

6 PROJEKTGEBIETE UND TRAININGSMASSNAHMEN

Das folgende Kapitel gibt eine Übersicht über die durchgeführten Trainingsmaßnahmen zur GIS und FE-gestützten qualitativen und quantitativen Erfassung von Waldressourcen innerhalb von Projektgebieten der östlichen und westlichen Pufferzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes. Die Arbeitsmethoden wurden in den Jahren 2001 bis 2004 im Rahmen der GTZ-Projekte „*Naturschutz und Randzonenentwicklung*“ (NCBDP) und „*Schutz und Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen*“ (SBNR) in Kooperation mit dem FMPC, der NUM, privaten Inventurunternehmen und FOREM international¹²² durchgeführt. Neben Methoden der visuellen Klassifizierung von multispektralen Satellitenbilddaten und der GPS-gestützten Geländedokumentation, wurden in den Projektgebieten auch unterschiedliche terrestrische Waldinventurmethode erprobt. Die folgenden Kapitel geben zunächst einen Überblick der naturräumlichen und vegetationsgeographischen Gegebenheiten der Untersuchungsgebiete, die in den nördlichen *Aimags*: *Selenge*, *Töv* und *Khentii* liegen und historisch sowie aktuell durch einen hohen Nutzungsdruck auf die natürlichen Ressourcen gekennzeichnet sind. Auf die im Rahmen der Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen verwendeten Fernerkundungsdaten und thematischen Kartengrundlagen sowie auf die spezifischen Trainingsmaßnahmen zur Datenerfassung wird in den Kapiteln 6.2 und 6.3 näher eingegangen.

6.1 Projektgebiete im Randzonenbereich des Khan Khentii Schutzgebietes

6.1.1 Das Khan Khentii Schutzgebiet

Das *Khan Khentii* Schutzgebiet gehört nach dem Schutzgebietesgesetz der Mongolei¹²³ zu den zwölf streng geschützten Gebieten (vgl. Kapitel 2.5). Es wurde im Jahr 1992 offiziell gegründet und beginnt nördlich der Hauptstadt Ulaanbaatar (schließt man den im Südwesten angrenzenden Nationalpark *Gorkhi Terelj*¹²⁴ mit ein) und reicht bis an die mongolisch-rus-

sische Grenze. Innerhalb des Schutzgebietes liegen die *Soums Erdene* und *Mongonmorit* (*Töv* Aimag), die *Soums Batshireet* und *Omnodelger* (*Hentiy* Aimag) und die *Soums Eroo* und *Mandal* (*Selenge* Aimag) im Norden des Landes. Die Schutzzone umfasst eine Fläche von 1.3 Mio. ha, wovon knapp 70% bewaldete Flächen sind. Somit hat das Schutzgebiet den größten Anteil an natürlicher Waldfläche aller vorkommenden Schutzgebiete der Mongolei (GTZ 2000). Schutzstatus hat das *Khentii*-Gebirge historisch gesehen schon seit 1778, nach der Einführung des Buddhismus im 16. und 17. Jh., und kann als eines der ältesten Naturschutzgebiete der Welt angesehen werden (FORKERT & STELLING 2005). Der Naturschutzwert wird dadurch erhöht, dass



Abbildung 39: Felsplattengräber im Norden des Projektgebietes *Mongonmorit*, *Töv* Aimag. Foto: MEISSNER 2003

das Gebiet einen großräumigen, vom Menschen noch unveränderten Naturraum repräsentiert (MÜHLENBERG et. al. 2000). Kennzeichnend für Großteile des Schutzgebietes sind eine Vielzahl von Lebensraumtypen, die sich in einer entsprechend hohen Artenvielfalt niederschlägt. Neben 220 registrierten Pflanzenarten bieten die Wälder unter anderem Maralhirschen, Rehen, Moschustieren, Wildschweinen und Steinböcken sowie einer reichen Vogelwelt Lebensraum. Eine besondere Bedeutung kommt dem Schutzgebiet durch die Flüsse *Tuul*, *Minz-* und *Eröö Gol* zu, die alle über den Fluss *Selenge* in den Baikalsee abfließen. Dadurch ist das Schutzgebiet mit dem ältesten und tiefsten See der Welt vernetzt. Hier entspringen auch drei Haupt-Flusssysteme (*Tuul*, *Onon* und *Kherten*), die für die Trinkwasserversorgung in Ulaanbaatar verantwortlich sind. Das Schutzgebiet ist untrennbar mit dem Namen *Chinggis Khans* verbunden, dessen Geburtsort am oberen Lauf des *Onon* liegt. Von dieser Kernzone ausgehend, drang das Mongolenreich seit Mitte des 12. Jh. unaufhaltsam vor, um das bis zu diesem Zeitpunkt größte Weltreich der Geschichte zu werden, das vom Pazifischen Ozean bis nach Mitteleuropa reichte. Zahlreiche Grabfelder aus Felsplattengräbern und einzelne Grabsäulen weisen auf dessen Geschichtsträchtigkeit hin (vgl. Abbildung 39).

¹²² FOREM International (*International Forest and Resource Management*) ist eine Gesellschaft für modernes Consulting in den Bereichen Umwelt, Wälder und natürliche Ressourcen. Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen der forstlichen Betriebsinventur, Feuermanagement, Waldzustandserfassung, Waldbewertung und Waldzertifizierung Online unter: <http://www.forem.de> [Stand: 02.08.2006]

¹²³ „Law of Mongolia on Special Protected areas Bufferzones“ von 1997.

¹²⁴ Der *Terelj*-Nationalpark ist das am häufigsten von Touristen und Einheimischen besuchte Schutzgebiet der Mongolei.

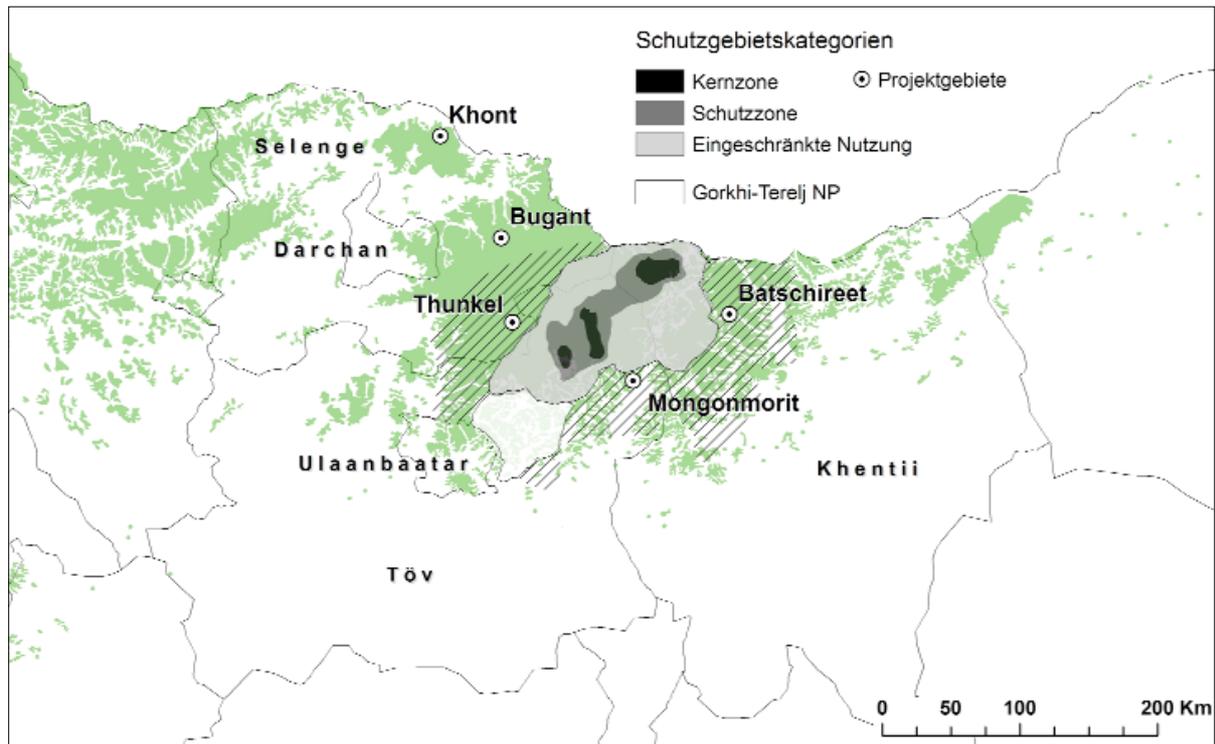


Abbildung 40: Lage der Projektgebiete innerhalb des Randzonenbereichs des Khan Khentii Schutzgebietes.
Quelle: GTZ 2003

Die streng geschützte Zone ist in drei interne Zonen mit entsprechenden Auflagen eingeteilt: Die „Pristine“ Zone (naturnahe Kernzone), die „Conservation“ Zone (Schutzzone) und die „Limited Use Zone“ (Zone mit eingeschränkter Nutzung). Sich anschließend, aber außerhalb dieser Zonen, befindet sich die Puffer- bzw. Randzone (vgl. Abbildung 40). Die Ausweisung von Pufferzonen orientiert sich am „Man and the Biosphere Programme“ (MAB) der UNESCO mit dem Ziel Biosphärenreservate¹²⁵ zu schaffen, um menschliche Aktivitäten, Forschung und Bewahrung der natürlichen Umwelt an einem Ort zu vereinen. Die gezielte sozioökonomische Entwicklung der Randzone unter Partizipation der lokalen Bevölkerung hatte im Rahmen des GTZ-Projektes NCBDP eine hohe Priorität (vgl. Kapitel 4.1.2) und ist die Voraussetzung für einen tatsächlich nachhaltigen Schutz der Naturwälder des Schutzgebietes. Nach allgemein anerkannter Definition beinhaltet der Begriff Nachhaltigkeit¹²⁶ auch ökologische, ökonomische und sozioökonomische Funktionen. Nur

unter Beachtung der komplexen Zusammenhänge dieser von der GTZ angestrebten Entwicklungskonzeption ist eine langfristige Sicherung des Schutzgebietes möglich.

Voraussetzung für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement im Einzugsbereich des Schutzgebietes ist auch der Zugang zu planungsrelevanten Daten, um auf deren Basis Nutzungskonzepte zu entwickeln. Ganz wesentlich für das Schutzgebietsmanagement ist die verbindliche Kennzeichnung von Schutzgebietsgrenzen in den Planungskarten oder auch im Gelände (vgl. Abbildung 41).

Die westlichen Randzonenbereiche hatten für die in Kapitel 6.3 beschriebenen methodischen Arbeiten zu Anfang des GTZ-Projektes höchste Priorität, da der Nutzungsdruck auf die natürlichen Ressourcen aufgrund der Nähe zu Ulaanbaatar und der besseren infrastrukturellen Erschließung dieser Gebiete, histo-

¹²⁵ Nach PRIMACK (1995) umfasst dieses Konzept einen Kernbereich, in dem Ökosysteme streng geschützt sind. Dieser Kernbereich ist umgeben von einer Pufferzone, in der Aktivitäten des Menschen überwacht und Forschungen durchgeführt werden. Schließlich gibt es eine Übergangszone in der Forschung und umweltverträgliche Nutzungen erlaubt sind (Kern-, Pflege- und Entwicklungszonen).

¹²⁶ LAIRD (1995:2) fasst den Begriff in Bezug auf die Forstwirtschaft folgendermaßen zusammen: „Sustainable forestry implies a much broader, multisectoral agenda that attempts to balance use, includes the production of non-timber as well as timber products, conserves forest ecosystems and the genetic and species diversity contained within them, and generates income, employment, consumption, and investment benefits for local forest dwellers, as well as nations“.



Abbildung 41: Grenze zur Schutzzone des Khan Khentii Schutzgebietes. Projektgebiet *Mongonmorit (Töv Ai-mag)*. Foto: MEISSNER 2003

risch und aktuell am höchsten ist (vgl. Kapitel 3.1). Von den drei westlichen Projektgebieten liegt nur *Thunkel* innerhalb der Pufferzone. *Bugant* und *Khont* liegen im nordwestlichen Einzugsbereich des Schutzgebietes. Das Projektgebiet *Batshireet* grenzt im Nordosten direkt an die eingeschränkte Nutzungszone („*Limited Use Zone*“) an. Eine Ausnahme bildeten Untersuchungen im Projektgebiet *Mongonmorit* (vgl. Kapitel 6.3.4), die im nördlichen Bereich auch innerhalb der Schutzzone und naturnahen Kernzone des Schutzgebietes erfolgten.

6.1.2 Geographische Lage und naturräumliche Ausstattung

Die westlichen Projektgebiete *Thunkel (Mandal Soum)*, *Bugant (Eroo Soum)* und *Khont (Altanbulag Soum)* liegen innerhalb des *Selenge Aimags* zwischen 140 km (*Thunkel*) und 320 km (*Khont*) von der Hauptstadt Ulaanbaatar entfernt. Die Projektgebiete sind infrastrukturell, vor allem aufgrund der transmongolischen Eisenbahn und der nach Norden verlaufenden Hauptverkehrsstraße relativ gut erreichbar. Allerdings ist die Erschließungsdichte innerhalb der bewaldeten Gebiete, wie auch in den östlich gelegenen Projektgebieten, gering und wird durch den schlechten Zustand der Sommerwege und den fortschreitenden Brückenzustand (vgl. Abbildung 42) weiter zunehmen. Dieser Zustand ist als problematisch zu bewerten, da nur eine angepasste Walderschließung auch zu einer nachhaltigen Ressourcennutzung führen kann.

Die Projektgebiete *Mongonmorit (Töv Aimag)* und *Batshireet (Khentii Aimag)* liegen innerhalb der östlichen Pufferzone des KKSPA. Das *Khentii Aimag* besteht aus 19 *Soums* und drei Ortschaften mit städtischem Charakter. Mit einer Gesamtfläche von 80.500 km² und einer Einwohnerzahl von 71.100 (FORKERT & STELLING 2005) liegt die Bevölkerungsdichte bei 0,9 Personen pro km². Die Hauptstadt des *Khentii Aimags* ist *Undurchaan* mit 14.400 Einwohnern, die entlang

der nach Osten führenden Hauptverkehrsstraße von Ulaanbaatar aus nach 300 km zu erreichen ist. Der *Töv Aimag* weist mit einer Fläche von 76.200 km² und eine Einwohnerzahl von 98.300 Einwohnern (FORKERT & STELLING 2005) eine etwas höhere Bevölkerungsdichte von 1,3 Personen pro km² auf. Die Hauptstadt des *Töv Aimags* ist *Dsuunmod chot*, die etwa 40 km südlich von Ulaanbaatar liegt. Das *Soum*-Zentrum



Abbildung 42: Brücke in der Nähe des Projektgebietes *Bugant*. Aufnahme: WYSS 2001

Batshireet befindet sich ca. 280 km nordöstlich der Hauptstadt und 30 km östlich des eigentlichen Projektgebietes. *Batshireet* zählte im Jahr 2004 insgesamt 2.500 Einwohner. Die meisten Bewohner des Soums sind *Buriaten*, deren Heimat durch die Grenze zwischen der Mongolei und der GUS zweigeteilt ist. Der Wald spielt für den *Soum Batshireet*, ebenso wie für das *Soum*-Zentrum *Mongonmorit* (ca. 180 km nordöstlich von Ulaanbaatar), eine wichtige Rolle. Die derzeitige sozioökonomische Struktur ist in beiden *Soum*-Zentren charakteristisch für die transformationsbedingte Gesamtlage, die sich durch hohe Arbeitslo-

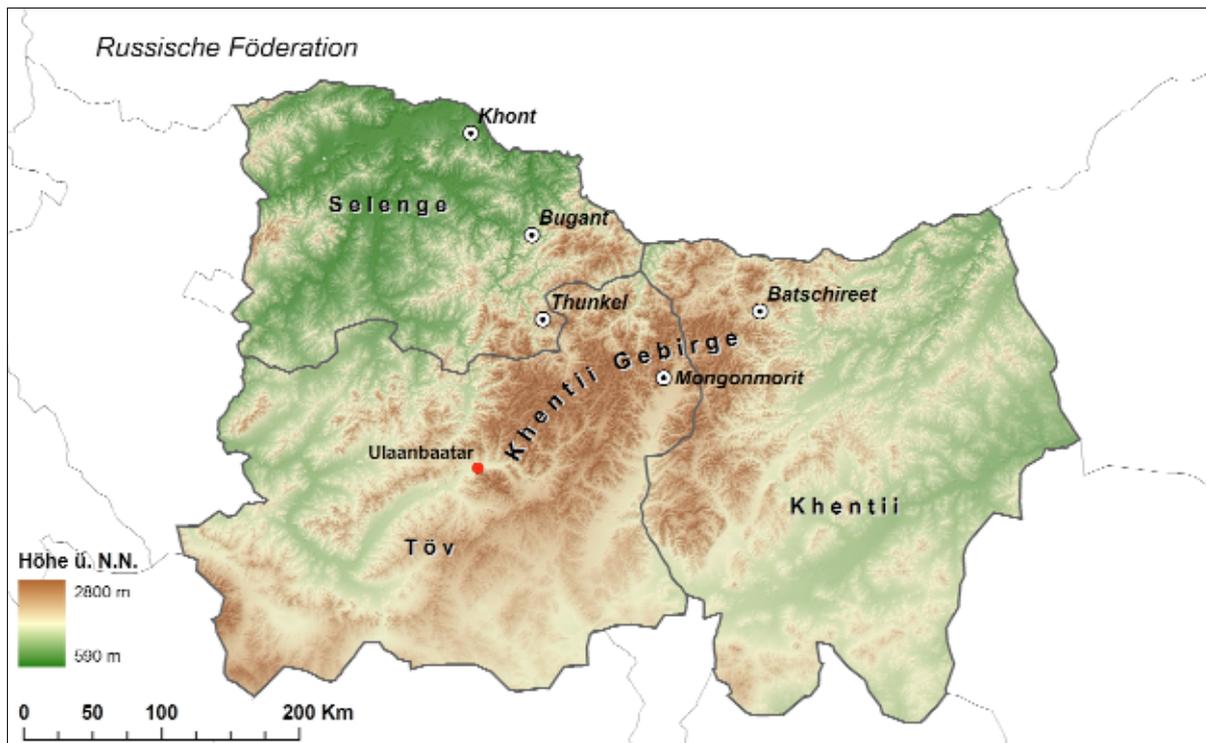


Abbildung 43: Lage der Untersuchungsgebiete in den westlichen und östlichen Einzugsbereichen des Khentii-Gebirges. Datenquelle: SRTM (90 m Auflösung)

sigkeit¹²⁷, Migration in Richtung der Hauptstadt Ulaanbaatar und in eine Diversifizierung der Einkommensquellen aufgrund des Verlustes an außerpastoralen Arbeitsplätzen, äußert. Zwar hat die illegale Holznutzung nicht das gleiche Ausmaß wie beispielsweise in *Thunkel* (vgl. Kapitel 3.1.3), dennoch werden Holz und NHWP zur Einkommenssicherung über den Eigenbedarf hinaus genutzt.

Das *Khentii*-Gebirge befindet sich im nordöstlichen Teil der Mongolei und erstreckt sich über 200 km von der russischen Grenze im Nordosten bis zur Landeshauptstadt Ulaanbaatar im Südwesten. Die Höhen reichen von ca. 600 m ü. N.N. in den nordöstlichen Ausläufern des Gebirges bis etwa 2800 m ü. N.N. im zentralen Bereich des *Khentii* (vgl. Abbildung 43). Naturräumlich gehört das *Khentii*-Gebirge zum transbaikalischen Gebirgssystem und endet im Norden nicht an der mongolischen Grenze, sondern reicht noch etwa 150 km bis nach Russland hinein (DULAMSUREN 2004). Das *Khentii*-Gebirge hat im wesentlichen Mittelgebirgscha-

rakter. Der zentrale Teil erstreckt sich von Nordosten nach Südwesten, hat gerundete oder flache Bergrücken und relativ steile Hänge. Die Täler verlaufen überwiegend in ostwestlicher Richtung. Das *Khentii*-Gebirge ist von niedrigen Bergzügen umgeben, die eine Höhe von 1200 m bis 1400 m ü. N.N. aufweisen. Die Nord-Süd Hauptverlaufsrichtung des *Khentii*-Gebirges führt bei vorherrschenden Winden aus Norden und Nordwesten zu einer Vielfalt an mesoklimatischen Bedingungen, die in Abhängigkeit von Höhe und Exposition erheblich variieren können. Ein deutlicher Unterschied besteht zwischen dem Mesoklima von Nord- und Südhängen. Die Nordhänge bilden die Luvseite der Berge. Durch Verlangsamung und Abkühlung der Luftmassen kommt es hier zu verhältnismäßig hohen Niederschlägen. Die Südhänge liegen dagegen im *Khentii* an der niederschlagsarmen Leeseite. Mit zunehmender Entfernung vom Bergrücken nimmt an den Südhängen die Temperatur zu, Niederschlag und Luftfeuchtigkeit hingegen ab.

Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt im *Khentii*-Gebirge etwa 400 bis 500 mm mit einem Maximum im Sommer. Kalte, trockene Winter in Kombination mit kurzen, niederschlagsreichen Sommern (80-85% des Niederschlags fällt im *Khentii* in den Monaten Juli und August) sowie tiefem Dauerfrost im Boden kennzeich-

¹²⁷ Im Jahr 2003 betrug die Arbeitslosigkeit in *Batshireet* 60%. Von ehemals 650 Arbeitsplätzen im Distriktzentrum waren im Jahr 2003 nach Privatisierung und Auflösung des Holzkombinates nur noch 150 übrig geblieben.

nen den humid-sibirischen Klimacharakter der Region (HILBIG 1983). Die Hauptverlaufsrichtung der Gebirgszüge bildet eine natürliche Klimabarriere. Aufgrund der Hauptwindrichtung aus West und Nordwest kommt es zu einer höheren Kontinentalität innerhalb der östlichen Regionen, die im Regenschatten des *Khentii*-Gebirges liegen. Während der Monate Januar, Februar, März, April, November und Dezember fallen im Projektgebiet *Batshireet* insgesamt nur ca. 15 mm Niederschlag. Zu den niederschlagsstärksten Monaten gehören Juni, Juli, August und September mit insgesamt 230 mm Niederschläge. Die Summe der Jahresniederschläge liegt bei 270 mm. Ähnlich verhält es sich



al. 1965). Innerhalb der *Aimags Selenge, Hentiy* und *Töv* nimmt die bewaldete Fläche schätzungsweise 4 Mio. ha ein, welches etwa ein Drittel der gesamten mongolischen Waldfläche entspricht. Innerhalb des *Khentii*-Gebirges gehören diese Wälder überwiegend zur Gebirgstaigazone, die sich in Bergtaiga oder Subtaigawälder untergliedern lässt. Die Höhenstufen haben einen starken Einfluss auf die Vegetationsverteilung. In der oberen Bergstufe (1200 bis 1600 m ü. N.N.) kommen auf den Bergplateaus und Gebirgstälern in der Regel dunkle Bergtaigawälder vor. Unabhängig von der Hangexposition dominieren hier Kiefernarten oder nadelbaumreiche Mischwälder. In der



Abbildung 44: Waldsteppenbereiche mit expositionsbedingter Trennlinie zwischen Nord- und Südhang.
Fotos: WYSS, MEISSNER 2001, 2002

im weiter westlich gelegenen Projektgebiet *Mongonmorit* mit Jahresniederschlägen um 300 mm¹²⁸. Nur sieben Monate im Jahr herrschen in dieser Region positive durchschnittliche Lufttemperaturen. Der kälteste Monat im Jahr ist Januar mit der durchschnittlichen Lufttemperatur von -22.1°C , der wärmste dagegen mit 19.7°C der Juli. Das kalte und extrem kontinentale Klima führt zu kryogenen Prozessen und zur Ausbildung von Permafrostböden, die klimatisch bedingt im *Westkhentii* in weniger tiefen Bodenschichten als im *Ostkhentii* auftreten. Die niedrigen Temperaturen und die geringen jährlichen Niederschläge, sowie Kahlschlag und Feuer, sind die Hauptursachen für die in der Region dominierenden und nur schwach ausgebildeten Podsolböden.

Die Vegetation und Baumartenzusammensetzung innerhalb des *Khentii*-Gebirges ist charakteristisch für die Übergangszone zwischen der südsibirischen Gebirgstaiga im Norden und den zentralasiatischen Steppengebieten im Süden der Mongolei (MEUSEL et

unteren Bergstufe (900 bis 1300 m ü. N.N.) haben die vielfältigen Expositionsunterschiede an den Nord-, West- und Osthängen eine stärkere Auswirkung auf die Vegetationszusammensetzung. Hier kommen die Wälder hauptsächlich an Nordhängen vor, während an den Südhängen nur die oberen Hangbereiche mit Wäldern bedeckt sind.

Der dominante Waldtyp in der unteren Bergstufe sind die hellen Subtaigawälder (Lärchen- oder Lärchen-Birken- Mischwälder), die sich auf südorientierte Hänge auch mit Ulmen- oder Birkengebüschen sowie Rasenformationen (Wiesen- und Bergsteppen sowie Felsfluren) vermischen. In den südlichen, östlichen und westlichen Randzonen des *Khentii* sind Waldsteppengebiete charakteristisch, in denen die Steppenvegetation dominiert und lockere Wälder überwiegend auf die nordorientierten Hänge beschränkt sind (vgl. Abbildung 44). Die Ursachen hierfür liegen in expositionsbedingten Unterschieden zwischen Nord- und Südhang. Die ungehinderte Sonneneinstrahlung an den Südhängen führt zu einer erhöhten Verdunstung und damit zu einer geringen Bodenfeuchte, wodurch das Waldwachstum nicht mehr möglich ist (TRETER 1996). Die Südhänge sind häufig Geröllhalden oder werden von mageren Grasgesellschaften besiedelt. Diese Waldsteppenbereiche gehen weiter südlich in ausge-

¹²⁸ Die Klimadaten wurden den meteorologischen Stationen von *Batshireet* und *Mongonmorit* für die Dekade 1992 bis 2001 entnommen. Die vergleichsweise niedrigeren Jahresniederschläge des *Khentii*-Aimags im Vergleich zum *Selenge* oder *Töv Aimag* sind auch den Niederschlagsdiagrammen im Anhang der Arbeit zu entnehmen.



Abbildung 45: Steppengebiete in Nähe der Hauptstadt Ulaanbaatar. *Links:* Owoo an der befestigten Strasse in Richtung Suchbaatar nahe mit stark degradiertes Steppenvegetation. *Rechts:* Wiesensteppe und landwirtschaftlich genutzte Flächen ca. 80 km nördlich von Ulaanbaatar. Fotos: Wyss 2001



Abbildung 46: Dunkle Bergtaiga in der westlichen Randzone des Khan Khentii Schutzgebietes. *Links:* Nadelbaumreicher Mischwald der oberen Bergstufe (*Dunkle Bergtaiga*) mit Blockhalden. *Rechts:* Dunkler Bergtaigawald (*Betula platyphylla*, *Pinus sylvestris*-Wald) mit Brandschäden auf Nordwestorientierte Hänge. Projektgebiet *Thunkel* (*Selenge* Aimag). Fotos: Wyss 2001, 2004

dehnte Steppengebiete über, die abhängig von der Intensität der Weidewirtschaft zum Teil erhebliche Degradationserscheinungen aufweisen (vgl. Abbildung 45).

6.1.3 Waldgesellschaften in den Projektgebieten

Die beschriebene topographische, klimatische und edaphische Vielfalt des *Khentii*-Gebirges begünstigt die außerordentlich hohe Biodiversität des Gebiets. Durch die natürliche Verzahnung von trockener Steppenvegetation, dunklen und hellen Taigawäldern sowie feuchten Flussauen repräsentiert das Gebiet einen großräumigen, noch fast unveränderten Naturraum (MÜHLENBERG et al. 2000). Die topographischen und klimatischen Unterschiede zwischen *Ost-* und *Westkhentii* führen in den untersuchten Projektgebieten der westlichen und östlichen Pufferzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes zu einer unterschiedlichen räumlichen Verteilung der dominierenden Baumarten. Die Gebiete unterscheiden sich insbesondere durch den Verlauf der unteren Waldgrenze zur Steppe, die sich im *Westkhentii* bei ca. 700 m ü. N.N. und im *Ostkhentii* bei ca. 1500 m ü. N.N. befindet.

Die Waldgesellschaften in den westlichen Ausläufern des *Khentii*-Gebirges nehmen pflanzengeographisch eine besondere Stellung ein. Bei den hier vorkommenden Wäldern handelt es sich um die gemischte Taiga vom Typ Südsibiriens (DULAMSUREN 2004). Innerhalb der Mongolei sind nur in diesem Gebiet alle fünf Nadelbäume zu nennenswerten Anteilen gemeinsam an der Waldbildung beteiligt: Tanne (*Abies sibirica*), sibirische Lärche (*Larix sibirica*), Fichte (*Picea obovata*), Zirbelkiefer (*Pinus sibirica*), Waldkiefer (*Pinus sylvestris*). Des Weiteren ist eine Differenzierung zwischen den Laubbaumarten Birke (*Betula platyphylla*) und Zitterpappel (*Populus tremula*) möglich. In der oberen Bergstufe dominieren Baumarten der dunklen Bergtaiga, die sich im wesentlichen aus Zirbelkiefer, Waldkiefer, der sibirischen Lärche und Fichte zusammensetzen (vgl. Abbildung 46 und 47). In der oberen Bergstufe kommt ab einer Höhe von ca. 1600 m ü. N.N. die Zirbelkiefer vor, die mit anderen Nadelbaumarten Nadelmischwälder bildet. Ab 1800 m ü. N.N. ist die Zirbelkiefer oft bestandsbildend.

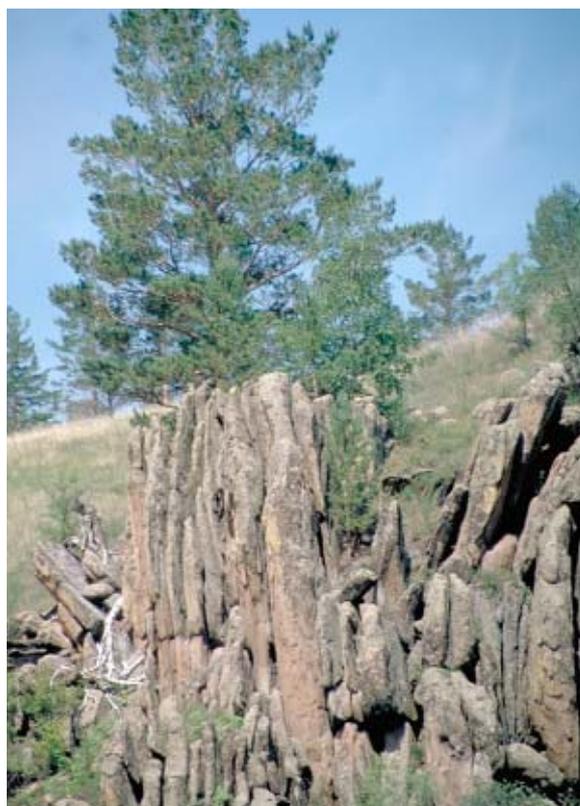
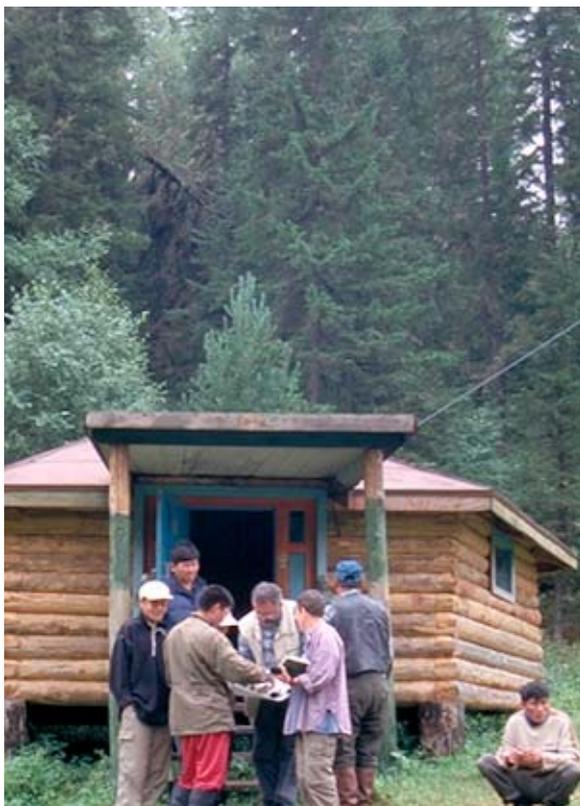


Abbildung 47: Zirbelkieferbestände der oberen Bergtaiga und Fichtenwald. Links: Fichtenwald (*Picea obovata*) an den Geothermalquellen in *Eroogijn Khaluun Rasaan*. Projektgebiet *Bugant* (Selenge Aimag). Rechts: Lichte *Pinus sibirica*-Bestände der oberen Bergstufe, Projektgebiet *Thunkel* (Selenge Aimag). Fotos: WYSS, MEISSNER 2002

In der Subtaiga sind die Waldkiefer und die Lärche bestandsbildend. Nach Vegetationsstörung wird die natürliche Waldverjüngung in diesen Bereichen durch die Birke und die Zitterpappel als ausgesprochene Pionierbaumarten eingeleitet. Der Lärchenanteil nimmt mit abnehmender Höhenlage zu und bildet zusammen mit der Birke in der unteren Bergstufe die typischen hellen Subtaigawälder. Birken sind vor allem an den Waldrändern zu hohen Anteilen vertreten (vgl. Abbildung 48). Inventurarbeiten aus den Jahren 2001 und 2002 (vgl. Kapitel 6.3.5) haben gezeigt, dass sich die Wälder in den Projektgebieten *Thunkel*, *Bugant* und *Khont* durch lokale Übernutzung und durch intensive Waldbrände während der Jahre 1996 und 1997¹²⁹ in einem schlechten Zustand befinden (TEUSAN 2002) und durch eine ausgeprägte Verjüngungsphase gekennzeichnet sind. Trotz extensiver Waldbrände existieren viele überalterte Bestände mit hohem Totholzanteil, wodurch die Brandgefahr und die kontinuierliche Ausbreitung von Sekundärschädlingen verstärkt werden (vgl. Abbildung 49).

¹²⁹ Hiervon war vor allem das Projektgebiet *Khont* im Norden des Selenge Aimags betroffen.

Unter den kontinentaleren Bedingungen im *Ostkhentii*, dominieren ausgedehnte Lärchenwälder, die innerhalb der hellen Subtaigawälder bestandsbildend sind und in Reinbeständen durch einen artenarmen Unterwuchs gekennzeichnet sind (ZAKRZEWSKI 2005a). Lärchen sind gegenüber anderen Nadelbäumen nur wenig wettbewerbsfähig und nehmen daher Standorte ein, auf denen andere Bäume nicht mehr wachsen können. Im *Ostkhentii* gewinnt die Hangexposition als Standortfaktor, aufgrund des höheren Kontinentalitätsgrades im Vergleich zu den Projektgebieten im *Westkhentii*, mehr und mehr an Bedeutung. Mit abnehmender Höhenstufung steigt die Trockenheit an und die Wälder weichen kontinuierlich der Steppenvegetation, die sich vorwiegend auf den Südhängen ausbreitet. Das Projektgebiet *Batschireet* liegt zwischen 1200 und 2100 m ü. N.N. und ist durch ausgeprägte Waldsteppenbereiche im Süden und im Südosten des Projektgebietes gekennzeichnet, die nach Norden und Nordwesten in helle Subtaigawälder übergehen (vgl. Abbildung 50 und 51). In den Wäldern nordwestlich von *Batschireet* tritt auf Osthängen sowie auf trockeneren südwestlich bis südöstlich exponierten Hängen und in den Kammlagen neben der eindeutig dominie-



Abbildung 48: Helle Subtaigawälder (*Pinus sylvestris*-*Betula platyphylla*-Wald) der unteren Bergstufe. Projekt-Gebiet *Khont* (Selenge *Aimag*). Fotos: Wyss 2001, 2002



Abbildung 49: Waldbrand und natürliche Verjüngung. *Links:* Verbrannter *Pinus sylvestris*-Bestand (mit Naturverjüngung), Projektgebiet *Khont* (Selenge *Aimag*). *Rechts:* Verbrannte *Larix sibirica*-*Betula platyphylla*-Wälder auf nordwestexponierte Hänge der unteren Bergstufe, Projektgebiet *Batschireet* (Khentii *Aimag*). Fotos: MEISSNER, 2002, WYSS 2004

renden sibirischen Lärche auch die Waldkiefer auf (vgl. Kapitel 7.1.3). Diese wird ab ca. 1600 m ü. N.N. allmählich von der Zirbelkiefer abgelöst, die dann auf den mattwüchsigen Plateaulagen, wie auch im *Westkhen-tii*, ab ca. 1900 m ü. N.N. bestandesbildend sein kann. Fichten und Tannen fehlen im Projektgebiet *Batschireet* gänzlich. Während die Birke auf den nordost- bis südöstlichen Hängen überwiegt, scheint die Pappel die südwestlichen und weiter im Norden sogar die südlichen Hänge zu bevorzugen (ZAKRZEWSKI 2005a). Im weiter westlich gelegenen Projektgebiet *Mongonmorit* ist eine ähnliche Baumartenverteilung zu beobachten. Allerdings treten in den niederschlagsreicheren, höheren Lagen auch vereinzelte Fichten- und Tannenbestände auf.

An den Waldrändern und auf den Sukzessionsflächen nach Waldbrand treten in allen Projektgebieten die Birke und die Zitterpappel als Pionierbaumarten auf. Die natürliche Sukzession zu Waldbeständen, die je nach Höhenlage aus den Klimaxbaumarten Lärche oder Zirbelkiefer bestehen, wird jedoch oft durch großflächige Feuer unterschiedlicher Intensität oder

Insektenbefall unterbrochen und wieder in eine Initialphase zurückgesetzt. Unter ungestörten Bedingungen kommt es im Schutz der Birke zu einer natürlichen Verjüngung von Lärchen oder Zirbelkiefern, welche die Birke nach ca. 80 Jahren überwachsen. An den Rändern der Flussauen sind in geringen Mengen Birken und Pappeln beigemischt. Die Auenvegetation besteht oft aus strauchartig gewachsenen Birken und Weiden (vgl. Abbildung 52).



Abbildung 50: Helle Subtaigawälder (*Larix sibirica*-*Betula platyphylla*-Wald) der unteren Bergstufe. Projektgebiet Batshireet (*Khentii Aimag*). Fotos: MEISSNER, WYSS 2004



Abbildung 51: Baumartenzusammensetzung an den Waldrändern der unteren Bergstufe. Links: *Larix sibirica*-*Betula platyphylla*-Wälder. Rechts: Birkenwald (*Betula platyphylla*) als Reinbestand, Projektgebiet Mongonmorit, (*Töv Aimag*). Fotos: WYSS, MEISSNER 2003



Abbildung 52: Auenvegetation. Links: Auenvegetation an der russischen Grenze, Projektgebiet Khont (*Selenge Aimag*) und rechts im Projektgebiet Batshireet (*Hentiy Aimag*). Fotos: WYSS 2002, 2004

6.2 Datengrundlagen

Derzeit setzen in der Mongolei eine Reihe von Institutionen Fernerkundungs- und Geodaten für die räumliche Planung ein. Neben dem ICC des MNE (vgl. Kapitel 1.3) existieren auch andere nationale Institutionen, wie beispielsweise das Ministerium für Landwirtschaft, das hydrometeorologische Institut, das geologische Institut (MRAM), das Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, das Institut für Geodäsie und Kartographie sowie einige Institute des MAS, die mehr oder weniger intensiv mit Geoinformationssystemen arbeiten und digitale Daten zur Verfügung stellen können. An privatwirtschaftlichen Institutionen ist vor allem MonMAP¹³⁰ zu nennen, das im Bereich Geoinformation und Vermessung in der Mongolei eine führende Rolle übernimmt. Seit Kurzem laufen auch verstärkte Bemühungen, den Bereich Geoinformation und damit verbundene anwendungsorientierte Forschung im universitären Bereich zu fördern¹³¹, der nach wie vor durch finanzielle und personelle Engpässe gekennzeichnet ist.

Ansätze zur Herstellung von topographischen und thematische Basisinformationen bestehen seit den 1930er-Jahren durch mongolische Wissenschaftler, die zumeist im Tandem mit russischen Experten aus den Bereichen Geologie, Geographie, Hydrologie, Forstwirtschaft, Klimatologie und Ökosystemforschung, umfassende Geländeexkursionen durchführten. Die Aufgaben im Bereich der Geoinformation lagen bisher überwiegend auf der Erfassung (Digitalisierung) von diesen kleinmaßstäbigen Karten (in der Regel im Maßstab 1: 1.000.000), die dann zwar digital verfügbar, jedoch aus Maßstabsgründen in der Regel völlig unbrauchbar sind. So sind zwar digitale topographische Basisinformationen erhältlich, aktuelle thematische Karten, mit denen über Verschneidungsalgorithmen raumwirksame Prozesszusammenhänge abgeleitet werden können, fehlen jedoch weitestgehend. Dies betrifft auch qualitative und quantitative Informationen über den aktuellen Waldbestand.

Im Folgenden soll nur eine kurze Übersicht der verfügbaren und in der Arbeit verwendeten Geodaten gegeben werden. Eine detaillierte Beschreibung der Fernerkundungssensoren und deren Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Umweltbewertung und des Umweltmonitorings wurden bereits in Kapitel 5 gegeben.

¹³⁰ Monmap Engineering Limited ist maßgeblich am Aufbau des Landregistrierungssystems in der Mongolei beteiligt und war Mitorganisator des diesjährigen „Asian Conference on Remote Sensing“ (ACRS) in Ulaanbaatar. Das Firmenprofil ist online unter: <http://www.monmap.mn> [Stand: 10.11.2006] abrufbar.

¹³¹ Seit Januar 2005 existiert an der NUM ein Geoinformations- und Fernerkundungszentrum, welches im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit (NUM-ITC-UNESCO Programm) gefördert wird.

6.2.1 Topographische und Thematische Kartengrundlagen

Die topographischen Basisinformationen für die im nachfolgenden Kapitel beschriebenen methodischen Arbeiten wurden aus topographischen Karten im Maßstab 1: 100.000 entnommen, die für das *Khan Khentii* Schutzgebiet sowie deren Pufferzone flächendeckend vorlagen¹³². Dabei wurden bestehende Waldwege, das Gewässernetz sowie andere geometrische Objektinformationen mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Satellitenbildaufnahmen und GPS-gestützte Geländeaufnahmen visuell modifiziert. Die Karten basieren auf topographische Landesaufnahmen aus den 1940er-Jahren und wurden in den 1960er und 1970er-Jahren aktualisiert, unterliegen jedoch aufgrund des „*Mongolian Law on State Secrets*“ starken Nutzungseinschränkungen. Für großmaßstäbliche Kartierungen bietet sich die Karten im Maßstab 1: 500.000 aus den 1970er und 1980er-Jahren an, die auch digital erhältlich sind. Die in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Forsteinrichtungskarten des FWRC liegen inzwischen für ausgewählte *Soums* des *Khovsgol* und des *Khentii* Aimag digital vor (so auch für das Projektgebiet *Bashireet*), basieren jedoch nach wie vor auf die erwähnten panchromatischen und nicht orthorektifizierten Luftbilder aus den 1960er und 1970er-Jahren¹³³, so dass weiterhin neben der veralterten topographischen Basis auch starke geometrische Verzerrungen existieren. Die Luftbilder haben in der vorliegenden Arbeit keine weitere Verwendung erfahren. Dennoch wäre es im Rahmen von zukünftigen Forschungen interessant, die Luftbilder mit höchstauflösenden Satellitenbilddaten (QuickBird, IKONOS) zu vergleichen, um quantitative und qualitative Veränderungen der Artenzusammensetzung und des Bedeckungsgrades innerhalb der letzten 30 bis 40 Jahre zu dokumentieren.

Weitere thematische Kartengrundlagen zur Natur und Umwelt der Mongolei sind über das ICC erhältlich. Die in Ansätzen vorhandene GIS-Datenbank weist in ihrer jetzigen Struktur vier Informationsebenen auf, die neben nationalen Geodaten (1: 1.000.000 bis

¹³² Das Kartenwerk umfasst insgesamt 1169 Kartenblätter. Die einzelnen thematischen Ebenen wie z.B. die Waldbestände, Siedlungen, Gewässer- und Wegenetz liegen für alle Kartenblätter seit 2004 auch digital vor. Diese wurden zeitweilig über die *ECO HYDRO GEO Company* in Ulaanbaatar vermarktet. Die Karten liegen in Transverse-Mercator-Koordinaten (Gauß-Krüger) vor und haben als Bezugssystem den Ellipsoiden von Krassowskij.

¹³³ Ein Luftbildarchiv existiert am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie in *Ulaanbaatar*. Luftbilder stehen flächenhaft für die gesamte Mongolei zur Verfügung, weisen jedoch starke Maßstabsdifferenzen auf, die zwischen 1: 32.000 und 1:64.000 liegen. Die Aufnahmezeitpunkte sind ebenfalls sehr unterschiedlich und decken die Zeitschnitte 1944, 1969 und 1980 ab. Die Größe der Luftbilder bezieht sich auf die Inhalte der GIS Datenbank und der weiteren Teildatenbanken sind im Internet unter <http://www.icc.mn/egis.php> [Stand: 12.11.2006] ersichtlich.

Nationale Geodaten (Themenbereiche; Auswahl)			
<i>Inhalt</i>	<i>Maßstab</i>	<i>Datum</i>	<i>Region</i>
Bodenart	1: 1.000.000	1981	
Grundwasser	1: 1.000.000	1981	
Landschaftsgliederung	1: 1.000.000	1981	
Vegetation	1: 1.000.000	1981	
Vegetation	1: 1.500.000	1979	
Wald	1: 1.000000	1981	
Geologie	1: 1.000.000	1981	
Ökosysteme	1: 1.000.000	1990	
Desertifikation	1: 1.000.000	1990 & 2000	
Administrative Gliederung	1: 500.000	1999	
Landnutzung	1: 1.000.000	1981	
Regionale und Lokale Geodaten			
Topographische Karten	1: 100.000	k.A.	Flächendeckend
Vegetationskartierung	1: 25.000	k.A.	Gorkhi-Terelj /Khustai
Bodenkartierung	1: 25.000	k.A.	Gorkhi-Terelj /Khustai
Oberflächengewässer	1: 25.000	k.A.	Gorkhi-Terelj /Khustai
Waldkartierung	1: 50.000	k.A.	Khuder Soum (Selenge Aimag)
Weideland	1: 200.000	k.A.	Selenge Aimag
Grundwasser	1: 1.000.000	k.A.	Selenge & Tov Aimag

Tabelle 11: Übersicht der Informationsebenen und der thematischen Inhalte der GIS-Datenbank des MNE. Quelle ICC, Ulaanbaatar (2006).

1: 500.000) auch regionale und lokale Datenbestände im Maßstab 1: 200.000 bis 1: 50.000 umfassen (vgl. Tabelle 11)¹³⁴. Parallel zu der Geodatenbank existieren Umweltdatenbanken mit Informationen über Flora und Fauna, natürliche Ressourcen, Wasserqualität, Luftverschmutzung und rechtliche Grundlagen (Umweltrecht). Bis auf wenige Ausnahmen basieren die digitalen thematischen Karten auf russisch-mongolischen Expeditionen aus den 1980er-Jahren und wurden seitdem nicht aktualisiert. So auch die in Abbildung 54 enthaltene Waldkartierung aus dem Jahr 1981 im Maßstab 1: 1000.000. Diese basiert auf einer stark generalisierten Interpretation von russischem Satellitenbildmaterial sowie den erwähnten Luftbildern aus den 1960er und 1970er-Jahren. Die Aufsummierung von lückenhaften Forsteinrichtungsergebnissen auf *Aimag*-Ebene und die „Waldkarte“ bilden derzeit die einzigen statistischen Grundlagen in Bezug auf Waldressourcen. Auf regionaler und lokaler Ebene existieren digitale thematische Datensätze nur für ausge-

wählte Gebiete wie zum Beispiel für den *Gorkhi-Terelj* Nationalpark, die Stadtregion um Ulaanbaatar, der *Khuvsgul* National Park und Teile der *Khan Khentii* Region.

6.2.2 Fernerkundungsdaten

Zu den Aufgaben des ICC gehört neben dem Aufbau eines Umweltinformationssystems (UIS) und der Bereitstellung von Geodaten auch die Umweltbeobachtung auf der Basis von NOAA-AVHRR Daten. Hierzu gehören die Erfassung und Dokumentation von Wald- und Steppenbränden (vgl. Kapitel 3.3.2 sowie 7.2.3), Dürreereignissen und Vegetationsveränderungen. Unter anderem erfolgten in der Vergangenheit auch Untersuchungen zum Monitoring von Desertifikationserscheinungen und zur Vegetationsentwicklung in den Ariden und semiariden Regionen der Mongolei auf der Basis von abgeleiteten, multitemporalen NOAA-AVHRR Produkten (NDVI und LST („*Land Surface Temperatur*“)) in Kooperation mit Israel¹³⁵. In Zukunft werden die Bemühungen zum Aufbau eines konsistenten Umweltinformationssystems mit Hilfe von holländi-

¹³⁴ Die Inhalte der GIS Datenbank und der weiteren Teildatenbanken sind im Internet unter <http://www.icc.mn/egis.php> [Stand: 12.11.2006] ersichtlich.

¹³⁵ J.Blaustein Institute for Desert Research, Ben Gurion University.

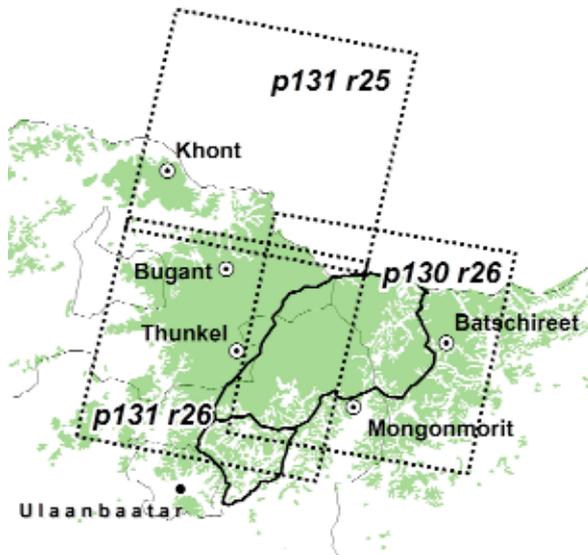


Abbildung 53.: Abdeckung des *Khan Khentii* Schutzgebietes durch Landsat ETM/TM Satellitenbilddaten.

schon Entwicklungsgeldern (DGIS) unterstützt. Hierzu gehört auch die geplante Errichtung einer MODIS Empfangsstation am ICC. Am ICC existiert ebenfalls eine Fernerkundungsdatenbank. Neben den sehr konsistenten NOAA Daten mit einer Auflösung von 1 km bis 8 km stehen auch ausgewählte Landsat TM/ETM+ Satellitenbilddaten (1990 bis 2002) sowie einige SPOT/Vegetationsdaten (1999 bis 2002) zur Verfügung.

Im Rahmen der in Kapitel 6 und Kapitel 7 beschriebenen Projektarbeiten wurde weitestgehend auf frei verfügbare optische Satellitenbilddaten zurückgegriffen (vgl. Kapitel 5.1), die somit eine nachhaltige und kostengünstige Datenbasis im Bereich des Ressour-

schutzes bilden und auch für zukünftige Anwendungsbereiche eine geeignete Planungsgrundlage stellen können. Die visuelle Interpretation, die Klassifizierung und das Monitoring von Wald- und Vegetationstypen wurde anhand von Satellitenbildern der Satelliten Landsat 7 und Landsat 5, respektive den Sensoren *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) und *Thematic Mapper* (TM) durchgeführt. Neben GLCF-Daten wurden aber auch zusätzliche Szenen bestellt (vor allem Winteraufnahmen), um die in Kapitel 6.3.3 und Kapitel 7.1 beschriebenen multitemporalen Klassifizierungsmethode zu ermöglichen (vgl. Tabelle 12). Für Teilgebiete konnte im Sinne eines Multisensorkonzeptes auch auf ASTER und QuickBird Satellitenbilddaten zurückgegriffen werden. Die Abdeckung des *Khan Khentii* Gebietes durch Landsat ETM und TM ist der Abbildung 53 zu entnehmen.

Im Gegensatz zu den orthorektifizierten GLCF-Daten mit einer hohen geometrischen Genauigkeit handelt es sich bei den zusätzlich bestellten Daten um systemkorrigierte (Level 1G) Produkte, die in UTM-Koordinaten mit dem Bezugssystem WGS 84 geliefert wurden. Die Daten weisen radiometrische und geometrische Korrekturen auf und werden in neu berechneten 8-bit Werten geliefert. Aufgrund der vergleichsweise schlechteren geometrischen Auflösung¹³⁶ war eine „Bild zu Bild“-Anpassung anhand der GLCF Daten erforderlich.

Einen zweiten Datenschwerpunkt bildeten MODIS Satellitenbilddaten, die im Rahmen der Arbeit für die Erfassung und das Monitoring von Wald- und Steppenbränden eingesetzt wurden (vgl. Kapitel 7.2). Die *Khan Khentii*-Region wird durch drei MODIS Kacheln (h24/r03, h24/r04 und h25/r04) abgedeckt. Neben „Active Fire“ Produkten (MOD14A2) fanden auch „Surface Reflectance“ (MOD09GHK und MOD09GQK), „Land Cover“ (MOD12Q1) und NDVI-Produkte

LANDSAT p130r26	LANDSAT p131r26	LANDSAT p131r25
12.09.2002 (ETM) / GLCF	13.09.00 (ETM) / GLCF	31.08.2001 (ETM) / GTZ
25.11.2000 (ETM) / GTZ	14.11.1999 (ETM) / GTZ	25.06.00 (ETM) / GLCF
24.09.1989 (TM) / GLCF	01.10.1989 (TM) / GLCF	14.11.1999 (ETM) / GTZ
		23.10.1994 (TM) / GLCF

Tabelle 12: Übersicht der verwendeten Landsat 7 ETM+ und Landsat 5 TM Satellitenbilddaten für die Projektgebiete in der Pufferzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes

¹³⁶ In Bereichen mit niedriger Reliefenergie liegt die geometrische Genauigkeit bei ca. 250 Metern

(MOD13Q1) Anwendung. Die „Active Fire“ Produkte wurden mit den NOAA-AVHRR-Brandauswertungen des ICC für die Jahre 2000 bis 2005 verglichen werden (vgl. Kapitel 7.2.3). Des Weiteren wurde das Gebiet von SRTM Daten, die ebenfalls über das GLCF frei zur Verfügung stehen abgedeckt, die im Rahmen von Reliefanalysen (vgl. Kapitel 7.1.2) Anwendung fanden.

Die Abbildung 54 zeigt die zwei erhältlichen digitalen Datensätze in Bezug auf nationale Waldressourcen für den *Khan Khentii*-Bereich im Vergleich zu den MODIS Terra „Land Cover“ Produkten des Jahres 2003. Die kartierten Waldbestände aus den topographischen Karten 1: 100.000 der Jahre 1960 bis 1970 weichen nur geringfügig von den Flächenanteilen der Waldkartierung im Rahmen der mongolisch-russischen Expeditionen des Jahres 1981 im Maßstab 1: 1.000.000 ab. Erwartungsgemäß sind hohe Flächenabweichungen im Vergleich zum MODIS Produkt aufgrund der auflösungsbedingten Generalisierung sowie des globalen Klassifikationsschemas zu verzeichnen. Die Waldflächen sind in alle drei *Aimags* deutlich unterklassifiziert. Dennoch ist eine vergleichbare räumliche Verteilung der Waldbestände ersichtlich, wodurch die generelle Eignung der MODIS Produkte für Übersichtskartierungen und zur ersten Einschätzung und Quantifizierung von globalen Waldressourcen unterstrichen wird.

6.3 Arbeitsmethodik

6.3.1 Methodischer Aufbau und zeitlicher Ablauf

Die kontinuierliche Aus- und Weiterbildung von lokalen Experten in den Bereichen Fernerkundung und GIS zur Unterstützung der Forst- und Naturschutz-Management-Planung (FNMP) hatte in beiden erwähnten GTZ-Projekten eine hohe Priorität. Die durchgeführten Trainingsmaßnahmen waren vor allem auf die Nutzung und Stärkung der vorhandenen personellen Kompetenzen und der technischen Kapazitäten aller beteiligten Institutionen und Privatpersonen ausgerichtet. Ziel war die Erstellung eines Handlungsleitfadens zur Datenerfassung und -aktualisierung, der sich nicht nur an den spezifischen Anforderungen des *Khan Khentii* Naturraumes orientiert, sondern auch die traditionellen Arbeitsmethoden der lokalen Fachkräfte aufgreift, und diese durch neue Arbeitsabläufe und Methoden ergänzt. Durch die Beteiligung von Mitarbeitern des FMPC, privater Inventurunternehmen und universitären Einrichtungen waren die Trainingsmaßnahmen multidisziplinär und partizipativ ausgerichtet und orientierten sich an dem Grundsatz „*Learning by doing*“, um auch mittel- und langfristig positive Erfolge zu verzeichnen. Hierzu gehörte, dass ein Grossteil des Erfassens und der Bewertung der Daten den Teilneh-

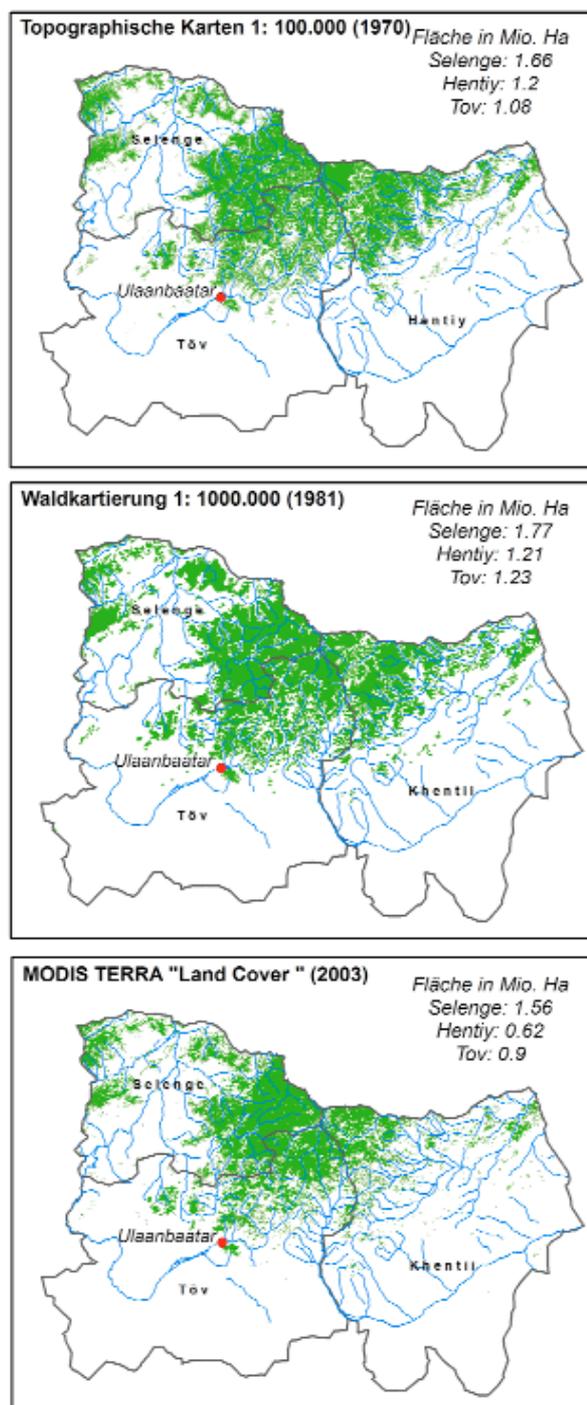


Abbildung 54: Flächenvergleich von Waldkartierungen aus topographischen Karten 1: 100.000 (1970er-Jahre), Waldkartierung im Maßstab 1: 1.000.000 (1981) und MODIS TERRA „Land Cover“ (2003)



Abbildung 55: Visuelle Interpretation von Satellitenbildkarten. *Oben:* lokale Bevölkerung (2005). *Unten:* Trainingsmaßnahmen für Studenten und Lehrkräfte der NUM und Mitarbeiter des FMPC (2004). Fotos: Wyss 2005, 2004

mer/innen selbst überlassen wurde, um so auf vor Ort verstandene Professionalität und lokales Wissen zu bauen.

Das übergeordnete Ziel des Trainings lag in der Aufbereitung von Satellitenbildkarten als geometrische und thematische Basis für die Implementierung und den nachhaltigen Einsatz von GIS, auf dessen Grundlage weiterführende Komponenten für die Erfassung und Organisation von Raum- und Sachdaten durchgeführt wurden. Ein wesentlicher Bestandteil der Datenerfassung und der somit gewonnenen Arbeitsergebnissen basierte in allen Projektstadien auf der visuellen Interpretation der multispektralen und multitemporalen Satellitenbildkarten sowie im Aufbau der Kartenkompetenz¹³⁷ der beteiligten Institutionen und lokalen Fachkräfte (vgl. Abbildung 55).

¹³⁷ Unter Kartenkompetenz versteht man nach BOLLMANN und KOCH (2001), kognitive, affektive und psychomotorische Fertigkeiten, die zu einem effektiven und kritischen Umgang mit kartographischen Darstellungen in der Gesellschaft befähigen.

Das vergleichsweise hohe Artenvorkommen in den westlichen Projektgebieten (vgl. Kapitel 6.1.3) stellte hohe Anforderungen an die visuelle Interpretation zur räumlichen Abgrenzung der verschiedenen Waldobjekte anhand ihrer spektralen oder strukturellen Eigenschaften. Erfahrungen aus zahlreichen Geländeaufnahmen der Jahre 2001 bis 2005, in denen Satellitenbildkarten für Übersichts- oder Detailkartierungen zumeist sehr intensiv eingesetzt wurden, haben gezeigt, dass das visuelle Interpretationsvermögen von Satellitenbildkarten insgesamt sehr hoch einzuschätzen ist. Die zweidimensionale Abbildung der „realen“ Welt mit ihren strukturellen und farblichen Ausprägungen wurde vor allem von der ländlichen Bevölkerung erstaunlich gut angenommen. Die Fähigkeit, Objekte zu erkennen und den Raum mit Hilfe des Kartenmaterials zu strukturieren, sind in diesen Bevölkerungsschichten, unabhängig vom Bildungsstand, sehr ausgeprägt. Dies beruht sicherlich auf der hohen Naturverbundenheit und Mobilität der nomadischen Bevölkerung, die sich schon immer anhand von Landmarken¹³⁸ im Raum orientieren musste. Die hohe Raumkompetenz war für die nachfolgend beschriebenen Projektarbeiten sehr hilfreich und lieferte während der Geländearbeiten eine Vielzahl von wertvollen Hinweisen bezüglich der Vegetationsbedeckung, der Befahrbarkeit von Waldwegen, der Landschaftsveränderung z.B. durch Tagebauaktivitäten oder der Lokalisierung und Identifikation von topographischen Objekten wie Orts- und Gewässernamen. Die Konzeption und Nutzung der Satellitenbildkarten orientiert sich somit nicht nur auf einen kleinen Kreis von Spezialisten, sondern kann eine wesentlich höhere Breitenwirksamkeit erreichen, indem auch Zugang zum Raumwissen der lokalen Bevölkerung hergestellt wird. Von diesem Nutzungspotenzial wurde in der EZ bisher nur eingeschränkt Gebrauch gemacht (DOMNICK 2005).

Abbildung 56 gibt eine Übersicht der methodischen Arbeiten aus den Jahren 2001 bis 2004 in den ausgewählten Modellgebieten. Auf die einzelnen methodischen Komponenten wird in den Folgekapiteln detailliert eingegangen.

Erste methodische Arbeiten erfolgten in den Jahren 2001 und 2002 mit Hilfe finanzieller und logistischer Unterstützung der GTZ im Rahmen des NCBDP Projektes. Zu Anfang der Projektarbeiten im Jahr 2001 wurden ausgewählte Forstingenieure des damaligen FMPC an der Technischen Fachhochschule Berlin im Bereich der multitemporalen visuellen Interpretation von Satellitenbilddaten ausgebildet. Hierfür wurden eine Reihe von Satellitenbildkarten in unterschiedli-

¹³⁸ Nach Elias & Sester (2003) beschreiben Landmarken Orientierungspunkte oder Merkzeichen im Raum, dienen der Raumstrukturierung und sind zentrale Bestandteile jeder kognitiven Karte.



Abbildung 56: Arbeitsablauf zur qualitativen und quantitativen Erfassung von Waldbeständen in den Modellgebieten der Pufferzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes

chen Maßstäben auf Basis der zur Verfügung stehenden Landsat ETM+ Daten für die westlichen Modellgebiete des *Khan Khentii* Schutzgebietes entwickelt (vgl. Kapitel 6.3.2). Auf deren Grundlage erfolgte eine erste Untersuchung zur Interpretierbarkeit des Satellitenbildmaterials mit dem Ziel, einen umfassenden Kartierungsschlüssel für Folgearbeiten zu entwickeln (vgl. Kapitel 6.3.3). Im Anschluss an diese Trainingsmaßnahmen wurden im Sommer 2001 erste gemeinsame Geländeuntersuchungen in der verkehrstechnisch besser erschlossenen westlichen Randzone durchgeführt, um einen Überblick der Gesamtsituation zu schaffen und Planungsunterlagen für Teilgebiete abzuleiten. Hierbei sollten möglichst viele Arbeitsleistungen von lokalen Partnern erbracht oder diese im Rahmen von Trainingsmaßnahmen beteiligt werden. Schwerpunkte im Gelände lagen in der GPS-gestützten

Datenerfassung und -dokumentation auf der Basis der in UTM-Koordinaten vorliegenden multitemporalen Satellitenbildkarten sowie auf Navigations- und Orientierungsübungen. Die Erfassung von geeigneten Testgebieten bildete die Grundlage für die sich anschließende visuelle Interpretation und digitale Umsetzung der Interpretationsergebnisse. Als Ergebnis entstanden 48 thematische Karten im Maßstab 1: 50.000, die den gesamten westlichen Pufferzonenbereich des Schutzgebietes abdeckten. Die Ergebnisse wurden im Jahr 2002 im Gelände überprüft und anschließend in Teilbereichen modifiziert.

In den Jahren 2003 und 2004 wurden die bisherigen Erfassungsmethoden durch die Integration bestehender Forsteinrichtungskarten in der östlichen Pufferzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes modifiziert (vgl.

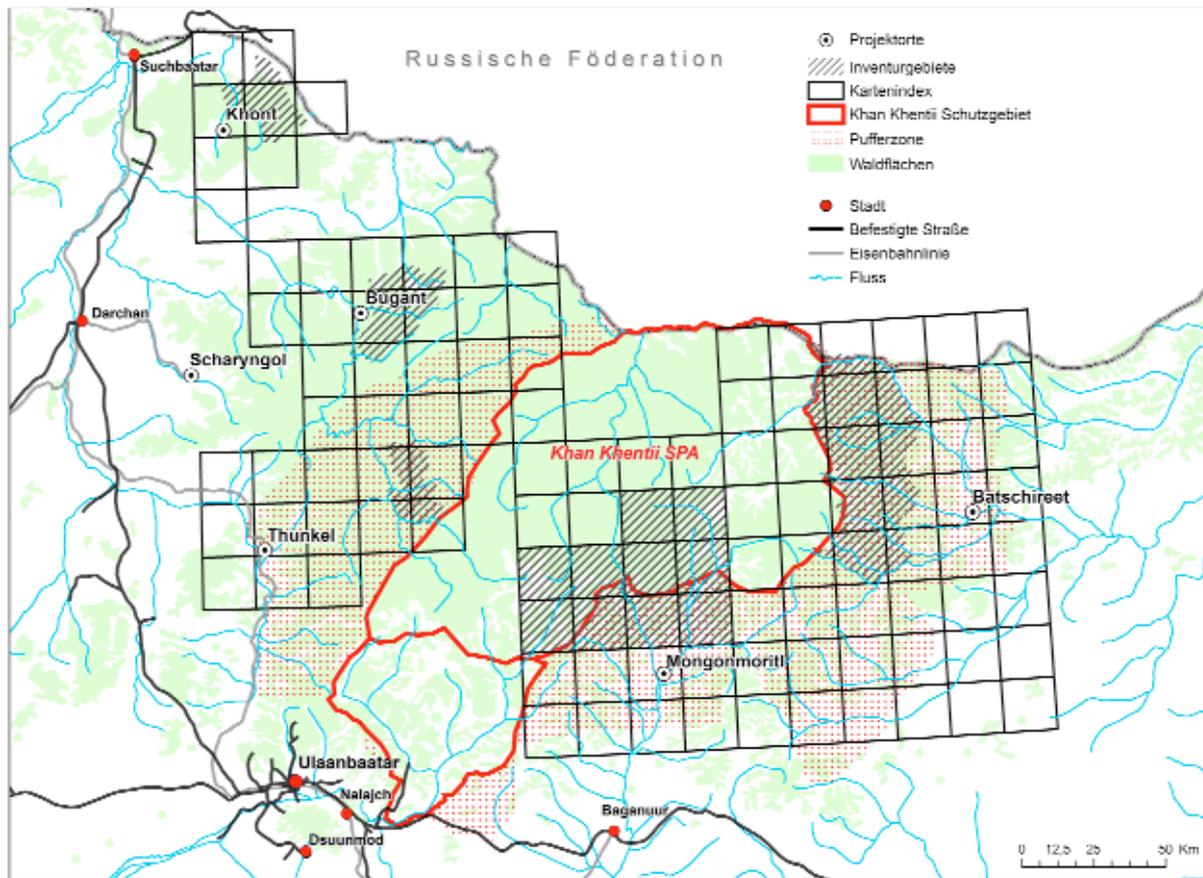


Abbildung 57: Übersicht der Modellgebiete in der westlichen und östlichen Pufferzone des Khan Khentii Schutzgebietes sowie die Blattsschnitte im Maßstab 1: 50.000 für die erstellten multitemporalen Satellitenbildkarten

Kapitel 6.3.4). Die Neuinterpretation dieser traditionellen Grundlagen ermöglichte eine detaillierte Erfassung von Einzelbaumarten, die in den Arbeitskarten visuell nicht abgrenzbar waren. Diese differenzierteren Objektklassen bildeten die Grundlage zur Durchführung einer prästratifizierten terrestrischen Waldinventur auf Stichprobenbasis (vgl. Kapitel 6.3.5). Die Inventurergebnisse lieferten punkthafte Informationen, die zur Verifizierung und Modifizierung der visuellen Interpretationsergebnisse herangezogen wurden. Die Verknüpfung der terrestrischen Inventurergebnisse mit den visuellen und später auch digitalen Satellitenbildauswertungen (vgl. Kapitel 7.1) bildet die Grundlage zur Abschätzung des Holzvorrates und somit auch die planerische Grundlage für die Erstellung nachhaltiger Nutzungskonzepte. Alle Arbeiten wurden durch GIS Trainingsmodule am ehemaligen FMPC, die zumeist im Vorfeld der Geländearbeiten erfolgten, flankiert. Diese wurden in den Folgejahren kontinuierlich weitergeführt.

Das Leitziel lag in der Sensibilisierung der Teilnehmer/innen für räumliche Zusammenhänge und Prozessabläufe, um einen langfristigen und qualifizierten Umgang mit Geoinformation zu fördern. Die Trainingsmaßnahmen umfassten die wesentlichen Funktionen eines GIS zur Datenaufbereitung wie die Erfassung, Organisation und das Management von räumlichen und beschreibenden Daten, um auf deren Basis weiterführende Planungsanwendungen und Analysen durchzuführen. Hierzu gehörten z.B. die digitale visuelle Interpretation der Satellitenbilddaten, die Neuinterpretation bestehender Forsteinrichtungskarten, die Georeferenzierung und Digitalisierung von topographischen Inhalten aus Kartenmaterial im Maßstab 1: 100.000 und die Rücküberführung der im Gelände erfassten Daten. Zu den Maßnahmen gehörten auch die Planung des Geländeeinsatzes in Hinblick auf die Befahrbarkeit (Routenplanung) oder die Stichprobenverteilung für die terrestrischen Waldinventurmaßnahmen.

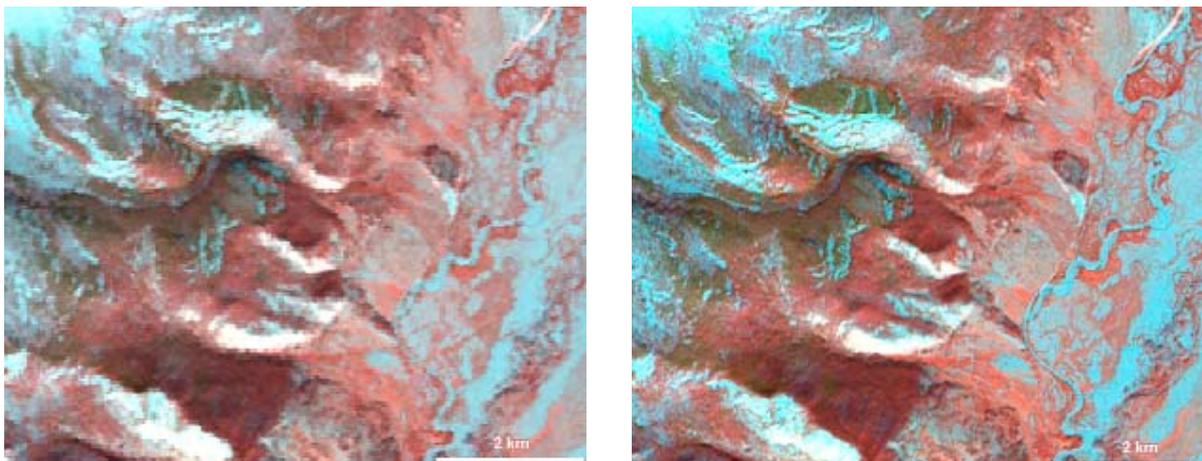


Abbildung 58: Datenfusion am Beispiel eines Landsat 7 ETM+ Satellitenbildausschnitts (Winterszene).
Links: Multispektrale Darstellung in der Bandkombination 5,4,3 (RGB); *Rechts:* Fusioniertes Bild

6.3.2. Erstellung von Satellitenbildkarten

Fernerkundungsdatensätze sind als Mittel für die Erkenntnisgewinnung bezüglich räumlicher Informationen über Naturressourcen unumgänglich. Die Bedeutung und der Wert der Fernerkundungsdaten steigern sich durch sachkundige Interpretation in Verbindung mit herkömmlichen Karten und bodengestützten Daten. Insofern spielen Satellitenbilddaten eine entscheidende Rolle für die Erstellung von Arbeitskarten, die konstruktiv im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit und als Grundlage für die Geländedatenerfassung sowie für die Orientierung im Gelände eingesetzt werden können. Auf deren Basis ist dann eine sukzessive Ableitung von topographischen und thematischen Inhalten möglich.

Auf der Basis der zur Verfügung stehenden Landsat ETM+ Satellitenbilddaten (vgl. Kapitel 6.2.2) wurden im Vorfeld der Geländebegehungen in den westlichen und östlichen Randzonen des Schutzgebietes multitemporale Satellitenbildkarten (SBK), jeweils als Sommer und Winterszenen, in unterschiedlichen Maßstäben von 1: 50.000 (SBK50) als Detailkarten sowie 1: 100.000 (SBK100) oder 1: 200.000 (SBK200) für die Übersichtskartierung erstellt (vgl. Abbildung 57)

Die geometrisch genaue Registrierung der verschiedenen Datensätze ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Erstellung von SBKs. Aus Gründen der Vergleichbarkeit bei der visuellen Interpretation, und um das Bildmaterial mit anderen raumbezogenen Daten in Verbindung zu bringen, waren teilweise geometrische Korrekturen der multitemporal vorliegenden Daten notwendig. So wurden die systemkorrigierten L1G-Produkte¹³⁹ mit den GLCF Datensätzen (vgl. Kapitel 6.2.2), die reliefkorrigiert und mit einer geometrischen

Genauigkeit von ca. 3 bis 4 Pixel vorliegen (dies entspricht im multispektralen Bereich in etwa 100 m), Bild zu Bild entzerrt. Zur besseren Detailerkennung erfolgte auch eine Datenfusion („Resolution merge“) der radiometrisch hochauflösenden multispektralen Daten (30 m Auflösung) mit den hochauflösenden panchromatischen Daten (15 m Auflösung).

Fusionierte Satellitenbilddaten geben Wälder differenzierter wieder und ermöglichen die Interpretation von verschiedenen waldstrukturellen Detailinformationen, die vielfach auch ohne zusätzliche Forst- bzw. Biotoptypeninformationen verschiedenen planungsrelevanten Objektarten(komplexen) zuzuordnen sind. Die Vorteile gegenüber den multispektralen ETM Bildprodukten liegen in der besseren Wiedergabe von Formen, Strukturen und Texturen. Bei geometrischen Abgrenzungen ist in der Regel eine höhere Flächenschärfe zu erzielen. Wälder bzw. Waldbestände mit sehr heterogenen, aufgelichteten Oberflächen sind von homogenen, geschlossenen gut unterscheidbar. Ein solches fusioniertes Bild unterstützt somit nicht nur die Kartierungsgenauigkeit, sondern verbessert die Orientierung und Navigation sowie die GPS-gestützte Datenaufnahme z.B. im Rahmen einer ersten terrestrischen Waldinventur im Gelände erheblich (vgl. Abbildung 58).

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden ebenfalls möglichst zeitnahe Aufnahmen zwischen Sommer- und Winterszenen verwendet, da abrupte und markante Veränderungen in Waldbeständen mit deutlichen

¹³⁹ Die geometrische Genauigkeit in liegt in Gebieten mit geringer Reliefenergie um 250 Meter.

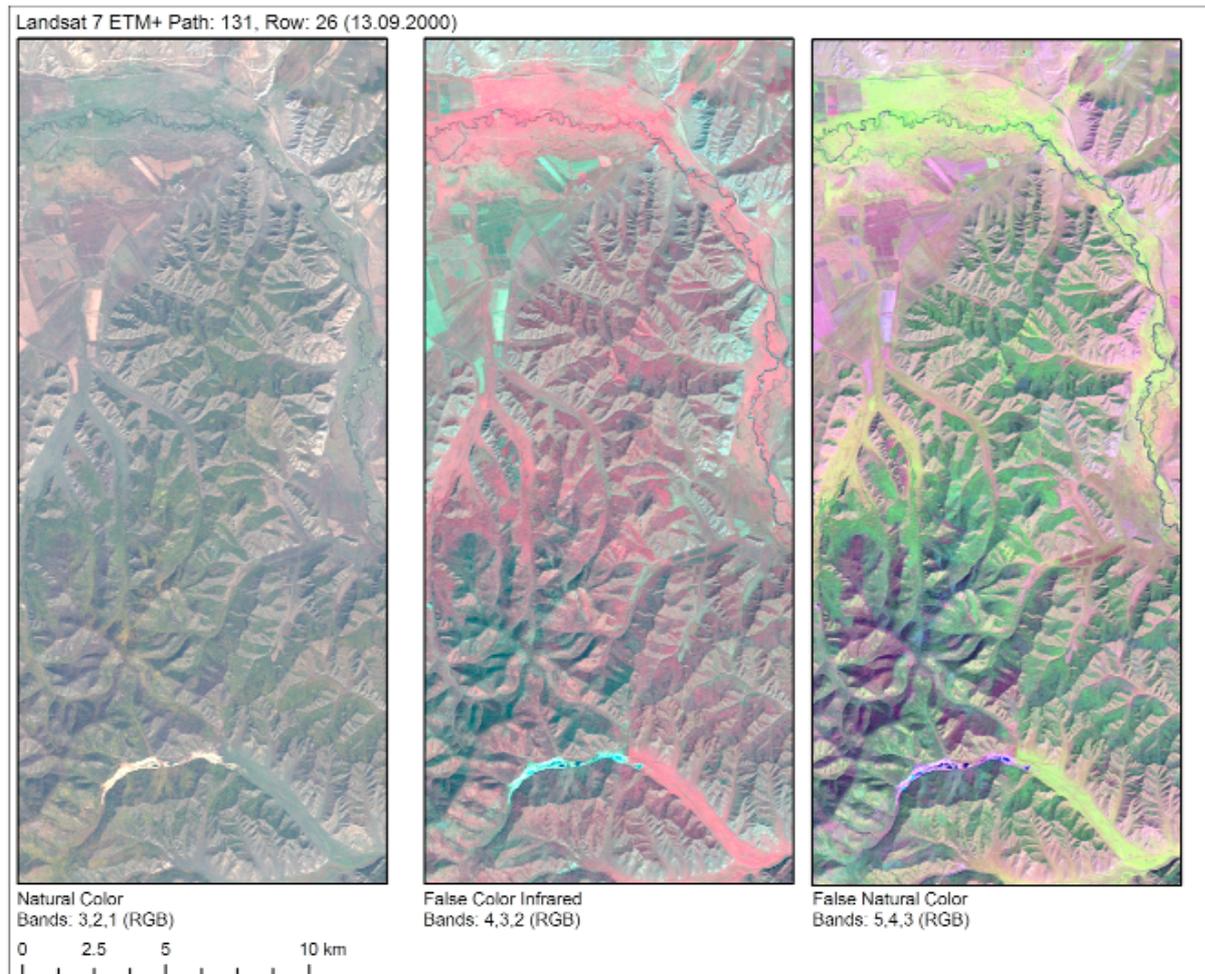


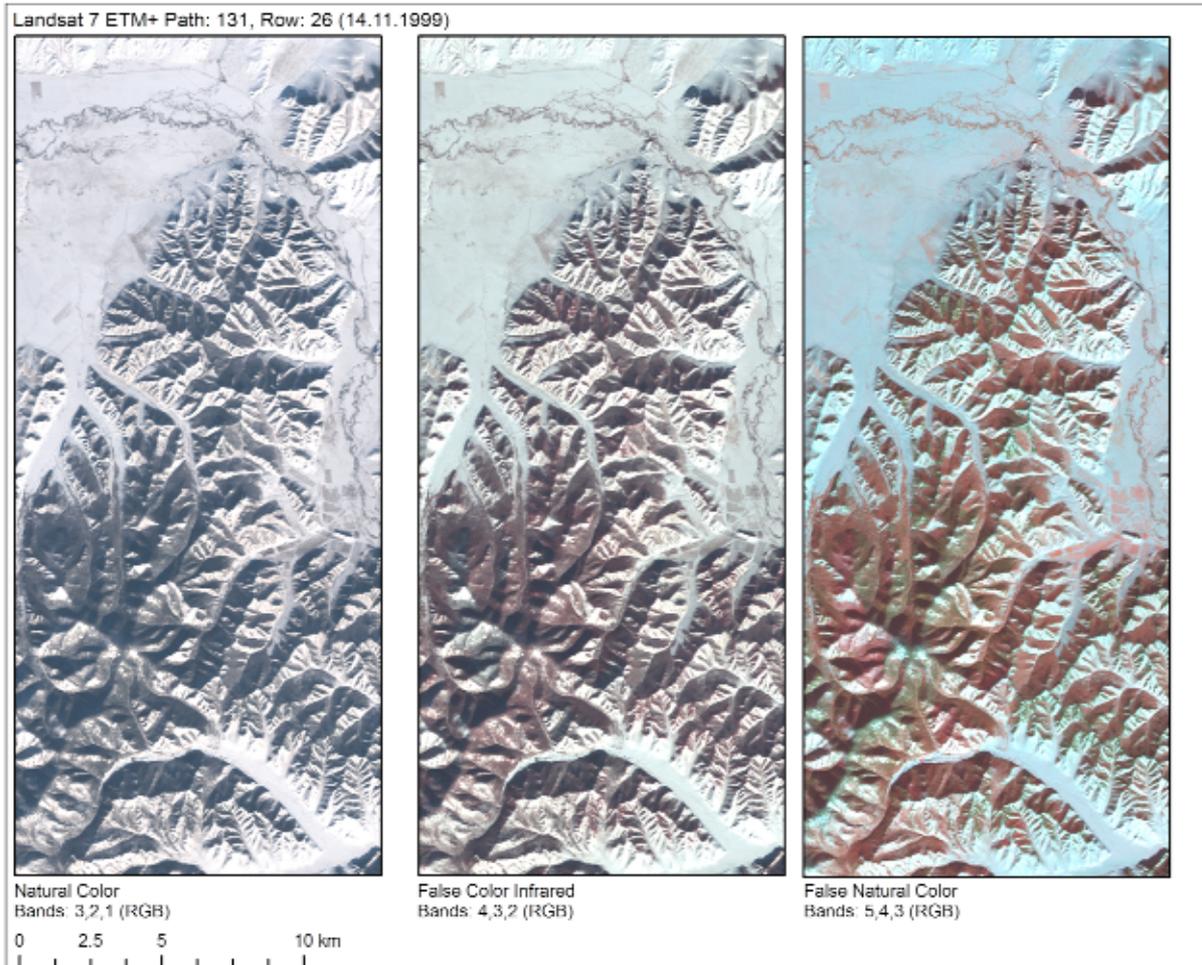
Abbildung 59: Vergleich von verschiedenen Bandkombinationen eines ETM+ Satellitenbildausschnittes. *Oben:* (Sommer 2002). *Rechts S. 95:* Winter (1999). Dargestellt am Beispiel einer bewaldeten Region südlich der Ortschaft *Zuunhaara* (*Selenge Aimag*)

Auswirkungen auf die spektralen und strukturellen Eigenschaften aufgrund von intensiven waldbaulichen Eingriffen oder abiotischen oder biotischen Schäden in relativ kurzer Zeit erfolgen können.

Die UTM-Projektion mit dem Bezugssystem des *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*, in der die Satellitenbilddaten auch original vorliegen, wurde beibehalten. Das UTM System hat den Vorteil, dass es ein global sinnvoll anwendbares Koordinatensystem ist und die Basis der GPS-Vermessung aus Satellitenbeobachtungen bildet (BILL & ZEHNER 2001). Neben einem UTM Gitternetz (Abstand von 1000 m bei den SBK50) enthielten die SBKs auch zusätzliche topographische Objektinformationen wie das vorhandene Waldwegennetz, Siedlungen und Fließgewässer zur besseren Orientierung und Navigation im Gelände. Die Zusatzinformationen wurden aus den topographischen Karten im

Maßstab 1: 100.000 entnommen und auf die fusionierte Satellitenbilddatenbasis übertragen. Dabei erfolgte nach Möglichkeit eine Neuinterpretation der linearen Elemente. Da die topographischen Karten in einer *Transverse-Merkator* Projektion (Gauß-Krüger) vorliegen und auf den *Krassovskii*-Ellipsoiden beruhen, mussten die Karten georeferenziert und mit entsprechenden Projektionsparametern versehen werden. Der zusätzlich enthaltene Blattindex wurde aus den Blattnummern der topographischen Karten im Maßstab 1: 100.000 abgeleitet. Beispiele für multitemporale Satellitenbildkarten sind im Anhang der Arbeit (*Kartenbeispiele I und II*) zu finden.

Für die Bildproduktherstellung können aus den multispektral vorliegenden ETM+ Kanälen unterschiedliche Kanalkombinationen und RGB-Belegungen gewählt werden. Die Multispektralkanäle des grünen und roten



Spektrums sowie des nahen und mittleren Infrarots (nachfolgend: NIR, MIR) wurden jeweils selektiert. Mit ihnen können nachfolgend verschiedene sinnvolle RGB-Kombinationen (Rot-Grün-Blau) abgeleitet werden. In Abbildung 59 ist ein Ausschnitt der Landsat 7 ETM+ Szene vom 13.09.2000 in verschiedenen Bandkombinationen dargestellt, der die Verwendbarkeit von RGB-Kombinationen zur visuellen Abgrenzung von Waldbeständen verdeutlichen soll. Eine Echtfarben-darstellung „Natural color“ wird im RGB-Farbmodell mit der Belegung der Farbkanäle Rot (ETM+ 3), Grün (ETM+ 2) und Blau (ETM+ 1) erzeugt und vermittelt einen naturnahen Eindruck durch die Kombination der vom Menschen im Wesentlichen wahrgenommenen Spektralbereiche. In der Falschfarben-Infrarotdarstellung („False color Infrared“) werden die Informationen des nahen Infrarots, des ETM+-Kanals 4 (NIR) im RGB-Farbmodell auf den roten, die der Kanäle 3 (Rot) und 2 (Grün) jeweils auf den grünen und blauen Kanal gelegt. Die hieraus resultierende Darstellung ist mit der einer Farbinfrarot-Filmemulsion vergleichbar. Der das Bild dominierende Einfluss des roten Kanals (nahes

Infrarot) ist auf die dort starke Reflexion vitaler Vegetation zurückzuführen, wogegen vegetationsfreie Oberflächen vorwiegend durch die beiden Kanäle im sichtbaren Spektralbereich als grünlich-weiße Farbtöne repräsentiert werden.

Wie bereits in zahlreichen Studien aufgezeigt wurde (vgl. RANSON et al. 2003, COENRADIE 2002, GEMMEL 1995), weisen die Spektralkanäle des nahen und mittleren Infrarots den höchsten Informationsgehalt für die Abgrenzung von forstlichen Objektarten und für die Schadenskartierung auf. Für die Herstellung der Satellitenbildkarten zur visuellen Interpretation im Rahmen der Projektarbeiten hat sich daher die Auswahl von Rot-, NIR- und MIR-Kanälen bewährt. In der vorliegenden Arbeit wird dies durch die Interpretationsprodukte der Kanäle ETM+5 (MIR), ETM+4 (NIR) und ETM+3 (Rot) aufgegriffen. In dieser Falschfarbendarstellung („False Natural Color“) dominiert immer noch der jetzt grün dargestellte ETM 4 Kanal, der jedoch durch den empfindlich auf Feuchtigkeit reagierenden Kanal 5 (MIR) differenziert wird. Hohe Feuchtigkeit bewirkt eine

Zunahme der Absorption, was sich in niedrigeren Grautönen ausdrückt. In dieser Bandkombination ist die höchste Differenzierung der Waldbestände anhand der unterschiedlichen Grüntöne möglich. Innerhalb der Waldbestände ist die Strahlung in Band 4 (NIR) am höchsten. Band 3 (Rot) und 5 (MIR) haben dagegen niedrigere Werte, was wiederum auf die Reflexion des Chlorophylls zurückzuführen ist. Variationen in den Grüntönen sind entweder expositionsbedingt (Schattenhänge), auf verschieden starken Wasserstress der Pflanzen oder auf unterschiedliche Baumarten zurückzuführen.

Gleiches gilt auch für das Winterbild, wo in der genannten Bandkombination die Kiefernwälder sehr gut von den in rötlichen Tönen erscheinenden nadellosen Lärchen oder blattlosen Birken visuell abzugrenzen sind (vgl. Kapitel 6.3.3). Sehr deutlich tritt in Abbildung 59 (Sommeraufnahme) die in rot erscheinende Brandfläche im südwestlichen Bildausschnitt ins Auge. Hier machen sich besonders die hohen Rückstreuwerte in Band 5 (MIR) und die niedrigen in Band 4 (NIR) bemerkbar. Generell scheint für die Erkennung der Brandfläche besonders Band 4 (NIR) wichtig zu sein, da dessen Rückstreuwerte innerhalb der Brandfläche aufgrund des Fehlens von Chlorophyll enthaltenden Pflanzenteilen im Vergleich zu den intakten Waldflächen fast um das Dreifache geringer sind. Das Weideland zeigt in allen drei Bändern jeweils die höchste Rückstreuung und erscheint im Bild als gelbliche Fläche. So lassen sich Wiesen, aber auch Steppenbereiche (im Ausschnitt hellrosa) leicht von Wald und Brandflächen abgrenzen.

6.3.3 Visuelle Interpretation und GPS-gestützte Verifizierung im Gelände

Wissenschaftliche Aufgabe bei der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten ist es, räumliche Objekte, deren Zustand und inneren Zusammenhang zu erkennen und disziplinabhängigen Entwicklungen und Beurteilungsschemas zuzuordnen. Bei der visuellen Interpretation werden nicht nur die einzelnen Pixelwerte, sondern zusätzlich lokale und globale Informationen über das gesamte Bild wie Textur, Muster, Form und Größe, Lage und Schatten mit herangezogen (BAHR & VÖGLTE 1991). Mit diesen grundlegenden räumlichen Informationen und unter Zuhilfenahme des Wissens über Objekteigenschaften sowie den Kombinations- und Assoziationsfähigkeiten des Interpreten können komplexe Objekte im Bild erkannt werden. Darüber hinaus kann der Interpretierende seine gesamte Erfahrung, Ortskenntnisse und, falls verfügbar, auch weitere Informationen wie z.B. topographische oder thematische Karten in die Auswertung einbringen. Im Hinblick auf die potenziellen Einsatzmöglichkeiten von hochauflösenden Satelliten- daten für die mongolische Forstwirtschaft stellt die

prinzipielle Interpretationsfähigkeit von multispektralen und fusionierten Bildprodukten für die Erfassung und Abgrenzung von waldstrukturellen Objekten, neben der automatischen Extraktion bzw. digitalen Klassifizierung von Bildinhalten, einen wichtigen Teilaspekt dar. Die Erkennbar- und Identifizierbarkeit von Objekten sowie deren geometrisch genaue Abgrenzung sind dabei wesentliche Eignungskriterien. Die visuelle Interpretation hat im Vergleich zu automatischen Auswertungsverfahren den Vorteil, dass diese bereits mit einfachen Hilfsmitteln bei geringen Anforderungen an die Software- und Hardwareausstattung erfolgen kann.

Erfahrungen bei der Durchführung der Trainingsmaßnahmen am FMPC haben gezeigt, dass die erstellten Satellitenbildkarten auf der Basis des schon vorhandenen Raumwissens und der forstwirtschaftlichen Kenntnisse der beteiligten Personen nach relativ kurzer Anleitung interpretiert werden können, ohne dass diese über spezielle Fernerkundungs- bzw. Bildverarbeitungskenntnisse verfügen. Die visuelle Interpretation von aktuellen und geometrisch genauen Satellitenbildprodukten kann somit unter Kosten-Nutzen-Aspekten eine durchaus machbare Alternative bzw. Ergänzung zu den bisher durchgeführten panchromatischen luftbildgestützten oder terrestrischen Auswertungs- und Erhebungsverfahren zur Erstellung und Aktualisierung der Forsteinrichtungskarten darstellen (vgl. Kapitel 3.2.3). Voraussetzung für die Neukartierung der Waldbestände und ggf. die Erfassung von Flächenveränderungen ist auf jeden Fall eine den Anforderungen genügende Genauigkeit der thematischen und geometrischen Objekterfassung durch den Interpreten. Diese wird durch die Verwendung von fusionierten Satellitenbilddaten erheblich erleichtert. Wie viel aus dem Satellitenbild „herausgelesen“ wird, hängt natürlich von der kognitiven Erfahrung des Interpreten ab. Durch die rein subjektive Interpretation der spektralen, relief- und texturbedingten Informationen können die Interpretationsergebnisse inhaltlich und von der geometrischen Genauigkeit stark variieren.

Wie anfangs schon erwähnt, bestanden die übergeordneten Trainingsziele während der Anfangsphase des Projektes im Jahr 2001 in der Erarbeitung eines visuellen Kartierungsschlüssels zur Objektbegrenzung in Zusammenarbeit mit Forstingenieuren des FMPC. Dabei wurden folgende Fragestellungen erarbeitet:

1. Welche planungsrelevanten Objekte sind räumlich abgrenzbar?
2. Wie sind die Objektarten abgebildet (Interpretationsmerkmale)?
3. Welche Verwechslungsmöglichkeiten liegen vor?
4. Welche Aufnahmezeitpunkte sind besonders geeignet?
5. Können Zusatzdaten genutzt werden?

Wie im vorherigen Kapitel aufgezeigt, weisen die Spektralkanäle des nahen und mittleren Infrarots den höchsten Informationsgehalt für die Lokalisierung und Abgrenzung von verschiedenen Waldtypen auf. Eine verlässliche Interpretation der verschiedenen resultierenden Grüntöne wird jedoch durch mehrere Faktoren erschwert. Zwar hat jedes Objekt eine charakteristische spektrale Eigenschaft, diese ist jedoch keineswegs konstant und wird durch jahreszeitliche Variationen, unterschiedliche Vitalitätsausprägungen und durch die unterschiedliche Baumartenzusammensetzung modifiziert. Durch die zumeist sehr inhomogene Struktur der mongolischen Waldbestände, die meistens als Mischwald in unterschiedlichen Sukzessionsstadien vorkommen, ist die Identifikation der dominierenden Baumart somit oft problematisch. Hinzu kommen spektrale Einflüsse des Unterwuchses oder die anteilige Reflexion des Bodens bei lockeren Beständen.

Durch die Nutzung von multitemporalen Satellitenbilddaten wird die visuelle Differenzierung der Kartiereinheiten allerdings wesentlich erhöht. Um eine bessere Abgrenzung von Einzelbaumarten zu ermöglichen, wurden neben Sommeraufnahmen auch Winterdatensätze für die visuelle Auswertung herangezogen. Durch den multitemporalen Ansatz können Kiefernbestände (*Pinus sibirica*; *Pinus sylvestris*), aber auch andere Nadelbaumarten, die vorwiegend in der westlichen Pufferzone des Schutzgebietes vorkommen, wie beispielsweise die Fichte (*Picea obovata*) oder Tanne (*Abies sibirica*), von den im Winter nadellosen Lärchen (*Larix sibirica*) sehr gut getrennt werden. In den Satellitenbildszenen aus dem Spätsommer (Ende August bis Mitte September) sind zusätzliche Differenzierungen zwischen Laub- und Nadelwäldern aufgrund der phänologischen und witterungsbedingten Unterschiede möglich. Diese äußern sich bei den dominierenden Laubbaumbeständen (*Betula platyphylla*, *Populus tremula*) durch eine frühzeitig eintretende Blattalterungen und -verfärbung und führen zu Veränderungen im spektralen Reflexionsverhalten, die sich in einer Modifizierung der farblichen Wiedergabe in den Bildprodukten äußern. In der gewählten Bandkombination ETM+ 5 (MIR), ETM+ 4 (NIR) und ETM+ 3 (Rot) erscheinen die Birkenbestände in Blautönen und lassen sich somit gut von den Lärchenbeständen abgrenzen. Innerhalb der ganzjährig benadelten Waldbestände sind spektrale Differenzierungen nicht möglich. Allerdings können die Zirbelkiefern (*Pinus sibirica*), die in der *Khan Khen-tii Region* im Bereich der Bergtaiga ab einer Höhe von 1600 m ü. N.N vorkommen, und in Plateaulagen zumeist ab einer Höhe von 1900 m ü. N.N bestandbildend sind, anhand von Höheninformationen aus den topographischen Karten oder durch Nutzung von digitalen Höhenmodellen (vgl. Kapitel 7.1.2) mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit abgegrenzt werden. Inso-

fern spielt die individuelle Kenntnis der orographischen Ausprägung des Raumes bei der visuellen Interpretation eine wichtige Rolle.

Frühjahrsaufnahmen (Mai bis Mitte Juni) standen für die visuelle Klassifizierung nicht zur Verfügung. Aufgrund der weitgehend fehlenden bzw. erst gering entwickelten Belaubung ist die Interpretationsfähigkeit dieses Zeitschnittes zur Abgrenzung von forstlichen Objektarten eingeschränkt. Eine sichere Walderfassung vor allem von Laubwaldbeständen ist aufgrund starker Überschneidungen mit den steppen- und vegetationslosen Flächen nicht zu erreichen. Allerdings wären die Lärchenbestände (*Larix sibirica*) aufgrund des frühzeitigen Austriebs junger, stark reflektierender Nadeln insbesondere im NIR-Bereich sehr gut gegenüber den anderen Nadelbaumarten abgrenzbar, auch ohne Zuhilfenahme von Winteraufnahmen.

Diese grundsätzlichen Untersuchungen zur Merkmalsausprägung und zur Eignung von unterschiedlichen Zeitschnitten wurden durch erste Geländebegehungen im Sommer des Jahres 2001 in der westlichen Pufferzone des Schutzgebietes ergänzt. Die Geländeuntersuchungen erfolgten schwerpunktmäßig in den Modellgebieten *Khont*, *Bugant* und *Thunkel*, in denen zeitgleich auch neue terrestrische Inventurarbeiten auf Stichprobenbasis erprobt wurden (vgl. Kapitel 6.3.5). Während der Übersichtskartierung wurden geeignete Testgebiete mittels GPS erfasst und dokumentiert. Zur Dokumentation gehörten die Aufnahme der UTM-Koordinaten, Höhenangaben sowie eine detaillierte Beschreibung und fotografische Aufnahme der Wald- oder landschaftsprägenden Objekte (*Beispiele aus der umfassenden Fotodokumentation sind im Anhang der Arbeit enthalten*). Auf Basis der Signaturanalyseergebnisse, den Erfahrungen der visuellen Interpretation sowie der Berücksichtigung der vorhandenen Forsteinrichtungskarten wurde im Anschluss in Zusammenarbeit mit den Forstingenieuren des FMPC ein Interpretationsschlüssel erarbeitet, der insgesamt 14 Klassen (darunter auch anthropogen geprägte Flächen wie z. B. Tagebauaktivitäten, Waldbrand oder abgeholzte Bereiche) beinhaltet und die Grundlage für die visuelle Interpretation der insgesamt 48 Satellitenbildkarten im Maßstab 1: 50.000 bildete. Die einzelnen Objektklassen und ihre Interpretierbarkeit sind in der Tabelle 13 zusammengefasst. Abbildung 60 zeigt Beispiele für die Objekterfassung anhand eines multitemporalen Satellitenbildausschnittes.

Nr	Einzelobjekt	Objektklassen	Abgrenzbarkeit
1	Lärche (<i>Larix sibirica</i>)	Lärche	Gut (multitemporale Auswertung)
2	Zirbelkiefer (<i>Pinus sibirica</i>)	Zirbelkiefer	Bedingt (Winteraufnahme und Nutzung von Zusatzmaterial)
3	Kiefer (<i>Pinus silvestris</i>)	Nadelbäume undifferenziert	Gut (Winteraufnahme)
4	Fichte (<i>Picea obovata</i>)		
5	Mischbestände (Nadel)		
6	Birke	Birke	Gut (Spätsommaraufnahmen)
7	Mischbestände (Nadel-Laub)	Mischbestände (Nadel-Laub)	Gut (multitemporale Auswertung)
8	Mischbestände (Laub-Nadel)	Mischbestände (Laub-Nadel)	Gut (multitemporale Auswertung)
9	Auenvegetation	Auenvegetation	Gut (topographische Merkmale)
10	Busch	Busch	Gut (topographische Merkmale)
11	Offener Forst	Offener Forst	Bedingt (strukturellen Merkmale)
12	Verbrannte Flächen	Verbrannte Flächen	Gut (Sommeraufnahme und strukturellen Merkmale)
13	Steppenvegetation	Steppenvegetation	Gut (Sommeraufnahme und multitemporale Auswertung. Im Winter meist schneebedeckt)
14	Abgeholzte Fläche	Abgeholzte Fläche	Bedingt (strukturellen Merkmale)

Tabelle 13: Objektklassen und ihre Interpretierbarkeit anhand der spektralen und strukturellen Merkmalsausprägung

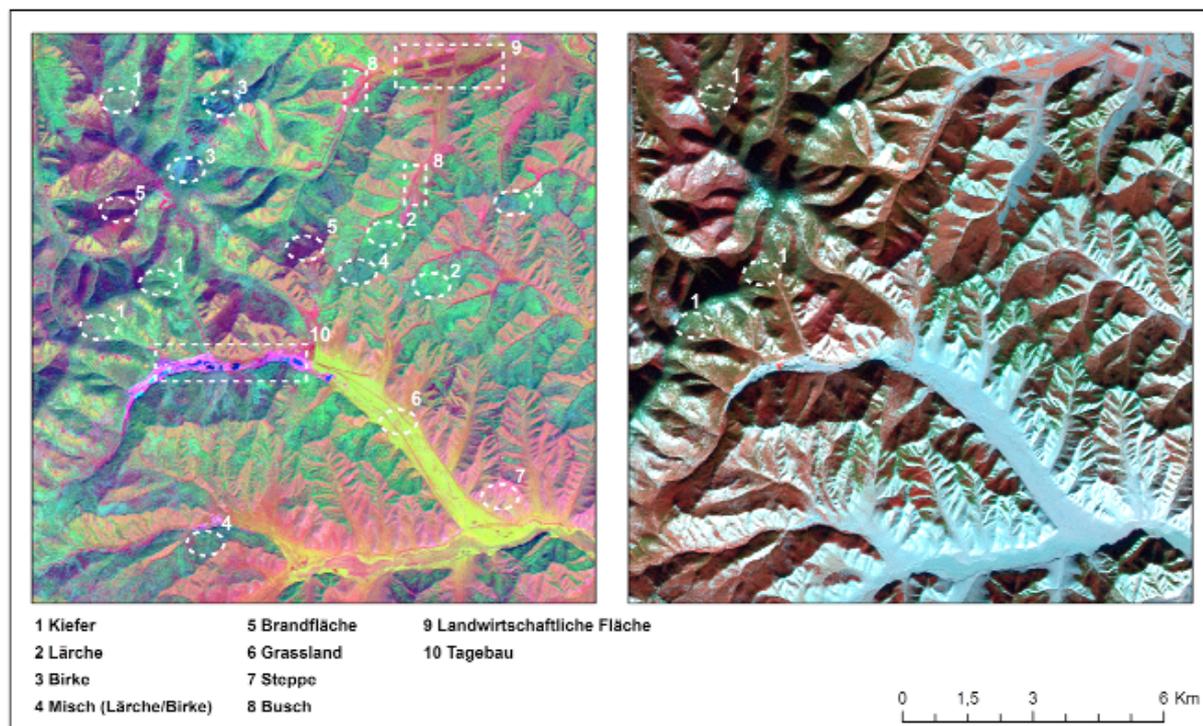


Abbildung 60: Visuelle Interpretationsbeispiele auf der Basis multitemporaler Landsat ETM+ Satellitenbilddaten

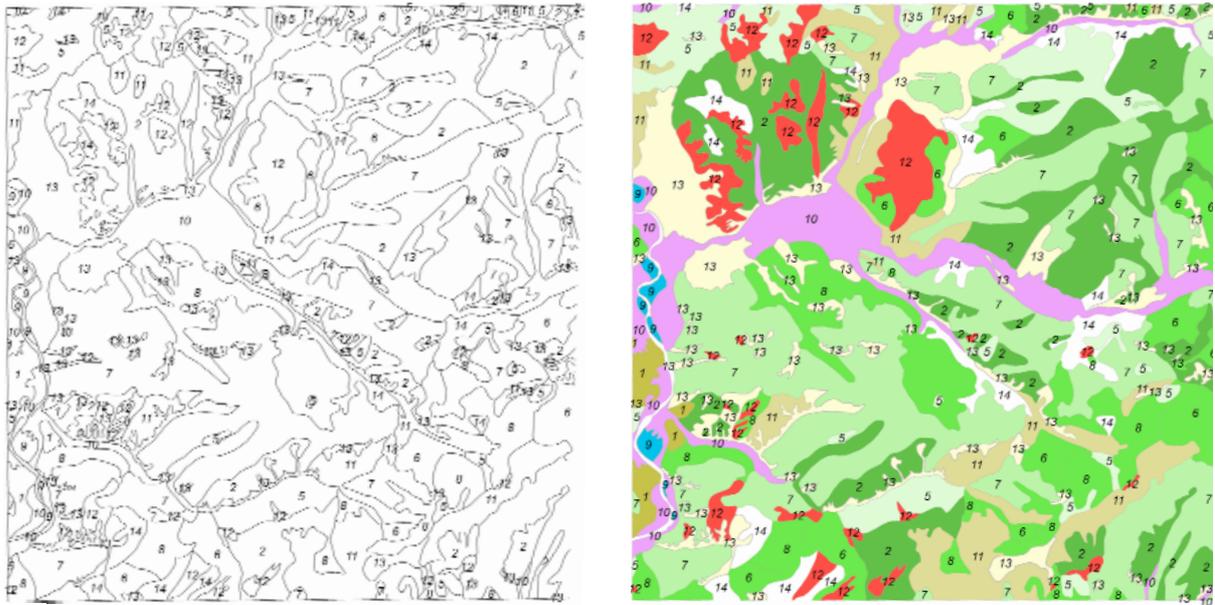


Abbildung 61: Blattschnittsweise visuelle Klassifizierung im Maßstab 1: 50.000 (Blatt: M-48-96-3, Projektgebiet *Thunke*)

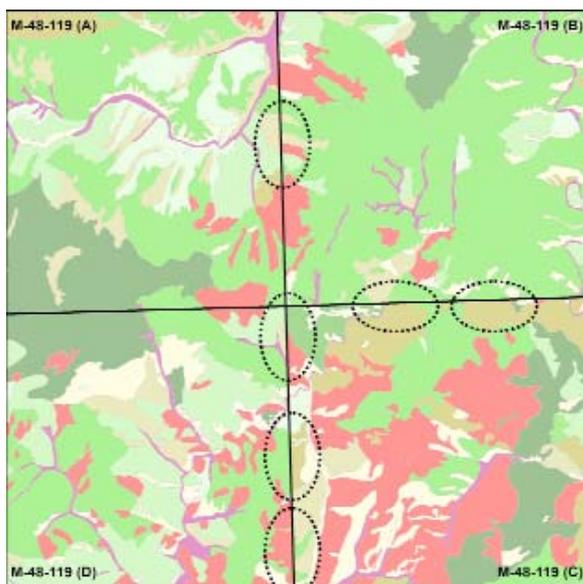


Abbildung 62: Bereinigung von Interpretations- und Kodierungsfehlern entlang der Blattränder

Die visuellen Interpretationsergebnisse wurden von den Mitarbeitern des FMPC auf maßhaltige Folie übertragen und anschließend in Zusammenarbeit mit MonMap¹⁴⁰ in Ulaanbaatar digitalisiert und attribuiert (vgl. Abbildung 61). Eine Herausforderung stellte die möglichst gute Abstimmung der in Teamarbeit erfolgten Interpretationsleistungen dar, um zeitintensive Nachbearbeitungen zu vermeiden. Trotzdem lagen, aufgrund der stark subjektiv ausgerichteten Vorgehensweise und der unterschiedlichen Raumkenntnisse der beteiligten Personen, in Teilbereichen unterschiedliche Interpretationsergebnisse vor. Diese mussten vor allem entlang der Blattgrenzen nacheditiert werden, um mit Hilfe von einfachen GIS-Werkzeugen zur Generalisierung und Zusammenführung von benachbarten Polygonzügen eine blattschnittsfreie Gesamtdatenbasis zu erhalten (vgl. Abbildung 62). Als Ergebnis entstanden 48 digitale Blattabschnitte im Maßstab 1: 50.000 (vgl. Abbildung 63).

Im Jahr 2002 erfolgte eine erneute Geländebegehung in der östlichen Pufferzone, um die vorliegenden digitalen Ergebnisse in Teilbereichen zu überprüfen und ggf. zu modifizieren. Die Geländearbeiten haben gezeigt, dass sich die visuell abgegrenzten Objekte prinzipiell sehr gut für eine erste Übersichtskartierung eignen, jedoch in vielen Bereichen sehr generalisiert

¹⁴⁰ Privatunternehmen mit Schwerpunkten in den Bereichen Landvermessung, Photogrammetrie, GIS und FE. Online unter: <http://www.monmap.mn> [Stand: 15.11.2006].

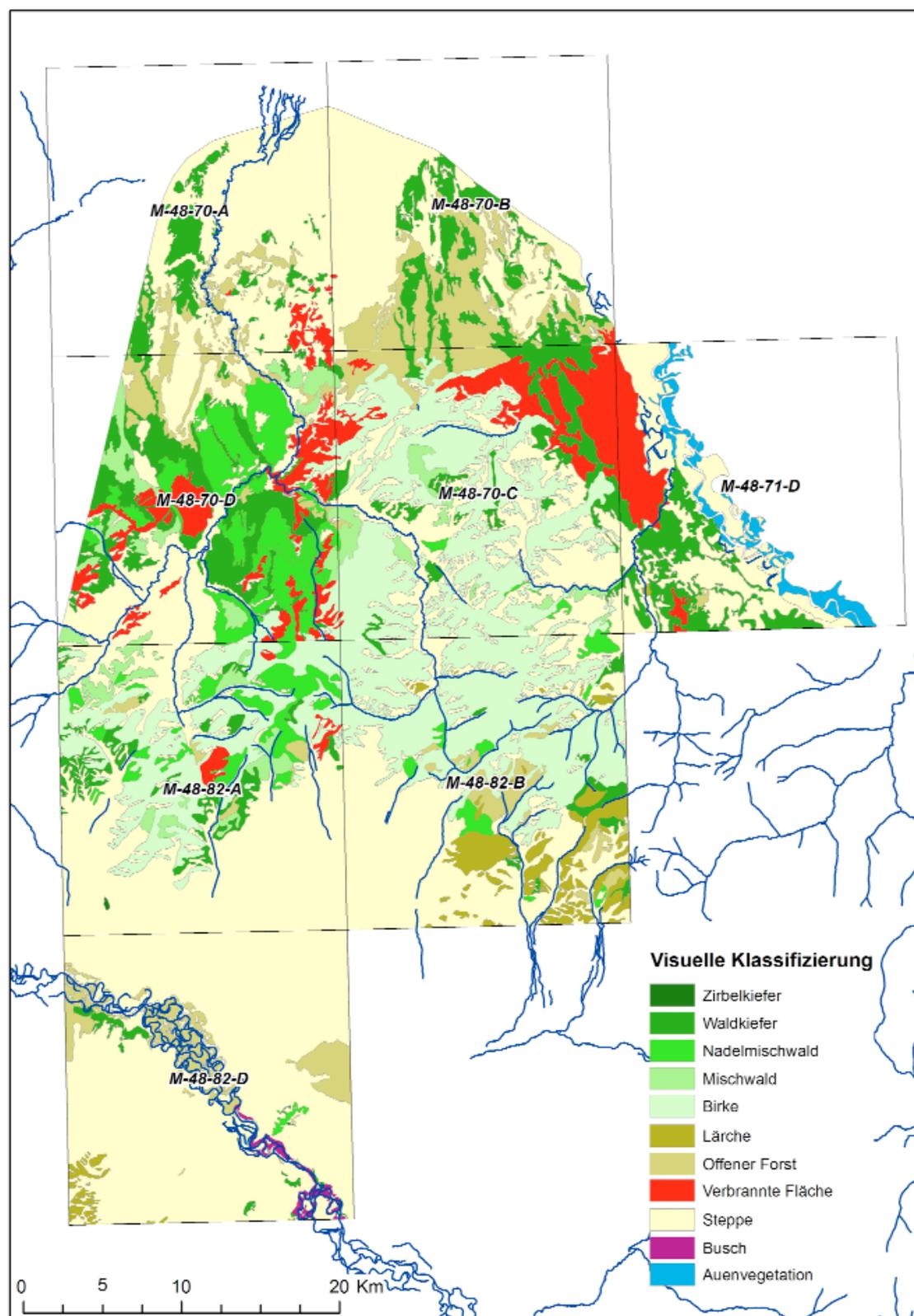


Abbildung 63: Zusammenführung von acht Kartenblättern im Maßstab 1: 50.000 zu einer blattschnittsfreien Gesamtdatenbasis, Beispiel für das Projektgebiet Khont in der westlichen Pufferzone der Khan Khentii Schutzgebietes

vorlagen. Einige Einzelobjekte, die in den Satellitenbildern nicht eindeutig abgrenzbar waren, mussten zu neuen Objektklassen zusammengefasst werden. Dies betraf insbesondere die Objekte 3 bis 5 (*Kiefer, Fichte, Nadelmischwald*), die zu der Klasse „*Nadelwald undifferenziert*“ zusammengefasst wurden (vgl. Tabelle 13). Unsicherheiten und Fehlinterpretationen bestanden auch in der Zuordnung der dominierenden Baumart innerhalb von Mischbeständen oder bei der Ausweisung der Zirbelkieferflächen. Problematisch für die visuelle Interpretation waren auch die im Winterbild enthaltenen Schattenflächen aufgrund des niedrigen Sonnenstandes. Die Veränderung der Beleuchtungssituation beeinflusst die Reflexionswerte (bzw. Grauwerte) und führt zu Abweichungen bezüglich der Trennbarkeit von einzelnen Objektartenkomplexen. In den meisten Fällen sind die zu klassifizierenden Objekte qualitativ noch zu unterscheiden. In Gebieten mit starker Reliefausprägung sollten die Schattenbereiche im Zweifelsfall als „*nicht klassifizierbar*“ kodiert werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Die Schatteneffekte lassen sich zwar durch digitale Bildverarbeitungsmethoden (topographische Normalisierung) mit Hilfe von hochauflösenden digitalen Höhenmodellen (DHM) minimieren (vgl. Kapitel 7.1.2), die hohe Heterogenität der Baumartenzusammensetzung und die unzureichende geometrische Auflösung der Höhendaten führten jedoch zu keiner sichtbaren Verbesserung der spektralen Informationen auf Schattenhänge.

6.3.4 Die Integration von mongolischen Forsteinrichtungskarten (FEK)

Die möglichst genaue Kartierung der zur Verfügung stehenden Waldressourcen bildet für die Durchführung von terrestrischen Inventurarbeiten eine wichtige Bezugskomponente. Wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, existieren die mongolischen FEK in der Regel als handkolorierte Unikate auf der Basis von semikontrollierten Luftbildmosaiken aus den Jahren 1966 bis 1982 und liegen im Maßstab 1: 50.000 vor. Die Hauptabteilungen stellen statische Polygonzüge dar, die anhand des Reliefs (Täler, Gebirgskämme) oder durch topographische Merkmale wie z.B. Fließgewässer abgrenzbar sind. Diese werden in Unterabteilungen mit Informationen zur dominierenden Baumart und Altersstufe untergliedert und in unregelmäßigen Abständen im Rahmen einer eher unsystematischen, bestandsweisen Taxation („Abschätzung“) des Waldes aktualisiert, wobei standort- und baumbezogene Parameter erfasst und dokumentiert werden. Die resultierenden Forsteinrichtungskarten weisen jedoch, abhängig vom Bearbeiter, teilweise erhebliche qualitative Unterschiede auf, so dass nach wie vor ein hoher Bedarf in der Einführung von verbesserten und objektiveren Waldinventurmethode besteht.

Trotz der mangelhaften geometrischen Genauigkeit und der sehr inkonsistenten Aufnahmekontinuität bilden diese Kartengrundlagen bisher die einzigen und aktuellsten Informationsebenen zu Waldtypen und deren räumlicher Verteilung auf regionaler Ebene. Die FEK liefern ebenfalls wichtige Informationen zu einzelnen Baumarten, die durch eine alleinige visuelle Interpretation von Satellitenbilddaten nicht erfassbar sind. Hierzu gehören beispielsweise Differenzierungen innerhalb von ganzjährig nadeltragenden Baumarten, insbesondere Informationen über das räumliche Vorkommen von Fichten (*Picea Obovata*) und Tannen (*Abies sibirica*) sowie innerhalb von Laubbeständen, um zwischen der Pappel (*Populus tremula*) und der Birke (*Betula platyphylla*) zu unterscheiden. Des Weiteren bildet das System aus Haupt- und Unterabteilungen die planerische Grundlage für eine nachhaltige Waldwirtschaft und der Konzessionsvergabe. Eine Modernisierung der Inventurarbeiten und die Stärkung der organisatorischen Leistung im Bereich des Waldmanagements müssen daher zukünftig auf diese traditionellen Grundlagen aufbauen.

In den folgenden Kapiteln werden die methodischen Arbeiten zur Durchführung von satellitenbildgestützten, terrestrischen Waldinventuren unter Einbeziehung der FEK beschrieben. Diese wurden erstmalig im Jahr 2003 im Rahmen eines Pilotprojektes in *Mongonmorit* (östliche Pufferzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes) in Zusammenarbeit mit dem FMPC durchgeführt. Das Pilotprojekt umfasste insgesamt 10 Kartenblätter im Maßstab 1: 50.000 mit einer Gesamtfläche von 3420 km². Das Arbeitsgebiet umfasste Bereiche der eingeschränkten Nutzungszone „*Limited Use Zone*“ sowie der Schutzzone „*Conservation Zone*“ des Schutzgebietes (vgl. Kapitel 6.1.1). Da die letzte Forsteinrichtungskarte von *Mongonmorit* aus den 1990er-Jahren stammt und seitdem nicht aktualisiert wurde, bestand die Notwendigkeit, eine neue und aktualisierte Planungsgrundlage durch eine Neuinterpretation der FEK auf der Basis von fusionierten multispektralen Satellitenbilddaten zu erstellen (vgl. Abbildung 64). Der Aktualisierungsbedarf ergab sich vor allem aus der Tatsache, dass in den letzten 13 Jahren erhebliche Flächenverluste durch Brand und Insektenbefall zu verzeichnen waren (vgl. Kapitel 7.2.4). Dabei konnten am FMPC auf Erfahrungen aus der visuellen Interpretation der Jahre 2001 und 2002 aufgebaut werden. Die methodischen Arbeiten hatten modellhaften Charakter und wurden in das übergeordnete Ziel zur nachhaltigen Einführung von GIS und FE-technologie am FMPC eingebettet. Neben der Erstellung einer geometrisch genauen Planungsgrundlage sollten grundsätzliche Arbeitsschritte zum Aufbau eines einfach strukturierten GIS in Anlehnung an den thematischen Inhalten der FEK vermittelt werden.



Abbildung 64: Integration von traditionellen Forsteinrichtungskarten. *Oben:* Nutzung von Forsteinrichtungskarten im Gelände zur Verifizierung des Satellitenbildmaterials (2002). *Unten:* Bildschirm-Digitalisierung der Haupt- und Unterabteilungen am FMPC (2003). Fotos: Wyss (2002)

Die visuelle Neuinterpretation der FEK erfolgte im Vorfeld der Geländearbeiten am FMPC auf der Basis von fusionierten, multispektralen Landsat ETM+-Satellitenbilddaten, in denen die Hauptabteilungen sehr gut anhand der natürlichen topographischen Strukturen abzugrenzen waren. Informationen zu den Unterabteilungen (dominierende Baumart) wurden den FEKs entnommen und anhand der digitalen Satellitenbildkarten geometrisch und inhaltlich modifiziert. Die Polygonzüge wurden nach einem einheitlichen Zahlenschlüssel in Anlehnung an den FEKs kodiert und dadurch einer eindeutigen Objektklasse, die sich aus Baumart und Altersstufe¹⁴¹ zusammensetzt, zugeordnet.

¹⁴¹ Die FEK ermöglichten eine Stratifizierung von insgesamt 25 verschiedenen Waldtypen. Die Bezeichnung der Waldtypen richtete sich nach der Baumart und der mittleren Altersstufe. Jedes Objekt erhielt eine Kombination aus drei Ziffern. Die beiden ersten Ziffern stehen für die dominierende Baumart: z.B. 11 für Lärchen, 12 für Waldkiefern, 13 für Zirbelkiefern und 16 für Birken. Die dritte Ziffer gibt das mittlere Alter der Nadelholzbestände in Zwanzigjahresstufen und das mittlere Alter der Laubbäume in Zehnjahresstufen an. Eine Lärche mit der Altersstufe 4 wäre demzufolge auf ein Alter zwischen 61 bis 80 Jahren geschätzt. Eine Birke mit derselben Bezeichnung wäre zwischen 31 und 40 Jahre alt.

Die Digitalisierung der Ergebnisse aus der visuellen Interpretation erfolgte überwiegend am ICC in Ulaanbaatar, wurde jedoch im Rahmen von Trainingsmaßnahmen am FMPC im Vorfeld der Geländearbeiten an praktischen Beispielen nachvollzogen. Dabei konnte auf bereits vorhandene GIS-Kenntnisse aufgebaut werden. Neben der Bildschirm-Digitalisierung von Polygonzügen wurden zur Vorbereitung des Geländeinsatzes auch bestehende Waldwege und Fließgewässer mit zusätzlicher Hilfe von georeferenzierten topographischen Karten im Maßstab 1: 100.000 digitalisiert. Ein Trainingsschwerpunkt lag im Aufbau einer einfachen Datenbank, die aus den Feldern: Flächennummer, Flächengröße, Hauptabteilungs- und Unterabteilungsnummer, Baumart und Altersstufe bestand. Beispiele für digitale Forsteinrichtungskarten sind im Anhang der Arbeit (*Kartenbeispiele III und IV*) zu finden.

Abbildung 65 zeigt das Ergebnis der Flächenauswertung und die statistische Verteilung der Objekttypen im Projektgebiet *Mongonmorit*. Dabei ist die eindeutige Dominanz der Hauptbaumarten Lärche und Zirbelkiefer (vgl. Kapitel 6.1.3) zu erkennen.

6.3.5 Planung- und Erprobung von objektbezogenen Inventurarbeiten

Im Rahmen der GTZ-Aktivitäten wurden im Jahr 2002 in Kooperation mit FOREM International erstmals systematische Waldinventuren in den westlichen Projektgebieten des *Khan Khentii* Schutzgebietes auf der Basis von permanenten Stichprobenpunkten durchgeführt, die sich am Gitternetz der topographischen Karten 1: 100.000 orientierten. Das Ziel lag im Aufbau einer Datenbank als Teilaspekt eines Forst-Management-Informationssystems. Allerdings traten erhebliche Schwierigkeiten im Umgang mit den zur Verfügung gestellten GPS-Geräten zur Standortbestimmung auf. Dies war auch zu erwarten, da die Koordinaten der topographischen Karten in einer *Transverse-Merkator* Projektion (Bezugsellipsoid: *Krassovsky*) vorlagen, die nicht von den gängigen GPS-Geräten unterstützt werden. Die genaue Standortbestimmung war somit nur anhand eines Umrechnungsfaktors möglich und führte zu Ungenauigkeiten und zu nicht brauchbaren Ergebnissen.

Im Rahmen des Pilotprojektes in *Mongonmorit* wurde diese Problematik neu aufgegriffen. Die sehr praxisorientierten Trainingsmaßnahmen erfolgten für insgesamt 25 Teilnehmer/Innen. Neben Forstingenieuren des FMPC nahmen auch Universitätsangehörige der NUM und private Inventurunternehmen am Training teil. Durch die zusätzliche Einbeziehung von Studierenden und Absolventen aus naturwissenschaftlichen Fachrichtungen der NUM wurden Möglichkeiten eröffnet, mit modernsten Inventurgeräten zu arbeiten und notwendige Berufserfahrung zu sammeln, um die Arbeitsperspek-

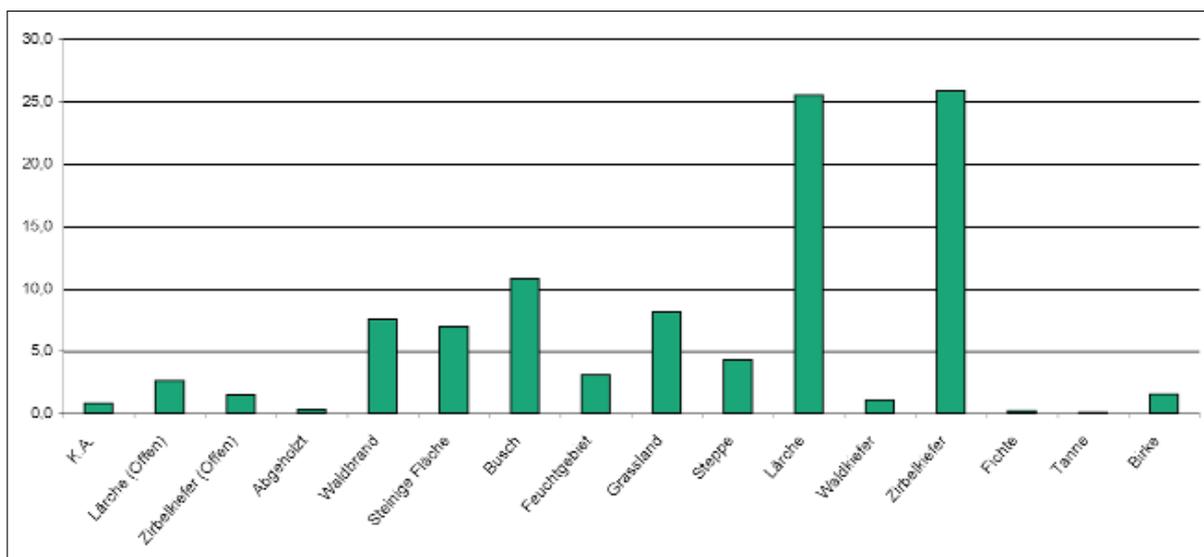


Abbildung 65: Statistische Verteilung der neu interpretierten Objekttypen aus der FEK in Prozent der Gesamtfläche (Projektgebiet *Mongonmorit*)



Abbildung 66: Trainingsmaßnahmen im Projektgebiet *Mongonmorit*. Visuelle Interpretation von Satellitenbildkarten, Schulungen zu Kartenprojektionen und Koordinatensystemen sowie GPS-gestützte Lokalisierung von Stichprobenpunkten im Gelände. Fotos: Wyss 2003

tiven auf dem nationalen Arbeitsmarkt zu verbessern (vgl. Abbildung 66). Die Durchführung der Waldinventur im Pilotprojekt sollte auch die vorhandenen forstlichen Kapazitäten sowie die Privatisierung im Forstsektor durch einen nachhaltigen Wissenstransfer fördern. Zu den übergeordneten technischen Zielen gehörten:

- Einführung von systematischen Inventurmethode und die Erprobung von genaueren Messgeräten für die Erfassung von forstwirtschaftlich relevanten Parametern,
- Standardisierung und Qualitätssicherung der Forsteinrichtungsarbeiten,
- Nutzung von GPS-Technologie für die genaue Standortbestimmung (Lokalisierung von Stichprobenpunkten) sowie zur Verbesserung der Navigation und Orientierung im Gelände,
- Satellitenbildinterpretation und Verifizierung der im Vorfeld interpretierten Waldobjekte,
- Sensibilisierung gegenüber Koordinatensystemen und Kartenprojektionen,
- Datenaufnahme („Tracks“ & „Waypoints“) im Gelände und Erprobung der mobilen Datenerfassung mit ArcPAD,
- Rücküberführung der im Gelände erhobenen Daten in das in Ansätzen aufgebaute GIS und Visualisierung sowie statistische Auswertung der Daten.

Die Aufbereitung der Planungsunterlagen für die terrestrische Waldinventur erfolgte im Rahmen einer mehrtägigen GIS-Schulung am FMPC auf der Basis der visuellen Neuinterpretation der Forsteinrichtungskarte von *Mongonmorit*. Ein wesentlicher Faktor bildete die methodische Vorgehensweise bei der Stichprobenverteilung, die sich an den ausgewiesenen Waldobjekten orientieren sollte, um eine objektbezogene Stratifizierung anhand der dominierenden Baumart und Altersstufe zu ermöglichen. Eine rasterartige Verteilung der Stichprobenpunkte (STP) im Gelände erschien aufgrund von logistischen Schwierigkeiten (Transportmittel und Personaleinsatz) sowie der mangelnden Erschließung durch Waldwege nicht sinnvoll. Dennoch wurde angestrebt, die STP aus statistischen Gründen möglichst homogen über das gesamte Untersuchungsgebiet und innerhalb der einzelnen Waldobjekte zu verteilen (vgl. Abbildung 67). Da eine Konzentration auf Areale in der Nähe zu Erschließungswegen vermutlich zu einer Verfälschung der Statistiken aufgrund des höheren anthropogenen Einflusses geführt hätte, wurden nach Abschluss der Trainingsmaßnahmen auch weiter entfernte und schlechter erschlossene mit Hilfe von Pferden aufgesucht. Die Erprobung von neuen Erfassungsmethoden und die Möglichkeit, eine erste Übersicht über die natürliche Ausstattung des Projektgebietes zu erhalten, hatten bei den Trainingsmaßnahmen einen höheren Stellenwert als „perfekte“ Inventurergebnisse. Den-

noch wurden insgesamt über 2000 Stichproben genommen, wovon 947 in der Nutzungszone („use zone“) lagen.

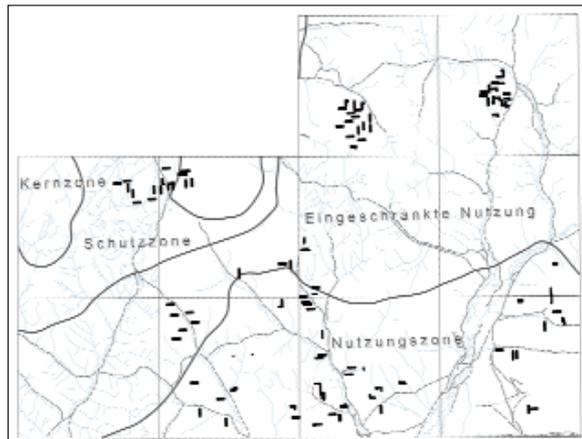
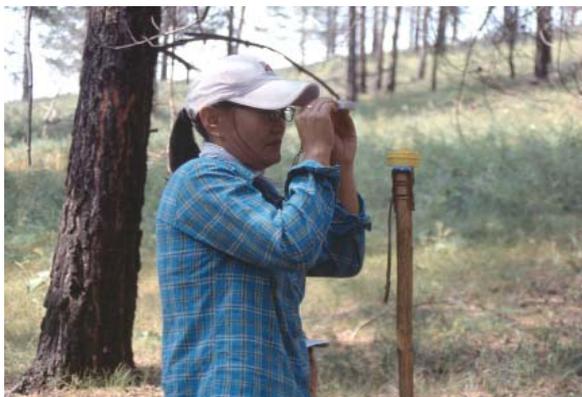


Abbildung 67: Räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte innerhalb der Schutzzone des *Khan Khentii* Schutzgebietes. Projektgebiet *Mongonmorit*

Die Stichprobenzahl pro Objekttyp wurde proportional zu seinem Anteil an der vorher ermittelten Gesamtfläche festgelegt. Täglich wurden pro Inventurgruppe 20 bis 30 Stichprobenpunkte auf der Basis der erstellten Satellitenbildkarten ausgewählt, die nach einem Zufallsprinzip meistens hufeisenförmig angeordnet waren (vgl. Abbildung 70). Der Abstand zwischen den Stichproben betrug 100 x 100 m. Der erste Punkt wurde mit einem GPS-Gerät (*Garmin 12*) eingemessen. Weitere Stichproben konnten dann anhand einer Bussole und einer 50 m langen Wäscheleine lokalisiert werden. Neben stichprobenbezogenen Angaben (z.B. Stichprobennummer, UTM-Koordinaten, Abteilungs- und Unterabteilungsnummern) wurden auch baumbezogene Daten wie Baumart, Brusthöhendurchmesser (BHD), Baumhöhe, geschätztes oder gemessenes Baumalter, erkennbare Schäden am Stamm und Totholzanteile in Formulare aufgenommen (vgl. Abbildung 68). Die methodische Vorgehensweise während der Geländeaufnahmen orientierte sich an der so genannten Sechsstichprobe (SEBAST)¹⁴², mit deren Hilfe drei wesentliche forstliche Parameter

¹⁴² SEBAST gehört zu den Abstandsverfahren und wird weltweit als anerkanntes Inventurverfahren eingesetzt. Die Aufnahmen erfolgen dabei in konzentrischen Probekreisen mit fixem oder variablem Radius in denen, ausgehend von einem Mittelpunkt, die sechs am nächsten gelegenen Bäume eingemessen werden. Der Probekreis beträgt 15 m für die Erhebung von Totholz, 3 m für die Aufnahmen der Verjüngung, ansonsten variierte er in Abhängigkeit von der Entfernung des sechsten Baumes zum Stichprobenmittelpunkt bis maximal 15 m. Eine ausführliche Beschreibung der Sechstichprobe ist unter anderem bei ZÖHRER (1980) zu finden.

abgeleitet werden können: Grundfläche pro Hektar (die Summe der Querschnitte aller Bäume pro Hektar), der Vorrat (das Holzvolumen) und die Baumzahl pro Hektar.



Während der Geländeaufnahmen wurde auch die mobile Datenerfassung mit Hilfe von ArcPAD (ESRI) erprobt, um einerseits die Lokalisierung der Stichprobenpunkten im Gelände auf der Basis von Satelliten-



Abbildung 68: Erfassung von baumbezogenen Parametern im Projektgebiet *Mongonmorit*. Abstandsmessungen sowie Erfassung des Brusthöhendurchmessers (BHD) und dendrochronologische Untersuchungen während der Sechsbäumstichprobe.
Fotos: Wyss 2003

bilddaten im MrSID¹⁴³-Format zu erleichtern und Flächeninformationen aus den digitalen Forsteinrichtungskarten vor Ort zu verifizieren. Die Eingabe der standort- und baumbezogenen Daten erfolgte formularbasiert im Gelände. Trotz hoher Motivation der Teilnehmer/innen, diese neue Technologie anzuwenden, gestaltete sich der Umgang mit den digitalen Geräten unter den schwierigen Bedingungen im Gelände eher unbefriedigend.

Durch die spätere statistische Auswertung der in MS Access eingegebenen baumbezogenen Daten für die Nutzungszone wurde unter anderem das Holzvolumen pro Hektar und Objekttyp berechnet. Dabei hat sich gezeigt, dass die Stratifizierung nach Altersstufe in den Forsteinrichtungskarten zumindest für das Projektge-

¹⁴³ MrSID (engl.: *Multi Resolution Image Database*) ist ein Komprimierungsformat für Rastergrafik Dateien. Es wird vor allem für Karten und Satellitenbilder verwendet und erlaubt Kompressionsraten bis 30:1 bei hoher Qualität der Bilder.

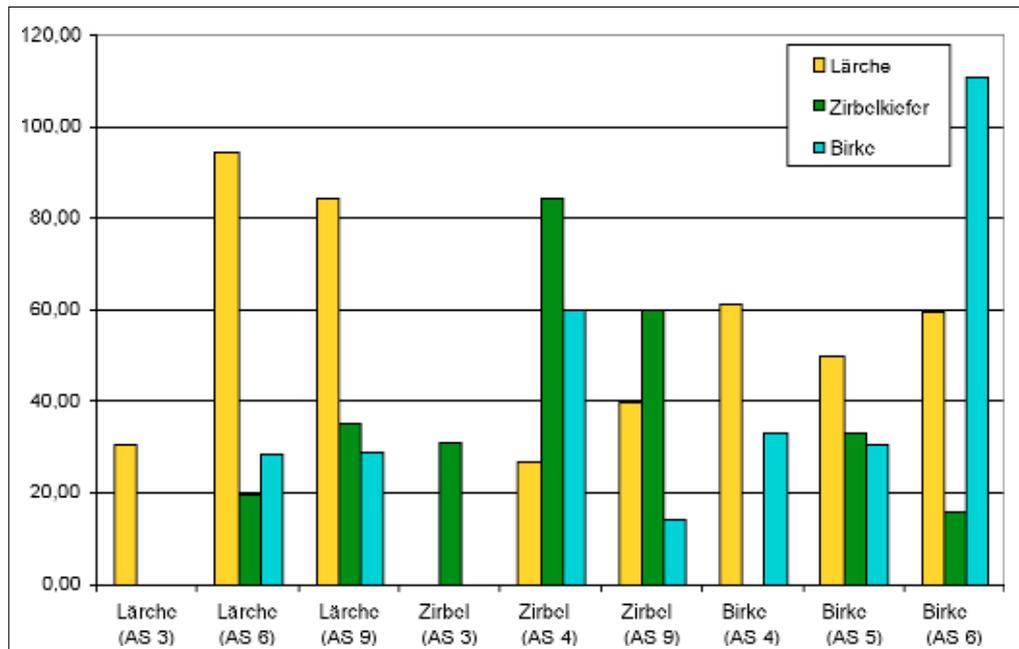


Abbildung 69: Berechnung des Holzvolumens in m³ pro ha für die dominierenden Baumarten nach Altersstufen (AS). Ergebnis der Stichprobenauswertung für das Projektgebiet Mongonmorit (2003)

biet *Mongonmorit* nur schwer nachvollziehbare Ergebnisse lieferte, da die visuelle Abschätzung („*Taxation*“) des Baumalters im Gelände ohne weitergehende dendrochronologische Untersuchungen nur bedingt möglich ist. Des weiteren ist der Holzvorrat unter den hochkontinentalen klimatischen Bedingungen wesentlich von Bodeneigenschaften und von expositionsbedingten klimatischen Unterschieden abhängig.

Die in Abbildung 69 dargestellte Holzvolumenberechnung für die dominierenden Baumarten Lärche, Zirbelkiefer und Birke zeigt, dass in der niedrig gelegenen Nutzungszone kaum Bestände durch eine einzige Baumart gebildet werden. Obwohl das Lärchenholz über alle Objekttypen hinweg den meisten Anteil an dem Gesamtvorrat einnimmt, ist das Holzvolumen der dominierenden Baumart im entsprechenden Stratum, das nach ihr benannt wird, jeweils am höchsten. Eine Ausnahme bilden dabei die beiden jüngeren Birkenflächen (Altersstufe [AS] 4 und 5). Der Grund hierfür kann in dem geringen Stichprobenumfang für Birkenflächen liegen. Auch der höchste Vorrat des Birkenholzes pro ha in den Birkenflächen mit der AS 6 liegt angesichts des recht hohen Vorrates an Lärche in derselben Fläche zu hoch. Hier kann ebenfalls ein zu geringer Stichprobenumfang eine mögliche Erklärung liefern. Die Birkenflächen machten insgesamt nur 1.8% der Gesamtfläche aus. Neben der Berechnung von Flächenstatistiken können innerhalb eines GIS auch flächenbezogene Hochrechnungen des Holzvolumens pro Baumart erfolgen (vgl.

Abbildung 70). Dies ist einerseits für die Polygonzüge der neuinterpretierten Unterabteilungen der FEK, wie auch für die digital klassifizierte und stärker differenzierte Waldobjekte möglich. Für das Projektgebiet *Mongonmorit* ist auf jeden Fall eine auf die Schutzzone bezogene Auswertung sinnvoll, da die Nutzungsintensität vom Schutzstatus und vom Grad der Walderschließung abhängt und damit wesentlich die Baumartenzusammensetzung und Baumschädigung beeinflusst.

Als Teilergebnis ist festzuhalten, dass im Projektgebiet *Mongonmorit* überwiegend naturbelassene Waldgesellschaften dominieren, in denen Bäume unterschiedlichen Alters nebeneinander vorkommen, so dass der Altersindex bei der Charakterisierung der Wälder nur eine untergeordnete Rolle spielen kann. Nach Abschluss der Geländearbeiten wurde ebenfalls festgestellt, dass der anthropogene Nutzungsdruck auf die Waldressourcen in der Nutzungszone des Projektgebietes *Mongonmorit* im Vergleich zum weiter östlich gelegenen Projektgebiet *Batshireet* oder in den Gebieten der westlichen Pufferzone wesentlich geringer ausgeprägt war und sich in erster Linie auf (illegalen) Goldabbau konzentrierte. Die Qualität der visuellen Neuinterpretation durch die mongolischen Forstingenieure des FMPC ist als sehr gut zu bewerten. Die Übereinstimmung der Stichprobenpunkte mit den Waldobjekten lag bei ca. 80%.

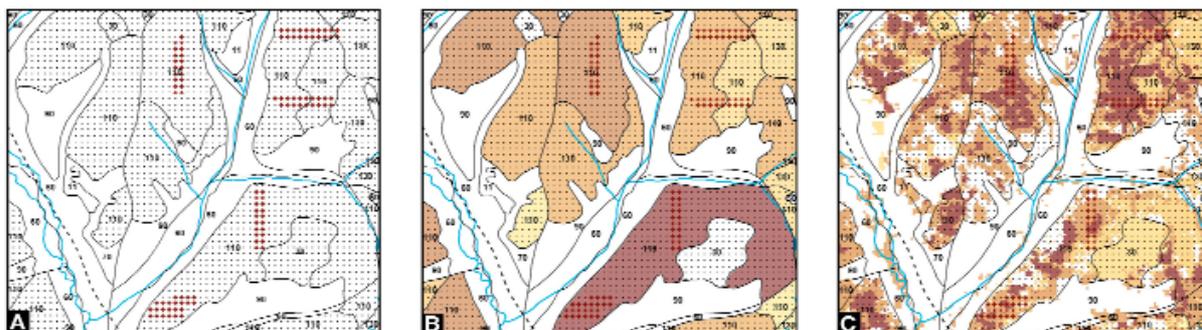


Abbildung 70: Objektbezogene Waldinventur auf Stichprobenbasis und flächenbezogene Hochrechnung des Holzvorrates am Beispiel der Lärche. (A): Auswahl der Stichprobenpunkte (in rot dargestellt) aus dem 100 x 100 m Raster. (B): Objektbezogene Hochrechnung auf Basis der neu interpretierten Fortseinrichtungskarte. (C): Hochrechnung auf Basis der digitalen Klassifizierung

Im Jahr 2004 wurde, aufbauend auf den bisherigen methodischen Arbeiten, auch im weiter östlich gelegenen Projektgebiet *Batshireet* eine terrestrische Inventur auf einer Fläche von 2168 km² mit insgesamt 936 Stichprobenpunkte durchgeführt. Auf die Integration der Forsteinrichtungskarte musste allerdings aus Zeit- und Kostengründen verzichtet werden. So wurden die Stichprobenpunkte im Gelände nur auf der Basis der multitemporal vorliegenden Satellitenbildkarten nach ähnlichem Verteilungsmuster wie im Projektgebiet *Mongonmorit* erhoben (vgl. *Karte XII* im Anhang der Arbeit). Die Synthetisierung der Auswertungsergebnisse bildet die Grundlage zur Erstellung von aktualisierten Planungsgrundlagen zur Unterstützung der Forsteinrichtungsarbeiten und der Waldmanagementplanung. Im Rahmen der sehr praxisorientierten Trainingsmaßnahmen wurde wesentliche Grundlagenarbeit durchgeführt, die auch für Folgeprojekte eine hohe Relevanz hat.