

Untersuchung der radiometrischen Qualität digitaler Orthophotos

BERNHARD PAMMER¹

Zusammenfassung: Ziel der zugrunde liegenden Diplomarbeit war es, Erfahrungen über das Verhalten der Radiometrie digitaler Orthophotos zu gewinnen und Beurteilungskriterien zu entwickeln, anhand derer fundierte Aussagen über die enthaltene radiometrische Qualität getroffen werden können. Den Mittelpunkt bilden Methoden, die eine objektive und konsistente Beurteilung der Radiometrie ermöglichen. Es wurde darauf geachtet, die Aussagen über die Qualität sowie die Eignung zur automatischen Klassifizierung anhand einiger weniger Kennwerte ableiten zu können.

1 Motivation und Zielsetzung

Österreichweit werden in einem dreijährigen Zyklus flächendeckend Luftbildflüge durchgeführt. Während für die Kontrolle der geometrischen Information bereits langjährige Erfahrungen vorliegen, stellt eine zufrieden stellende Radiometrie digitaler Orthophotos noch eine große Herausforderung dar. Eine Möglichkeit bieten radiometrisch kalibrierte Aufnahmesysteme. Gemäß (HONKAVAARA et al. 2009) lassen sich damit digitale Orthophotos produzieren, die, idealerweise unabhängig vom eingesetzten Sensorsystem, einheitliche radiometrische Eigenschaften aufweisen. Für die praktische Anwendung von Luftbildflügen über große Gebiete mit mehreren Aufnahmesystemen und unter Umständen sogar mehreren beteiligten Unternehmen ist dies jedoch nicht praktikabel, da eine radiometrische Kalibrierung einen hohen und dementsprechend unwirtschaftlichen Aufwand erfordert.

Der aktuelle Trend neigt außerdem laut (ANEGG et al. 2013) zu immer kürzeren Befliegungszyklen und in Folge dessen auch zu immer kürzeren Aktualisierungsintervallen. Als Konsequenz ergibt sich die Notwendigkeit, über die Qualität der enormen Datenmengen, die bei der Durchführung der Luftbildflüge entstehen, sowie über die Möglichkeit Folgeprodukte abzuleiten, zeiteffizient Aussagen treffen zu können. Es sollten daher Verfahren entwickelt werden, um die Radiometrie der Kanäle Rot, Grün, Blau und NIR (=Nahes Infrarot) mit Hilfe standardisierter Vorgehensweisen anhand einiger weniger Kennzahlen beurteilen zu können. Dies sollte so weit wie möglich automatisiert erfolgen und für verschiedene Bodenbedeckungsklassen durchgeführt werden. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung war keine geeignete Möglichkeit bekannt, die die Anforderungen erfüllt.

2 Beschreibung der Methodik

2.1 Vorbereitende Maßnahmen

Um digitale Orthophotos statistisch analysieren und visualisieren zu können muss die enthaltene radiometrische Information zahlenmäßig erfassbar sein. Dazu wurden die Hauptklassen „Vegetation“ und „Nicht-Vegetation“ in weitere Unterklassen wie Wiese, Wald hell/dunkel etc.

¹ Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 Wien, Österreich;
E-Mail: bernhard.pammer@bev.gv.at

bzw. befestigte graue Flächen hell/dunkel, beschattet etc. differenziert. In weiterer Folge wurden Musterflächen dieser Bodenbedeckungsklassen mit dem Programm *eCognition*© der Firma Trimble nach zuvor erfolgter automatischer Segmentierung manuell klassifiziert. Die Unterklassen sollten sicherstellen, Musterflächen über den gesamten Grauwertbereich von beschattet/dunkel zu hell/besonnt zu selektieren wobei der Aufwand der Untersuchungen gleichzeitig in akzeptablen Grenzen gehalten wird, sodass die Beurteilung zeiteffizient erfolgen kann. Die Mittelwerte der enthaltenen radiometrischen Information des Rot-, Grün-, Blau-, und NIR-Kanals wurden für jede manuell zugeordnete Musterfläche exportiert.

2.2 RGB-Darstellung

Folgende Hypothese wurde formuliert um die Radiometrie der Kanäle Rot, Grün und Blau in einem ersten Schritt beurteilen zu können:

Es wird angenommen, dass befestigte Flächen wie Straßen, Parkplätze und Einfahrten in der Natur näherungsweise „grau“ sind. In einem digitalen Orthophoto mit ausgeglichener Farbbalance, dessen Farbdarstellung der des menschlichen Sehens entspricht (also RGB), sollen diese Flächen ebenfalls ausgewogen grau abgebildet werden. Wenn dies der Fall ist, können die grundlegenden Voraussetzungen einer homogenen Darstellung als erfüllt betrachtet werden.

Der Grund, warum hier spezielles Augenmerk auf befestigte graue Flächen gelegt wurde ist der, dass sie sich über das Jahr hinweg nicht verändern – abgesehen von Schneebedeckung – und dadurch konstant gleich erscheinen. Ein weiteres Argument war, dass befestigte Flächen häufig grau sind. Die Differenz zur mittleren Intensität der drei Kanäle wurde daher für jeden Kanal annähernd 0 erwartet.

Um die Hypothese zu verifizieren konnte mit Hilfe der exportierten Statistiken die mittlere Intensität des RGB-Kanals für jeden Grauwert der zuvor klassifizierten Musterflächen befestigten Untergrunds mit (1) berechnet werden.

$$\text{Mittlere Intensität} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{MeanRED}_i + \text{MeanGREEN}_i + \text{MeanBLUE}_i}{3} \quad (1)$$

n...Anzahl der vorhandenen Grauwerte

Für eine ansprechende Darstellung des Verlaufs über das Grauwertspektrum wurden anschließend die Musterflächen gemäß ihrer berechneten Intensität in 25 Intervalle zu je 10 Grauwertstufen (GWS) aggregiert, aufsteigend sortiert und visualisiert. Zusätzlich wurde die Regressionsgerade für jeden Farbkanal dargestellt um den Verlauf für den Betrachter schneller erfassbar zu machen. In einem idealen Bild ohne Farbstich in den grauen Flächen war zu erwarten, dass die Verläufe der RGB-Kanäle annähernd horizontal mit einer Differenz von 0 zur mittleren Intensität verlaufen. Die Methode stellte sich als geeignet heraus, um die Farbbalance eines Echtfarbbildes über das Grauwertspektrum übersichtlich und leicht erfassbar darzustellen (siehe Abb. 1).

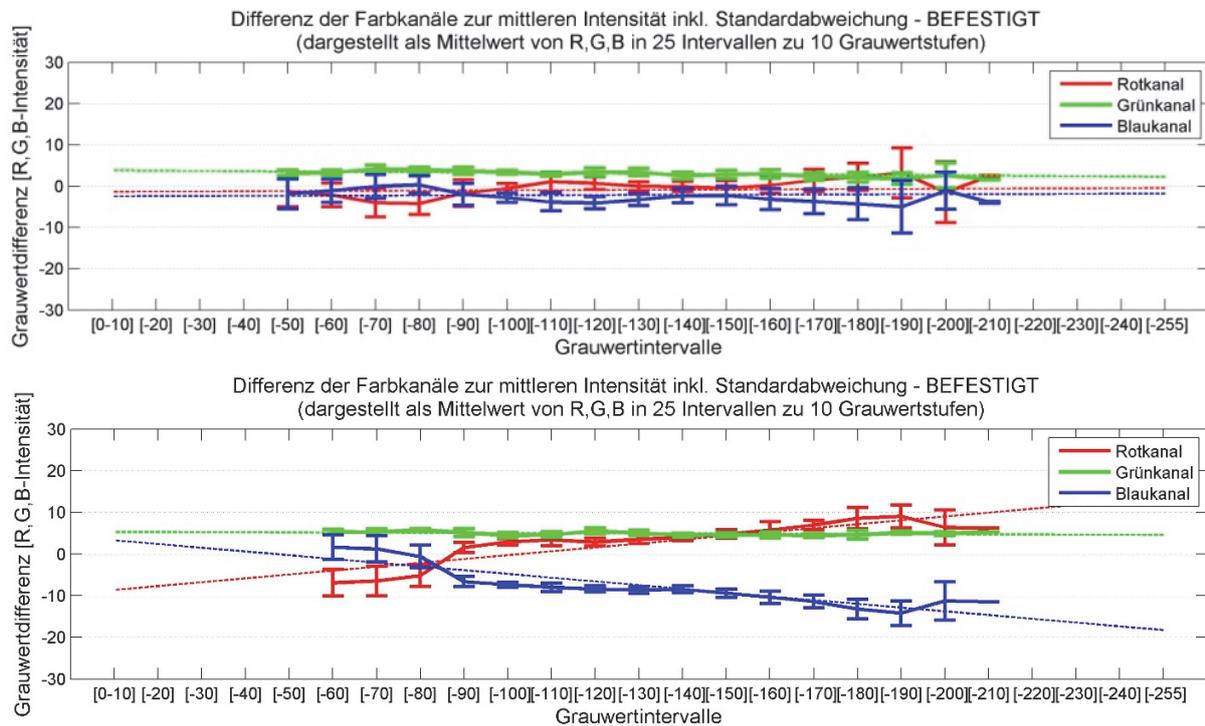


Abb. 1: Resultat eines positiven, neutralen (oben) und eines negativen, unausgewogenen (unten) Testgebiets

Die Ergebnisse entsprachen demnach dem erwarteten Verhalten der Farbkanäle von grauen, befestigten Flächen sodass die Methode Farbstiche und unausgewogene Farbbalancen aufzuzeigen vermag. Des Weiteren wurde durch die Untersuchungen festgestellt, dass ein sichtbarer Farbstich, der durch graue, befestigte Flächen aufgezeigt wird, in der gesamten Szene wahrgenommen werden kann.

An dieser Stelle sei folgendes angemerkt. Obwohl bei eingehender visueller Betrachtung kein Farbstich erkannt werden konnte war der Blaukanal in manchen Fällen in den dunklen, d. h. auch in den beschatteten Bereichen des Grauwertspektrums dominant. Dieses Phänomen lässt sich vermutlich durch das Vorhandensein des Luftlichts erklären. Auf jedes mit Sonnenlicht bestrahlte Objekt trifft neben der direkten, gerichteten Sonnenstrahlung auch das diffuse Luftlicht. Letzteres entsteht durch die Reflexion des Lichts an winzigen Teilchen in der Luft („Aerosole“) mit der Eigenschaft, dass der kurzwellige Bereich, also vor allem der Blauanteil, dominiert. Da Schatten definiert ist als (direkt-) unbeleuchtete Fläche ist das Blau des Luftlichts vorherrschend. Es kann nicht mit Gewissheit behauptet werden, dass sich die Blaudominanz im dunklen Bereich ausschließlich daraus ergibt. Dennoch zeigte sich, dass ein überrepräsentierter Blaukanal im dunklen Bereich bis zu einem gewissen Grad akzeptiert werden kann, ohne dass die visuelle Wahrnehmung einer harmonischen Farbgebung dadurch beeinträchtigt wird.

2.3 CIR-Darstellung

Es galt nun ebenfalls für die CIR-Darstellung eine Vorgehensweise zu etablieren, mit deren Hilfe der Bildinhalt beurteilt werden kann. Durch die CIR-Darstellung kann der NIR-Kanal zwar

visualisiert werden, die Anwendung der Methode der RGB-Darstellung ist in diesem Fall jedoch nicht möglich. Der menschliche Sehsinn kann Infrarot nicht wahrnehmen und dementsprechend können keine Erwartungen einer natürlichen Darstellung formuliert werden. Als Kriterium für die statistische Beurteilung des NIR-Kanals wurde stattdessen das Verhalten der NDVIs (=Normalized Differenced Vegetation Index) der beiden Hauptklassen herangezogen. Begründet wurde dies damit, dass aus Orthophotomosaiken Folgeprodukte wie Bodenbedeckungskarten automatisiert abgeleitet werden sollen. Dafür muss die grundlegende Voraussetzung erfüllt sein, Vegetation und Nicht-Vegetation voneinander trennen zu können. Ist dies nicht der Fall, kann eine weitere Differenzierung der Klassen nicht erfolgen. Ein weiterer Grund den NDVI heranzuziehen war die Tatsache, dass die Berechnung mittels (2) einfach durchgeführt werden kann.

$$NDVI = \frac{(NIR-ROT)}{(NIR+ROT)} \quad (2)$$

Für Vegetation wurden nach (NASA, 2013) positive und für Nicht-Vegetation negative NDVI-Werte erwartet. Es sollte eine bestmögliche Trennung mit einem einzelnen individuellen Grenzwert pro Datensatz, also einer horizontalen Linie, erhalten werden. Dazu wurden die NDVIs von Vegetation und Nicht-Vegetation inklusive deren Standardabweichung wie in Abb. 2 gegenüber gestellt.

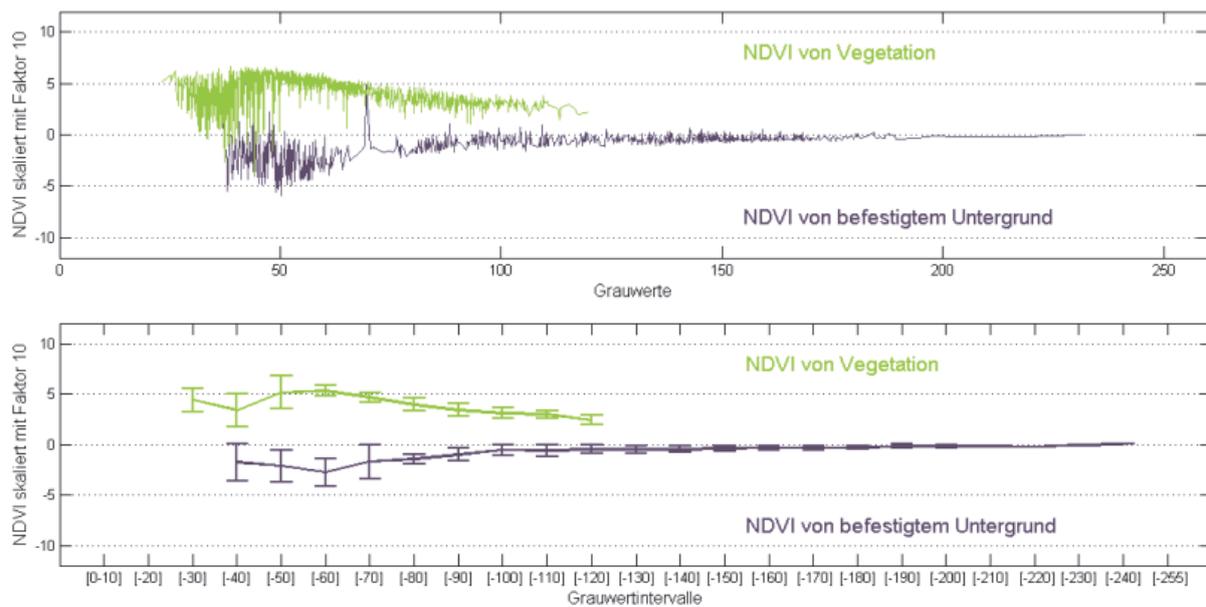


Abb. 2 - Darstellung der NDVIs eines Testdatensatzes von befestigtem Untergrund vs. Vegetation. Links: 25 Intervalle, Rechts: alle Werte

Es wurden daraufhin zwei Bedingungen formuliert um die Güte der Trennung quantifizierbar zu machen:

1. Die minimale Voraussetzung für einen sinnvollen Grenzwert zur Trennung von Vegetation und Nicht-Vegetation ist erfüllt, wenn der kleinste Mittelwert des Vegetations-NDVIs größer ist als der größte Mittelwert des NDVIs von befestigtem Untergrund.

$$\min(\bar{x}_{veg}) > \max(\bar{x}_{Bef}) \quad (3)$$

Wenn Bedingung 1 erfüllt ist wird die Differenz dieser beiden Werte gemittelt. Das Ergebnis stellt den errechneten Grenzwert dar. Die zweite Bedingung lautet:

2. *Der bestmögliche Grenzwert unter den gegebenen Voraussetzungen kann gefunden werden wenn Bedingung 1 erfüllt ist und zusätzlich der minimale Vegetations-Mittelwert minus dessen Standardabweichung größer ist als der maximale Mittelwert von befestigtem Untergrund plus dessen Standardabweichung. Die Mittelung dieser Differenz ergibt den Grenzwert.*

$$\min(\bar{x}_{veg}) - \sigma_{\min(\bar{x}_{veg})} > \max(\bar{x}_{Bef}) + \sigma_{\max(\bar{x}_{Bef})} \quad (4)$$

Sollte auch Bedingung (2) erfüllt sein, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass eine klare und zufriedenstellende, jedoch nicht zwangsläufig perfekte Trennung zwischen Vegetation und Nicht-Vegetation möglich ist. Grund dafür ist, dass es zum einen in den beschatteten und dunklen Bereichen des Grauwertspektrums häufig zu größerem Rauschen kommt und in weiterer Folge zu stark variierenden NDVI-Werten für beide Klassen. Zum anderen werden Mittelwerte für die Analyse herangezogen, die eine gewisse Unsicherheit mit sich bringen.

3 Ergebnisse der Untersuchungen

Es standen 8-Bit Orthophotomosaike mit einer Ground Sampling Distance von 20cm aus den Jahren 2010, 2012 und 2013 aus dem Datenbestand des BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) zur Verfügung. Unter Mithilfe der Experten des BEV wurden repräsentative Ausschnitte der Orthophotomosaike in der Größe von mehreren DKM-Blättern als Testgebiete ausgewählt (DKM=Digitale Katastralmappe, ein DKM-Blatt entspricht 1x1,25km²). Es wurde darauf geachtet, dass in jedem Testgebiet ein möglichst ausgewogenes Verhältnis zwischen bebauten und unbebauten Flächen vorlag und die Testgebiete gleichmäßig über das Mosaik verteilt waren. Die Testgebiete wurden in Absprache mit den Experten auf Basis ihrer langjährigen Erfahrung in zwei Gruppen unterteilt, die für die Analyse als positive und negative Referenz dienen sollten. An die positiven Testgebiete wurde der Anspruch gestellt, dass sie in sich streng homogen und visuell ausgewogen ohne Farbstich erscheinen, sowie keine erkennbaren Farbverläufe und Seamlines aufweisen.

In Summe wurden 16 Testgebiete für die Gruppe „Positiv“ und 13 für die Gruppe „Negativ“ für die Analyse ausgewählt. Die auf subjektiven Erfahrungen basierenden Entscheidungen der BEV-Experten sollten mit Hilfe der in Punkt 2 vorgestellten Algorithmen objektiv und zahlenmäßig überprüft werden. Wenn sich zwischen den beiden Gruppen von Testgebieten signifikant unterschiedliche Resultate ergeben und die Einschätzungen der Experten dadurch bestätigt werden, kann eine zukünftige Beurteilung mit den vorgestellten Methoden erfolgen.

3.1 Ergebnisse RGB-Darstellung

Für die Analyse wurden die Resultate der RGB-Analyse sämtlicher Testgebiete zusammengefasst. Das Ergebnis ist in Abb. 3 ersichtlich. Den linken Grafiken ist zu entnehmen, wie viele absolute Grauwertdifferenzen die jeweiligen Regressionsgeraden des R-, G-, und B-Kanals von Beginn bis Ende der Intervalle durchlaufen. Je geringer die Steigung, desto paralleler verläuft die Gerade zur

mittleren Intensität und desto geringer ist die Anzahl der absolut durchlaufenen Grauwertdifferenzen. Die rechten Grafiken stellen die Lage der jeweiligen Geraden dar, da sonst nicht ersichtlich wäre, ob die Geraden in der Nähe von 0 verlaufen oder einen vertikalen Offset aufweisen.

Als Beispiel kann hier das Ergebnis von TN_1 dienen (in Abb. 3 mit blauem Rechteck markiert). Würde man nur die linke untere Grafik betrachten, würde das Resultat als sehr gut eingeschätzt. In der korrespondierenden Grafik rechts ist dann sofort zu erkennen, dass alle drei Farbkanäle große Differenzen zur mittleren Intensität aufweisen und das Testgebiet demnach nicht als zufrieden stellend eingestuft werden sollte.

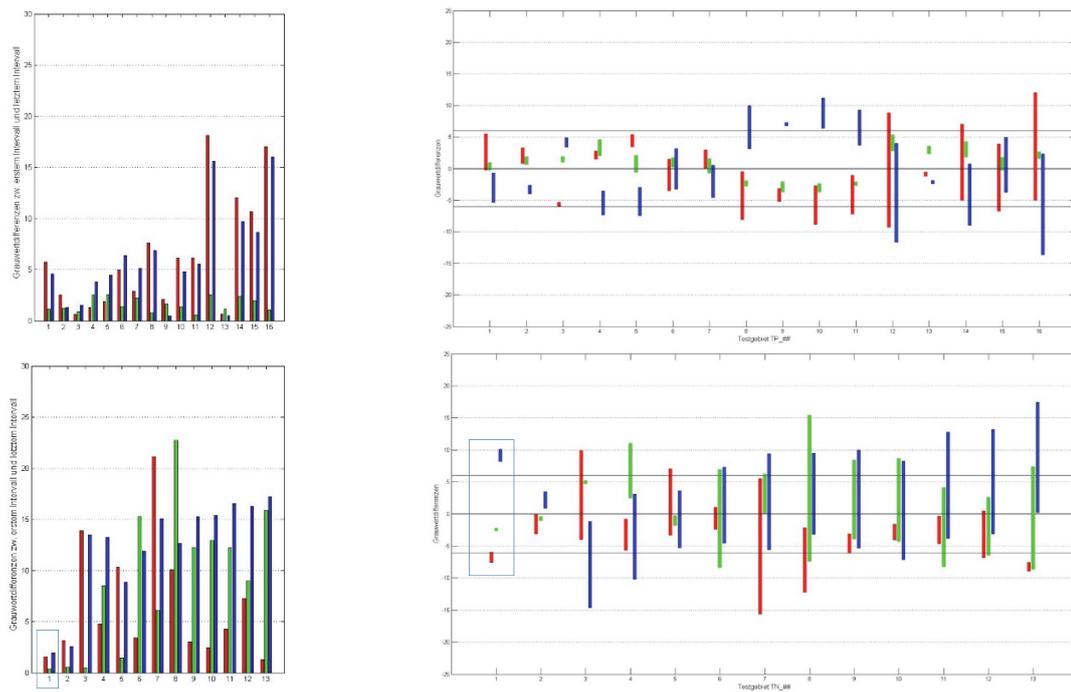


Abb. 3 – Resultate der Testgruppe „Positiv“ (oben) und der Testgruppe „Negativ“ (unten)

In 7/16 Gebieten (44%) von „Positiv“ liegen alle drei Farbverläufe innerhalb von 5 absoluten Grauwertdifferenzen (linke obere Grafik). Bei „Negativ“ wären das 2/13 oder 15%. Darüber hinaus liegen die Farbverläufe von weiteren fünf Testgebieten von „Positiv“ unter 8 Grauwertdifferenzen, also in Summe 12/16 (75%), während das bei „Negativ“ auf kein weiteres Gebiet zutrifft. Der Grünkanal durchläuft bei „Positiv“ in keinem Fall mehr als 5 Grauwertdifferenzen. Er ist demnach in allen Analysen der Testgruppe „Positiv“ der ausgewogenste. In der Testgruppe „Negativ“ kann dieses Verhalten des Grünkanals nicht beobachtet werden. Gründominanzen kommen in gleicher Weise vor, wie es bei Rot und Blau der Fall ist.

Das vorgestellte Verfahren ergänzt die subjektive bzw. von äußeren Rahmenbedingungen (Monitor, Raumbeleuchtung, Bildinhalte) beeinflusste visuelle Beurteilung. Es objektiviert die Prüfung der Farbgebung im RGB-Bereich mit statistischen Zahlen und Fakten. Vergleiche zwischen mehreren Testgebieten sowie zwischen Erstprozessierung und etwaiger Nachprozessierung sind einfach durchführbar.

3.2 Ergebnisse der NDVI-Analyse

Für die Untersuchungen des NIR-Bereichs wurden die in 2.3 erwähnten Bedingungen angewandt. Die Resultate für die Testgruppen „Positiv“ (TP_#) und „Negativ“ (TN_#) sind in Tab. 1 angeführt. Ein grünes Feld zeigt an, dass Bedingung (2) erfüllt wurde, Orange entspricht dem Minimalkriterium, d.h. Bedingung (1). Für Testgebiete mit rotem Eintrag war keine der beiden Bedingungen erfüllt. Die Werte in den Feldern entsprechen dem errechneten NDVI-Grenzwert zur bestmöglichen Trennung von Vegetation und Nicht-Vegetation.

Tab. 1 - Resultate der NDVI Analyse. Links Testgruppe Positiv, rechts Testgruppe Negativ

TP_1	0.05	TN_1	X
TP_2	0.03	TN_2	-0.02
TP_3	0.06	TN_3	0.03
TP_4	0.01	TN_4	X
TP_5	-0.02	TN_5	0.09
TP_6	0.02	TN_6	-0.01
TP_7	0.01	TN_7	0.23
TP_8	-0.09	TN_8	0.08
TP_9	-0.12	TN_9	0.10
TP_10	-0.10	TN_10	0.08
TP_11	0.03	TN_11	0.05
TP_12	0.19	TN_12	0.13
TP_13	X	TN_13	0.10
TP_14	X		
TP_15	0.12		
TP_16	0.08		

Bedingung (2) war bei Gruppe „Positiv“ häufiger erfüllt, in Summe waren jedoch für beide Testgruppen in 85% der Fälle zumindest Bedingung (1) erfüllt. Über ein RGB-Orthophoto kann demnach keine verlässliche Aussage über das Verhalten und die Qualität des NIR-Kanals getroffen werden. Mit dem individuellen Grenzwert wurde eine hohe Erfolgsquote für die Trennung erreicht. Für nicht-beschattete Flächen kann daher eine Zuordnung von 99% der Daten zu ihrer korrekten Klasse mit Hilfe des individuellen Grenzwerts erwartet werden. Detaillierte Ergebnisse sind in (PAMMER 2013) zu finden. In den dunklen und beschatteten Bereichen war in fast allen Daten ein größeres Rauschen zu beobachten. Es sind in diesem Bereich daher geringfügig niedrigere Trennungsquoten zu erwarten.

Um zu testen, wie durchgreifend die Methode für eine weitere Differenzierung mit anderen Nicht-Vegetations Klassen ist, wurde das Verfahren auch auf die zusätzlichen Nicht-Vegetations Klassen „Eternitdächer“, „Ziegeldächer“, und „Offener Boden“ angewandt. Die Ergebnisse der zusätzlichen Testklassen korrespondierten in hohem Maße mit jenen der Klasse „Befestigt“ und entsprachen einander bis auf minimale Diskrepanzen. Es konnten für alle drei Klassen durchwegs sehr gute Resultate erzielt werden, die in einem Großteil der Fälle sogar den Anspruch erfüllten, die Musterflächen zu über 97% korrekt zuzuordnen. Die Ergebnisse ließen den Schluss zu, dass es nicht notwendig ist, Musterflächen sämtlicher Nicht-Vegetationsklassen in die Analyse mit

einfließen zu lassen. Das Resultat von grauen befestigten Flächen konnte demnach als repräsentativ angesehen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung und Durchführung der vorgestellten Untersuchungen erfolgten stets vor dem Hintergrund das Resultat mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand in relativ kurzer Zeit zu erhalten. Für die RGB-Darstellung wurde das Hauptaugenmerk auf das Verhalten und die Darstellung grauer, befestigter Flächen gelegt. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Beurteilung anhand der formulierten Bedingung möglich ist. Farbstiche in den grauen, befestigten Flächen, die anhand der vorgestellten Methode aufgezeigt wurden, konnten darüber hinaus in der gesamten beurteilten Szene wahrgenommen werden.

Die Untersuchungen für den NIR-Kanal haben gezeigt, dass Aussagen über die Trennbarkeit zwischen Vegetation und Nicht-Vegetation anhand der NDVIs erfolgen können. Die Resultate der zusätzlichen Nicht-Vegetationsklassen haben jenen von grauen, befestigten Flächen in hohem Maße entsprochen. Demnach können die Ergebnisse von grauen, befestigten Flächen als repräsentativ angesehen werden. Testgebiete, deren Trennbarkeit der Hauptklassen zwar grundsätzlich gegeben war, deren NDVIs aber einen vertikalen Versatz aufwiesen, konnten ausschließlich mit Hilfe des individuell ermittelten Grenzwerts erkannt werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, sowohl die Darstellung der NDVIs von Vegetation und Nicht-Vegetation als auch die Überprüfung der beiden Bedingungen zu berücksichtigen, um eine umfassende Beurteilung des Datenmaterials durchführen zu können.

Die Validierung der entwickelten Beurteilungsmethoden mit weiteren, zukünftigen Datensätzen wird weitere Erkenntnisse bringen und Verfeinerungen der Kriterien ermöglichen.

5 Literaturverzeichnis

- ANEGG, T., DREXEL, P., FRANZEN, M. & WURZER, B., 2013: Kooperation zur Beschaffung digitaler Luftbilder und digitaler Orthophotos 2013-2015. *Angewandte Geoinformatik 2013*, Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. & Zagel, B. (Hrsg.), Wichmann, S. 543-547.
- HONKAVAARA, E., ARBIOL, R., MARKELIN, L., MARTINEZ, L., CRAMER, M., BOVET, S., CHANDELIER, L., ILVES, R., KLONUS, S., MARSHAL, P., SCHLÄPFER, D., TABOR, M., THOM, C. & VEJE, N., 2009: Digital Airborne Photogrammetry - A New Tool for Quantitative Remote Sensing? A State-of-the-Art Review On Radiometric Aspects of Digital Photogrammetric Images. *Remote Sensing 1* (3), S. 577-605.
- NASA, 2013: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation, abgerufen am 3. September 2013
- PAMMER, B., 2013: Untersuchung der radiometrischen Qualität von Orthophotos. Diplomarbeit, TUWien.