

### 3 Potenziale der mittel- und hochauflösenden Fernerkundung

Die Einbeziehung von Fernerkundungsdaten zu Kartierung, Bewertung und Monitoring von Lebensraumtypen nach Anh. I der FFH-Richtlinie anhand spezifischer Qualitätsparameter (beschrieben u.a. in BURKHARDT et al. 2004; DRACHENFELS et al. 2005; FISCHER 2002; FISCHER et al. 2005) ist eine immer häufiger geforderte (GRANKE et al. 2004; LANG und LANGANKE 2005) Methode. In forstlichen Fragestellungen wird die satellitengestützte Fernerkundung für viele Anwendungsfelder, etwa Totholzerkennung, Inventurerhebung, Schädlingsprävention oder Analyse von Trockenfolgeschäden, verwendet. Dabei sind als Voraussetzung für eine erfolgreiche Verwendung der Daten das Vorhandensein von Spektralinformationen im infraroten Bereich und eine je nach Anwendung ausreichende geometrische Auflösung zu nennen. Die Aufstellung von BLASCHKE und FELBERMEIER (2003) in Tabelle 4 gibt einen guten Überblick über die Erkennungsgenauigkeit der Sensoren IRS (23 m), SPOT4 (5 m) und IKONOS (1 m) für forstliche Standardparameter.

Innerhalb des Praxistests wurde vorrangig die Möglichkeit von Sensoren im Bereich der geometrischen Auflösung von 5 m bis 15 m in Kombination mit Modellierungsergebnissen (siehe Kapitel 2) als Hilfestellung zur **Erfassung** erprobt. Dafür wurden die modellierten potenziellen natürlichen Waldgesellschaften mit den Ergebnissen der Klassifikation kombiniert (siehe Kapitel 3.4). Die Haupt- (H), Neben- (N) und Pionierbaumarten (P) der BAZ<sub>pot</sub>

müssen mit einem bestimmten Mindestanteil (H > 30 %; H + N > 50; H + N + P > 70%) an der Kronenschirmfläche vorkommen, damit ein Bestand mit der BAZ<sub>ist</sub> als Lebensraumtyp kartiert wird (SSYMANK et al. 1998; LANG et al. 2004).

Eine Erkennung von Vegetationsmerkmalen, wie sie von der LANA und der FCK zur **Bewertung** des „günstigen Erhaltungszustandes“ eines Wald-Lebensraumtyps gefordert werden (BURKHARDT et al. 2004 sowie [http://www.bfn.de/03/030306\\_akwald.htm](http://www.bfn.de/03/030306_akwald.htm); MÜLLER-KROEHLING et al. 2004), sind nur mit sehr hochauflösenden Daten oder stereoskopischer Auswertung zu erbringen. Genauere Tests, die neben der Erfassung auch die Komponente der Bewertung mittels Fernerkundung beinhalten, werden demnächst stattfinden. Für den Taubenberg wurden dazu QuickBird-Aufnahmen vom 14. Juli 05, für den Angelberger Forst vom 11. August 05 geordert. Im Projekt „Informationssystem Hochgebirgsstandorte“ (BINNER et al. 2005) werden zur Zeit digitale, stereoskopische Farb-Infrarotbilder 1 : 10.000 aus einer Befliegung vom 20.6.2005 getestet.

Die Ergebnisse der diversen Studien sollen zudem gebündelt in ein standardisiertes **Monitoring** einfließen, das von einer grobmaßstäbigeren Erkennung von Änderungsmerkmalen auf Ebene der Biogeographischen Region bis hinab zur terrestrischen Erkennung von speziellen Merkmalen eines Lebensraumtyps in einem FFH-Gebiet gestaffelt ist (siehe Abb. 9 - rechts).

	23 m Auflösung	5 m Auflösung	1 m Auflösung
<b>Kleinste erkennbare Baumart</b>	Baumgruppen (mind. 30 m breit)	markante Altbäume; Trupps	Einzelbaum ab Stangenholz
<b>Wald</b>	möglich	gut	gut
<b>Lücken</b>	möglich	gut	gut
<b>Baumarten</b>	Nadel / Laub	Nadel / Laub / Latsche	Nadel / Laub / Latsche
<b>Mischung</b>	schwierig	gut	gut
<b>Beschirmung</b>	schwierig	geschlossen / licht – räumig / offen	geschlossen / licht / räumig / lückig / durchbrochen
<b>Schäden</b>	eventuell Totholz	eventuell Totholz	stehendes / liegendes TH
<b>Alter</b>	nicht möglich	schwierig (nur im Nadelwald)	gut (Dickung Stangen- / Altholz)

Tab. 4: Möglichkeiten der forstlichen Erkennung mit mittel- und hochauflösenden Fernerkundungsdaten (verändert nach BLASCHKE und FELBERMEIER 2003)

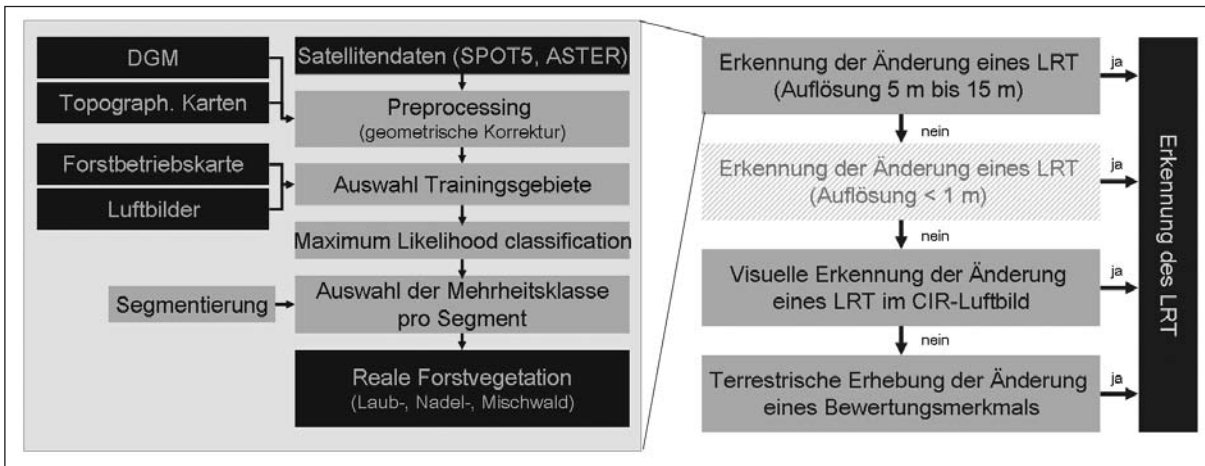


Abb. 9: Workflow der Erkennung der Änderung von LRTen in der Auflösung von 5 m bis 15 m als Teil eines gestuften Erkennungsverfahrens von FFH-Wald-Lebensraumtypen und deren Erhaltungszustand; da eine Erkennung mit sehr hoch aufgelösten Satelliten (< 1 m) nicht Teil des Projektes war, ist diese in der Graphik nur angedeutet.

Den Ablauf der Prozessierung der Satellitendaten zeigt Abbildung 9 (links). Um eine mögliche Übernahme der Methoden innerhalb der Forstverwaltung zu gewährleisten, wurden dafür Standardmethoden verwendet, die mit vorhandener GIS-Software (z. B. über den ArcGIS Image Analyst) zu verarbeiten sind. Die Satellitendaten der Sensoren SPOT5 und ASTER wurden für die Aufgabenstellung als geeignet identifiziert. Mit einer geometrischen Auflösung von 5 m (SPOT5) und 15 m (ASTER) und vorhandenen spektralen Bändern im nahen Infrarotbereich verfügen die Daten über die erforderlichen Voraussetzungen zur Walderkennung. Im Gegensatz zu sehr hochauflösenden Satellitendaten und Luftbildern sind sie leicht verfügbar und bieten eine kosteneffektive Hilfestellung, speziell bei flächendeckenden Erhebungen innerhalb eines gestuften Detektionsverfahrens beim NATURA 2000-Monitoring (Anforderungen gem. DocHab-04-03/03 rev.3).

### 3.1 Pre-Processing

Die Szenen von SPOT5 (Aufnahmedatum: 07.09.04 – Angelberger Forst) und ASTER (Aufnahmedatum: 19.09.04 – Taubenberg) wurden im Herbst 2004 aufgenommen. Für Vergleichszwecke wurde eine weitere ASTER-Szene vom Angelberger Forst (14.08.00) verwendet. Da die SPOT5 Szene als höher aufgelöster panchromatischer Kanal (5 m) und geringer aufgelöste multispektrale Bänder geliefert wurden, wurde zunächst ein pan-sharpening durchgeführt. Von den zur Verfügung stehenden Methoden des pan-sharpenings wiesen die Resultate des Wavelet-single-band-Verfahrens die geringsten Abweichungen zu den spektralen Werten des multispektralen Originals auf. Dies deutet

auf eine sehr genaue Co-registrierung der Sensoren von SPOT5 hin und wird bei dieser Voraussetzung für den Rechenprozess empfohlen (TERHALLE 2005). Es wurde daher zum weiteren Vorgehen verwendet.

Sowohl die ASTER als auch die SPOT5 wurden mit Hilfe des DGM georeferenziert. Da in den weiteren Prozessierungsschritten eine Kombination mit anderen Geodaten durchgeführt wird, wurde bei den Szenen jeweils auf Subpixelgenauigkeit (ASTER < 15 m; SPOT5 < 5 m) geachtet. Da innerhalb der Gebiete erhebliche Höhenunterschiede vorhanden sind, war eine topographische Normalisierung erforderlich. Deshalb wurde eine Minnaert-Korrektur durchgeführt (KLEINSCHMIT und COENRADIE 2005). Die Ergebnisse wurden anhand von Fallbeispielen auf Plausibilität geprüft. Dabei wurden anhand der forstlichen Betriebskarte eindeutig zu identifizierende Buchenbestände gleichen Alters auf verschiedenen Hangexpositionen verwendet.

### 3.2 Klassifikationsmethodik

Auf der Basis von gescannten und georeferenzierten Echtfarbenluftbildern und forstlichen Betriebskarten wurden Trainingsgebiete von allen vorhandenen Baumarten, Mischungsarten und Altersstrukturen aufgenommen. Da diese Mischung in Kombination mit unterschiedlichem Kronenschluss, Beschattungseffekten und variierendem Zwischen- und Unterstand nicht alle Klassen mit einer hinreichenden Genauigkeit für die folgende Anwendung erkennen ließ, wurden die Klassen schrittweise aggregiert (siehe Abb. 10). Mit Hilfe dieser kombinierten Trainingsgebiete wurde eine Maximum Likelihood Klassifikation durchgeführt. Das Resultat wurde mit Hilfe der Ergebnisse aus

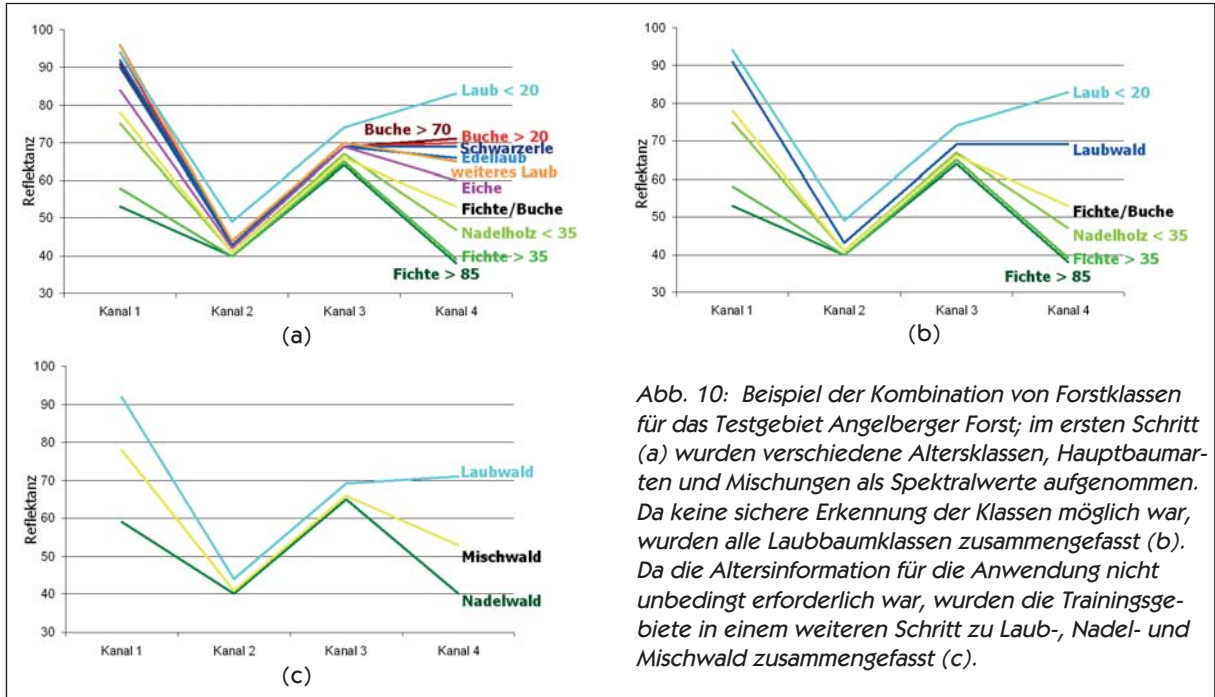


Abb. 10: Beispiel der Kombination von Forstklassen für das Testgebiet Angelberger Forst; im ersten Schritt (a) wurden verschiedene Altersklassen, Hauptbaumarten und Mischungen als Spektralwerte aufgenommen. Da keine sichere Erkennung der Klassen möglich war, wurden alle Laubbaumklassen zusammengefasst (b). Da die Altersinformation für die Anwendung nicht unbedingt erforderlich war, wurden die Trainingsgebiete in einem weiteren Schritt zu Laub-, Nadel- und Mischwald zusammengefasst (c).

der terrestrischen Kartierung und lokalem Wissen der Forstbehörden validiert.

Für das Testgebiet Angelberger Forst wurden die Klassen Laub-, Nadel- und Mischwald erkannt, während für das Testgebiet Taubenberg die Klassen Laub-, Nadel- ohne Tanne, Nadel- mit Tanne und Mischwald detektiert wurden. Das Resultat stimmt mit den Erfahrungen von BLASCHKE und FELBERMEIER (2003) überein (siehe Tabelle 4). Die Szenen wurden mit der Software eCognition 4 segmentiert. Den entstandenen Segmenten wurde die Mehrheitsklasse zugeordnet. So entstand ein homogeneres Gesamtbild, das sich leichter für die anschließende Kombination mit den Modellierungsergebnissen und die Luftbildauswertung verwenden ließ.

### 3.3 Auswertungsergebnisse der Sensoren ASTER und SPOT5

Die Ergebnisse der Klassifikation können für das Testgebiet Angelberger Forst für die Sensoren ASTER und SPOT5 gegenüber gestellt werden (siehe Abbildung 11). Ein genauer statistischer Vergleich ist auf Grund des zeitlichen Abstands der Szenen von mehr als vier Jahren nicht möglich, aber es ist zu beobachten, dass für die SPOT5-Szene mit höherer geometrischer Genauigkeit auch ein detaillierteres Resultat möglich ist. Dies liegt auch an einer genaueren Segmentierung.

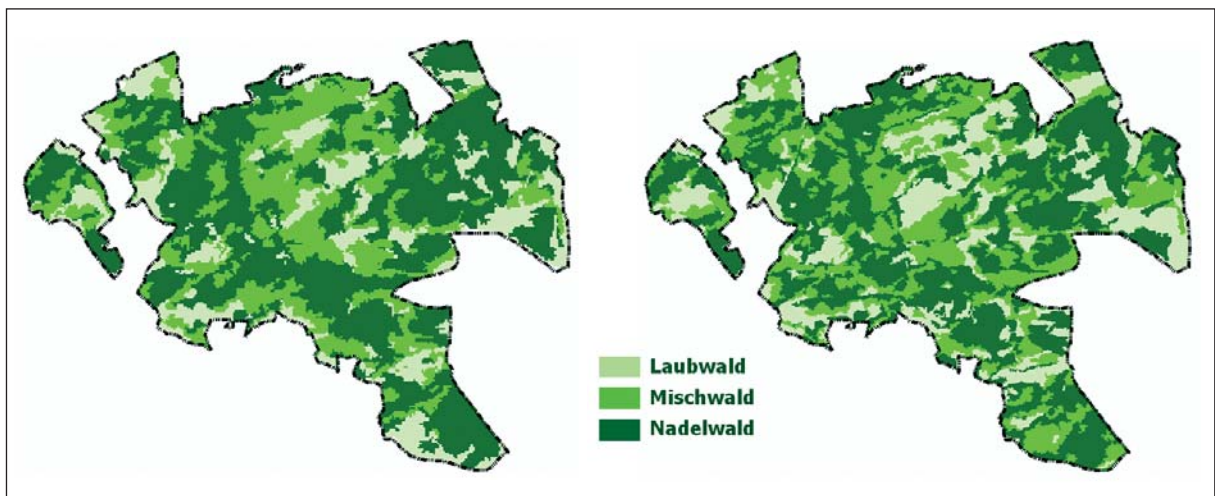


Abb. 11: Klassifikation von ASTER (links) und SPOT5 (rechts) im Testgebiet Angelberger Forst



### 3.4 Kombination der Ergebnisse der Modellierung und der Fernerkundung

Die Resultate der Modellierungen wurden mit den Klassifikationen der Testgebiete in Bezug gesetzt. In der Waldlebensraumtypen-Karte wurde der Lebensraumtyp nur dort ausgewiesen, wo die klassifizierte reale Vegetation mit der potenziellen natürlichen Vegetation des modellierten Lebensraumtyps korrespondiert (siehe Abbildung 12). Ein Beispiel wäre die Erkennung einer potenziellen natürlichen Buchenwaldgesellschaft, die nicht als Lebensraumtyp ausgewählt wird, wenn das Klassifikationsergebnis das Gebiet als Nadelwald ausweist.

Die Resultate wurden mit den terrestrisch kartierten Wald-Lebensraumtypen der Testgebiete verglichen (siehe Tabelle 5). Ein großer Teil der kartierten Lebensraumtypen konnte auch von dem mit der Klassifikation kombinierten Modell erkannt werden. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn

Satellitendaten mit hoher geometrischer Auflösung (SPOT5) verwendet wurden (verwendet im Angelberger Forst). Die regelbasierte und die Fuzzy Logic Methode erzielten im Vergleich zur terrestrischen Kartierung ähnliche Ergebnisse. Mit der Ausnahme von *Luzulo-Fagetum* (LRT 9110) wurden beim Fuzzy Logic Ansatz jedoch leicht bessere Werte erreicht. Ein zusätzlicher und wichtiger Faktor ist die Verwendung der forstlichen Standortkartierung (FSK). Wenn diese verwendet wurde, waren die Resultate in der Regel besser. Dies wundert nicht, da speziell die Bodeninformationen in einer höheren geometrischen und inhaltlichen Auflösung vorliegen. Es wurde deutlich, dass sowohl das Fuzzy Logic Modell als auch das regelbasierte Modell dazu tendieren, Lebensraumtypen mit sehr speziellen und kleinräumigen Standortansprüchen zu unterschätzen (z. B. Auenwälder - LRT \*91E0 sowie Hang- und Schluchtwälder - LRT \*9180).

Der LRT der Hang- und Schluchtwälder (LRT \*9180) wurde von der multivariaten Clustering-

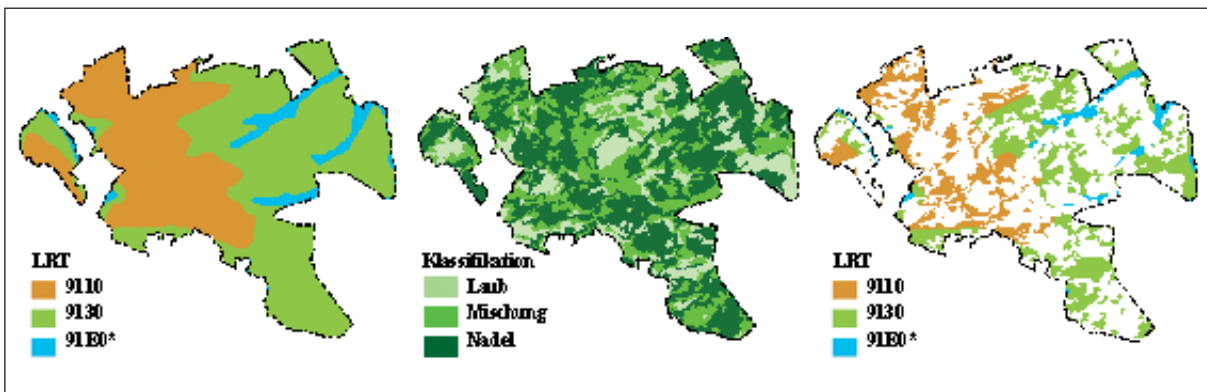


Abb. 12a: Modelliertes Lebensraumtypen-Potenzial (links), reale Vegetation, klassifiziert mit SPOT5 Daten (Mitte) und Kombination zu einer Wald-Lebensraumtypen-Karte (rechts) für den Angelberger Forst (Beispiel der Fuzzy Logic Methode)

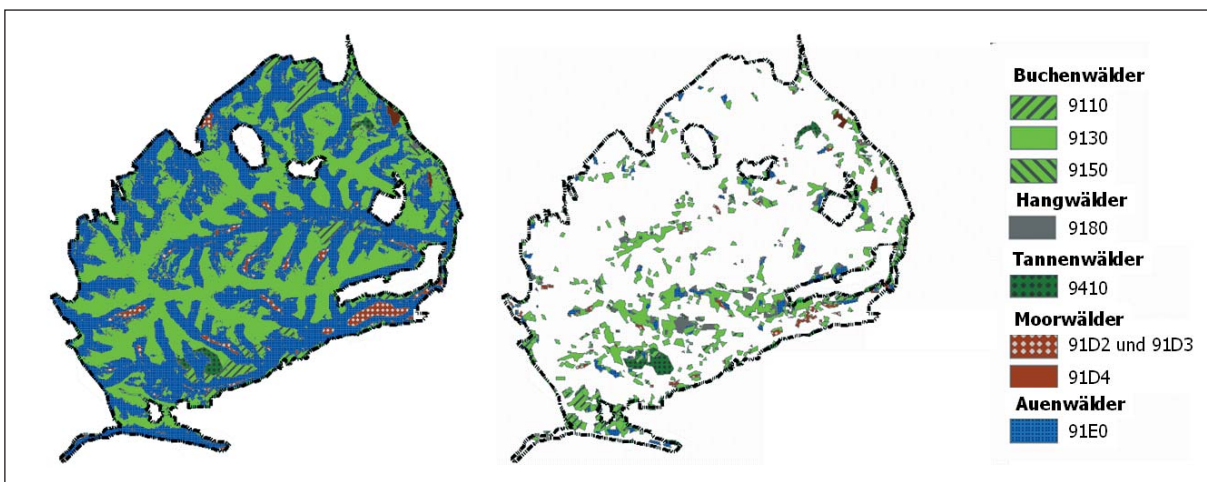


Abb. 12b: Modelliertes Lebensraumtypen-Potenzial (links) und vorläufige Wald-Lebensraumtypenkarte (rechts) für den Taubenberg (Beispiel der regelbasierten Methode)

technik wesentlich besser erkannt. Hier wurden 80 % der Gebiete erkannt, während regelbasierte und Fuzzy Logic Methode nur 40 % der Gebiete erkennen konnten. Innerhalb dieses Projektes wurde das multivariate Clustering nur für diesen Lebensraumtyp angewandt. Trotzdem ist davon auszugehen, dass dieser Modellierungsansatz

besonders in reliefbestimmten Gebieten wie dem Alpenraum besonders erfolgreich angewendet werden kann.

Lebensraumtyp	Regelbasierte Methode			Fuzzy Logic Methode			Clustering der Relieftypen Taubenberg ohne FSK (in %)
	Angelberger Forst mit FSK (in %)	Angelberger Forst ohne FSK (in %)	Taubenberg ohne FSK (in %)	Angelberger Forst mit FSK (in %)	Angelberger Forst ohne FSK (in %)	Taubenberg ohne FSK (in %)	
9110	95.4	92.3	62.5	68.0	60.3	72.4	n.v.
9130	70.6	66.0	76.9	74.8	72.0	92.3	n.v.
*9180	n.v.	n.v.	40.0	n.v.	n.v.	40.0	80.0
9410	n.v.	n.v.	66.7	n.v.	n.v.	66.7	n.v.
*91D2 – *91D4	n.v.	n.v.	80.0	n.v.	n.v.	85.7	n.v.
*91E0	91.7	58.8	46.2	75.0	53.3	73.1	n.v.
9160	88.2	73.9	n.v.	86.7	n.v.	n.v.	n.v.

Tab. 5: Exemplarischer Vergleich der drei Modellansätze mit den Ergebnissen der terrestrischen Kartierung; der Angelberger Forst wurde mit und ohne die forstliche Standortkartierung verglichen. „n.v.“ steht für „nicht verfügbar“, da der Lebensraumtyp in dem jeweiligen Gebiet nicht existiert oder der Lebensraumtyp aus Gründen der Modellbeschränkungen nicht modelliert wurde.