

Erkennen von Strukturveränderungen in heterogener Waldgebiete:

Welche Auflösung wird für Aussagen auf Betriebsebene benötigt?

Alata Elatawneh, Jiaojiao Tian, Thomas Schneider und Peter Reinartz

Traditionell wird die Bewirtschaftung von Wäldern im Rahmen von Forsteinrichtungen geplant. Unterstützend wird hierfür auf terrestrische, turnusmäßig erhobene Inventurdaten zurückgegriffen (z.B. 10 Jahre). Bei unplanmäßigen Ereignissen, wie z.B. Sturm, verändert sich die Ausstattung von Waldbeständen z.T. erheblich, sodass eine Überarbeitung der Planung zweckmäßig erscheint. Hier kann die Fernerkundung hilfreiche Unterstützung bieten.

Doch welche Auflösung von Fernerkundungsdaten ist notwendig, um Informationen abzuleiten, die für Entscheidungen auf betrieblicher Ebene benötigt werden?

Es wird eine Untersuchung vorgestellt, die Strukturinformationen zu Wald mittels unterschiedlicher Fernerkundungssysteme ableitet und vergleicht. Untersucht wurden die Abteilungen Bürgerwald und Heiligengeistwald des Stadtwaldes Traunstein im Südosten Bayerns. Der Strukturreichtum dieses Waldes erfüllt heute schon die Kriterien für den von der Bayerischen Staatsforstverwaltung propagierten Wald der Zukunft. Sturm „Kyrill“ hat im Januar

RapidEye-Daten wurden im Rahmen des BMWi/DLR Raumfahrtprogramm zur synergetischen Nutzung von RapidEye- und TerraSAR-X-Daten unter FöKz. 50EE0919 bereitgestellt. HRSC- und HyMap-Daten wurden durch ein HTO Bayern Vorhaben FöKz. 000290 bereitgestellt. Die Bayerische Forstverwaltung stellte GIS-Daten, LIDAR-Daten und Luftbilder zur Verfügung. Ralph Moshhammer und Gerhard Fischer (Stadtforster) sowie der Forstbetrieb der Stadt Traunstein haben sich mit Beratung und bestmöglicher Unterstützung u.a. mit Forstbetriebsdaten beteiligt.

A. Elatawneh ist Projektbearbeiter des Vorhabens am FG für Waldinventur und nachhaltige Nutzung (FG WnN) der Technischen Universität München (TUM). J. Tian ist Doktorandin am FG für Photogrammetrie und Bildanalyse des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Dr. T. Schneider ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am FG WnN. Er leitet die Arbeitsgruppe Geoinformatik und ist Projektleiter des vorgestellten Vorhabens. Prof. Dr. P. Reinartz ist Leiter der Abteilung Photogrammetrie und Bildanalyse des FG für Photogrammetrie und Bildanalyse des DLR.



Alata Elatawneh
alataaa@tum.de

2007 starke Veränderungen hinterlassen. Für die Fernerkundung stellt dieser Wald aufgrund seines Strukturreichtums eine Herausforderung dar.

Der Stadtwald Traunstein ist eine langjährige Versuchsfläche der Forstlichen Lehrstühle der TU München, v.a. des Lehrstuhls für Waldwachstumkunde (Betriebsleitung) und später auch des Fachgebiets für Waldinventur und nachhaltige Nutzung sowie des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR). Die Untersuchungen konnten auf Daten diverser Forschungsvorhaben zurückgreifen:

- 2001 und 2010: LiDAR- (Light Detection and Ranging) Daten des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Bayern (LVG) (Punktdichten: 2 / m², 5,65 / m²);
- 2003: HRSC-Daten; multispektral/drei Zeilen Stereo (0,5 m Pixel, blau, grün, rot, NIR);
- 2003: HyMap-Hyperspektraldaten; zwei Aufnahmestreifen (5 m Pixel, 125 Spektralbänder von 400 bis 2 500 nm);
- 2008: Alos/PRISM-Daten; drei Zeilen Stereodaten (2,5 m Pixel, panchromatisch);
- 2008: Cartosat-2-Daten; zwei Zeilen Stereodaten (2,5 m Pixel, panchromatisch);
- 2009 und 2011: RapidEye-Daten; multispektral (5 m Pixel, blau, grün, rot, redEdge, NIR);
- 2009: digitale Luftbilder des LVG Bayern (0,2 m Pixel, blau, grün, rot, NIR).

Die Verwendung einer derart vielfältigen Datensammlung im operationellen Forstbetrieb ist finanziell nicht umsetzbar. Es handelt sich um einen typischen Forschungsdatensatz, der auf die jeweils untersuchten Fragestellungen und das zu dem jeweiligen Zeitpunkt aktuellste dazu passende System abgestimmt war. Heute profitieren wir von dieser Datensamm-

lung und nutzen sie für die wissenschaftliche Untersuchungen. Der Beitrag befasst

Methoden

Für **Forschungsfrage 1** sind Oberflächenmodelle aus den jeweiligen Datensätzen abzuleiten. Dieses erfolgt heute in einer volligitalen Umgebung. Entsprechend heißen diese Modelle digitale Oberflächenmodelle (DOM). Das HRSC DOM wurde mit der Prozessierungskette des DLR Instituts für Planetenforschung, Berlin, erstellt und als Endprodukt mit 0,5 m Rasterweite geliefert. Die Oberflächenmodelle aus Alos/PRISM und Cartosat-1 Daten wurden mit Software der DLR Oberpfaffenhofen unter Anwendung des Semi Global Matching (SGM) Algorithmus [3] mit einer Rasterweite von 5 m berechnet. Strukturänderungen wurden durch Subtraktion jeweils zweier DOM detektiert. Zum Qualitätsvergleich wurden jeweils die Paare LIDAR 2001/2010 sowie HRSC/Cartosat-1 und HRSC/Alos/PRISM analysiert.

Für **Forschungsfrage 2** wurden zunächst die Waldflächen mit den Daten der optischen Satelliten HyMap und RapidEye bestimmt. Danach wurden Nadel- und Laubwaldsegmente unterschieden. Anschließend wurden die Bestandes-Haupttypen Laub-, Nadel-, Mischwald über Anteile pro Bestand bestimmt. Ab 20 % Anteil Nadel- oder Laubwald wurde der Bestand zum Mischwald. Für den HyMap-Datensatz hat sich der Minimum Noise Fraction Index (MNF) als zielführend erwiesen. Die RapidEye-Daten wurden mit einem Grün*RedEdge/Rot Ratio-Index klassifiziert.

Für **Forschungsfrage 3** wird die Objekt-mittelhöhe eingesetzt, um die bereits ausgewiesenen Laub-, Nadel-, Mischwald-Bestände in die Unterklassen <12 m, 12 bis 24 m und >24 m zu unterteilen. Dazu wurden so genannte normalisierte Digitale Objekt-Höhenmodelle (nDOHM) erstellt. Als Basis diente das DGM aus den LiDAR-Daten von 2010. Dieses wurde von den jeweiligen DOM subtrahiert. Die dergestalt berechneten nDOHM der HRSC- und Alos/PRISM wurden anschließend für die weitere Unterteilung der Bestandestypen genutzt. Dazu wurden diese erneut segmentiert und anschließend entsprechend obiger Höhenabstufung klassifiziert.

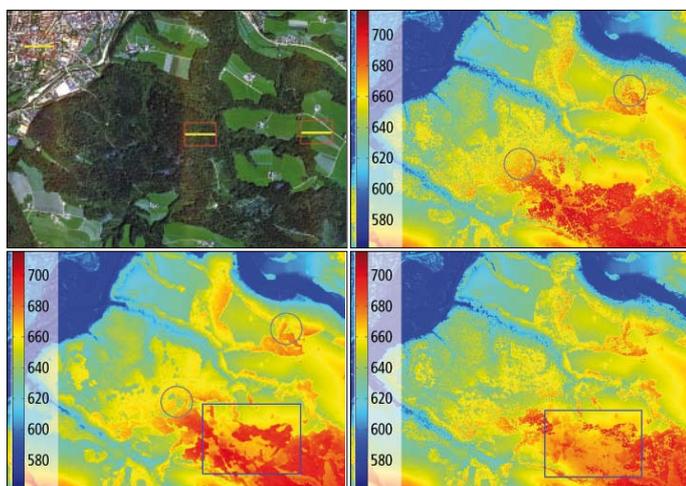


Abb. 1: (a) Ausschnitt des Untersuchungsgebiets mit eingezeichneten Trakten in „Siedlung“, „Wald“ und „Grünland“. (b) LiDAR-2001_DOM, (c) HRSC-2003_DOM, (d) LiDAR 2010_DOM). Kreise markieren Änderungen, die voraussichtlich betriebsbedingt aufgetreten sind. Das Rechteck umrahmt die „Kyrill“-Hauptfläche.

sich mit Forschungsfragen im Zusammenhang mit Monitoring und dem Erkennen von Strukturveränderungen:

- 1) Sind Änderungen der Waldstruktur mithilfe von Oberflächenmodellen aus Fernerkundungsdaten detektierbar und wenn ja, quantifizierbar? Eine Unterfrage hierbei war die notwendige Detailgenauigkeit der Oberflächenmodelle, abgeleitet aus optischen Stereodaten des HRSC Flugzeug-Sensors im Vergleich zu den satellitengestützten Systemen Alos/PRISM und Cartosat-1.
- 2) Bieten Hyperspektraldaten bei einer räumlichen Auflösungen von 5 m Vorteile bei der Klassifikationsdetaillierung und -genauigkeit im Vergleich zu Multispektraldaten gleicher räumlicher Auflösung?

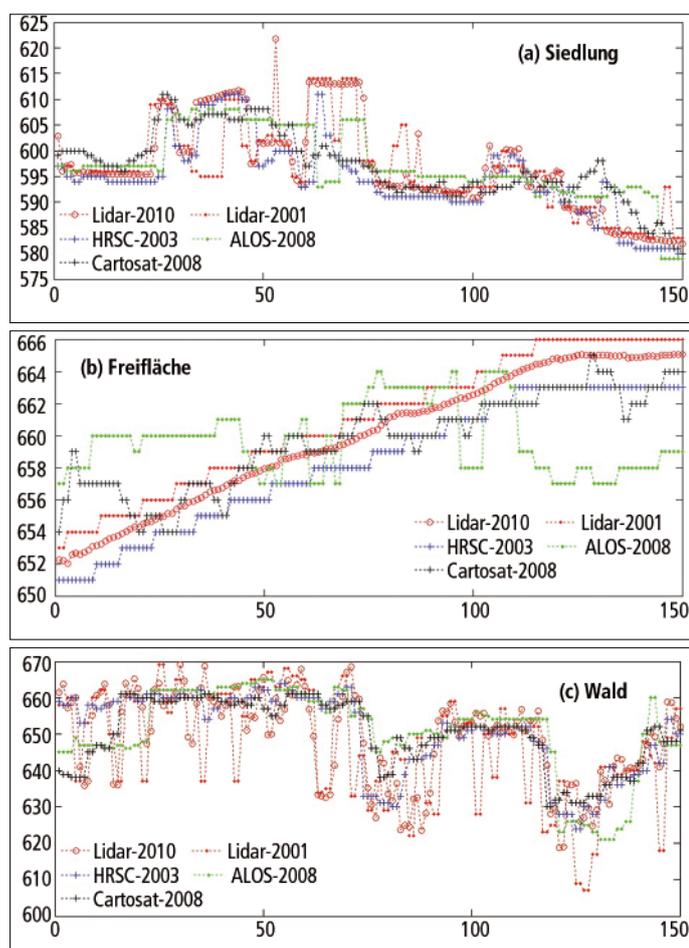


Abb. 2: Profildarstellung der unterschiedlichen DOM entlang der untersuchten Trakte; (a) Siedlung, (b) Grünland/Freifläche, (c) Wald

- 3) Sind Objekthöhen aus normalisierten (auch differenziellen) digitalen Objekthöhenmodellen (nDOHM) geeignet, den Detaillierungsgrad von forstspezifischen Klassifikationen (beruhend auf spektralen Merkmalen von Waldobjekten) zu erhöhen?

Bei so vollständig unterschiedlichen Fernerkundungssystemen wie in vorliegendem Forschungsdatensatz erfolgt ein Leistungsvergleich am besten über die Ableitungsgenauigkeit von Parametern. In Anlehnung an eine Umfrage unter Mitarbeitern aus Forstbetrieben und -verwaltungen zur forstlichen Relevanz von unterschiedlichen Strukturparametern [1] wurden für die vorliegende Untersuchung folgende Zielgrößen ausgewählt:

- Waldfläche (inkl.: Blößen, Waldrandlänge),
- Bestandestyp: Nadelwald/Laubwald/Mischwald,
- mittlere Bestandeshöhe: <12 m, 12 bis 22 m, >22 m
- Änderungen der Struktur 2003 bis 2009.

Ergebnisse

Forschungsfrage 1: Für die Lokalisierung und Quantifizierung von Strukturänderungen ist die Qualität der Oberflächenmodelle (DOM) entscheidend. In Abb. 1 (b bis d) sind DOM auf Grundlage von LiDAR (2001), HRSC (2003) und LiDAR (2010) zu sehen. Bereits visuell sind Veränderungen zu erkennen. Zwischen 2001 und 2003 (Kreise) sind diese wohl auf betriebliche Maßnahmen zurückzuführen und treten punktuell auf. Die von „Kyrill“ betroffenen Flächen sind wesentlich größer und im am stärksten betroffenen Bereich als flächig zu bezeichnen (Rechteck).

Die Qualität der unterschiedlichen DOM aus HRSC-Daten und aus Stereo-Aufnahmen der Satellitensysteme Alos/PRISM und Cartosat-1 wurde anhand von Profilen analysiert. Entlang dieser wurden die jeweiligen Höhenwerte pixelweise verglichen und den Referenz-Daten der LIDAR-Auswertungen von 2001 und 2010 gegenübergestellt. Als Beispiel sind in Abb. 2 die unterschiedlichen DOM-Schnitte für die drei Trakte aus Abb. 1a dargestellt. Wie zu erwarten, bilden die aus der Luft erfassten DOM die Oberflächen genauer ab als die aus Satellitendaten berechneten.

- Im Trakt „Siedlung“ können einzelne Gebäude mit beiden LIDAR und dem HRSC DOM detektiert werden. Die Ränder der Gebäude sind in dem DOM aus HRSC-Daten allerdings nicht so deutlich nachgezeichnet. Die Cartosat-1 und Alos/PRISM DOM zeichnen eine Mittelhöhe auf, „glätten“ die Gebäude aber zu sehr. Diese DOM erscheinen folglich nicht geeignet, Veränderungen in kleinstrukturierten Siedlungsbereichen zu erfassen, da die einzelnen Gebäude nicht erkannt werden.
- Der wenig strukturierte Geländeoberflächen-Typ des Traktes „Freifläche“ macht Möglichkeiten und Grenzen der Systeme deutlich, erlaubt sogar einen Blick in die Berechnungsmethoden. Die hohe Punktdichte der LIDAR Aufzeichnung von 2010 schlägt sich in glatten Oberflächen nieder. LIDAR 2001 und HRSC sind gestuft. Der Algorithmus arbeitet mit Schwellwerten, die hier auf 1 m Höhendifferenz eingestellt waren. Auch die Satelliten DOM zeichnen die Oberfläche gut nach, auch wenn das bei dieser Detailabbildung recht grob erscheint. Die Analyse ergibt ein „Rauschen“ im Bereich von 2 bis 5 m. Diese Ungenauigkeiten liegen im Bereich der räumlichen Auflösung von ALOS PRISM und Cartosat-1.
- Der Landoberflächentyp „Wald“ kann über alle untersuchten DOM ausgewiesen werden. Innerhalb der Waldfläche können anhand beider LIDAR DOM in bestimmten Bereichen sogar einzelne Bäume abgegrenzt werden. Das HRSC-DOM ist insgesamt weniger detailliert, einzelne Kronen können erst in den Endnutzungsbeständen sicher unterschieden werden. Schattenbereiche liefern keine Daten und werden interpoliert. Über die DOM aus Cartosat-1- bzw. Alos/PRISM-Daten ist eine Einzelbaum-Abgrenzung generell nicht möglich, auch wenn es in einzelnen Ausnahmefällen gelingt. Im Hinblick auf die hier verfolgte Fragestellung der Feststellung von Veränderungen ist die Bestandesmittelhöhe wichtiger. Diese kann mit allen untersuchten DOM bestimmt werden.

Abb. 3 zeigt Differenzmodelle (nDOM), erstellt (a) aus LiDAR-Daten von 2001 und 2010 und (b) aus HRSC-Daten (2003) und ALOS-PRISM-Daten (2008).

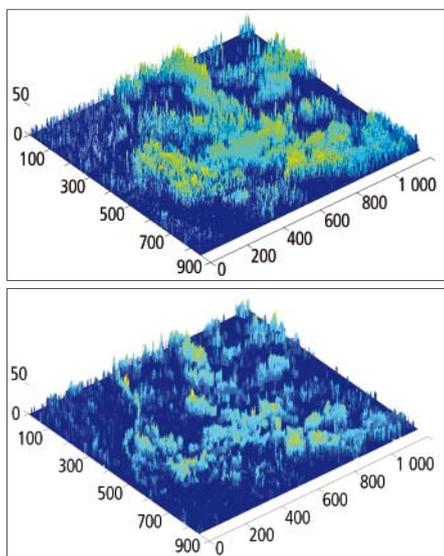


Abb. 3: Höhendifferenz-Modelle LiDAR_2010-LiDAR_2001, (oben) und ALOS_2008-HRSC_2003 (unten). Die Höhenabstufung geht von blau (keine Änderungen) über grün bis gelb, (maximale Änderungen, um die 40 m).

- Beide nDOM zeigen vergleichbare Ergebnisse, d.h. Unterschiede markieren Strukturänderungen, ob durch forstliche Maßnahmen oder eben auch durch den Sturm „Kyrill“. Gelb-Töne markieren die maximalen Änderungen und bedeuten Höhendifferenzen von um die 40 m. An diesen Stellen ist Altbestand gestanden, der in der späteren Aufnahme nicht mehr vorhanden war.
- Das nDOM aus HRSC- zu Alos/PRISM-Daten zeigt geringere Änderungen an. Dies muss nicht ausschließlich auf die größere Ungenauigkeit der Oberflächenbestimmung durch Alos/PRISM beruhen. Eine Rolle spielt hier auch die größere Zeitspanne zwischen den LIDAR-Aufnahmen und die damit zusammenhängenden Veränderungen durch reguläre forstliche Maßnahmen (s. Abb. 1).

Forschungsfrage 2 befasst sich mit der Frage, ob optische Datentypen unterschiedlicher Systeme und Systemgenerationen vergleichbare Ergebnisse bei der Parameterbestimmung erlauben. Wie beschrieben, wurden die Daten der optischen Satellitensysteme HyMap und RapidEye

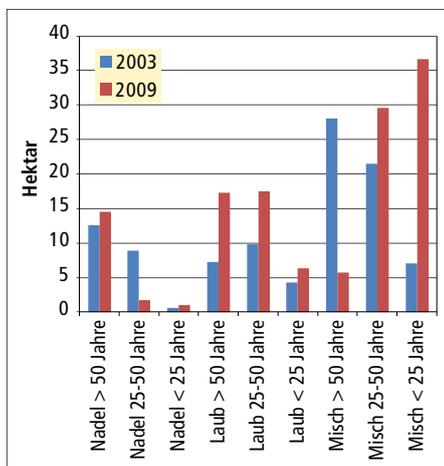


Abb. 5: Absolute Flächen der ausgeschiedenen Waldtypen und Altersstufen im Testgebiet, getrennt nach den Jahren 2003 und 2009

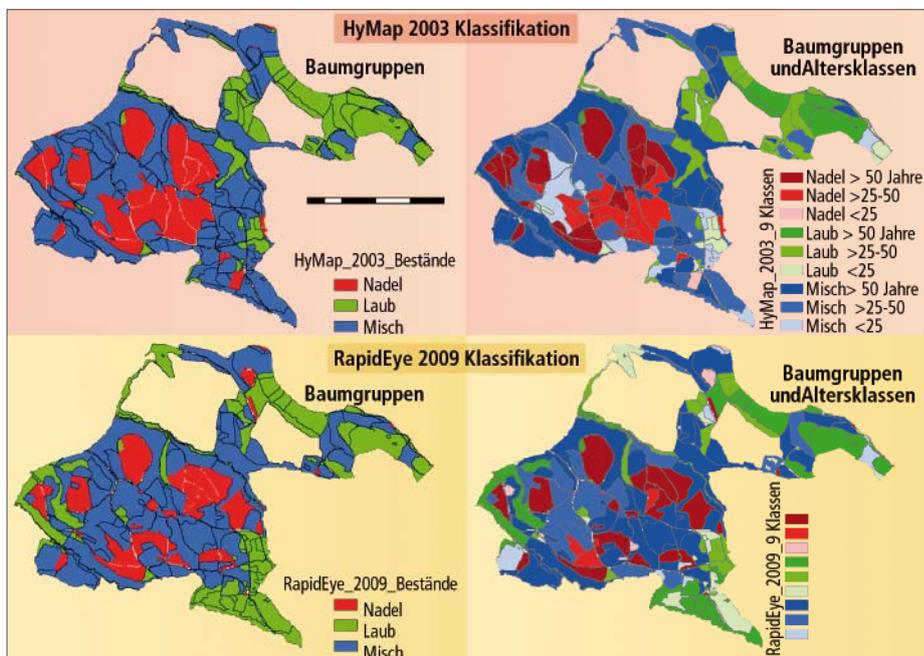


Abb. 4: Klassifizierung der HyMap-Datensätze (a, b) und der RapidEye-Datensätze (c, d) in Baumartengruppen und Altersklassen

dazu verwendet, unterschiedliche Bestandestypen auszuweisen. Die Bestandsgrenzen aus dem Forstoperat für den Stadtwald Traunstein bildeten die Grundlage für die Ausweisung der Bestandestypen. Für jeden Bestand wurden die Anteile an Nadel- bzw. Laubbäumen kalkuliert und anhand festgelegter Schwellenwerte die Bestandestypen zugewiesen (Lbh <20 %: Nadelwald; 20 % <Lbh <80 %: Mischwald; 80 % <Lbh: Laubwald) (Abb. 4 a, c).

Forschungsfrage 3: nDOHM der HRSC (2003) und Alos/Prism-(2008) Daten liefern die Höheninformation, um die obigen Bestandestypen in drei Untertypen zu unterteilen. Endergebnis sind neun Bestandestypen (Abb. 4). Für die Transformation der Bestandeshöhen in Alterswerte wurden Allometrie-Funktionen verwendet, die auf Ergebnissen aus Dauerbeobachtungsflächen in Bayern beruhen.

Auf Basis der Klassifikation wurden für 2003 und 2009 die Flächen der jeweiligen Bestandestypen im Stadtwald Traunstein berechnet. Abb. 5 zeigt die Kalkulationsergebnisse. Es ist zu erkennen, dass der Flächenanteil von mittelaltem Nadelholz von 2003 bis 2009 deutlich reduziert wurde. Auf diesen Bestandestyp entfällt ein Großteil der Sturmwurf-Flächen. Ebenfalls stark abgenommen hat der Anteil von alten Mischwäldern. Eine deutliche Flächenzunahme ist für die jungen und mittelalten Laub- und Mischbestände zu verzeichnen. Die hier abgebildete Entwicklung steht im Einklang mit den angestrebten Zielen hin zu einer naturnahen Waldbewirtschaftung mit strukturreichen Waldbeständen.

Resümee

Über den Weg der Parameterbestimmung können auch unterschiedliche Datentypen

und Systeme verglichen werden. Für eine Waldtypenbestimmung auf Basis einmaliger Aufnahmen der hier untersuchten räumlichen Auflösung von 5 bis 6,5 m bieten Hyperspektralsysteme praktisch keine Vorteile gegenüber Multispektralsystemen. Die Kombination von Datentypen zur Ableitung von 3D-Eigenschaften mit solchen, die spektrale Eigenschaften abbilden, liefert hingegen einen Mehrwert, der eine genauere Beschreibung der Waldtypen erlaubt. So belegt diese Studie, dass mit den Stereo-Bilddaten der ausgewählten Satellitensysteme die Bestandeshöhen ausreichend genau abgeschätzt werden können, um unterschiedliche Höhen- bzw. Altersstufen auszuweisen und räumlich abzugrenzen. Die Schätzgenauigkeiten erreichen zwar nicht das Niveau der Modelle, die auf flugzeuggetragenen Systemen (HRSC bzw. LiDAR) basieren, die DOM auf Grundlage der Satellitendaten können aber für die Detektion von Waldveränderungen durchaus sinnvoll eingesetzt werden. In Kombination mit dem optischen Satellitensystem RapidEye kann so nach einem Sturmwurf vergleichbar „Kyrill“ schnell eine Abschätzung der veränderten Situation erfolgen. Die dabei anfallenden Kosten sind deutlich geringer als bei vergleichbaren Flugzeugkampagnen.

Literaturhinweise:

- [1] FELBERMEIER, T.; HAHN, A.; SCHNEIDER, T. (2010): Study on user requirements for remote sensing applications in forestry. In: Proc. of the ISPRS Symposium TC VII, 5. bis 7. Juli 2010, Wien. [2] SCHNEIDER, T.; ELATAWNEH, A.; RAHLF, J.; KINDU, M.; RAPPL, A.; THIELE, A.; BOLDT, M.; HINZ, S. (2012): Parameter determination by RapidEye and TerraSAR-X data – a step toward a remote sensing based inventory, monitoring and fast reaction system on forest enterprise level. EOGC Konferenz, München, Mai 2011; Springer Publication (in Vorbereitung). [3] D'ANGELO, P.; LEHNER, M.; KRAUSS, T. (2008): Towards Automated DEM Generation from High Resolution Stereo Satellite Images. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, S. 1137-1342. [4] TIAN, J.; CHAABOUNI-CHOUAYAKH, H.; REINARTZ, P. (2011): 3D building change detection from high resolution spaceborne stereo imagery. M2RSM, Xiamen.