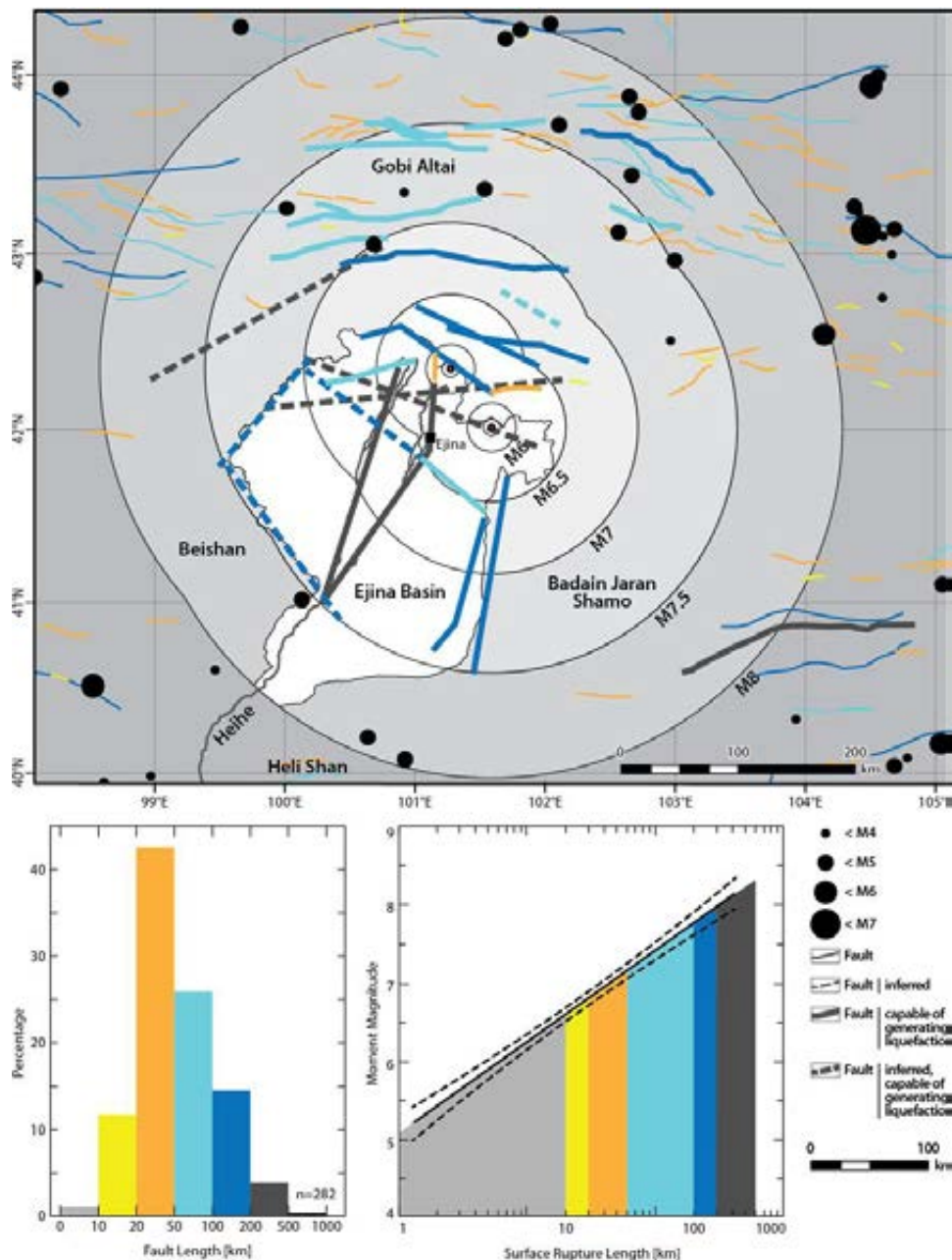


Abb. 30: Radii für Verwerfungen, deren Eigenschaften Erdbeben erwarten lassen, die Bodenverflüssigung und Deformation unverteigter Sedimente generieren

Zusätzlich konnte in einer Baugrube der neu entstandenen Bahnverbindung Ejina Qi – Hohote eine von Kiesen verdeckte Abschiebung kartiert werden. Die gegen präquartäre Konglomerate abgeschobenen Seekreiden zeigten ein Alter zwischen 35 und 37 cal. ka BP und damit ein Maximalalter der Störung selbst. Damit zeigte sich weiterhin, dass junge Störungen in Uferzonen von Seen im Zuge der Stranddynamik überdeckt werden können. Dies wurde bereits in [Hartmann et al. \(2011\)](#) am Ostrand des westlichen Juyanze unterhalb der Kliffstruktur HC8 beschrieben. Hier konnte die zugehörige Störung bisher allerdings nur geophysikalisch bestätigt werden.

Ein weiterer wichtiger Befund zur morphotektonischen Beckengenese des Juyanze liefern neue Datierungen der 'Inverted Channels' am Südrand des Western Juyanze. Auf der Expedition im Sommer 2011 wurden zwei Profile in der unmittelbaren Nähe des Ming-

zeitlichen Forts Kara Khoto aufgenommen. Das ca. 3,80 m mächtige Profil KK1 ist unmittelbar in dem Inverted Channel (IC) aufgeschlossen, auf dessen Top sich die Festung befindet. Im Liegenden besteht das Profil aus unterschiedlich verhärteten Sanden. Dabei ist der Verhärtungsgrad unmittelbar mit dem Schluffgehalt korreliert. Im Hangenden befinden sich ca. 1,50 m mächtige massive Tone, welche von einer wenige Dezimeter mächtigen Kiesschicht überlagert werden. Eine AMS-Datierung der Tone ergab unmittelbar unterhalb der Kiesabdeckung ein Alter von 28,8 ka cal. BP. Ein zweites Profil lag ca. 100 m von KK1 entfernt zwischen zwei IC-Höhenrücken. Dieses ca. 40 cm mächtige Profil besteht aus schluffig-toniger Seekreide, in die eine 10-15cm mächtige Torfschicht aus Schilffresten mit ausgesprochen geringer Pollenführung eingelagert ist. Zwei AMS-Datierungen zeigen ein Alter zwischen 1317 und 1420 AD, was etwa dem Zeitpunkt der Aufgabe von Kara Khoto entspricht. Zusätzlich wurde während der Bohrkampagne 2012 ein weiteres Profil (KK2) aufgenommen. Dieses etwa 3 m mächtige Profil in einem östlich anschließenden IC weist eine zu KK1 vergleichbare Stratigraphie auf. Auch hier werden hangende massive Tone (ca. 1 m) von Sanden unterschiedlichen Schluffgehaltes unter- und von Kiesen (ca. 20 cm) überlagert. Zwei AMS-Datierungen im oberen und unteren Drittel der Tone ergaben Alter von 24,4 cal. ka BP und 13,7 cal. ka BP. Damit wird die von Hartmann et al. (2011) diskutierte These gestützt, dass sich die Reliefumkehr frühestens zum Ende des MIS 2 bzw. Post-LGM erfolgte. Folgt man den in den IC exponierten Sedimenten nach Osten, wiederholt sich die bereits von [Hörner und Chen \(1935\)](#) beschriebene allgemeine Stratigraphie der von Sanden unterlagerten Tone. [Bohlin \(1960\)](#) stellte erstmals zwei Datierungen der von Hörner und Chen 1935 gesammelten Straußeneierschalen aus den unterlagernden Sanden mit konventionellen ^{14}C -Altern von >37ka BP und 42 ka BP vor.

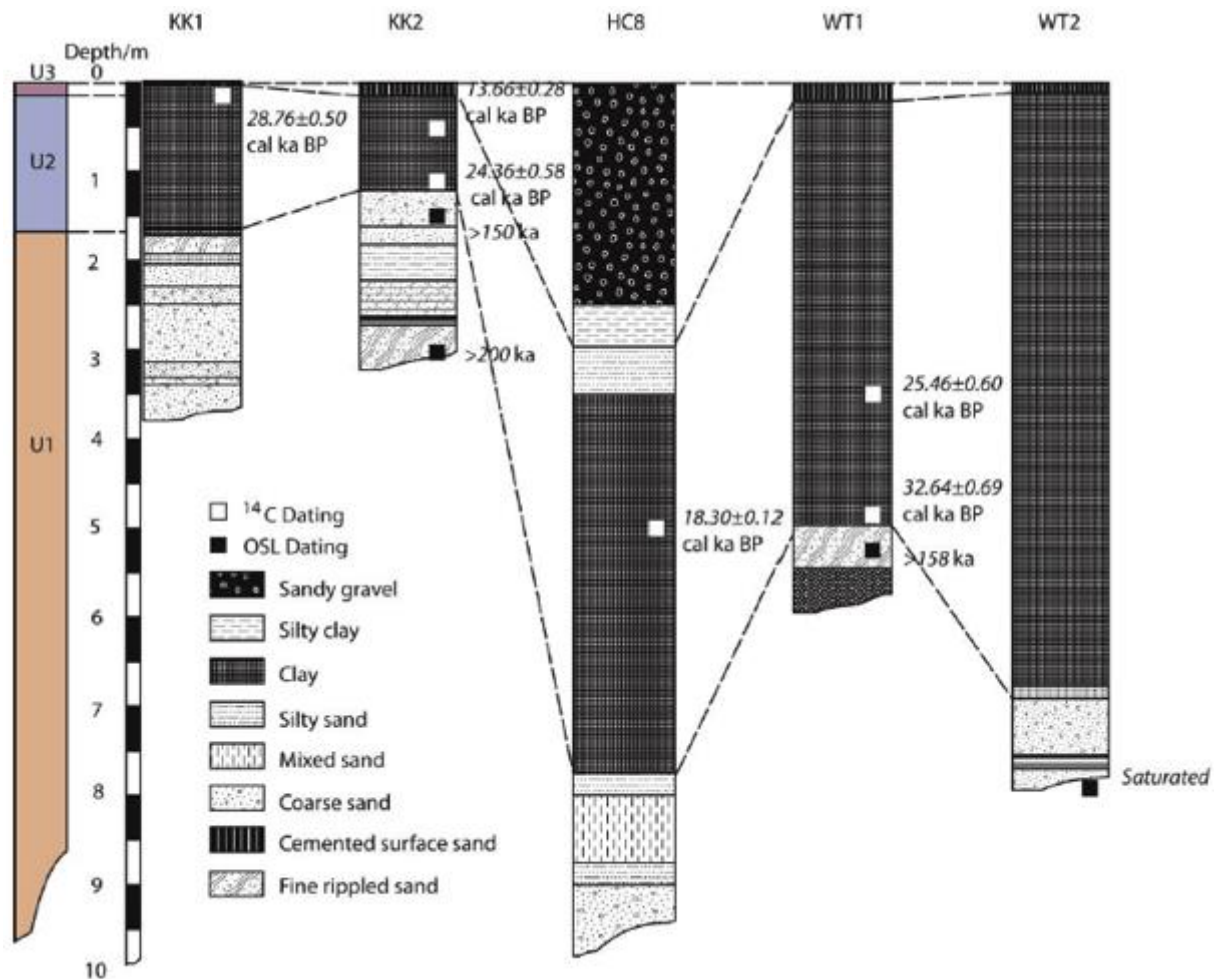


Abb. 31 Stratigraphische Korrelation der Profile von [Yu et al. \(subm.\)](#) von den Inverted Channels (KK1 & 2) über das fossile Kliff HC8 bis zur Terrassensequenz am Südrand der Senke von Wentugaole (WT1&2). Zur Lage der Profile vgl. auch Abb. 2

Das bereits von Hartmann (2003) bzw. Hartmann et al. (2011) beschriebene Kliff HC8 am Ostrand des Western Juyanze konnte ebenfalls 2011 erneut aufgesucht werden. Hier konnten die überlagernden Kiese als Delta-Schüttungen aus ENE eingemessen werden und unterstützen damit den bisherigen Kenntnisstand. Hier liegt nur ein AMS-Alter der unterlagernden Tone von 18,3 ka BP vor. Der Prozess- und Provenance-genetische Zusammenhang wird bei [Yu et al. \(subm., Abb. 31\)](#) diskutiert.

Die Senke von Wentugaole

Im Rahmen der Bohrkampagne 2012 konnte erstmals die rezente, sehr flache Wasserscheide des Eastern Juyanze Richtung Osten überschritten werden. Dabei wurde am Südrand der Senke von Wentugaole ca. 2km westlich der verlassenen Ortschaft und 65 m oberhalb des WE-streichenden Tiefenbereichs ein Yardangprofil innerhalb einer Terrassensequenz aufgenommen. Die 5-7m mächtigen von zementierten Sanden unterlagerten Tone bilden hier unmittelbar den hangenden Abschluss. Südlich schließen sich stratigraphisch im Hangenden die rezenten Dünen der nördlichen Badain Jaran Shamo an. Zwei AMS-Datierungen an der Basis und 2 m darüber zeigen Alter von 32,6 ka cal. BP und 25,5 ka cal. BP. Die lithologische und chronologische sowie geochemische

Ähnlichkeit der Tone legt den Schluss nahe, dass sich die Tone zeitgleich und weitflächig gebildet haben.

Das überraschendste an dieser Lokalität ist allerdings die Lage von lakustrinen Sedimenten dieses Alters in einem terrassenförmigen Yardangfeld 65 m oberhalb der heutigen Erosionsbasis (vgl. Profil in Abb. 32). Auf dem Höhenmodell in Abb. 2 ist deutlich zu erkennen, dass diese Senke sich fast nahtlos nach Westen durch die Endseen des nördlichen Gaxun-Nur-Beckens bis in den Bei Shan erstreckt. Nach Osten lässt sich diese Senke hingegen entlang des Nordrands der Badain Jaran Shamo nach Nordosten durch die Mongolei bis in das Einzugsgebiet des Armurs verfolgen; damit wäre eine Entwässerung in den Pazifik gegeben. Diese Talung ist immer wieder durch flache Schwellen und Senken gekennzeichnet, was eine fluviale Anlage der Talung ausschließt. Ihre große Länge im Verhältnis zur Breite wiederum schließt eine Bildung durch Deflation aus. Es bietet sich hier entsprechend eine Absenkung durch Neotektonik an, wodurch sich auch die Gliederung in Becken und Schwellen erklären lässt. Vergleicht man die Höhendifferenz von 65 m zwischen den lakustrinen Ablagerungen und dem rezenten Beckentiefsten mit dem geschätzten Absenkungsbetrag für das östliche Juyansee Becken (vgl. Hartmann et al., 2011), fällt die betragsmäßige Ähnlichkeit auf. Leider konnte diese Frage in dem Projekt nicht mehr abschließend geklärt werden, sie birgt allerdings erhebliches Potenzial zur Klärung des Problems extremer Wasserstandsänderungen im Gaxun-Nur-Becken. Es ist an dieser Stelle offensichtlich, dass die Lage der Wasserscheide mindestens für die Zeit des Spätpleistozäns bis ins Holozän nicht als stationär angenommen werden kann. Ebenfalls liegt der Verdacht nahe, dass das Gaxun-Nur-Becken zumindest zeitweise durch eine exorheische Hydrologie gekennzeichnet war.

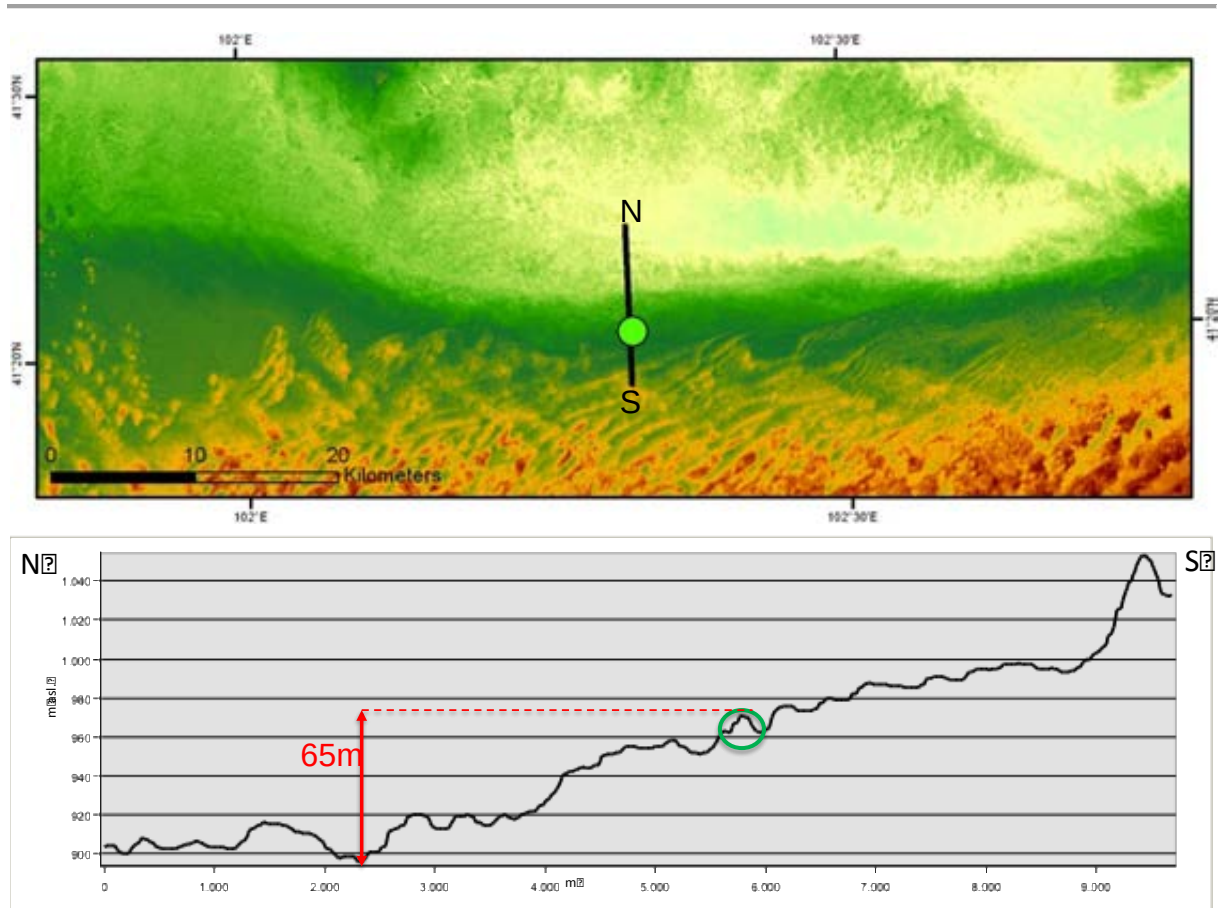


Abb. 32 Aster-DTM-Ausschnitt der Senke von Wentugaole (oben) mit Höhenprofil. Der grüne Kreis zeigt die Lage des Profils WT1. Die pelitischen Folgen im Hangenden des Yardangs implizieren ein flaches ausgeglichenes Relief, zeigen folglich eine Paläo-Elevation der Senke von Wentugaole an.

1.6 Sedimenttransport im Einzugsgebiet (Gaxun-Nur-Becken, Hexi Korridor, Qilian Shan) und spätquartäre Klimaschwankungen (WP1, WP5)

Die statistische Auswertung (End-Member-Modeling Analysis, EMMA) der Korngrößendaten von Lössen im oberen Einzugsgebiet des Gaxun-Nur-Beckens (Qilian Shan, Hexi Korridor; WP5) ergab eine Entmischung in drei Populationen (Abb. 33), die als äolische Transportprozesse/Sedimentpfade interpretiert werden. In Bezug auf ihre räumliche Variabilität zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit von der geomorphologischen Position. Besonders im Gebirgsvorland wird die hohe Bedeutung fluvialer Zwischenspeicher für die gröberen Lössfraktionen deutlich. Höher gelegene Regionen hinter der Gebirgsfront werden hingegen deutlich stärker vom Ferntransport geprägt. Diese Differenzierung liefert wichtige Grundlagen für die Interpretation von Paläoklimaschwankungen (Nottebaum et al., 2015).

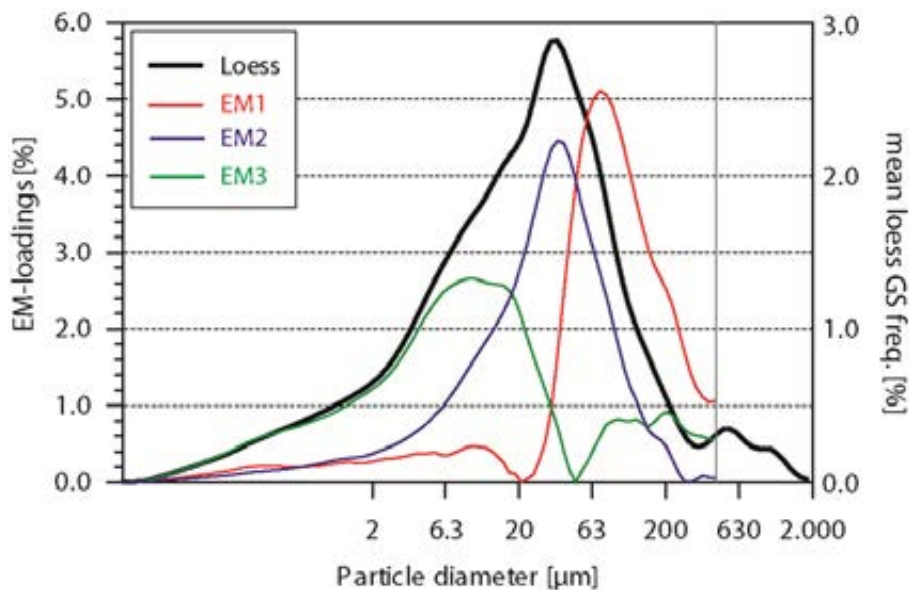


Abb. 33: Mittlere Löss-Korngrößenverteilung und drei Korngrößen-End-Member, die die dominanten äolischen Transportpfade (EM1: Lokaltransport; EM2: Nahtransport; EM3: Ferntransport) bei der Bildung von Löss entlang des Qilian Shan repräsentieren (modifiziert nach [Nottebaum et al. 2015](#))

Die OSL-Datierungen stecken den Rahmen zur „Bewertung der Ergebnisse und Implementierung in überregionale Modelle zur Klima- und Landschaftsentwicklung“. Im Hexi-Korridor wird eine West-Ost-Differenzierung der geomorphologisch-sedimentologischen Situation deutlich. Während im Westen vor allem Alter aus der Übergangszeit zwischen dem letzten Spätglazial und dem Frühholozän auftreten, ist das Muster im östlichen Hexi-Korridor deutlich diverser und zeigt hohe Sedimentmobilität im Verlauf des gesamten Holozäns. Im Gaxun-Nur-Becken zeigen die Datierungen an äolischen Sanden zumeist Alter jenseits der Datierungsreichweite ([Yu et al., subm.](#)). Radiokarbondatierungen an überlagernden Seesedimenten deuten hingegen auf lakustrine Phasen während des MIS 2 hin. Das Fehlen von holozänen Altern im Gaxun-Nur-Becken identifiziert die Region als Durchtransport- und Deflationsgebiet für Schluff und Sand während über den fluvialen Pfad (Heihe) nur eingeschränkt Material in die Region eingetragen wird. Indirekt kann so geschlossen werden, dass die vormals großflächig vorhandenen Seesedimente - heute noch in Form von Yardangs und ‚Inverted Channels‘ teilweise erhalten - eine ergiebige Quelle für die Schluffpartikel (Löss) des Chinesischen Lössplateaus darstellt. Ein auffälliger Befund sind sowohl im Gaxun-Nur-Becken (GN200 und Sedimentprofile) als auch im westlichen Hexi-Korridor die überlagernden Kiese (s.o.). Sie zeugen von hoher, zeitlich begrenzter fluvialer Sedimentmobilität in Form von Schwemmfächern, da ähnliche Lagen in beiden genannten Regionen in älteren Lagen nicht auftreten. Die Datierungen begrenzen diese Akkumulationsphase auf max. 12 ka im westl. Hexi-Korridor und max. 13 ka im Bereich der „Black City“ (Khara Khoto) im Gaxun-Nur-Becken. Die große räumliche Distanz (~350 km Luftlinie) zwischen diesen beiden Untersuchungsregionen legt nahe, dass es sich bei der Ablagerung der Kiese um ein großräumiges Klimasignal im Übergang Pleistozän / Holozän handelte und dass ein tektonischer Auslöser für den Transport derart großer Kiesmengen ausgeschlossen werden

kann. Vielmehr legt die zeitliche Stellung (Spätglazial-Frühholozän) einen klimatischen Grund nahe (s.o.). Während des Glazials wurden große Sedimentmengen produziert, die aufgrund trocken-kalter Verhältnisse nur begrenzt abtransportiert werden konnten. Durch den Umschwung von glazialen auf interglaziale (feuchtere) Klimaverhältnisse, der eine Destabilisierung des Landschaftssystems verursachte, konnten enorme Sedimentmengen aus den „glazialen“ Zwischenspeichern in die tieferen Vorländer transportiert werden. Fehlende holozäne Alter zeigen ausbleibende Akkumulation im Anschluss an die Kiesablagerung und weist das Gaxun-Nur-Becken und den westlichen Hexi-Korridor als Deflationsregion aus (Abb. 34).

Im Rahmen einer einwöchigen Geländekampagne im Frühjahr 2013 wurden Vergleichsproben aus zwei Profilen (Caoxian und Luochuan) auf dem Chinesischen Lössplateau (CLP) genommen. Diese summieren sich auf 98 Lössproben. Hauptelementverhältnisse ($\text{NaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$) werden zur qualitativen Diskriminierung unterschiedlicher Löss-Quellregionen verwendet (vgl. z.B. [Jahn et al., 2001](#)). Im Falle der beprobten Löss (Qilian Shan, Chinesisches Lössplateau) fällt eine große Ähnlichkeit der Hauptelementverhältnisse auf. Im Vergleich zur UCC (Upper Continental Crust), als Referenzwert für die mittlere Zusammensetzung kontinentaler Kruste, wird auch hier eine starke Ähnlichkeit offenbar, die zwei mögliche Schlüsse zulässt: A) Die beprobten Löss entstammen geochemisch ähnlichen Quellen, die zudem eine ähnliche Zusammensetzung wie die UCC aufweist; oder B) Die akkumulierten Lösspartikel sind das Resultat langer, homogenisierender Mischungsprozesse, die im Laufe (mehrerer) Sequenzschritte (Umlagerungen) auf dem Weg zur Lössbildung (periglaziale Verwitterung – fluvialer Transport – Deflation, s. [Smalley & Krinsley, 1978](#); [Smalley et al., 2014](#)) zu einer Annäherung an die geochemische Konstellation der UCC führen. Der Vergleich mit potentiellen Sedimentquellen der Lösslieferung (lakustrine Sedimente im Gaxun-Nur-Becken) zeigt ähnliche Ergebnisse. Allerdings weisen Letztere eine größere Streuung bzgl. ihrer Hauptelementverhältnisse auf. Dies kann als Hinweis auf Erklärungsansatz B) gesehen werden, der voraussetzt, dass mehrere, homogenisierende Umlagerungszyklen Lösspartikel durchmischen, während die lakustrine Ablagerung noch „unreifere“ geochemische Signale lokaler Prägung zeigen.

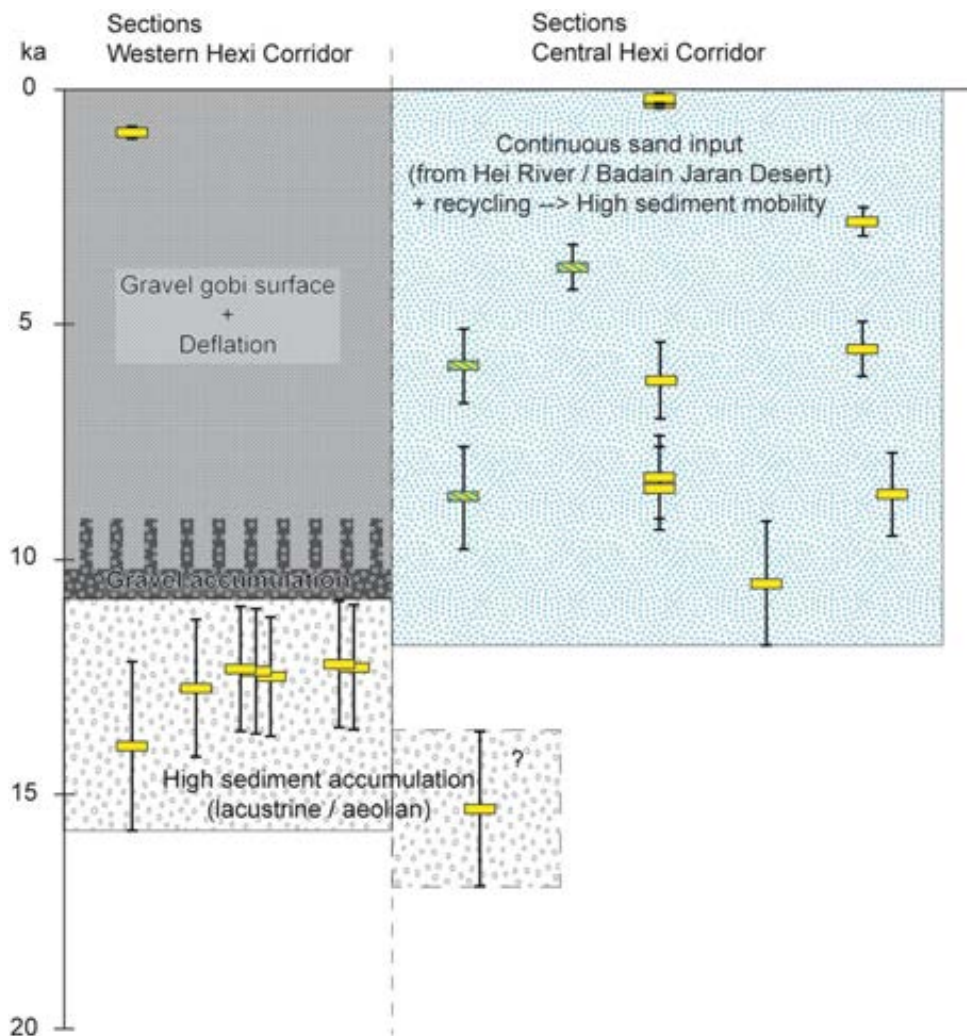


Abb. 34: Schematische Darstellung der sedimentologischen Situation im westlichen und zentralen Hexi Korridor auf Basis von geomorphologischen Beobachtungen und OSL-Datierungen (Nottebaum et al. in prep.)

Für die sensiblen Gebirgsrandbereiche können über die kontinuierlichen Lössarchive Schwankungen in der Paläoumwelt identifiziert werden. Neben vereinzelten prä-holozänen Altern (MIS 4-3), die erstmals für den zentralen und westlichen Qilian Shan die Konservierung von Lösslagen aus dieser Zeit belegen, beschränken sich die sonstigen Alter einsetzender Lössakkumulation maximal auf den Übergang vom Spätglazial zum Holozän. Dies ist ein Hinweis auf verhältnismäßig stabile Oberflächenbedingungen, die im Zusammenspiel mit einer beständigen Vegetationsdecke die Staubakkumulation und so die Ausbildung einer Lössdecke ermöglichte. Die drei Transport-End-Member (s.a. Abb. 33) spiegeln sowohl das unmittelbare geomorphologische Umfeld (Sandquellen), als auch über ihre Schwankungen paläoklimatisch relevante Veränderungen in der Oberflächenbeschaffenheit wider. Sie lassen auf eine hohe Sandverfügbarkeit während des Spätglazial-Holozän-Übergangs schließen. Während des Glazials wurden große Sedimentmengen produziert, deren Zwischenspeicher im Verlauf des frühen Holozäns angezapft und sukzessive geleert wurden. Ein Rückgang der Feinsandkomponente zugunsten von Fein- und Mittelschluffkomponente unterstützt diese Erklärung. Die Feinschluffkomponente repräsentiert den Ferntransport, die vor allen anderen auf die

Vegetation als „Staubfänger“ angewiesen ist. Dasselbe sedimentologische Signal lässt sich aus Datierungen an Profilen im Gaxun-Nur-Becken und dem westlichen Hexi Korridor ablesen: Lakustrine Sedimentation (Gaxun-Nur-Becken), bzw. hohe Sedimentakkumulation (westl. Hexi Korridor) zeigen sich dort während des Übergangs vom Spätglazial zum Holozän. Eine mittel- und spätholozäne Sedimentation konnte hingegen nicht durch Datierungen belegt werden (Nottebaum et al., in prep). Dies zeigt, dass die angesprochenen Regionen als Quellen für Sand- und Staubaustrag während des Holozäns fungierten.

In mittelholozänen Lösslagen gewinnt die Fernkomponente profilübergreifend ihre höchste Bedeutung, was ein Hinweis auf gebremste Sandmobilität und eine dichtere Vegetationsdecke ist. Demnach ist ein mittelholozänes Klimaoptimum (~7 – 4 ka) zu schlussfolgern, welches für den zentralen und westlichen Qilian Shan nun erstmals bestätigt werden kann (Nottebaum et al., 2015). Darüber hinaus lässt sich diese Phase mit erhöhten Seespiegelständen im Gaxun-Nur-Becken (5,4 - 4 ka; Hartmann & Wünnemann, 2009) parallelisieren. Da die Quellen des fluvialen Eintrags ins Gaxun-Nur-Becken im Qilian Shan verortet sind, lässt sich hier exemplarisch der Einfluss erhöhter Feuchtigkeit im höheren Einzugsgebiet auf die Hydrologie im Becken ablesen.

Im Zuge des Spätholozäns steigt der Anteil der Grobkomponente in den Lössarchiven wieder an, was ein erhöhtes Mobilitätspotenzial der Sedimente anzeigt. Diese deckt sich mit Berichten über zunehmende Aridität auf dem Tibet Plateau, der Mongolei und Nordchina im Spätholozän. Seit dem 20. Jahrhundert und vor allem seit dem Ausbau der Bewässerungsoasen in den 50er Jahren ist auch ein verstärkter anthropogener Eingriff (erhöhte Weidaktivität, wasserbauliche Maßnahmen) im Qilian Shan / Hexi-Korridor eine plausible Erklärung für die Veränderung in den sedimentologischen Proxies.

Hinsichtlich der paläoklimatischen Verhältnisse kann gefolgert werden, dass unsere Daten im Wesentlichen hygrische Veränderungen anzeigen, die mit dem Abflussregime der Drainagesysteme aus dem südlichen Einzugsgebiet (Qilian Shan) seit Ende des MIS 3 gekoppelt sind.

Bisher zeigen noch wenige Pollendaten, dass die Region weitestgehend durch ähnliche Klimaverhältnisse im Sinne von Steppen- bis Wüstenklimaten gekennzeichnet war (Herzschuh et al. 2004, Schlütz, 1999). Halophile Taxa verweisen dabei auf erhöhte Salzgehalte an den Feuchtstandorten. Sie sind damit Indikatoren negativer Niederschlags-Verdunstungsbilanz ($P/E \text{ Ratio} < 1$). Erhöhte Baumpollenanteile legen aber auch klimatisch günstigere Verhältnisse in den Einzugsgebieten des Gaxun-Nur-Beckens für einzelne Zeitabschnitte nahe. Auffallend ist die deutlich abweichende Vegetationsvergesellschaftung in den ältesten Quartärsedimenten nahe der Kernbasis. Ob diese Änderungen klimatisch gesteuert sind, kann nicht entschieden werden, da bis heute palynologische Vergleichsstudien für das mittlere Quartär in diesem Raum fehlen.

Wir gehen insgesamt davon aus, dass die Wasserverfügbarkeit in diesem Raum weitestgehend über die oberen Einzugsgebiete des Heihe wie auch über die episodischen

Abflüsse aus dem Norden (Gobi-Altai Region) gesteuert war. Spätestens seit dem MIS 3 wird der Einfluss aus dem südlichen Einzugsgebiet (Qilian Shan) evident. Aufgrund unserer Daten können wir davon ausgehen, dass lokale Niederschläge aus der Monsunzirkulation (Ostasiatischer Sommermonsun) kaum eine Rolle gespielt haben. Saisonale Schmelzwasseraufkommen aus den Gletschern und Schneefeldern in den Höhenregionen im Verband mit möglichen sommer-monsunalen Niederschlägen im Qilian Shan (im Spätglazial-Holozän) dürften dabei die wichtigsten Wasserquellen gewesen sein. Bedeutsam ist in diesem Zusammenhang, dass das Gaxun-Nur-Becken innerhalb des betrachteten Zeitraums mindestens einen Wechsel vom exorheischen zum endorheischen Zustand vollzogen hat. (s.o.) Dieser Aspekt der Verbindung über die Schwelle bei Wentugaole mit möglichem Anschluss an das Amur- Einzugsgebiet und die nachfolgende Schließung des Beckens bleibt eine offene Frage, die im Rahmen unseres Projektes nicht geklärt werden kann. Tektonische Ursachen können aber als wahrscheinlich angenommen werden. Der endorheische Zustand ist ferner aus dem unteren Aquifersystem im Gaxun-Nur-Becken abzuleiten, dessen Grundwasseralter mit >20 ka und zwischen 4 und 9 ka angegeben werden (Edmunds et al., 2006; Wang et al., 2013).

Hinsichtlich der Ausbreitung der Gobi-Kiese können wir aufgrund der Datenlage in den Bohrkernen des Gansu Provincial Geological Bureau (1980), D100 (Wünnemann et al. 2007, GN100 und GN200 sowie anhand der datierten Sedimente unterhalb der Kiese in Profilen im Umfeld des Gaxun Nur (Wünnemann, 1999, Hartmann et al. 2011, dieses Projekt) und des Juyanze (u.a. Bohlin, 1960; Wünnemann, 1999; Wünnemann & Hartmann, 2002; Hartmann & Wünnemann, 2009; Hartmann et al., 2011; dieses Projekt) davon ausgehen, dass sie im Spätglazial und/oder Frühholozän gebildet sein müssen. Ursachen dafür sind sehr wahrscheinlich extreme Kurzzeit-Niederschlagsereignisse, die zu einer flächenhaften Ausbreitung zuvor bereitgestellten Materials führten.

1.7 Zusammenfassung

Untersuchungen zur Landschaftsgenese der Gobi-Wüste unter besonderer Berücksichtigung der Badain-Jaran-Wüste mit dem angeschlossenen größten endorheischen Inlanddelta des Heihe im Gaxun-Nur-Becken fanden in frühen Landschaftsbeschreibungen unter maßgeblicher Beteiligung von Sven Hedin große Aufmerksamkeit (u.a. Hörner und Chen, 1935; Bohlin, 1960). Jüngere Forschungen konzentrierten sich vor allem auf Teilaspekte der klimatisch gesteuerten Wüstenentwicklung aus geomorphologischer Sicht (Wünnemann et al., 1998; 2002; Hövermann et al., 1998; Hofmann, 1999; Hartmann, 2003; Yang et al. 2011), unter hydrologischen (Gansu Geol. Bureau 1978; Ma and Edmunds, 2006, Wang et al., 2013; Jiao et al., 2015) und sedimentologischen Aspekten (Wünnemann et al., 2007, Wang et al., 2015). Eine umfassende Betrachtung gekoppelter Prozesse, welche nicht nur die Sediment-Transportpfade im Sinn einer Kaskade von den Gebirgen bis in die Beckenregion, sondern auch die vielfältigen Sedimentationsprozesse sowie Phasen der Remobilisierung von

Material unter Berücksichtigung regionaler und lokaler Faktoren wie Tektonik, Wasserverfügbarkeit und Klimaeinfluss betrachten, wurde bisher nicht verfolgt. Im Rahmen der gemeinsamen interdisziplinären Projektstudie zur Rekonstruktion des überregionalen Signaltransfers aus sedimentologischen Langzeitarchiven des Gaxun-Nur-Systems in der Gobi-Wüste wurden kombinierte Untersuchungsmethoden angewendet, um 1. den tektonischen Einfluss auf die Landschaftsgenese zu verifizieren, 2. die verschiedenen Pfade und Mechanismen des Sedimenttransportes und Ablagerungsmilieus zu erfassen, 3. Sedimentumlagerungen und –austrag zu bestimmen, 4. die hydrologischen Rahmenbedingungen zur Wasserverfügbarkeit sowie 5. das aktuelle Gefährdungspotential innerhalb des Trockenraumes zu charakterisieren.

Neben tektonischen Detailstudien wurden im gesamten Einzugsgebiet des Gaxun-Nur-Systems Sedimentproben zur sedimentologischen und geochemischen Charakterisierung der Sedimente und deren Transportprozesse analysiert. Ferner erfolgten neben der detaillierten Analyse von Aufschlussprofilen an den Beckenrändern des Gaxun-Nur-Beckens sedimentologische und geochemische Bearbeitungen von zwei Bohrkernen (GN100, GN200) von jeweils 19 m bzw. 231 m Kernlänge.

Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die Füllung des Gaxun-Nur-Beckens mit quartären Sedimenten vermutlich kaum älter als 250 ka ist, obwohl nach [Wang et al. \(2015\)](#) die Wüstenentwicklung außerhalb des Gaxun-Nur-Beckens bereits 1,1 Mio. Jahre zurückreichen soll. Aufgrund der Sedimentzusammensetzung tiefer als 100 m unter Oberfläche muss davon ausgegangen werden, dass der gesamte Beckenraum mindestens bis zum marinen Isotopenstadium 4 (MIS 4, ca. 70 ka) unter stabilen Sedimentationsverhältnissen lakustrine bis semilakustrine Sedimente ablagern konnte. Diese Sedimente waren zumindest zeitweise wichtige Quellen für den Sedimentaustrag als Löss in die benachbarten Räume hinein (Lössplateau), obwohl diese lange Periode hydrologisch günstige Bedingungen aufwies. Seit etwa 200-240 ka hat sich vermutlich auch das endorheische Heihe-Delta sukzessive nordwärts entwickelt (siehe [Hetzel, 2013](#)). Hauptquellen des Sedimenteintrages sind die umrahmenden Gebirge des Qilian Shan im Süden und des Gobi-Altai Gebirges im Norden. Spätestens seit dem MIS3 (ca. 40 ka BP) wird der Einfluss aus dem Qilian Shan evident. Erst seitdem haben sich im Zuge der fortschreitenden Deltaentwicklung instabile Sedimentationsbedingungen mit wechselnden Phasen zwischen Sedimenteintrag und –austrag verstärkt eingestellt. Es kann ferner davon ausgegangen werden, dass das Becken in der Periode nach etwa 40 ka BP hydrologisch nach Osten hin geöffnet war und möglicherweise Anschluss an das Gelbe Meer hatte, womit der endorheische Zustand zeitweilig aufgehoben war. Ein Grund der hydrologischen Öffnung des Beckens liegt in der tektonischen Aktivität im Deformationsfeld zwischen Gobi Altai-Orogen und der Orogenese des Tibet-Plateaus.

Eine tektonische Subsidenz am Nordrand des Beckens führte zur Einschneidung und trug zur Bildung von Yardangs in Seesedimenten / Lockersedimenten bei. Durch die Zerstörung der auflagernden Gobi-Kies-Decke wurden weite Areale unterlagernden schluffig/tonigen

Seesedimente entblößt. In der Folge führten Deflationsprozesse und der äolische Austrag des Feinmaterials zum Herauspräparieren der Yardangs.

Durch die Formung/Subsidenz der Beckenregion als endorheisches Gaxun-Nur-Becken wurden große Sedimentmengen aus den umliegenden Gebirgen (Qilian Shan, Bei Shan, Gobi Altai) zunächst als lakustrine, äolische, später auch fluviale Fazies im Becken abgelagert. Diese Zwischenspeicher wurden tendenziell, gemäß der vorherrschenden Windrichtungen aus nördlichen bis westlichen Richtungen, in südöstliche Richtungen transportiert und stellten so eine wichtige Sedimentquelle für die Entstehung und/oder Erhaltung der Badain Jaran Sandwüste dar.

Seit dem letzten Spätglazial fand im Gaxun-Nur-Becken, sowie auch im westlichen Hexi Korridor (Qilian Shan-Vorland) ein Umschwung von Akkumulations- zu Deflationsbedingungen statt. Starke Nordwestwinde (Wintermonsun) führen zu Sand- und Staubstürmen in Richtung des Chinesischen Lössplateaus. Datierungen in Yardangs liefern meist spätglaziale Alter, was den großen Austrag von Schluffpartikeln seit dem Spätglazial bestätigt. Akkumulation vor und während des frühen Holozäns steht möglicherweise mit hoher Sedimentproduktion aus Zeiten unter kalt-trockenen Bedingungen während des vorangegangenen Glazials in Zusammenhang. Durch Einsetzen des Monsuns während des Spätglazials und somit ansteigender fluvialer Transportkapazität wurden große Sedimentmengen aus den Gebirgsregionen und höheren Vorlandbereichen in Richtung der Becken transportiert. Durch geringere Monsunintensität, aber vor allem der Ausschöpfung der glazialzeitlichen Zwischenspeicher, reduzierte sich der Sedimenteintrag in die Becken im Verlauf des Holozäns und der äolische Austrag gewann an Bedeutung. Klimaprojektionen für Zentralasien zeigen für die nächsten Jahrzehnte eine verstärkte Trockenheit aufgrund eines Temperaturanstieges von mehr als 2°C bis 2050 (e.g. [Leng et al., 2015](#)). Ausgehend von den im QUASI-Projekt gewonnenen Ergebnissen ist daher mit einer Intensivierung des Staubtransportes zu rechnen (vgl. [Nottebaum et al., 2015](#)).

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Diese Punkte werden in den Nachweisen der einzelnen Projektuntergruppen dargestellt.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Unsere Untersuchungen können erstmals einen umfassenden Zusammenhang zwischen tektonischem Einfluss, Sedimenttransportpfaden und Ablagerungsbedingungen innerhalb des Wüstenraumes aufzeigen und es kann deutlich gemacht werden, dass sich die hydrologischen Bedingungen innerhalb der letzten 250 ka mehrfach dramatisch geändert haben müssen. Der für die Region wichtige Aspekt der Wasserverfügbarkeit ist aufgrund der instabilen hydrologischen Bedingungen seit der jüngeren geologischen Vergangenheit ein bedeutender Faktor für die Sicherung und Inwertsetzung dieses Trockenraumes. Die Übernutzung fossilen Grundwassers wird auf lange Sicht die

Instabilität des Raumes erhöhen und weite Teile einer fortschreitenden Desertifikation begünstigen, solange nachhaltige Nutzungskonzepte unter Berücksichtigung des Landschaftspotentials nicht umgesetzt werden. Die Wechselwirkungen von Sedimenttransportprozessen und Landschaftswandel geben Hinweise auf die besondere Vulnerabilität und auch Variabilität dieses Raumes, welche bei zukünftigen Entwicklungen berücksichtigt werden können.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwendbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

Die Konzeption von QUASI liegt in der engen wissenschaftlichen und technischen Vernetzung der Themenschwerpunkte der verschiedenen WPs. Die geleisteten Arbeiten stellen die erste großräumig angelegte Untersuchung der Sedimentkaskade in einem der größten Fächersysteme der Erde dar. Die Befunde tragen zum besseren Verständnis der Umweltreaktionen von Wüsten- und Halbwüstengebieten auf extreme hydrologische Schwankungen, die sowohl durch klimatische als auch nichtklimatische (neotektonische, anthropogene) Einflüsse gesteuert werden. Die Erkenntnisse des Projekts können als Grundlage für regionale Klimamodellierungen dienen. Die gewonnenen Befunde wurden bisher in Form von Tagungspräsentationen verbreitet. Mehrere Publikationen in internationalen Zeitschriften sind in Vorbereitung und alle erhobenen Daten werden im Informationssystem PANGAEA (www.pangaea.de) erfasst und somit der Allgemeinheit zugänglich gemacht.

Die Beckenfüllungen in den oberen 100 Sedimentmetern stellen ein ausgezeichnetes Grundwasserreservoir dar, das allerdings aus einem nur eingeschränkt nutzbaren salzigen oberen Stockwerk besteht (ca. 0-30 m) und einem tieferen aus Süßwasser. Die tieferen pelitischen Sedimentfolgen sind für dauerhafte Grundwasserspeicher dagegen weniger geeignet. Wie aus den Arbeiten von [Wang et al. \(2013\)](#) hervorgeht, handelt es sich bei dem unteren Aquifer um fossiles Grundwasser, das zwischen 4000 und 9000 Jahre alt sein soll. [Edmunds et al. \(2006\)](#) und [Jiao et al. \(2015\)](#) können zeigen, dass aktuell keine Grundwassererneuerung durch lokale Niederschläge erfolgen kann. Im Gegenteil: in den letzten Jahren sank der mittlere Grundwasserspiegel um durchschnittlich bis zu 1 m/Jahr durch die intensivierte Grundwasserentnahme. Da es sich hier um ein nicht erneuerbares Grundwasser handelt, ist mit einer fortschreitenden Entleerung des Aquifers zu rechnen.

Die Verteilung und lokale Verfügbarkeit von Oberflächengewässer im ariden bis semiariden Vorland des Qilian Shan hängt wesentlich von der inneren Dynamik des Drainagesystems ab. Kleine, lokale geomorphologischen Ereignisse (Flussverlagerungen in verwilderten Systemen, Verschluss von Drainagebahnen durch Massenbewegung oder Dünenbildung, kleine Versätze durch Erdbeben) können großflächige Änderungen in der Verfügbarkeit von Oberflächenwasser haben. Insbesondere eine flache Wasserscheide auf Lockersedimenten kann den Wasserhaushalt eines Drainagebeckens stärker beeinflussen als klimatische Extreme. Deshalb bildet die flächenhaften Erfassung der

landschaftsprägenden Prozesse die Grundlage zur Identifizierung des Gefährdungspotentials der verschiedenen Landschaftseinheiten z.B. hinsichtlich Bodenerosion und Wasserdefizit.

Die Kartierung und Charakterisierung der Verwerfungen des Gaxun-Nur-Beckens zeigt, dass die Indien-Eurasien-Kontinentkollision nicht nur an bekannten, reaktivierten Zonen des Gobi Altai-Gebirges Fernfeldauswirkungen haben, sondern weitere Gebiete zwischen dem Tibet-Plateau und dem Gobi Altai betreffen. Die Datierung der Seismite am westlichen Juyansee ermöglicht eine zeitliche Einordnung jüngster Erdbebenereignisse im Einzugsbereich des Gaxun-Nur-Beckens und hilft, eine Gefährdungsabschätzung für das nördliche Becken durchzuführen. Die Untersuchung des oberflächennahen Untergrundes mittels Georadar konnte erfolgreich zur Identifizierung von Seismiten eingesetzt werden. Die zerstörungsfreie Anwendung der Methode erleichtert das laterale Kartieren solcher Einheiten im Untergrund in Gebieten ohne Aufschlüsse oder bebauten Gebieten. Die vor allem zur Mikrozonierung genutzte H/V-Methode kann auch zur Kartierung größerer Sedimentbecken genutzt werden und besitzt den Vorteil eines geringen organisatorischen und finanziellen Aufwandes gegenüber bewährten Methoden wie der aktiven Seismik oder der Geoelektrik, da sie mit nur einem einzelnen Seismometer auskommt, leicht zu transportieren ist und nicht-invasiv ist.

Wie aus den Sedimentdaten und den Bohrkernen D100, GN100 und GN2900 geschlossen werden kann, ist die Variabilität der Stoffströme besonders in den letzten 40 ka groß gewesen, was auf eine hohe Instabilität der Umweltbedingungen innerhalb des Gaxun-Nur-Beckens seit diesem Zeitraum schließen lässt. Für die Zeit vor 40 ka muss von relativ stabilen Sedimentationsbedingungen ausgegangen werden. Wir schließen daraus, dass die Phase der Instabilität im Wesentlichen auf die fortschreitende Bildung des großen Gaxun-Nur-Binnendeltas zurückgeführt werden kann. Einhergehend war das Wasserdargebot von sehr großen Schwankungen begleitet, welches vermutlich Änderungen in der Vegetationsentwicklung ausgelöst hat. Nach unseren Befunden haben sich ferner die Herkunftsgebiete des Stofftransportes mindestens einmal geändert, wobei die nördlich und westlich gelegenen Einzugsgebiete klar von den südlichen Regionen des Qilian Shan abgegrenzt werden können. Zeitlich fällt dieser Wechsel in den Liefergebieten gemäß unserer Chronologie in die Zeit des MIS 3.

Aus den Untersuchungen zu den äolischen Transportpfaden auf der langen Zeitskala (Spätglazial/Holozän) ergeben sich auch für den rezenten Landschaftswandel (Global Change) beachtenswerte Rückschlüsse: Zum einen führt ein Aridisierungstrend zu einer Destabilisierung von Oberflächen. Diese stellen so vermehrt geeignetes Material für den Staubaustrag bereit. Die hohe Staubbelastung wurde in den vergangenen Jahrzehnten zu einem großen Problem ostchinesischer Metropolen und könnte durch die „geogene“ Staubbelastung noch verstärkt werden. Zum anderen führt erhöhter Weidedruck zu einer Degradation der Vegetationsdecke und so zu einem anthropogen induzierten erhöhten Anteil deflationsgefährdeter Oberflächen.

Darüber hinaus stellt der Hexi Korridor eine Region mit verbreiteter Bewässerungslandwirtschaft dar. Wasserbauliche Eingriffe in Form von Speicherbecken und Flusslaufverlagerungen sind allerorten entlang der Gebirgsabdachung des Qilian Shans zu beobachten. Es ist wahrscheinlich, dass auch diese Eingriffe in die hydrologischen Systeme sowohl entlang der Gebirgsabdachung aber vor allem im nördlichen Gaxun-Nur-Becken zu einer anthropogen induzierten Destabilisierung der Oberflächen führen und so zu erhöhter Sedimentmobilität beitragen.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Lü et al. (2010) datierten Oberflächenkiese entlang des Heihe mittels kosmogener ^{10}Be Nuklide und kommen zu der Einschätzung, dass die Gobikiese Alter zwischen 92-177 ka aufweisen und mit der Binnendelta-Entwicklung entlang des Heihe korrespondieren. Der Beginn der Wüstenentwicklung im nördlichen Teil der Gobi wird gemäß den o.g. Autoren auf 420 ka geschätzt.

Neuere OSL Datierungen an Ufersedimenten und äolischen Sedimenten des östlichen Juyansee Beckens weisen sehr heterogene Alter je nach datiertem Material (Feldspat, Quarz) auf, lassen nach Auffassung von Kollegen aus Lanzhou aber vermuten, dass die sandigen Sedimente nahe der Oberfläche bereits zeitlich in das MIS 5 (ca. 130-100 ka) zu stellen sind (unpublizierte Ergebnisse, Workshop BMBF-QuaSi, Nanjing 09/2014). Diese Befunde stehen im Widerspruch zu unseren Alterseinschätzungen und sind aus morphologischen Gesichtspunkten nicht plausibel.

Die Arbeiten von Bourque und Mir (2012) zeigen einen Einfluss des saisonalen Vegetationswandels in Vorlandoasen auf die Schneebedeckung im Qilian Shan. Dies verdeutlicht den Einfluss der jeweiligen Landnutzung auch auf die Hochgebirgsregionen und damit rückwirkend wieder auf die Hydrologie in den Vorlandbereichen.

Einen Rückgang der Grundwasserreserven wird auch im letzten Jahrzehnt von Jiao et al. (2015) für die Badain-Jaran-Wüste auf Basis von Fernerkundungsdaten belegt. Ähnliche Befunde sind auch für das Gaxun-Nur-Becken anzunehmen.

Hetzel (2013) sowie Cunningham (2013) liefern neue Erkenntnisse zur tektonischen Deformation der Regionen nördlich und südlich des Arbeitsgebietes. Insbesondere die Hebungsraten im Mittellauf (im Hexi-Korridor) und Oberlauf (im Qilian Shan) des Heihe können die Sedimentationsraten im Ablagerungsraum beeinflussen.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des FE-Ergebnisses

Peer-reviewed paper (publiziert)

Lehmkuhl, F., 2014. *Aeolian dust in mountain regions of Tibet and Mongolia*. Ext. Abstr. ProScience 1, 44-50.

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., Hartmann, K., Wünnemann, B., Schimpf, S., Lu, H., 2014. *Regional grain size variations of aeolian sediments along the transition between Tibetan highlands and north-western Chinese deserts – the influence of geomorphological settings on aeolian transport pathways*. *Earth Surface Processes and Landforms* 39, 1960-1978

Nottebaum, V., Stauch, G., Hartmann, K., Zhang, J., Lehmkuhl, F., 2015. *Unmixed loess grain size populations along the northern Qilian Shan (China) – Relationships between geomorphologic, sedimentologic and climatic controls*. In *Quaternary International*; <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.071>

Zhang, J., Nottebaum, V., Tsukamoto, S., Lehmkuhl, F., Frechen, M., 2015a. *The Late Pleistocene and Holocene loess sedimentation in central and western Qilian Shan (China) revealed by OSL dating*. In *Quaternary International*; <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.054>

Zhang, J., Tsukamoto, S., Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Frechen, M., 2015b. *D_e plateau and its implications for post-IR IRSL dating of polymineral fine grains*. In *Quaternary Geochronology*; <http://dx.doi.org/10.1016/j.quageo.2015.02.003>

Peer-reviewed paper (eingereicht)

Rudersdorf, A., Yu, K., Stauch, G., Hartmann, K., Reicherter, K., subm. *Seismites in the northern Ejina Basin – evidence for Holocene diffuse seismicity*. Geological Society London, Special Publications: Seismicity, Fault Rupture and Earthquake Hazards in Slowly Deforming Regions.

Yu, K., Hartmann, K., Nottebaum, V., Stauch, G., Lu, H., Zeeden, C., Yi, S., Wünnemann, B., Lehmkuhl, F., subm. *Elemental characteristics of sediment archives and their interpretation of sedimentary processes: a case study of the northern Ejina Basin, NW China*. In *Sedimentology*.

Peer-reviewed (geplant)

Hartmann, K. et al., in prep. *Late Pleistocene dynamic of water divides: A comparative review of Hei River and Okavango River Basin*. In *Quaternary Science Review*

Hartmann, K., Rudersdorf, A., Reicherter, K., Wünnemann, B., u.a., in prep. *The role of tectonically active basin margins for drainage behaviour of Hei He alluvial fan – implications for palaeohydrological investigations*. In *Quaternary Research*

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., Lu, H., Yi, S., in prep. *Late Quaternary aeolian sand deposition and reworking as a result of indirect geomorphologic and climatic controls in northern Chinese Hexi Corridor*. In *Quaternary Research*

Rudersdorf, A., Hölz, S., Torgoev, A., Havenith, H.-B., Reicherter, K., in prep. *Fault geometries and kinematics of the Ejina Basin, constrained by integrated geophysical data* (Arbeitstitel)

Rudersdorf, A., Hölz, S., Torgoev, A., Havenith, H.-B., Reicherter, K., in prep. *Fault geometries and kinematics of the Ejina Basin constrained by integrated geophysical data.*

Rudersdorf, A., Reicherter, K., in prep. *Morphotectonics of the Heihe catchment.*

Schimpf, S., Diekmann, B., Kuhn, G., Zhang, C., in prep. *The application of a computer controlled scanning electron microscopy on heavy minerals of the Gobi Desert, inner Mongolia, China: advantages and limitations in comparison to microscopic heavy-mineral analysis.* In Sedimentary Geology.

Schimpf, S., Nottebaum, V., Diekmann, B., Hartmann, K., Lehmkuhl, F., Wünnemann, B., Zhang, C., in prep. *Sediment provenance in the sediment cascade of the Hei River Basin, Inner Mongolia, China: Implications for late Quaternary landscape development.* In Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology.

Schimpf, S., Nottebaum, V., Diekmann, B., Hartmann, K., Lehmkuhl, F., Wünnemann, B., Zhang, C., in prep. *Provenance and dispersal of modern surface sediments in the source-sink cascade of the Hei-River Basin.* In Geomorphology

Wünnemann, B. et al., in prep. *Long term evolution of the Hei He inland delta, Inner Mongolia, China, and its response to climate variability.* In Earth Science Reviews

Beiträge in Büchern

Hartmann, K., Wünnemann, B., Hölz, S., Kraetschell, A., Zhang, H., 2011. *Neotectonic constraints on the Gaxun Nur inland basin in north-central China, derived from remote sensing, geomorphology and geophysical analyses.* In: Gloaguen, R. & Ratschbacher, L., eds. Growth and Collapse of the Tibetan Plateau. – Geological Society of London Special Publications 353, 221-233.

Session-Leitungen

Wünnemann, B., 2014. AGU Assembly 2014 (Co-Convenor, Chair) in sessions:

- PP31A Limnogeology and Paleolimnology I (Poster)
- PP33E Limnogeology and Paleolimnology II (Oral)
- GC43C The Third Pole Environment (TPE) Under Global Changes III (Posters)
- GC42C The Third Pole Environment (TPE) Under Global Changes II (Oral)

Vorträge

2012:

Haedke, H., Nottebaum, V., Rudersdorf, A., Schimpf, S., 2012. *Supra-Regional Signal Pathways and Long-Time Archives: Quaternary Monsoon Dynamics at the Northern Margin of the Tibetan Plateau;* (gemeinsamer) Vortrag Doktorandentreffen Allgäu, 15.01.2012

2013:

Haedke, H., 2013. *Stationary Wavelet Transform to detect hidden surface structures in the Gaxun Nur Basin, NW-China*. Jahrestagung AK Wüstenrandforschung, 01. – 02.02.2013, Rauischholzhausen.

Hartmann, K., Lehmkuhl, F., Haedke, H., Schimpf, S., Stauch, G., Diekmann, B., Wünnemann, B., 2013. *BMBF-Quasi: Überregionale Sedimentkaskaden in NW-China – erste Ergebnisse*. Jahrestagung AK Wüstenrandforschung, 01. – 02.02.2013, Rauischholzhausen.

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., 2013. *Die Sedimentkaskade ins Gaxun Nur Basin – Erste Ergebnisse aus Körnungs- und Elementanalysen*. Jahrestagung AK Wüstenrandforschung, 01. – 02.02.2013, Rauischholzhausen

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., 2013. *Verbreitung und Klassifizierung von äolischen Sedimenten am nördlichen Rand des Qilian Shan, N-China*. Jahrestagung AK Geomorphologie, 07. – 09.10.2013, Eichstätt

2014:

Hartmann, K., Wünnemann, B., Reicherter, K., Rudersdorf, A.*, Blaauw, M., Diekmann, B., Bölscher, J., Lu, H., 2014. *Late-Quaternary morphodynamics of Ejina Basin, Inner Mongolia, China : Quantification of neotectonic subsidence and palaeohydrological implications*. In: Geophysical Research Abstracts 16, EGU2014-6405 *presenting author.

Lehmkuhl, F., 2014. *Aeolian dust in mountain regions of Tibet and Mongolia*. DUST 2014 – International Conference on Atmospheric Dust. 01.06. – 06.06.2014. Castellana Grotte, Italien.

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., 2014. *Aeolian transport pathways along the transition from Tibetan highlands towards northwestern Chinese deserts*. Abstract: European Geoscience Union Conference 27.04. – 02.05.2014, Wien. Session: Aeolian Processes and Landforms

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., 2014. *Äolische Transport-End-Member aus Lössarchiven in Abhängigkeit der geomorphologischen Situation entlang der nördlichen Qilian Shan-Abdachung, NW-China*. Jahrestagung AK Geomorphologie, 02. – 03.10.2014, Kiel

Schimpf, S., 2014. *Sediment provenance in the sediment cascade of the Hei River Basin (Gaxun Nur) – Inner Mongolia, China*; AK Wüstenrandforschung, Rauischholzhausen 07.02.-08.02.2014.

Schimpf, S., Nottebaum, V., Diekmann, B., Hartmann, K., Lehmkuhl, F., Wünnemann, B., Zhang, C., 2014. *From source to sink in the sediment cascade of the Hei-River Basin: Implications for late Quaternary landscape dynamics in the Gobi Desert, NW China*. European

Geosciences Union General Assembly 27.04. - 02.05.2014, Wien. Session: Sedimentary source-to-sink fluxes and sediment budgets.

Zhang, J., 2014. *Loess sedimentation in the northern piedmont of Qilian Shan (China): timing and process revealed by luminescence dating*. 14th International Conference on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating, 07. – 11.07. 2014, Montréal, Kanada

Poster

2011:

Schimpf, S., 2011. *Quaternary depositional environments at the northern margin of the Tibetan Plateau, China*; Doktorandensymposium Telegrafenberg 02.11.2011

2012:

Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., 2012. *Die Sedimentkaskade ins Gaxun-Nur-Becken – Erste Ergebnisse aus Körnungsanalysen*. Jahrestagung AK Geomorphologie, 11. - 13.10.2012, Freising

Nottebaum, V. Lehmkuhl, F., Stauch, G., 2012. *The Gaxun Nur Basin sediment cascade – insights from grain size analysis*. TiP/CAME-Meeting, 16. – 18. 11.2012, Chengdu, China

2013:

Rudersdorf, A., Haedke, H., Reicherter, K., 2013. *Hidden faults in the Gobi Desert (Inner Mongolia, China) - evidence for fault activity in a previously tectonically stable zone*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-12582, 2013, EGU General Assembly 2013.

Rudersdorf, A., Hölz, S., Reicherter, K., 2013. *Fault characterization in arid environments using microtremor analyses, ground-penetrating radar and transient electromagnetics with a SQUID magnetometer*. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 04.-07.03.2013, Leipzig, ISSN: 0344-7251.

2014:

Rudersdorf, A., Nottebaum, V., Schimpf, S., Yu, K., Hartmann, K., Stauch, G., Wünnemann, B., Reicherter, K., Diekmann, B., Lehmkuhl, F., 2014. *The Hei River Basin in northwestern China : tectonics, sedimentary processes and pathways*. In: Geophysical Research Abstracts 16, EGU2014-8824-1

Rudersdorf, A., Hartmann, K., Reicherter, K., 2014. *Seismites in slowly deforming regions – evidence for diffuse seismicity in the northern Ejina Basin (Gaxun Nur Basin)*. In: Geophysical Research Abstracts 16, EGU2014-6692

Rudersdorf, A., Hölz, S., Torgoev, A., Havenith, H.-B., Reicherter, K., 2013. *Hidden faults in the Gobi Desert (Inner Mongolia, China) revealed by microtremor analysis, ground-penetrating radar and SQUID-supported transient electromagnetics*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-9543-1, 2013, EGU General Assembly 2013.

Rudersdorf, A., Havenith, H.-B., Reicherter, K., 2013. *Buried faults in desert environments: the application of the H/V spectral ratio technique for subsurface mapping, a case study from the Ejina Basin, Inner Mongolia, China*. In: Grützner, C., Rudersdorf, A., Pérez-López, R., Reicherter, K., eds. Seismic hazard, critical facilities and slow active faults. Proceedings of the 4th International INQUA meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA Days), 9-15 October 2013, Aachen, Germany, ISBN: 978-3-00-042796-1, 225-228.

Rudersdorf, A., Hölz, S., Reicherter, K., 2014. *Fault characterization in arid environments using transient electromagnetics with a SQUID magnetometer: the Hei River Basin*. In: 74. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 10-13 March 2014, Karlsruhe, 148-149.

Schimpf, S., 2014. *From source to sink in the sediment cascade of the Hei-River Basin: Implications for late Quaternary landscape dynamics in the Gobi Desert, NW China*. BMBF-Meeting, Frankfurt/Main 03/2014

Schimpf, S., 2014. *Provenance and Dispersal of Quaternary Sediments in the Hei River Basin, NW China*. PhD-Day Universität Potsdam, Doktoranden-Kolloquium; 06.02.2014

Schimpf, S.; Diekmann, B., Hartmann, K., Wünnemann, B., Zhang, C., 2014. *Provenance and Dispersal of Quaternary Sediments in the Gaxun Nur Basin, Inner Mongolia, China*. American Geophysical Union, Fall Meeting 2013, abstract #EP43D-0892

Schimpf, S.; Diekmann, B.; Hartmann, K., Wünnemann, B., Zhang, C., 2014. *Mineralogy and Provenance of Quaternary Sediments in the Gaxun Nur Basin, Northwestern Inner Mongolia, China*. Internationale Tagung (Himalayan Karakorum Tibet Workshop & International Symposium on Tibetan Plateau 2013), HKT-ISTP 2013; <http://hdl.handle.net/10900/50827>, Tübingen.

Promotionen

Nottebaum, V., in prep. *The aeolian sedimentary system along the transition between the Qilian Shan mountain range and northwestern Chinese deserts*. Geographisches Institut, RWTH Aachen.

Schimpf, S., in prep. *Pleistocene Depositional Environments at the northern margin of the Tibetan Plateau, China*. PhD Thesis, University Potsdam / Alfred Wegener Institute Potsdam.

Rudersdorf, A., in prep. *Active Tectonics in Desert Environments - the Ejina Basin*. Lehr- und Forschungsgebiet für Neotektonik und Georisiken, RWTH Aachen.

Diplomarbeiten/Masterarbeiten

Janacikova, P., 2012. *Sedimentologische und geochemische Untersuchungen ausgewählter Standorte entlang eines Höhentransektes von der Nordabdachung des Qilian Shan (China)*. Masterarbeit, Geographisches Institut, RWTH Aachen.

Nordhaus, H., in prep. *Herkunftsbestimmung von Schwermineralien aus einem Sedimentbohrkern aus der Gobi-Wüste (Nordchina)*. Masterarbeit, Freie Universität Berlin / Alfred-Wegener-Institut Potsdam.

Starke, J., 2014. *Late Quaternary Alluvial Fan Dynamics in Northern Ejina Basin, NW China – Derived from Elemental and Isotope Studies of Core GN200*. Master thesis FU Berlin.

Voell, T., in prep. *Versuch der Trennung äolischer Transportpfade nordchinesischer Lössablagerungen anhand des Lantanoidgehalts fraktionierter Korngrößen*. Masterarbeit, Geographisches Institut, RWTH Aachen.

Zscheyge, F., 2014. *Herkunftsbestimmung von Tonmineralien eines Sedimentbohrkerns aus der Gobi-Wüste (Nordchina)*. Bachelorarbeit, Universität Potsdam / Alfred-Wegener-Institut Potsdam.

Bachelorarbeiten

Witton, M., 2013. *Anwendung von Georadar zur Auffindung störungsähnlicher Strukturen innerhalb des Gaxun Nur-Beckens in der Inneren Mongolei*. Lehr- und Forschungsgebiet für Neotektonik und Georisiken, RWTH Aachen.

Literatur

Ashley, G.M., 1978. *Interpretation of Polymodal Sediments*. The Journal of Geology 86 (4), 411-421

Becken, M., Hölz, S., Fiedler-Volmer, R., Hartmann, K., Wünnemann, B., Burkhardt, H., 2007. *Electrical resistivity image of the Jingsutu Graben at the NE margin of the Ejina Basin (NW China) and implications for the basin development*. Geophysical Research Letters 34 (9), L09315.

Biskaborn, B., Herzschuh, U., Bolshiyarov, Dietze, E., Schwamborn, Diekmann, B., 2013. *Physico-chemical processes and cyclic depositional events in thermokarst lakes of the NE Siberian tundra*. Permafrost and Periglacial Processes 24, 160-174, doi: 10.1002/ppp.1769.

Blaauw, M., Christen, A., 2011. *Flexible Paleoclimate Age-Depth Models Using an Autoregressive Gamma Process*. Bayesian Analysis 6 (3), 457-474.

Bohlin, B., 1960. *Geological reconnaissances in Western Kansu and Kokonor. Reports from the scientific expedition to the north-western provinces of China under the leadership of Dr. Sven Hedin – The Sino-Swedish Expedition-*, 44 (III. Geology 8), 78 S.

Bourque, C.P.A., Mir, M.A., 2012. *Seasonal snow cover in the Qilian Mountains of Northwest China: Its dependence on oasis seasonal evolution and lowland production of water vapour*. Journal of Hydrology 454–455, 141-151.

Bullard, J.E., Livingstone, I., 2002 *Interactions between aeolian and fluvial system in dryland environments*. Area 34, 8-16.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province, 1989. *Regional geology of Gansu Province*; Beijing; XI, 692 pp.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region, 1989. *Regional geology of Nei Mongol (Inner Mongolia) Autonomous Region*; Beijing, IX, 725 pp.

Chen, F., Yu, Z., Yang, M., Ito, E., Wang, S., Madsen, D.B., Huang, X., Zhao, Y., Sato, T., Birks, H.J.B., Boomer, I., Chen, J., An, C., Wünnemann, B., 2008. *Holocene moisture evolution in arid*

central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. Quaternary Science Reviews 27, 351-364.

Cunningham, W.D., Windley, B.F., Dorjnamjaa, D., Badamgarov, J., Saandar, M., 1996. *Late Cenozoic transpression in southwestern Mongolia and the Gobi-Altai-Tien Shan connection*. Earth and Planetary Science Letters 140, 67-81.

Cunningham, W.D., Windley, B.F., Owen, L.A., Barry, T., Dorjnamjaa, D., Badamgarav, J., 1997. *Geometry and style of partitioned deformation within a late Cenozoic transpressional zone in the eastern Gobi Altai Mountains, Mongolia*. Tectonophysics 277, 285-306.

Cunningham, D., 2005. *Active intracontinental transpressional mountain building in the Mongolian Altai: Defining a new class of orogeny*. Earth and Planetary Science Letters 240, 436-444.

Cunningham, D., 2010. *Tectonic setting and structural evolution of the Late Cenozoic Gobi Altai orogen*. Geological Society, London, Special Publications 338, 361-387.

Cunningham, D., 2013. *Mountain building processes in intracontinental oblique deformation belts: Lessons from the Gobi Corridor, Central Asia*. Journal of Structural Geology 46, 255-282.

Diekmann, B., Kuhn, G., 1999. *Provenance and dispersal of glacial-marine surface sediments in the Weddell Sea and adjoining areas, Antarctica: ice-rafting versus current transport*. Marine Geology, 158, 209-231.

Diekmann, B., Kuhn, G., Rachold, V., Abelmann, A., Brathauer, U., Fütterer, D. K., Gersonde, R., Grobe, H., 2000. *Terrigenous sediment supply in the Scotia Sea (Southern Ocean): response to Late Quaternary ice dynamics in Patagonia and on the Antarctic Peninsula*. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 162: 357-387.

Dietze, E., Hartmann, K., Diekmann, B., IJmker, J., Lehmkuhl, F., Opitz, S., Stauch, G., Wünnemann, B., Borchers, A., 2012. *An end-member algorithm for deciphering modern detrital processes from lake sediments of Lake Donggi Cona, NE Tibetan Plateau, China*. Sedimentary Geology 243-244, 169-18.

Dietze, E., Wünnemann, B., Hartmann, K., Diekmann, B., Jin, H., Stauch, G., Yang, S., Lehmkuhl, F. 2013. *Early to mid-Holocene lake high-stand sediments at Lake Donggi Cona, northeastern Tibetan Plateau, China*. Quaternary Research 79 (3), 325-336.

Edmunds, W.M., Ma, J., W. Aeschbach-Hertig, R. Kipfer, Darbyshire, D.P.F., 2006. *Groundwater recharge history and hydrogeochemical evolution in the Minqin Basin, North West China*. Appl Geochem 21 (12), 2148-2170.

Folk R.F., Ward, W.C. 1957. *Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters*. Journal of Sedimentary Petrology 27, 3-26.

Fontes, J., Melieres, C., Gibert, F., Liu, Q., Gasse, F., 1996. *Stable isotope and radiocarbon balances of two lakes (Sumxi Co, Longmu Co) from 13,000 BP*. Quaternary Science Reviews 12, 875-887.

Gansu Provincial Geol. Bureau., 1980. *Geological report on 1:200,000 scale geological survey*. Lanzhou Press., Lanzhou [chin.].

Guan Q., Zhang, J., Wang, L., Pan, B., Gui, H., Zhang, C., 2013. *Discussion of the relationship between dustfall grain size and the desert border, taking the southern border of the Tengger Desert and the southern dust deposit area as an example*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 386, 1–7.

Hartmann, K., 2003. *Spätpleistozäne und holozäne Morphodynamik im nördlichen Gaxun Nur Becken, Innere Mongolei, NW China*. Dissertation, FU Berlin.

Hartmann, K., Wünnemann, B., Zhang H., 2009. *Evidence of neotectonic impact on a large sedimentary basin between Tibetan Plateau and Gobi Altay, NW China*. Quaternary Sciences 29 (4), 687-695.

Hartmann, K., Wünnemann, B., 2009. *Hydrological changes and Holocene climate variations in NW China, inferred from lake sediments of Juyanze palaeolake by factor analyses*. Quaternary International 194, 28-44.

Hartmann, K., Wünnemann, B., Hölz, S., Krätschell, A., Zhang, H.C., 2011. *Neotectonic constraints on the Gaxun Nur inland basin in north-central China, derived from Remote Sensing, Geomorphology and Geophysical analyses*. In: Gloaguen, R, Ratschbacher, K, eds. Growth and Collapse of the Tibetan Plateau. Geological Society, London, Special publications 353, 221-233.

Herzschuh, U., 2006. *Paleo-moisture evolution in monsoonal Central Asia during the last 50,000 years*. Quaternary Science Reviews 25: 163-178.

Herzschuh, U., Tarasov, P., Wünnemann, B., Hartmann, K., 2004. *Holocene vegetation and climate of the Alashan Plateau, NW China, reconstructed from pollen data*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 211, 1-17.

Hetzel, R., Niedermann, S., Tao, M., Kubik, P., Ivy-Ochs, S, Gao, B, Strecker, M.R., 2002. *Low slip rates and long-term preservation of geomorphic features in Central Asia*. Nature 417 (6887), 428-432.

Hetzel, R., Tao, M., Stokes, S., Niedermann, S., Strecker, M.R., Ivy-Ochs, S., Kubik, P.W., Gao, B., 2004. *Implications of the fault scaling law for the growth of topography: mountain ranges in the broken foreland of north-east Tibet*. Terra Nova 16 (3), 157–162.

Hetzel, R., 2013. *Active faulting, mountain growth, and erosion at the margins of the Tibetan Plateau constrained by in situ-produced cosmogenic nuclides*. Tectonophysics 582, 1-24.

Hölz, S., 2007. *Geophysical and Geoscientific Investigations in the Ejina basin, Inner Mongolia, NW China with focus on Processing of TEM-Data in the Wavelet Domain and on 2D Modeling*. Dissertation, TU Berlin.

Hölz, S., Polag, D., Becken, M., Fiedler-Volmer, R., Zhang, H.C., 2007. *Electromagnetic and geoelectric investigation of the Gurinai structure, Inner Mongolia, NW China*. Tectonophysics 445, 26-48.

Hörner, N.G., Chen, P.C., 1935. *Alternating lakes*. Hyllingskrift tillägnad Sven Hedin. Geografisker Annaler 17, 147-165.

Hövermann, J., Hövermann, E., Lehmkuhl, F., 1998. *Geomorphologische Untersuchungen im nördlichen Vorland des Qilian Shan, China*. Berliner Geogr. Abh. 63, 99-119.

Hofmann, 1999. *Geoökologische Untersuchungen der Gewässer im Südosten der Badaain Jaran Shamo (Aut. Region Innere Mongoloei / VR China) Status und spätquartäre Gewässerentwicklung*. Berliner Geographische Abhandlungen, Heft 64. Inst. F. Geogr. Wiss. d. FU Berlin, Berlin, 247 S.

Hugenholtz, C.H., Wolfe, S.A., 2010. *Rates and environmental controls of aeolian dust accumulation, Athabasca River Valley, Canadian Rocky Mountains*. *Geomorphology* 121 (3-4), 274-282.

Ijmker, J., Stauch, G., Dietze, E., Hartmann, K., Diekmann, B., Lockot, G., Opitz, S., Wünnemann, B., Lehmkuhl, F., 2012. *Characterisation of transport processes and sedimentary deposits by statistical end-member mixing analysis of terrestrial sediments in the Donggo Cona lake catchment, NE Tibetan Plateau*. *Sedimentary Geology* 281, 166–179.

Jahn, B., Gallet, S., Han, J., 2001. *Geochemistry of the Xining, Xifeng and Jixian sections, Loess Plateau of China: eolian dust provenance and paleosol evolution during the last 140 ka*. *Chemical Geology* 178 (1-4), 71–94.

Jiao, J.J., Zhang, X., Wang, X., 2015. *Satellite-based estimates of groundwater depletion in the Badain Jaran Desert, China*. *Scientific Reports* 5, 8960. (DOI: 10.1038/srep08960).

Keulen, N., Frei, D., Riisager, P., Knudsen, C., 2012. *Analysis of heavy minerals by computer-controlled scanning electron microscopy (CCSEM): Principles and applications*. Mineralogical Association of Canada, Short Course 42, 167-184.

Lehmkuhl, F., Haselein, F., 2000. *Quaternary palaeoenvironmental change on the Tibetan Plateau and adjacent areas (Western China and Western Mongolia)*. *Quaternary International* 65/66, 121–145.

Leng, G., Tang, Q., Rayburg, S., 2015. *Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China*. *Global and Planetary Change* 126, 23-34.

-
- Lü, YW., Gu, Z., Aldahan, A., Zhang, H., Possnert, G., Lei, G., 2010. *¹⁰Be in quartz gravel from the Gobi Desert and evolutionary history of alluvial sedimentation in the Ejina Basin, Inner Mongolia, China*. Chinese Science Bulletin 55 (33), 3802-3809.
- Ma, J., 2003. Groundwater recharge and climatic change during the last 1000 years from unsaturated zone of SE Badain Jaran Desert Chin. Science Bulletin 48(14), 1469.
- Ma, J., Edmunds, W.M., 2006. *Groundwater and lake evolution in the Badain Jaran Desert ecosystem, Inner Mongolia*. Hydrogeol J , 14(7), 1231-1243.
- Nottebaum, V., F. Lehmkuhl, G. Stauch, K. Hartmann, B. Wünnemann, S. Schimpf, H. Lu., 2014. *Regional grain size variations in aeolian sediments along the transition between Tibetan highlands and north-western Chinese deserts - the influence of geomorphological settings on aeolian transport pathways*. Earth Surface Processes and Landforms 39 (14), 1960-1978.
- Nottebaum, V., Stauch, G., Hartmann, K., Zhang, J., Lehmkuhl, F., 2015. *Unmixed loess grain size populations along the northern Qilian Shan (China) – Relationships between geomorphologic, sedimentologic and climatic controls*. In Quaternary International; <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.071>
- Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Stauch, G., Lu, H., Yi, S., in prep. *Late Quaternary aeolian sand deposition and reworking as a result of indirect geomorphologic and climatic controls in northern Chinese Hexi Corridor*. In Quaternary Research.
- Owen L.A., Windley, B.F., Cunningham, W.D., Badamgarov, G., Dorjnamjaa, D., 1997. *Quaternary alluvial fans in the Gobi Desert, southern Mongolia: evidence for neotectonics and climate change*. Journal of Quaternary Science 12, 239-252.
- Peng, J., Si, J., Fend, Q., Chang, Z., 2011. *The spatial heterogeneity of groundwater level depth in Ejina oasis based on geostatistics*. Journal of Arid Land Resources and Environment 4, 94-99.
- Popp, S., Belolyubsky, I., Lehmkuhl, F., Prokopiev, A., Siegert, C., Spektor, V., Stauch, G., Diekmann, B., 2007. *Sediment provenance of late Quaternary morainic, fluvial and loess-like deposits in the southwestern Verkhoyansk Mountains (eastern Siberia) and implications for regional palaeoenvironmental reconstructions*. Geological Journal 42, 477-497.

Qin, H., Sun, A., Liu, J., and Zheng, C., 2012. *System dynamics analysis of water supply and demand in the North China Plain*. Water Policy 14, 214–231.

Roberts, N., Cunningham, D., 2008. *Automated alluvial fan discrimination, Quaternary fault identification, and the distribution of tectonically reactivated crust in the Gobi Altai region, southern Mongolia*. International Journal of Remote Sensing 29, 6957-6969.

Rudersdorf, A., Yu, K., Stauch, G., Hartmann, K., Reicherter, K., subm. *Seismites in the northern Ejina Basin – evidence for Holocene diffuse seismicity*. Geological Society London, Special Publications: Seismicity, Fault Rupture and Earthquake Hazards in Slowly Deforming Regions.

Schlütz, F., 1999. *Palynologische Untersuchungen über die holozäne Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte in Hochasien (Nanga Parbat, Karakorum, Nianbaoyeze, Lhasa) und das Pleistozän in China (Qinling-Gebirge, Gaxun Nur)*. Dissertationes Botanicae 315, 1-183.

Smalley, I., Krinsley, D.H., 1978. *Loess deposits associated with deserts*. Catena 5, 53-66.

Smalley, I., O'Hara-Dhand, K., Kwong, J. (2014). *China: Materials for a loess landscape*. Catena 117, 100-107.

Stauch, G., Ijmker, J., Pötsch, S., Zhao, H., Hilgers, A., Diekmann, B., Dietze, E., Hartmann, K., Opitz, S., Wünnemann, B., Lehmkuhl, F., 2012. *Aeolian sediments on the north-eastern Tibetan Plateau*. Quaternary Science Reviews 57, 71-84.

Stauch, G., Pötsch, S., Zhao, H., Lehmkuhl, F., 2014. *Interaction of geomorphological processes on the north-eastern Tibetan Plateau during the Holocene, an example from a sub-catchment of Lake Donggi Cona*. Geomorphology 210, 23–35.

Tsoar, H., Pye, K., 1987. *Dust transport and the question of loess formation*. Sedimentology 34, 139-153.

Vandenbergh, J., 2013. *Grain size of fine-grained windblown sediment: A powerful proxy for process identification*. Earth-Science Reviews 121, 18-30.

Vandenberghe, J., French, H.M., Gorbunov, A., Velichko, A.A., Jin, H., Cui, Z., Zhang, T., Wan, X., 2014. *The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the northern hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25-17 ka BP*. Boreas 43, 652-666.

von Eynatten, H., Tolosana-Delgado, R., Karius, V., 2012. *Sediment generation in modern glacial settings: Grain-size and source-rock control on sediment composition*. Sedimentary Geology, 280: 80-92.

Wang, Q., Zhu, D.C., Zhao, Z.D., Guan, Q., Zhang, X.Q., Sui, Q.L., Hu, Z.C., Mo, X.X., 2012. *Magmatic zircons from I-, S- and A type granitoids in Tibet: Trace element characteristics and their application to detrital zircon provenance study*. Journal of Asian Earth Sciences 53, 59-66.

Wang, P., Yu, J., Zhang, Y., Liu, C., 2013. Groundwater recharge and hydrogeochemical evolution in the Ejina Basin, northwest China. Journal of Hydrology 476, 72-86.

Wünnemann, B., Pachur, H.-J., Zhang H., 1998. *Chronologie der pleistozänen und holozänen Seespiegelschwankungen des Gaxun Nur/Sogo Nur und Baijian Hu, Innere Mongolei, Nordwestchina*. Petermanns Geogr. Mitteilungen 142, 3+4: 189-204, Gotha.

Wünnemann, B., Pachur, H.-J., Zhang H., 1998. *Climatic and environmental changes in the deserts of Inner Mongolia, China, since the Late Pleistocene*. In: Alsharhan, A.S., Glennie, K.W. Whittle, G.L. & Kendall, C.G.St.C. (Eds.) Quaternary Deserts and Climatic Change: 381-394. Balkema Publishing House, Rotterdam.

Wünnemann, B., 1999. *Untersuchungen zur Paläohydrographie der Endseen in der Badain Jaran- und Tengger Wüste, Innere Mongolei, Nordwest-China*. Habilitationsschrift am FB Geowissenschaften der FU Berlin, 236 S., 67 Figuren, 12 Tabellen, 61 Fotos, Berlin.

Wünnemann, B., Hartmann, K., 2002. *Morphodynamics and Paleohydrography of the Gaxun Nur Basin, Inner Mongolia, China*. Zeitschrift f. Geomorphologie, N.F. Supplementband 126, 147-168.

Wünnemann, B., Hartmann, K., Altmann, N., Hambach, U., Pachur, H.-J., Zhang, H., 2007. *Interglacial and glacial fingerprints from lake deposits in the Gobi Desert, NW China*. In:

- Sirocko, F., Claussen, M., Sánchez-Goñi, M.F., Litt, T. (Eds.). *The Climates of the Past Interglacials, Developments in Quaternary Science* 7, 323-347, Elsevier.
- Yang, X., 1991. *Geomorphologische Untersuchungen in Trockenräumen NW-Chinas unter besonderer Berücksichtigung von Badanjilin und Takelamagan*. Göttinger Geogr. Abh. 124 S.
- Yang, X., Scuderi, L., 2011. *Hydrological and climatic changes in deserts of China since the late Pleistocene*. *Quaternary Research* 73, 1-9.
- Yang, X., Scuderi, L., Paillou, P., Liu, Z., Li, H., Ren, X., 2011. Quaternary environmental changes in the drylands of China - A critical review. *Quaternary Science Reviews* 30 (23-24), 3219-3233.
- Yu, K., Hartmann, K., Nottebaum, V., Stauch, G., Lu, H., Zeeden, C., Yi, S., Wünnemann, B., Lehmkuhl, F., subm. *Elemental characteristics of sediment archives and their interpretation of sedimentary processes: a case study of the northern Ejina Basin, NW China*. In *Sedimentology*.
- Zhang, W.X., Fan, H.F., Chang, F.Q., Wünnemann, B., Hartmann, K., 2006. *Dilemma of dating on lacustrine deposits in an hyperarid inland basin of NW China*. *Radiocarbon* 48 (2), 219-226.
- Zhang, J., Nottebaum, V., Tsukamoto, S., Lehmkuhl, F., Frechen, M., 2015a. *The Late Pleistocene and Holocene loess sedimentation in central and western Qilian Shan (China) revealed by OSL dating*. In *Quaternary International*;
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.054>
- Zhang, J., Tsukamoto, S., Nottebaum, V., Lehmkuhl, F., Frechen, M., 2015b. *De plateau and its implications for post-IR IRSL dating of polymineral fine grains*. In *Quaternary Geochronology*;
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quageo.2015.02.003>
- Zhao, L., Jin, H., Li, C., Cui, Z., Chang, X., Marchenko, S.S., Vandenberghe, J., Zhang, T., Luo, D., Guo, D., Liu, G., Yi, C., 2013. *The extent of permafrost in China during the local Last Glacial Maximum (LLGM)*. *Boreas* 43 (3), 688-698.