Verwendung von Kontextobjekten für die Extraktion von Straßen in Vorstadtgebieten aus Luftbildern

Eingereicht von:

Hannes Meyer Matrikelnummer: 2179213 hannesmeyer@gmx.de

Erstprüfer:

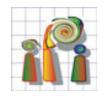
Prof. Dr.-Ing. Christian Heipke Institut für Photogrammetrie und GeoInformation

Zweitprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Claus-Eberhard Liedtke Institut für Informationsverarbeitung

Betreuerin:

Dipl.-Ing. Anne Grote Institut für Photogrammetrie und GeoInformation







Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	5
Formelverzeichnis	5
Aufgabenstellung	
1 Einleitung.	
2 Grundlagen	
2.1 Bildverarbeitung.	
2.2 Bildvorverarbeitung.	9
2.3 Segmentierung.	11
2.3.1 Pixelorientierte Segmentierung	
2.3.2 Regionenbasierte Segmentierung.	
2.3.3 Morphologische Operatoren zur Nachbearbeitung der Segmentierung	
2.4 Objekterkennung	
2.4.1 Merkmale	
2.4.1.1 Geometrische Merkmale	
2.4.1.2 Radiometrische Merkmale	
2.4.2 Modell	
2.5 Kontext	
2.6 Ergebnisbewertung	21
3 Bisherige Arbeiten	23
3.1 Herkunft der Eingabedaten	23
3.2 Nutzung von Kontextinformationen	25
3.3 Extraktion von Fahrzeugen.	
3.4 Extraktion von Bäumen.	
3.5 Extraktion von Gebäuden	
3.6 Extraktion von Schatten	
3.7 Zusammenfassung	36
4 Detektion von Kontextobjekten	39
4.1 Suchraumreduzierung	40
4.2 Fahrzeuge	
4.2.1 Das Modell	
4.2.2 Der Ansatz	
4.2.2.1 Zusätzliche Suchraumreduzierung	
4.2.2.2 Vorverarbeitung	
4.2.2.3 Segmentierung	
4.2.2.4 Objekterkennung	
4.3 Schatten	
4.3.1 Das Modell	
4.3.2 Der Ansatz.	
4.4 Bäume	
4.4.1 Die Modelle	
4.4.2 Der Ansatz	48

4.4.2.1 Segmentierung	49
4.4.2.2 Objekterkennung	49
4.5 Baumreihen	52
4.5.1 Das Modell	
4.5.2 Der Ansatz	
4.6 Flache Vegetation	
4.7 Asphaltflächen	
4.7.1 Das Modell	
4.7.2 Der Ansatz	54
5 Lückenregionen	55
5.1 Aufstellung einer neuen Straßensegmenthypothese	
5.2 Bewertung der neuen Straßensegmenthypothesen	
5.2.1 Überprüfen der Hypothese	
5.2.1.1 Fahrzeuge	
5.2.1.2 Gebäude	60
5.2.1.3 Einzelne Bäume	62
5.2.1.4 Baumreihen	63
5.2.1.5 Flache Vegetationen	64
5.2.1.6 Asphaltflächen	
5.2.1.7 Woher kommen die Werte für die Relationen?	
5.2.1.8 Gesamtbewertung für die Überprüfung der Hypothesen	68
5.2.2 Störung durch Kontextobjekte	
5.2.3 Klassifizierung der Hypothesen	71
6 Ergebnisse	73
6.1 Extraktion der Kontextobjekte	
6.1.1 Fahrzeuge	
6.1.2 Bäume, Baumschatten und Baumreihen	
6.1.3 Flache Vegetation und Asphaltflächen	
6.2 Bewertung der Straßensegmenthypothesen	
7 Implementierung	
7.1 Halcon	
7.2 Qt	
7.3 KontextCheck	
8 Ausblick & Fazit	
8.1 Konkrete Verbesserungsvorschläge	
8.2 Fazit	101
Literaturverzeichnis	104
Anhang	110
Anleitung zu "KontextCheck"	110
Danksagung	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Straßensegmente mit Straßengraphen	7
Abbildung 2: Beispiel Medianfilter [HERMES, 2005]	10
Abbildung 3: Beispiel Schwellwertverfahren [MEYER, 2006]	
Abbildung 4: Beispiel Flächenwachstum [MEYER, 2006]	
Abbildung 5: Opening [PAKZAD, 2006]	
Abbildung 6: Closing [PAKZAD, 2006]	
Abbildung 7: Konvexität [MEYER, 2006]	
Abbildung 8: Kompaktheit [MEYER, 2006]	
Abbildung 9: Spektrale Reflexion verschiedener Baumarten und grüner Farbe	
[STRAUB, 2003]	18
Abbildung 10: Beispiel für Kontext: Schatten beeinflusst die Homogenität des	
Fußballplatzes, a: Fußballplatz, b: Fußballplatz mit Baum und Schatten	20
Abbildung 11: Auftrennung großer Straßensegmente [GROTE, 2008]	
Abbildung 12: Continuation smoothness [GROTE, 2008]	
Abbildung 13: Aneinandergereihte Straßensegmente [GROTE, 2008]	
Abbildung 14: Kontextbeziehungen [BAUMGARTNER & STEGER, 1997]	
Abbildung 15: Zusammenhang von globalem und lokalem Kontext	
[BAUMGARTNER & ECKSTEIN, 1997]	27
Abbildung 16: Kontextbeziehungen in städtischen Gebieten [HINZ, 2001]	28
Abbildung 17: Modellhierarchie für Pkw [HINZ & BAUMGARTNER, 2001]	30
Abbildung 18: Segmentierungsergebnis des DOM in vier verschiedenen Maßstabsebene	en
[STRAUB, 2003]	32
Abbildung 19: Ablaufdiagramm der Gebäudeextraktion [JIN, 2005]	33
Abbildung 20: Nutzung der Schattenregionen zur Gebäudeextraktion [JIN, 2005]	
Abbildung 21: Gebäudeteile (Modellebene 3), Endstücke und Verbindungsstücke	
[FISCHER, 1998]	35
Abbildung 22: Schattenextraktion [ECKSTEIN, 1996]	36
Abbildung 23: Modell für Kontextobjekt 'Fahrzeug' [MEYER, 2006]	41
Abbildung 24: Extrahierte Teilhypothesen für einen Kombiwagen	45
Abbildung 25: Modell für Kontextobjekt 'Schatten'	46
Abbildung 26: Modell 1 für 'Hohe Vegetation'	47
Abbildung 27: Modell 2 für Kontextobjekt 'Baum'	48
Abbildung 28: Zerteilung von 'Hoher Vegetation' in 'einzelne Bäume', darüber Schatten.	51
Abbildung 29: 'Unsichere Bäume' und sichere Bäume mit Schatten und Baumreihe	51
Abbildung 30: Modell für Kontextobjekt 'Baumreihe'	52
Abbildung 31: Modell für Kontextobjekt 'Asphaltfläche'	53
Abbildung 32: Festlegung der Eckpunkte für die Straßensegmenthypothese	56
Abbildung 33: Beispiel einer neuen Straßensegmenthypothese	56
Abbildung 34: Straßensegmenthypothese mit Straßengraph und Segmenthypothese	
Abbildung 35: Nachbarschaftsbereich einer Straßensegmenthypothese	58
Abbildung 36: Die vier Relationen 'Fahrzeug-Straße'	
Abbildung 37: Die drei Relationen 'Gebäude-Straße'	
Abbildung 38: Die zwei Relationen der Relation 'Einzelner Baum-Straße'	
Abbildung 39: Relation 'Baumreihe parallel neben Straße'	
Abbildung 40: Die zwei Relationen der Relation 'Flache Vegetation-Straße'	64
Abbildung 41: Teilweise von Störobiekten überdeckte Straße	70

Abbildung 42: Straßensegmenthypothese mit Störobjekten aufgeteilt in Überdeckunger	1
und keine Überdeckung	71
Abbildung 43: Bild I	73
Abbildung 44: Bild II	74
Abbildung 45: Bild III	74
Abbildung 46: Bilder mit Straßensegmenten, -graphen und Segmenthypothesen	75
Abbildung 47: Bild I, Extrahierte Fahrzeuge	76
Abbildung 48: Bild II, Extrahierte Fahrzeuge	77
Abbildung 49: Bild III, Extrahierte Fahrzeuge	78
Abbildung 50: Bild I, Extrahierte Bäume, unsicher extrahierte Bäume, extrahierte	
Baumschatten, extrahierte Baumreihen	80
Abbildung 51: Bild II, Extrahierte Bäume, unsicher extrahierte Bäume	82
Abbildung 52: Bild II, Schattenwurfrichtung vorgegeben: Extrahierte Bäume, unsicher	
extrahierte Bäume, extrahierte Baumschatten	83
Abbildung 53: Bild III, Extrahierte Bäume, unsicher extrahierte Bäume, extrahierte	
Baumschatten, extrahierte Baumreihen	84
Abbildung 54: Bild I, Extrahierte flache Vegetation, extrahierte Asphaltflächen	87
Abbildung 55: Bild II, Extrahierte flache Vegetation, extrahierte Asphaltflächen	88
Abbildung 56: Bild III, Extrahierte flache Vegetation, extrahierte Asphaltflächen	
Abbildung 57: Straßensegmenthypothesen aus Bild I mit benachbarten Kontextobjekter	n. 91
Abbildung 58: Straßensegmenthypothesen aus Bild II und III mit benachbarten	
Kontextobjekten	92
Abbildung 59: Bild I, bewertete Straßensegmenthypothesen	94
Abbildung 60: Ausschnitt aus Bild II, bewertete Straßensegmenthypothese	
Abbildung 61: Bild III, bewertete Straßensegmenthypothesen	
Abbildung 62: Fahrzeuge auf Parkplatz	
Abbildung 63: Benutzeroberfläche der Software KontextCheck	
$\boldsymbol{\varepsilon}$	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Interpretation des NDVI, nach [WEIER, 2000]	19
Tabelle 2: Bewertung der Relationen 'Kontextobjekt-Straße' für die Überprüfung der	
Straßensegmenthypothesen	66
Tabelle 3: Zusammensetzung der Bewertung für die Relationen	
Tabelle 4: Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild I	
Tabelle 5: Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild II	
Tabelle 6: Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild III	79
Tabelle 7: Addierte Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild I-III	79
Tabelle 8: Addierte Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion ohne die Bewerts	ung
durch Deviation, Bild I-III	80
Tabelle 9: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild I	81
Tabelle 10: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild II.	82
Tabelle 11: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion bei	
vorgegebener Schattenwurfrichtung, Bild II	
Tabelle 12: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild III	
Tabelle 13: Addierte Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion	
Bild I-III	85
Tabelle 14: Addierte Ergebnisse der Baum- und Baumschattenextraktion, Bild I-III,	
mit vorgegebener Schattenwurfrichtung für Bild II	86
Tabelle 15: Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und	0.5
Asphaltflächen, Bild I	87
Tabelle 16: Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und	90
Asphaltflächen, Bild II	89
Tabelle 17: Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und	00
Asphaltflächen, Bild III.	
Tabelle 18: Addierte Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation u Asphaltflächen, Bild I-III	
Tabelle 19: Ergebnisse der Bewertungen der Straßensegmenthypothesen	
Tabelle 19. Ergebnisse der Bewertungen der Strabensegnienunypotnesen	93
Formelverzeichnis	
Formel 1: Kompaktheit	16
Formel 2: Kreisförmigkeit.	
Formel 3: NDVI	
Formel 4: Vollständigkeit	
Formel 5: Korrektheit	21
Formel 6: Overlap factor [STRAUB, 2004]	22
Formel 7: Vorläufige Bewertung	67
Formel 8: Berechnung der abgeschwächten Bewertung einer Relation	69

Aufgabenstellung

Verwendung von Kontextobjekten für die Extraktion von Straßen in Vorstadtgebieten aus Luftbildern

Die Arbeit steht im Zusammenhang mit einem von der DFG geförderten Projekt, in dem Straßen in Vorstadtgebieten aus Luftbildern extrahiert werden. Dafür werden nach einer Segmentierung Regionen als Straßenstücke ausgewählt, die bestimmte Bedingungen erfüllen. Diese Straßenstücke werden dann zu Straßen zusammengesetzt, entweder um einen Straßenzug zu erhalten oder eine Verbindung von Straßen an Kreuzungen. Der Grund, weshalb Straßenzüge nicht in einem Stück extrahiert werden können, liegt oft im Vorhandensein von Kontextobjekten (Fahrzeuge, Schatten, Bäume...). Für eine möglichst vollständige und zuverlässige Straßenextraktion müssen diese Kontextobjekte extrahiert und analysiert werden.

In dieser Masterarbeit soll eine Methode entwickelt und implementiert werden, Kontextobjekte in die Bewertung und Gruppierung von zuvor extrahierten Straßenstücken einzubeziehen. Die Kontextobjekte sollen, wenn möglich, automatisch extrahiert werden, mit bereits vorhandenen oder entsprechend angepassten Methoden. Diese Kontextobjekte sollen dann dazu verwendet werden, Lücken zwischen Straßenstücken zu bewerten. Dabei müssen die Art des Kontextobjektes und seine Lage relativ zu der Lücke berücksichtigt werden; nach diesen Kriterien unterstützt ein Kontextobjekt eine Verbindungshypothese oder es widerspricht ihr. Die so erfolgte Bewertung der Lücken wird dann in die Bewertung einer Straßenhypothese aus mehreren Straßenstücken einbezogen.

[Erhalten vom Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Leibniz Universität Hannover]

1 Einleitung

Die automatische Extraktion von Straßen aus Luftbildern ist ein Bereich der Bildanalyse, der seit etwa 20 Jahren Thema in der Forschung ist. Während die Straßenextraktion in offener Landschaft seit einigen Jahren beherrscht wird, liegt die Herausforderung derzeit bei der Extraktion von Straßen in komplexen Szenen. Vor allem in städtischen Gebieten im Zusammenhang mit Kontextobjekten. Die am häufigsten vorkommenden Kontextobjekte, die die Extraktion von Straßen in Luftbildern beeinflussen können, sind Fahrzeuge, Häuser, Bäume sowie deren Schatten. Diese Kontextobjekte lassen Straßen oft anders erscheinen als in ihrem ursprünglichem Modell festgelegt, was zur Folge hat, dass die entsprechenden Straßenabschnitte nicht zu extrahieren sind. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an: Hauptziel ist die Untersuchung, ob Lücken zwischen extrahierten Straßenabschnitten ebenfalls Straßenabschnitte sind oder nicht. In den Lückenregionen werden Straßensegmenthypothesen aufgestellt, die anhand zweier Fragestellungen bezüglich ihrer Relationen mit Kontextobjekten bewertet werden.

Den Ausgangspunkt der Untersuchungen stellen automatisch extrahierte Straßensegmente dar ([GROTE, 2008]). Diese Straßensegmente sind teilweise durch einen Straßengraphen verbunden. Ein Straßengraph ist eine Hypothese dafür, dass mehrere Straßensegmente zu einem Straßenabschnitt gehören. Die Bereiche zwischen verbundenen Segmenten sind die zu untersuchenden Lücken (vgl. Abb. 1).



Abbildung 1: Straßensegmente (grau) mit Straßengraphen (grün und rot)

Neben der Bewertung der Lücken ist es Ziel dieser Arbeit, die zur Untersuchung der Lücken genutzten Kontextobjekte automatisch zu extrahieren. Aufgrund der hohen Komplexität der automatischen Extraktion von Gebäuden werden Gebäude und ihre Schatten nicht automatisch, sondern manuell extrahiert. Ansätze zur automatischen Extraktion von Gebäuden sind in 3.5 vorgestellt. Die Extraktion der übrigen Kontextobjekte Fahrzeuge, Bäume, Baumschatten, Baumreihen, flache Vegetation und Asphaltflächen erfolgt automatisch. Das Augenmerk liegt hierbei auf einer hohen

1 Einleitung 8

Korrektheit der Ergebnisse.

Als Bilddaten werden hochauflösende Farbinfrarot-Luftbilder mit einer Bodenauflösung von 10 cm / Pixel verwendet.

Gliederung der Arbeit

Im Anschluss an das einleitende **Kapitel 1** werden in **Kapitel 2** die für das Verständnis dieser Arbeit wichtigsten Grundlagen der Bildverarbeitung kurz erläutert. Dabei stehen die in den Hauptkapiteln (Kapitel 4 und 5) genutzten Operatoren im Fokus.

Bereits existierende Arbeiten zur Nutzung von Kontextinformationen bei der automatischen Straßenextraktion und zur automatischen Extraktion der Kontextobjekte werden in **Kapitel 3** vorgestellt. Dort wird auch genauer auf die Herkunft der Eingabedaten für diese Arbeit eingegangen.

Kapitel 4 widmet sich der automatischen Extraktion der genutzten Kontextobjekte. Zunächst wird der in [MEYER, 2006] entwickelte Ansatz zu Fahrzeugextraktion mit den in dieser Arbeit vorgenommenen Anpassungen näher erläutert. Des Weiteren werden die entwickelten Ansätze zur Extraktion von Schatten, Bäumen, flacher Vegetation und Asphaltflächen behandelt.

Die Untersuchung der Lücken erfolgt in **Kapitel 5**. Dazu werden Straßensegmenthypothesen aufgestellt, die anhand zweier Fragestellungen bewertet werden.

Die Ergebnisse der vorgestellten Ansätze zur automatischen Extraktion der Kontextobjekte und des Ansatzes zur Bewertung der Straßensegmenthypothesen werden in **Kapitel 6** dargestellt.

Kapitel 7 stellt kurz die Implementierung der Ansätze und die genutzten Funktionsbibliotheken vor.

Kapitel 8 gibt einen Ausblick zur zukünftigen Weiterentwicklung der vorgestellten Ansätze mit konkreten Verbesserungsvorschlägen und fasst die Arbeit abschließend zusammen.

Im Anhang findet sich eine Anleitung zur Nutzung der Software "KontextCheck".

Es wird hier ein Überblick über die benötigten Grundlagen für die vorliegende Arbeit gegeben. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den Operatoren, die in den Kapiteln 4 und 5 Verwendung finden. Nur die in dieser Arbeit verwendeten Operatoren werden detailliert vorgestellt.

Für tiefer gehende Informationen gibt [TÖNNIES, 2005] einen guten Überblick über die Grundlagen der Bildverarbeitung und weiterführende Literatur.

Am Ende der einzelnen Abschnitte sind die Quellen aufgelistet, aus denen die jeweils vorangegangenen Informationen stammen.

2.1 Bildverarbeitung

[HERMES, 2005] teilt die Bildverarbeitung in vier Stufen auf. Zunächst wird das Bild vorverarbeitet, wobei der "Bildinformationsgehalt nicht verändert, ja eher noch verstärkt" [HERMES, 2005] werden soll. Daran anschließend wird die Segmentierung des vorverarbeiteten Bildes durchgeführt. Dabei wird ein Bild in "semantische Einheiten" [TÖNNIES, 2005] zerlegt. Von den so segmentierten Strukturen werden dann signifikante Merkmale wie z.B. die Größe berechnet. Anhand dieser berechneten Merkmale kann im letzten Schritt die Klassifizierung durchgeführt werden. Dabei werden die segmentierten Strukturen anhand der berechneten Merkmale in verschiedene Klassen eingeordnet.

[HERMES, 2005], [TÖNNIES, 2005]

2.2 Bildvorverarbeitung

Die Vorverarbeitung wird in [TÖNNIES, 2005] in zwei Teile aufgeteilt. Der Erste ist die Bildrestauration, der Zweite die Bildverbesserung. Ersteres zielt darauf ab "die Bildinformation von Störungen und Veränderungen zu befreien und verloren gegangene Informationen zu rekonstruieren" [TÖNNIES, 2005]. Die Bildverbesserung beschäftigt sich damit, das Eingabebild im Sinne der anschließenden Weiterverarbeitung zu verbessern.

Häufige Vorverarbeitungsschritte sind beispielsweise Verminderung des Rauschanteils, Beleuchtungskorrektur, geometrische Entzerrung und Kontrastverbesserung ([HERMES, 2005]).

Grundsätzlich werden die Operatoren der Bildvorverarbeitung in die drei Gruppen Punkt-,

lokale und globale Operatoren unterteilt.

Bei den Punktoperatoren werden nur die Intensitätswerte der jeweils einzelnen Pixel des Eingabebildes E(x,y) genutzt. Durch eine Funktion f[E(x,y)] wird daraus der entsprechende Pixel des Ausgabebild A(x,y) berechnet (A(x,y) = f[E(x,y)]). Lokale Operatoren verwenden zur Berechnung des Intensitätswertes des entsprechenden Ausgabepixels A(x,y) zusätzlich die Pixel der lokalen Umgebung um E(x,y). Die Größe der lokalen Umgebung kann dabei variieren. Bei den globalen Operatoren wird das gesamte Eingabebild E berücksichtigt um den Intensitätswert eines Ausgabepixels A(x,y) zu bestimmen.

Beispiele für Punktoperatoren sind Histogrammtransformationen wie Kontrast- und Helligkeitsverbesserung.

Einer der bekanntesten Vertreter der lokalen Operatoren ist der Medianfilter. Er gehört zu den sogenannten Rangordnungsfiltern und sortiert die Pixel der lokalen Umgebung nach Intensitätswerten, um dann den mittleren Pixel auszuwählen und dessen Wert im Ausgabebild zu setzen. Dadurch wird eine Glättung des Eingabebildes erreicht. Abbildung 2 zeigt wie ein Ausreißer geglättet wird.

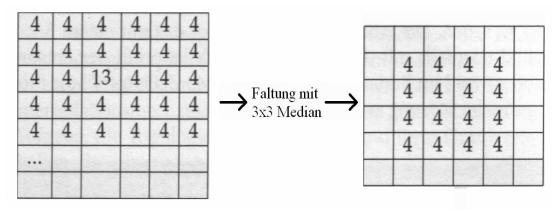


Abbildung 2: Beispiel Medianfilter [HERMES, 2005]

Ein Beispiel für einen globalen Operator ist die Fouriertransformation ([TÖNNIES, 2005]).

[HERMES, 2005], [TÖNNIES, 2005]

2.3 Segmentierung

Im Folgenden werden die zwei Konzepte pixelorientierte und regionenorientierte Segmentierung vorgestellt.

"Die Pixelorientierte Segmentierung verwendet nur die Grauwerte der einzelnen Pixel, die Regionenorientierte Segmentierung untersucht Grauwerte in zusammenhängenden Regionen." [JÄHNE, 1997]

2.3.1 Pixelorientierte Segmentierung

Bei der pixelorientierten Segmentierung wird jedes Pixel unabhängig von anderen segmentiert. Z.B. wird es anhand seines Intensitätswertes einer Menge von Pixeln zugeteilt. Der bekannteste Vertreter der pixelorientierten Segmentierung ist das Schwellwertverfahren. Im einfachsten Fall werden dabei Punkte mit einem Intensitätswert unter einem Schwellwert der einen, alle Punkte mit einem höheren Wert der anderen Region zugeordnet. Um einzelne Bereiche herauszugreifen, oder mehrere Regionen zu bilden, können auch mehrere Schwellwerte festgelegt werden. Die Grenzwerte können entweder vorgegeben oder mit Hilfe des Histogramms automatisch bestimmt werden. Dazu werden z.B. die Maxima der Histogrammfunktion bestimmt, und jeweils ein Grenzwert beliebig zwischen zwei Maxima gelegt, z.B. auf das dazwischen liegende lokale Minimum. Um die Schwellwerte lokal anzupassen, kann dies für verschiedene Bildteile einzeln durchgeführt werden,.

Abbildung 3 zeigt eine Segmentierung anhand eines Schwellwertes von 120.





Abbildung 3: Beispiel Schwellwertverfahren, rote Pixel: 0...120 [MEYER, 2006]

[BÄHR, 1998], [HERMES, 2005], [JÄHNE, 1997], [MEYER, 2006], [TÖNNIES, 2005]

2.3.2 Regionenbasierte Segmentierung

Die regionenorientierten Segmentierungsverfahren unterscheiden sich von pixelorientierten darin, dass die Zuordnung eines Pixels zu einer Region auch von seinen Nachbarn abhängt. Ein Bildpunkt kann z.B. nur dann einer Region zugeordnet werden, wenn bereits ein Nachbarpixel dieser Region angehört. Die in dieser Arbeit verwendeten Verfahren sind das Flächenwachstumsverfahren und das Hystereseschwellwertverfahren (auch Hysterese-Threshold). Diese zwei Verfahren werden kurz erläutert. Beim Schwellwertverfahren wird das erste gewählte Pixel der ersten Region zugeordnet. Dabei kann das erste Pixel das erste Pixel im Bild sein, oder auch ein manuell vorgegebener, sogenannter Saatpunkt. Anschließend wird für alle angrenzenden Punkte geprüft, ob sie ebenfalls dieser Region zugeordnet werden können. Diese Prüfung findet meist anhand der Intensitätswertdifferenz statt. Diese Differenz darf dann eine bestimmte vorgegebene Toleranz nicht überschreiten und bezieht sich meist entweder auf den direkten Nachbarpunkt, oder auf das Mittel der gesamten bisherigen Region. Wenn einer Region keine neuen Punkte mehr hinzugefügt werden können, wird eine neue Region begonnen. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für ein Flächenwachstum. Unterschiedliche Regionen sind teilweise gleich eingefärbt.

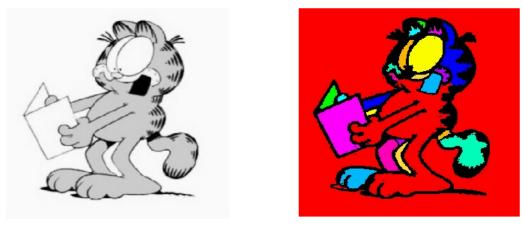


Abbildung 4: Beispiel Flächenwachstum [MEYER, 2006]

Beim Hystereseschwellwertverfahren wird eine obere und eine untere Schranke für den Intensitätswert von Pixeln gegeben. Alle Pixel mit einem Intensitätswert oberhalb der oberen Schranke werden direkt als "sichere" Pixel der Region zugeteilt, alle mit einem Intensitätswert unterhalb der unteren werden sofort ausgeschlossen. Liegt der

Intensitätswert zwischen den Schranken, wird das Pixel in die Region aufgenommen, sofern es einen Pfad von solchen potentiellen Pixeln zu einem sicheren Pixel gibt. Die maximale Länge des Pfades kann festgelegt werden.

Weitere regionenorientierte Verfahren sind z.B. das Wasserscheidenverfahren, 'Split and Merge' und 'Region Merging'.

[BÄHR, 1998], [HERMES, 2005], [JÄHNE, 1997], [MEYER, 2006], [TÖNNIES, 2005]

2.3.3 Morphologische Operatoren zur Nachbearbeitung der Segmentierung

Zur Nachbearbeitung von Segmentierungsergebnissen, also z.B. das Glätten der Konturen, werden in der vorliegenden Arbeit morphologische Operatoren genutzt. Diese werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Mit den Operatoren 'Opening' und 'Closing' können z.B. Brücken in einer Region "geöffnet" oder Einschnitte "geschlossen" werden. Als Grundlage dafür werden die Operatoren 'Dilatation' und 'Erosion' gebraucht.

Beide Operatoren werden auf Binärbildern definiert. Sie nutzen ein sogenanntes Strukturelement. Dies ist eine beliebig geformte Operatormaske, die das genaue Verhalten der Operatoren bestimmt. Meist wird ein Kreis oder Rechteck als Maske genutzt. Diese Maske wird pixelweise über das Binärbild geführt. Bei der Dilatation werden Pixel am Rand von Segmenten hinzugefügt, sofern die Operatormaske bezüglich des aktuellen Pixels mindestens ein Pixel des Originalsegments überdeckt.

Bei der Erosion werden Randpixel entfernt, sofern nicht die gesamte Maske das Originalsegment bedeckt.

Beim Opening wird erst eine Erosion, dann eine Dilatation, beim Closing erst eine Dilatation, dann eine Erosion durchgeführt.

Durch das Opening können drei Dinge erreicht werden: Es können erstens dünne Brücken geöffnet, zweitens Segmentränder geglättet, und drittens zu kleine Regionen entfernt werden (vgl. Abb. 5). Zu den wichtigsten Eigenschaften des Closing gehören das Schließen schmaler Brücken und ebenfalls das Glätten von Segmenträndern (vgl. Abb. 6).

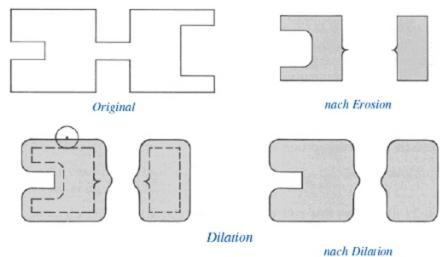


Abbildung 5: Opening [PAKZAD, 2006]

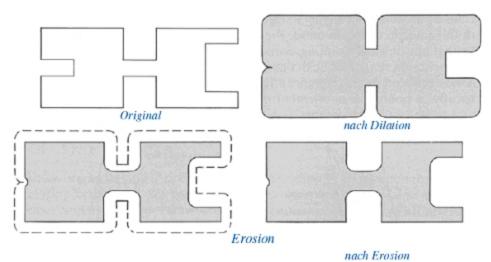


Abbildung 6: Closing [PAKZAD, 2006]

Zusätzlich werden in Kapitel 4 Regionen durch den Operator 'Löcher füllen' nachbearbeitet. Dabei werden Löcher in Regionen aufgefüllt. Ein Bereich, der komplett von Pixeln einer Region umgeben ist, wird also dieser Region hinzugefügt.

[PAKZAD, 2006], [SOILLE, 1998]

2.4 Objekterkennung

Jedes Objekt besitzt Merkmale, anhand derer es eindeutig klassifiziert werden kann. Wichtig ist es, die signifikanten Merkmale eines Objektes zu finden, und diese zur Klassifizierung zu nutzen. Die Merkmale "weiß, kugelförmig, klein" treffen beispielsweise

auf Tischtennis- und Golfbälle zu, sind also nicht eindeutig. Die Merkmale eines Objektes

werden in der Bildverarbeitung meist in einem Modell dargestellt.

Die in dieser Arbeit verwendeten Merkmale werden in diesem Abschnitt vorgestellt und

erläutert. Anschließend wird der Modellbegriff kurz definiert.

2.4.1 Merkmale

hier radiometrische Merkmale. Vorgestellt werden geometrische und

Nachbarschaftsbeziehungen werden in der Literatur ([HERMES, 2005]) teilweise auch als

Merkmale betrachtet, werden hier aber gesondert erörtert (vgl. 2.5).

2.4.1.1 Geometrische Merkmale

Die geometrischen Merkmale betreffen die Größe und Form von Objekten.

Die geometrischen Merkmale einer Zwei-Euro-Münze sind z.B. "rund, flach, 25.75 mm

Durchmesser, 2.2 mm dick".

Die in dieser Arbeit genutzten geometrischen Merkmale werden folgendermaßen definiert:

Größe:

Die Größe ist der Flächeninhalt einer Region.

Möglicher Wertebereich:]0, ∞[

Konvexität:

Jede Region besitzt eine konvexe Hülle. Diese Hülle ist das Polygon mit dem kürzesten

Umfang, welches die Region umschließt. Die Konvexität ist der Quotient aus dem

Flächeninhalt der Region und ihrer konvexen Hülle. In Abbildung 7 sind einige Regionen

mit ihrer Konvexität abgebildet. Für zwei der Regionen ist zusätzlich die konvexe Hülle

dargestellt. Durch die Pixeldarstellung kommt es zu kleinen Fehlern in den

Konvexitätswerten. Alle Regionen in Abbildung 7 ohne konvexer Hülle sollten theoretisch

einen Wert von 1 haben.

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

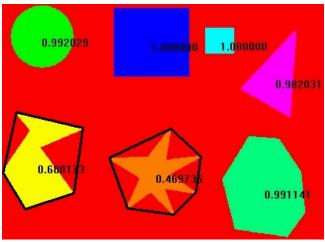


Abbildung 7: Konvexität [MEYER, 2006]

Kompaktheit:

Die Kompaktheit spiegelt das Verhältnis von Konturlänge und Flächeninhalt wieder. Die Berechnung erfolgt nach Formel 1.

$$C = \frac{L^2}{4 * F * \pi}$$

, mit Konturlänge L und Fläche F.

Formel 1: Kompaktheit

Abbildung 8 zeigt die Kompaktheit für verschiedene Regionen.

Möglicher Wertebereich: [1, ∞[

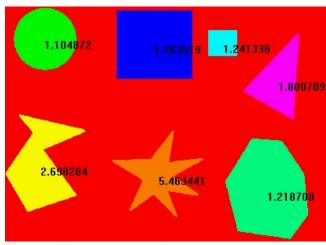


Abbildung 8: Kompaktheit [MEYER, 2006]

Länglichkeit:

Der Quotient aus Neben- und Hauptachse der der Region äquivalenten Ellipse stellt die

Länglichkeit einer Region dar. Die entsprechende Ellipse ist die mit der gleichen

Orientierung und den gleichen Seitenverhältnissen wie die Region.

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Relativer Flächenanteil zum kleinsten umschließenden Rechteck:

Aus dem Quotienten der Fläche der Region und der Fläche des kleinsten umschließenden

Rechtecks beliebiger Orientierung errechnet sich der relative Flächenanteil zum kleinsten

umschließenden Rechteck.

Möglicher Wertebereich: 10, 11

Kreisförmigkeit:

Die Kreisförmigkeit ist der Quotient aus der Fläche der Region und dem Produkt aus dem

Quadrat des maximalen Abstand des Randes zum Schwerpunkt und π . Dies ist in Formel

2 dargestellt.

 $C = \frac{F}{rM\alpha x^2 * \pi}$

Formel 2:

Kreisförmigkeit

Mit Fläche F und maximaler Abstand vom Rand zum Schwerpunkt der Region rMax.

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

[ERHARDT, 2008], [HERMES, 2005], [MEYER, 2006], [STRAUB, 2003], [TÖNNIES, 2005]

2.4.1.2 Radiometrische Merkmale

Radiometrische Merkmale sind Eigenschaften wie Farbe und Textur. Unter Farbe sind auch

Intensitätswerte zu verstehen, wie sie z.B. bei Grauwert- oder auch Infrarotbildern

vorkommen. Textur wird als "flächenhafte Verteilung der Grauwerte mit ihren

Regelmäßigkeiten und gegenseitigen Abhängigkeiten innerhalb begrenzter Bildbereiche"

[RADIG, 1993] aufgefasst.

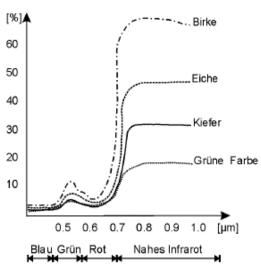


Abbildung 9: Spektrale Reflexion verschiedener Baumarten und grüner Farbe [STRAUB, 2003]

In Kapitel 4 wird der **normalized difference vegetation index** (NDVI) genutzt. Der NDVI ist einer von mehreren Vegetationsindizes, gehört allerdings zu den robustesten und meist verwandten ([BECHTEL, 2007], HILDEBRANDT, 1996]), und wird deswegen auch in dieser Arbeit verwendet. Der NDVI beruht auf der Tatsache, dass Vegetation im nahen Infrarot Bereich (near infrared, NIR, ~780 nm bis ~1400 nm) relativ viel, und im sichtbaren Rotbereich (~620 nm bis ~700 nm) relativ wenig Strahlung reflektiert (vgl. Abb. 9).

Der NDVI berechnet sich wie folgt:

$$NDVI = \frac{NIR - Rot}{NIR + Rot}$$
, $NIR + Rot \neq 0$

Formel 3: NDVI

Für NIR und Rot liegen für diese Arbeit Intensitätswerte im gleichen Intervall ([0, 255]) vor, woraus sich für den NDVI ein Wertebereich von [-1, 1] ergibt. Ein hoher NDVI lässt auf dichte Vegetation schließen, ein niedriger, positiver Wert spricht für weniger dichte Vegetation. Da ein negativer Wert nur zustande kommen kann, wenn im Rotbereich mehr Strahlung als im NIR Bereich reflektiert wird, können Regionen mit solch einem Wert als Vegetationsregionen von vornherein ausgeschlossen werden (vgl. Tab. 1).

Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb lediglich der positive Bereich auf das Intervall [0, 255] abgebildet. Der so berechnete Wert wird in den folgenden Kapiteln als "*NDVI-255*" bezeichnet.

Die NDVI Werte können nach [WEIER, 2000], wie in Tabelle 1 dargestellt interpretiert werden:

NDVI	NDVI-255	Vegetation	Beispiel
-1.0 bis 0.1	0 bis 26	Keine	Felsen, Schnee, Wüste, Asphalt
0.2 bis 0.3	51 bis 76	Flache Vegetation	Gras, Bodendecker
0.6 bis 0.8	153 bis 204	Hohe Vegetation	dichte Baumkronen, tropischer Regenwald

Tabelle 1: Interpretation des NDVI, nach [WEIER, 2000]

Als weiteres radiometrisches Merkmal sei die Abweichung vom Mittelwert einer Region genannt: **Deviation**. Dieses Merkmal gibt Auskunft über die maximale Abweichung der Intensitätswerte einer Region von deren Mittelwert, ist also ein Maß für Homogenität.

[HILDEBRANDT, 1996], [RADIG, 1993], [STRAUB, 2003], [ÜNSALAN, 2004], [WEIER, 2000]

2.4.2 **Modell**

"Ein Modell zeichnet sich durch Abstraktion aus, die bewusste Vernachlässigung bestimmter Merkmale, um die für den Modellierer oder den Modellierungszweck wesentlichen Modelleigenschaften hervorzuheben." [WP, 2008]

Anhand eines Modells werden in der Bildanalyse die zu extrahierenden Objekte möglichst genau beschrieben. Dabei beschreibt das Modell Objekte der realen Welt mit Begriffen der Bildebene. Einfache Modelle beschränken sich meist auf die Festlegung bestimmter Wertebereiche für die entsprechenden signifikanten Merkmale des Objektes. Bei komplexeren Modellen werden zumeist auch Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt.

[BECHTEL, 2007], [MEYER, 2006]

2.5 Kontext

Da in der realen Welt jedes Objekt mit anderen Objekten in Beziehung steht und deren Einflüssen unterworfen ist, kann ein Objekt weitaus besser beschrieben werden, wenn diese Einflüsse bei der Modellbildung berücksichtigt werden.

Dabei wird zwischen globalem und lokalem Kontext unterschieden. Die Merkmale von Objekten sind häufig von ihrer globalen Umgebung (globaler Kontext) abhängig, beispielsweise sind Straßen im Stadtgebiet eher gerade und bilden ein sehr engmaschiges

Netz, während Straßen im ländlichen Bereich kurviger sind und ein eher weitmaschiges Netz bilden. In dieser Arbeit gibt es nur den globalen Kontext "vorstädtisches Gebiet", die in Kapitel 5 vorgestellten Relationen werden also vor diesem Hintergrund aufgestellt und bewertet. Ein gutes Beispiel dafür gibt [WESSEL, 2006]: In ländlichen Gebieten deutet eine Baumreihe nicht unbedingt auf eine Straße hin, denn auch an Schlaggrenzen stehen häufig Baumreihen. In vorstädtischen oder städtischem Gebiet ist die Evidenz von Baumreihen bezüglich Straßen jedoch sehr viel höher.

Beim lokalen Kontext kommt die direkte Umgebung von Objekten zum Tragen. Ein einfaches Beispiel ist die Beeinflussung von Objekten durch Schatten. Nimmt man beispielsweise einen Fußballplatz und als Merkmale "rechteckige, homogene, grüne Fläche", so kann der Schatten eines Baumes die Homogenität brechen (vgl. Abb. 10).

Durch solche Beeinflussungen entsprechen Objekte häufig nicht mehr ihrer ursprünglichen Modellvorstellung. Das Wissen über Beziehungen zwischen Objekten kann genutzt werden und in die Modelle für Objekte mit einfließen. Ein Objekt, das mit dem zu extrahierenden Objekt in Beziehung steht, wird als Kontextobjekt bezeichnet.

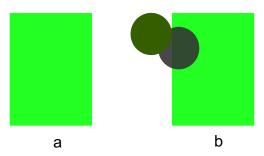


Abbildung 10: Beispiel für Kontext: Schatten beeinflusst die Homogenität des Fußballplatzes, a: Fußballplatz, b: Fußballplatz mit Baum und Schatten

Kontextobjekte können aber auch im Nachhinein genutzt werden, um Objekthypothesen zu unterstützen oder zu widerlegen. Eine Hypothese für eine Agrarfläche kann z.B. durch landwirtschaftliche Maschinen wie Traktoren oder Mähdrescher, die sich darauf befinden, unterstützt werden. Wird auf der Fläche allerdings ein Boot gefunden, spricht das gegen eine Agrarflächenhypothese.

Unterstützende Objekte werden als "positive Kontextobjekte", Objekte, die gegen eine Hypothese sprechen, als "negative Kontextobjekte" bezeichnet.

2.6 Ergebnisbewertung

Bei der Bewertung von Ergebnissen werden in dieser Arbeit die Begriffe Vollständigkeit und Korrektheit verwendet. Diese Bewertungsmaße ergeben sich aus dem Vergleich der Extraktionsergebnisse mit einem Referenzdatensatz. Bestimmt werden die Werte wie folgt:

Zunächst werden die 'true positives' ermittelt. 'True positives' sind die Objekte, die sowohl im Ergebnis als auch in der Referenz auftauchen. 'False positives' sind Objekte, die extrahiert wurden, aber in der Referenz nicht vorhanden sind, also fälschlicherweise extrahiert wurden. Die Objekte, die in der Referenz, aber nicht in den Extraktionsergebnissen erscheinen, werden 'false negatives' genannt.

Die Vollständigkeit ist "der Anteil der richtig erkannten Objekte an der Referenz" [BECHTEL, 2007] und berechnet sich wie in Formel 4 dargestellt. 'True positives' + 'false negatives' entspricht der Anzahl der maximal im Bild zu extrahierenden Objekte.

$$Vollständigkeit = \frac{true\ positives}{true\ positives + false\ negatives}$$

Formel 4: Vollständigkeit

Die Korrektheit ist "der Anteil der richtig erkannten Objekte an allen erkannten Objekten" [BECHTEL, 2007] und berechnet sich nach Formel 5. 'True positives' + 'false positives' entspricht der Anzahl der insgesamt extrahierten Objekte.

$$Korrektheit = \frac{true\ positives}{true\ positives + false\ positives}$$

Formel 5: Korrektheit

In den meisten Fällen wird für die Berechnung der obigen Werte jeweils die Anzahl der als 'true positives', 'false positives' und 'false negatives' klassifizierten Objekte genutzt. Wenn es sich bei den zu extrahierenden Objekten um eher kleine, abgegrenzte Objekte handelt (z.B. Fahrzeuge), ist dies auch die beste Möglichkeit. Sollen aber Objekte mit einer sehr großen Ausdehnung im Bild extrahiert werden, beispielsweise bei der Trennung von städtischem und ländlichem Gebiet, ist es nicht ratsam, die Anzahl der Regionen zur Berechnung von Vollständigkeit und Korrektheit zu nutzen. In Kapitel 6 wird deshalb bei der Bewertung der Extraktion der Asphaltflächen nicht die Anzahl der korrekten oder nicht korrekten Regionen herangezogen, sondern die als korrekt oder nicht korrekt eingestuften

Flächenanteile. So kann eine einzelne Region zum Teil korrekt und zum Teil falsch sein.

Eine Alternative dazu wäre das folgende Verfahren: In [STRAUB, 2004] wird für die Entscheidung, ob eine extrahierte Region korrekt oder nicht korrekt ist, ein Evaluationsverfahren auf der Basis von fünf topologischen Relationen zwischen Regionen der Ergebnisdaten A und der Referenzdaten B vorgeschlagen. A und B können disjunkt sein, A und B können identisch sein, A kann B enthalten, B kann A enthalten und A und B können sich überlappen. Die Bewertung der ersten vier Relationen wird wie gehabt durchgeführt, für die Letzte wird ein Maß für die Überlappung eingeführt. Die Berechnung des 'overlap factor' ist in Formel 6 dargestellt.

$$OF = \frac{|A \cap B|}{min(|A|, |B|)}$$

Formel 6: Overlap factor [STRAUB, 2004]

Ist der 'overlap factor' kleiner als 0.5 werden die Mengen als "eher disjunkt" eingestuft, ansonsten als "eher identisch".

[BECHTEL, 2007], [STRAUB, 2004]

3 Bisherige Arbeiten

Neben existierenden Arbeiten zur Nutzung von Kontextobjekten bei der automatischen Straßenextraktion werden hier verschiedene Arbeiten zur automatischen Extraktion der später genutzten Objekte Fahrzeuge, Bäume, Gebäude und Schatten vorgestellt.

In 3.1 wird zunächst [GROTE, 2008] vorgestellt, da die hier vorliegende Arbeit die Ergebnisse aus [GROTE, 2008] als Eingabedaten verwendet (Straßensegmente und Straßengraphen).

3.1 Herkunft der Eingabedaten

Für diese Arbeit liegen als Daten durch Straßengraphen teilweise verbundene Straßensegmente vor. Die Daten stammen aus einem von der DFG geförderten Projekt (u.a. am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation). Wie sie entstehen, wird in [GROTE, 2008] erläutert.

"Road extraction for the update of road databases in suburban areas" [GROTE, 2008]

[GROTE, 2008] behandelt die Extraktion von Straßensegmenten und deren teilweise Gruppierung in vorstädtischen Gebieten. Für die Segmentierung wird der "normalized cuts algorithm" unter Nutzung von Kanten- und Farb-Kriterien genutzt. Dabei werden die Parameter so eingestellt, dass das Bild übersegmentiert wird. Anschließend werden die Segmente, wiederum anhand von Kanten- und Farb-Kriterien, zu größeren Segmenten gruppiert. Große Segmente werden anschließend an den "Abzweigungen" ihres Skelettes aufgetrennt. Dies ist in Abbildung 11 dargestellt. Die gelb umrandeten Segmente werden an den roten Strichen aufgetrennt.



Abbildung 11: Auftrennung großer Straßensegmente [GROTE, 2008]

Die Segmente werden bezüglich ihres Potentials als Straßensegmente, hauptsächlich anhand von Formeigenschaften, bewertet. Häufig werden Straßenstücke nicht durchgehend extrahiert, weil sie z.B. von Kontextobjekten unterbrochen sind. Es wird versucht, solche Straßensegmente eines Straßenstückes anhand bestimmter Kriterien zu einer Reihe zusammenzufügen. Dazu bekommt jedes Straßensegment zwei Knotenpunkte. Diese liegen auf den äußeren Schnittpunkten der "Mittelpunktlinie" mit den Rändern des Segmentes. Die Mittelpunktlinie ist die Linie durch den Schwerpunkt des Segmentes mit der selben Orientierung wie das Segment. Die Kriterien für die Verbindung zweier Segmente sind folgende:

- Der Abstand zwischen den Segmenten, gemessen zwischen den n\u00e4her aneinander liegenden Knotenpunkten (max. 40m)
- 2. Differenz der Orientierung der Segmente (max. 30°)
- 3. "Continuation smoothness" zwischen den Straßensegmenten (vgl. Abb. 12) (max. 30°)

Die "continuation smoothness" steht in Relation mit den in Abbildung 12 zu sehenden "smoothness angles". Je größer diese Winkel, desto kleiner die "continuation smoothness".

Je kleiner der Abstand der Segmente und die Differenz der Orientierungen, und je größer die "continuation smoothness" ist, desto eher werden zwei Segmente verbunden.

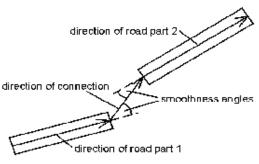


Abbildung 12: Continuation smoothness [GROTE, 2008]

Begonnen wird bei der Suche nach zueinander passenden Straßensegmenten mit dem bestbewerteten Segment der vorherigen Bewertung.

Die Knotenpunkte der Straßensegmente bilden Knoten in einem Graphen. Werden zwei

zueinander passende Segmente gefunden, so werden die näher aneinander liegenden Knoten mit einer Kante verbunden. In Abbildung 13 sind aneinandergereihte Straßensegmente mit ihren Verbindungen dargestellt. Die zwei Knoten jedes einzelnen Straßensegmentes werden ebenfalls mit einer Kante verbunden. So entstehen aus der Menge der extrahierten Straßensegmente ein oder mehrere Straßengraphen. Die genauere Untersuchung der Bereiche zwischen verbundenen Straßensegmenten anhand von Kontextobjekten ist der Hauptaugenmerk der vorliegenden Arbeit.

Durch die Verbindung von Straßensegmenten anhand der drei beschriebenen Kriterien werden keine Verbindungen an Kreuzungen hergestellt. Dies wird Gegenstand weiterer Entwicklung sein.



Abbildung 13: Aneinandergereihte Straßensegmente [GROTE, 2008]

3.2 Nutzung von Kontextinformationen

Hier werden drei Arbeiten vorgestellt, die sich unter anderem mit der Nutzung von Kontextinformationen bei der automatischen Straßenextraktion beschäftigen. Dabei wird verstärkt auf eben diese Nutzung eingegangen.

"Semantic Objects and Context for Finding Roads" [BAUMGARTNER & STEGER, 1997]

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der automatischen Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern, und nutzt dabei globalen und lokalen Kontext. Für den globalen Kontext werden drei Gebiete unterschieden: Waldgebiete, ländliche und städtische Gebiete. Je nach Gebiet gibt es verschiedene lokale Kontextbeziehungen zwischen Hintergrundobjekten wie Gebäuden, Bäumen oder Fahrzeugen und Straßen. Es werden mehrere Relationen zwischen Kontextobjekten und Straßen definiert (lokaler Kontext). Durch den globalen Kontext wird dann weiter differenziert, so stehen beispielsweise Gebäude in städtischen Gebieten meist näher an der Straße als in ländlichen Gebieten.

In Abbildung 14 sind die Beziehungen Gebäude-Zufahrt-Straßensegment (building_driveway_road-segment) und Überdeckung-Schatten (occlusion_shadow) zu

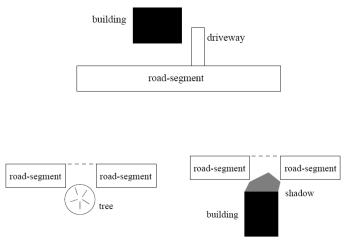


Abbildung 14: Kontextbeziehungen, Oben: Gebäude-Zufahrt-Straßensegment. unten: Überdeckungen, links durch Baum, rechts durch Schatten [BAUMGARTNER & STEGER, 1997]

sehen. Weiter werden die Relationen *Straßensegment-Feldwegzufahrt-Straßensegment* (rural_driveway), *Fahrzeug-Straßensegment* (vehicle_road) und *parallele Objekte-Straßensegment* (parallel_object) eingeführt. Letzteres zielt auf Bürgersteige oder Radwege ab. Die Beziehungen können untereinander kombiniert werden.

Abbildung 15 zeigt, welche der Relationen in welchem globalen Kontext auftreten können.

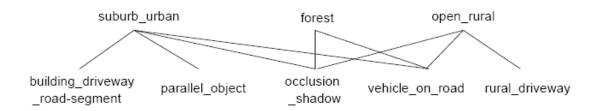


Abbildung 15: Zusammenhang von globalem (oben) und lokalem (unten) Kontext [BAUMGARTNER & ECKSTEIN, 1997]

Die Relationen werden zum Einen genutzt, um von vornherein die Extraktionsstrategie anzupassen, und zum Anderen, um Lücken zwischen Straßenteilen zu erklären und zu schließen. Dieser Ansatz wird jedoch nur für ländliche Gebiete verwirklicht. Die Ansätze für Wald- und städtische Gebiete werden hier nur kurz im "Ausblick" angesprochen. Dabei wird auf die Nützlichkeit eines digitalen Oberflächenmodells (DOM) hingewiesen, um Kontextobjekte zu extrahieren.

"Using context as guide for automatic object extraction in urban areas" [HINZ, 2001]

In [HINZ, 2001] wird ein System vorgestellt, das verschiedene Relationen zwischen Kontextobjekten und Straßen von Anfang an in die Straßenextraktion mit einbezieht. Als Daten stehen hoch aufgelöste Luftbilder und ein DOM zur Verfügung.

Zunächst wird zusätzlich zum Straßenmodell ein Kontextmodell aufgestellt. Global unterscheidet dieses städtische, ländliche und Waldgebiete. Lokal werden für städtische Gebiete als Kontextobjekte Fahrzeuge, Gebäude und GIS-Straßenachsen verwendet. Die Objekte können mit Fahrbahnsegmenten und Abzweigungen und Kreuzungen in Beziehung stehen. Diese können weiter mit Fahrbahnmarkierungen in Beziehung stehen. Die detaillierten Beziehungen in städtischen Gebieten sind in Abbildung 16 dargestellt.

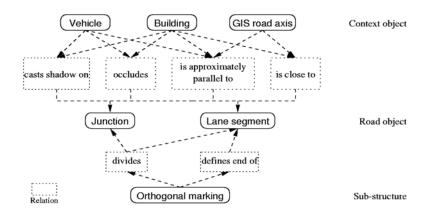


Abbildung 16: Kontextbeziehungen in städtischen Gebieten [HINZ, 2001]

Die Extraktion startet mit der Unterteilung des Bildes in die verschiedenen globalen Kontexte Land, Stadt und Wald. Die Extraktion mit Hilfe der Kontextobjekte konzentriert sich in [HINZ, 2001] auf städtische Gebiete. Die Beziehungen *Gebäude-Straße* werden verschieden genutzt. Zuerst wird mit Hilfe des DOM und der Beziehung '*überdeckt*' das Bild ausgewählt, dass den besten Blick auf die Szene erlaubt. Danach werden im nächsten Schritt die Beziehungen '*parallel zu*' und '*nahe bei*' der Gebäude genutzt um im DOM "Täler" zwischen den Gebäuden zu finden. Diese Täler geben Hinweise auf Positionen und Orientierungen potentieller Straßen. Zusätzlich werden Gebäuderegionen bei der weiteren Straßenextraktion vom Suchraum ausgeschlossen. Gebäude werden in [HINZ, 2001] nur grob extrahiert. Dazu wird das vorhandene DOM genutzt.

Als letzte Relation zwischen Gebäuden und Straßen wird 'wirft Schatten auf' genutzt. Schattenregionen werden wie in [ECKSTEIN, 1996] extrahiert (vgl. 3.6). Genutzt werden sie, um bei der Straßenextraktion automatisch verschiedene Parameter anzupassen, beispielsweise Schwellwerte für die Segmentierung oder Grenzwerte bei der Bewertung von Hypothesen.

Vorhandene GIS Daten können als Kontextrelation genutzt werden, indem die Beziehungen 'nahe bei' und 'parallel zu' zwischen Straßenachsen aus GIS Daten und Straßenhypothesen aufgestellt werden. In [HINZ, 2001] werden die GIS Daten als Hinweis auf eine Straßenhypothese genutzt. Es wird aber betont, dass die eigentliche Straßenextraktion dann völlig unabhängig von den GIS Daten sein soll.

Die Beziehung 'überdeckt' zwischen Fahrzeugen und Straße wird während der eigentlichen

Straßenextraktion genutzt. Treten dabei Lücken zwischen Fahrbahnsegmenten auf, wird für die Lücke eine automatische Fahrzeugextraktion aufgerufen. Dazu wird der in [HINZ & BAUMGARTNER, 2001] vorgestellte Ansatz verwendet. Wird ein Fahrzeug gefunden, wird die Lücke geschlossen.

Die Ergebnisse zeigen, dass das vorgestellte System Straßen auch in komplexen Umgebungen findet.

In [HINZ, 2004] wird das in [HINZ, 2001] vorgestellte Kontextmodell um Fahrzeugkolonnen und hohe Vegetation erweitert. Außerdem können Fahrzeugkolonnen in [HINZ, 2004] direkt als Fahrbahnhypothese übernommen werden.

"Automatische Extraktion von Straßen aus SAR-Bilddaten" [WESSEL, 2006]

[WESSEL, 2006] behandelt die automatische Extraktion von Straßen aus SAR-Bildern im ländlichen Raum für eine Bodenpixelgröße von etwa 2 m. Nach einer Vorklassifizierung in städtische und ländliche Gebiete werden die extrahierten Linien anhand geometrischer und radiometrischer Merkmale gruppiert und bewertet. Die so entstehenden Straßenhypothesen werden durch eine "kürzeste Pfad"-Suche zu einem Straßennetz verbunden.

Zur Verbesserung der Straßenextraktion werden die Kontextobjekte Autos, Verkehrsschilder, Brücken und Bäume genutzt. Dabei erhalten Autos, Verkehrsschilder und Brücken eine eher hohe Evidenz bezüglich der Straßenextraktion, Bäume bzw. Baumreihen eine eher niedrige. Die Kontextobjekte werden in [WESSEL, 2006] nicht automatisch, sondern manuell extrahiert. Aus der Evidenz, die ein Kontextobjekt in Bezug auf eine Straße hat, wird ein Fuzzy-Gewicht geschätzt, in das auch die Zuverlässigkeit einer automatischen Extraktion mit einfließen sollte.

Fahrzeuge bekommen hier eine sehr hohe Gewichtung, so dass bewegte Fahrzeuge sogar als Startpunkte für eine Straßenextraktion verwandt werden.

Die Ergebnisse aus [WESSEL, 2006] zeigen eine Verbesserung der Straßenextraktion durch Kontextobjekte, allerdings beschränken sich diese Verbesserungen fast ausschließlich auf Bundesstraßen. Diese Einschränkung ist allerdings nicht auf Farbluftbilder übertragbar.

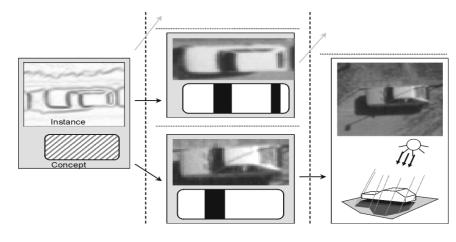
In [WESSEL, 2003] wurde der beschriebene Ansatz erstmals vorgestellt.

3.3 Extraktion von Fahrzeugen

Für die Extraktion von Fahrzeugen wird in dieser Arbeit auf den in [MEYER, 2006] entwickelten Ansatz zurückgegriffen. Dieser ist mit den daran vorgenommenen Änderungen in 4.2 vorgestellt. Hier wird zusätzlich der in [HINZ, 2004] genutzte Ansatz zur Fahrzeugextraktion vorgestellt.

"Automatische Extraktion urbaner Straßennetze aus Luftbildern" [HINZ, 2004]

Das hier genutzte Modell für Fahrzeuge geht gegenüber [MEYER, 2006] noch einen Schritt weiter. Das Modell aus [MEYER, 2006] befindet sich nach [HINZ & BAUMGARTNER, 2001] auf Level 2 der dort vorgestellten Modellhierarchie (vgl. Abb. 17). [HINZ, 2004] nutzt zusätzlich die in Level 3 hinzukommende 3D Komponente des Fahrzeugmodells und verschiedene lokale Kontexte. Diese beziehen zum Einen den Schattenwurf von Fahrzeugen mit ein, zum Anderen das häufige Auftreten von Fahrzeugen in Fahrzeugkolonnen. Außerdem basiert das Modell in [HINZ, 2004] nicht auf Regionen, sondern auf Kanten. So wird zur Segmentierung das Gradientenbild genutzt und "topdown" ein Matching auf diesem durchgeführt. Es wird also im Gradientenbild nach Kantenstrukturen gesucht, die denen der im Modell vorgegebenen entsprechen. Werden mehrere Fahrzeuge in einer Fahrzeugschlange gefunden, geben Lücken in dieser Schlange einen Hinweis auf ein dort vorhandenes Fahrzeug.



Level 1: Kompakte Regionen

Level 2: Teil - Strukturen

Level 3: 3D und Kontext

Abbildung 17: Modellhierarchie für Pkw [HINZ & BAUMGARTNER, 2001]

Der in [HINZ, 2004] genutzte Ansatz zur automatischen Extraktion von Fahrzeugen wurde erstmals in [HINZ & BAUMGARTNER, 2001] detailliert vorgestellt.

[HINZ, 2006] stellt einen Ansatz zur Fahrzeugextraktion auf Wärmebildern (Infrarotluftbilder) mit einer Auflösung von ca. 1 m / Pixel vor. Die Fahrzeuge selbst werden als Blob ("Klecks") beschrieben. Je heller eine Region im Wärmebild ist, desto wärmer ist sie, deshalb treten Fahrzeuge meist als dunkle Flecken auf, da der Straßenbelag meist wärmer ist als die Fahrzeuge. Fahrzeuge mit laufendem Motor haben an entsprechender Stelle zusätzlich einen kleinen hellen Fleck. Da allein mit dieser Beschreibung eine Vielzahl von Fehlerkennungen die Folge wäre, wird die Umgebung dieser Blobs näher betrachtet. Es wird Wissen über das Auftreten von Fahrzeugen in dichtem Verkehr (Fahrzeugkolonnen) und auf Parkplätzen genutzt.

Weitere Arbeiten zur Extraktion von Fahrzeugen sind z.B. [HINZ, 2005], [LEITLOFF, 2005], [RUSKONÉ, 1996] und [ZHAO, 2001] (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

3.4 Extraktion von Bäumen

Für einen guten und ausführlichen Überblick über die verschiedenen Arbeiten zur Extraktion von Bäumen aus Luftbildern wird die Arbeit "Objektextraktion von Bäumen aus Luftbildern – Vergleich und Steuerung von Segmentierungsverfahren zur Vorbereitung eines Expertensystems." [BECHTEL, 2007] empfohlen.

Um die 3D Form einer Baumkrone zu modellieren wird sehr häufig das Pollock Modell verwendet. Dazu wird allerdings ein DOM gebraucht, weshalb es im Rahmen dieser Arbeit nicht zum Tragen kommt, und hier auch nicht näher darauf eingegangen wird. Detaillierte Informationen dazu sind in [POLLOCK, 1996] zu finden.

"Automatische Extraktion von Bäumen aus Fernerkundungsdaten" [STRAUB, 2003]

[STRAUB, 2003] nutzt als Eingabedaten ein DOM und Farbinfrarot-Bilder. Das Modell basiert auf vier Eigenschaften: Fläche, Kreisförmigkeit, Konvexität und Vitalität. Die Vitalität wird durch den NDVI bestimmt. Im Vergleich mit anderen Vegetationsindizes

lässt sich damit am Besten Vegetation und Nicht-Vegetation unterscheiden. Mit Hilfe des Wasserscheidenverfahrens wird das DOM in verschiedenen Maßstabsebenen segmentiert (vgl. Abb. 18). Die Segmentierungsergebnisse werden dann anhand des Modells bewertet. Da Bäume in vielen verschiedenen Größen vorkommen können, wird durch die Segmentierung in verschiedenen Maßstabsebenen gewährleistet, dass jeder Baum (auch) in der für ihn optimalen Maßstabsebene segmentiert wird, und so bei der Bewertung in der entsprechenden Maßstabsebene automatisch die beste Bewertung erhält.

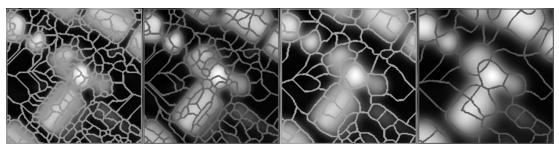


Abbildung 18: Segmentierungsergebnis des DOM in vier verschiedenen Maßstabsebenen [STRAUB, 2003]

Nachdem durch die Bewertung die Baumhypothesen herausgefiltert wurden, wird versucht, die Grenze der Baumkrone durch Snakes genauer festzulegen. So kann in der abschließenden Ergebnisbewertung die Korrektheit erhöht werden, wodurch allerdings die Vollständigkeit ein wenig leidet.

Weitere Arbeiten zur Extraktion von Bäumen sind z.B. [BRANDBERG, 1998], [HERRERA, 2004], [LARSEN 1997] und [WOLF, 2007] (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

3.5 Extraktion von Gebäuden

Im Rahmen dieser Arbeit wird die automatische Extraktion von Gebäuden nicht durchgeführt. Aus diesem Grund werden die zwei im Folgenden vorgestellten Ansätze zur Gebäudeextraktion ausführlicher beschrieben.

"Automated Building Extraction from High-Resolution Satellite Imagery in Urban Areas Using Structural, Contextual, and Spectral Information" [JIN, 2005]

Der in [JIN, 2005] vorgestellte Ansatz zur automatischen Extraktion von Gebäuden aus Satellitenbildern basiert auf drei Vorgehensweisen. Gebäudehypothesen werden anhand von Struktur-, Kontext- und Spektralinformationen aufgestellt und im Anschluss zusammengeführt. Das entsprechende Ablaufdiagramm ist in Abbildung 19 dargestellt. Die genutzten Eingabebilder beinhalten 1-m PAN (panchromatic) und 4-m MS (multispectral) Bänder.

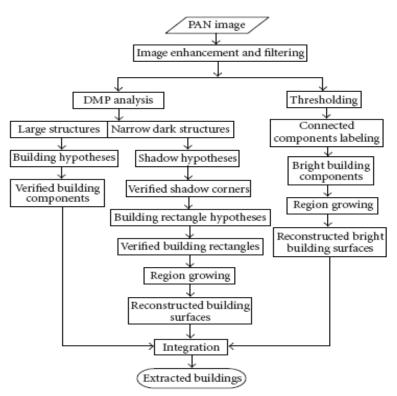


Abbildung 19: Ablaufdiagramm der Gebäudeextraktion [JIN, 2005]

Zunächst werden mit einem differentiellen morphologischen Profil (DMP, vgl. [PESARESI, 2001]) Strukturinformationen aus dem Eingabebild extrahiert. Durch diese Informationen können Gebäude anhand ihrer Form und Größe erkannt werden. So werden jedoch auch andere Objekte wie Parkplätze für Gebäude gehalten, da diese sich in Form und Größe in der Bildebene ähneln. Solche Objekte werden durch den nicht vorhandenen Schatten heraus gefiltert. Zusätzlich wird Schatten in einem zweiten Ansatz genutzt, um

Gebäude zu finden. Nach der Extraktion von Schattenregionen werden diese auf "Ecken" untersucht und anhand derer dann Gebäudehypothesen aufgestellt. Diese Hypothesen werden anhand von Homogenität und dem NDVI gefiltert. Die "guten" Hypothesen werden dann als Saatpunkte für eine Segmentierung mit dem Wasserscheidenverfahren genutzt, wodurch die genauen Gebäudegrenzen gefunden werden (vgl. Abb. 20).

Durch die bis hierher beschriebenen Ansätze werden kleine Gebäude nicht gefunden. Bei dem auf dem DMP basierenden Ansatz würden zu kleine Strukturelementen zu viele

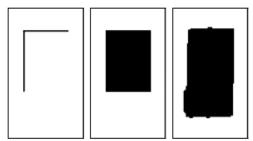


Abbildung 20: Nutzung der Schattenregionen zur Gebäudeextraktion, links: Gefundene Schattenecke, mitte: Daraus resultierende Gebäudehypothese, rechts: Segmentiertes Gebäude
[JIN, 2005]

Fehlerkennungen nach sich ziehen, ebenso werden bei dem schattenbasierten Ansatz kleine Gebäude nicht gefunden, da zu kleine Schatten zu Gunsten einer besseren Korrektheit heraus gefiltert werden. Mit Hilfe von Spektralinformationen sollen auch kleine Gebäude gefunden werden. Aufgrund des jeweiligen Materials und der glatten Oberfläche stellen sich viele Gebäude im PAN Bild als Regionen hoher Intensität dar. Mit einem Threshold werden Saatpunkte im PAN Bild segmentiert, die als Eingabe für eine Segmentierung mit dem Wasserscheidenverfahren genutzt werden, um die genauen Umrisse der Gebäude zu finden.

Die extrahierten Gebäude der drei einzelnen Ansätze werden am Ende vereinigt (mengentheoretisches 'oder'). Die erzielten Ergebnisse liegen bei den in [JIN, 2005] genutzten Beispielbildern bei ca. 73% für Vollständigkeit und ca. 59% Korrektheit.

"Extracting Buildings from Aerial Images using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D" [FISCHER, 1998]

35

In [FISCHER, 1998] wird auf den Eingabebildern zunächst nach Merkmalen wie Punkte, Linien und Flächen gesucht. Aus diesen Objekten werden dann Ecken gebildet, aus denen anschließend Gebäudeteile rekonstruiert werden. Diese Gebäudeteile werden dann zu kompletten Gebäuden zusammengesetzt.

Das Modell ist in vier Ebenen aufgeteilt. In der ersten Ebene (feature level) finden sich die grundlegenden Merkmale wie Punkte, Linien und Flächen. Die zweite Ebene (feature aggregate level) beinhaltet aus den grundlegenden Merkmalen zusammengesetzte Objekte, insbesondere dreidimensionale Ecken. Die dritte Ebene (building part level) umfasst Gebäudeteile. Diese bestehen aus mehreren Ecken. Gebäudeteile unterteilen sich in Endstücke und Verbindungsstücke (vgl. Abb. 21). In der vierten Ebene (building level) befinden sich fertige Gebäude, welche aus mehreren Gebäudeteilen bestehen.

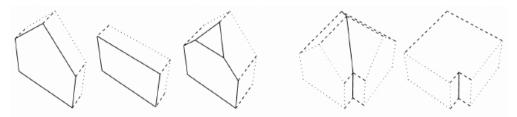


Abbildung 21: Gebäudeteile (Modellebene 3): Links: Endstücke, rechts: Verbindungsstücke [FISCHER, 1998]

Durch diesen "bottom-up" Ansatz können mehrere Gebäudehypothesen für ein Gebäude gefunden werden. Diese Hypothesen werden dann "top-down" auf das Bild gematched um die am besten passende Hypothese als Gebäude zu übernehmen.

Weitere Arbeiten zur Extraktion von Bäumen sind z.B. [COLLINS, 1995], [MOONS, 1998], [NEVATIA, 1997] und [ROUX, 1997] (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

3.6 Extraktion von Schatten

"Fusion of Digital Terrain Models and Texture for Object Extraction" [ECKSTEIN, 1996]

In [ECKSTEIN, 1996] wird zur Extraktion von Schatten auf ein DOM zurückgegriffen. Anhand des DOMs und dem Wissen über Sonnenstand und Aufnahmeparameter kann bestimmt, bzw. vorhergesagt werden, wo Schattenregionen im Bild zu erwarten sind. Die so erhaltenen Regionen werden anhand ihrer Größe gefiltert. Anschließend werden alle Pixel verworfen, die über einem bestimmten Grauwert liegen. Die übrigen Pixel werden als Saatpunkte für ein Flächenwachstum genutzt, welches die finalen Schattenregionen liefert. Abbildung 22 zeigt die Vorhersage für Schatten (links) und die aus dem Flächenwachstum resultierenden Schattenregionen (rechts).

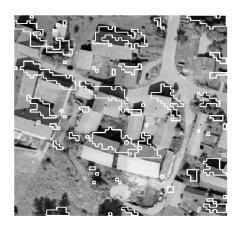




Abbildung 22: Schattenextraktion, links: Mit DOM vorhergesagte Schattenbereiche, rechts: Daraus resultierende Schattenregionen [ECKSTEIN, 1996]

Weitere Arbeiten zur Extraktion von Schatten sind z.B. [JIANG, 1992] und [SALVADOR, 2001] (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

3.7 Zusammenfassung

Die Unterstützung der Straßenextraktion anhand von Kontextobjekten ist in den letzten Jahren verstärkt eingesetzt worden. Lokale Kontextinformationen werden in den vorgestellten Arbeiten auf drei verschiedene Arten genutzt. Erstens wird aufgrund des globalen Kontextes von vornherein die Strategie zur Extraktion von Straßen entsprechend angepasst ([BAUMGARTNER & STEGER, 1997], [HINZ, 2001], [WESSEL,

2003&2006]), zweitens wird nach der Extraktion versucht, Lücken zwischen Straßen anhand von vorhandenen Kontextobjekten zu erklären und anschließend zu schließen ([BAUMGARTNER & STEGER, 1997], [HINZ, 2001], [WESSEL, 2003&2006]), und drittens werden Kontextobjekte sogar genutzt, um Hypothesen für Straßenstücke aufzustellen, um diese dann z.B. als Startpunkte für sichere Straßen zu nutzen ([HINZ, 2004], [WESSEL, 2003&2006]).

[WESSEL, 2003] stellt erstmals ein explizites Bewertungssystem für Kontextobjekte von Straßen vor. Dabei erhalten verschiedene Kontextobjekte aufgrund ihrer Evidenz bezüglich einer Straße verschiedene Fuzzy-Gewichte, welche in die Straßenextraktion einfließen.

Die meisten relevanten Relationen 'Kontextobjekt-Straße' werden in [BAUMGARTNER & STEGER, 1997] vorgestellt, in [WESSEL 2003] wird zwar mit dem Kontextobjekt 'großes Verkehrsschild' ein weiteres eingeführt, dieses ist allerdings nur für die dort verwendeten SAR Bilder von Bedeutung. In allen untersuchten Arbeiten wird nur nach positiven Kontextobjekten gesucht. Damit sind Objekte gemeint, die für eine Straßenhypothese sprechen. Es gibt keine Relationen 'Kontextobjekt-Straße', die explizit gegen eine Straßenhypothese sprechen würden.

Die wichtigste, und auch in der Literatur am häufigsten verwendete Relation zwischen Kontextobjekt und Straße ist 'Fahrzeug-Straße'. In [WESSEL 2003] erhält diese Relation deshalb auch das höchste Fuzzy-Gewicht und kann als einzige Relation Startpunkt einer Straße sein.

Grundsätzlich tauchen in der Literatur zwei verschiedene Fahrzeugmodelle für hoch aufgelöste Luftbilder auf. [HINZ, 2001] und [HINZ, 2004] stellen ein komplexes Kantenmodell inklusive lokalem Kontext auf. Das in [MEYER, 2006] genutzte Modell basiert auf zueinander passenden Regionen und nutzt keinen lokalen Kontext.

Bei der Extraktion von Bäumen wird fast immer auf Farbinfrarotbilder sowie ein digitales Oberflächenmodell zurückgegriffen, wodurch das Modell aus [POLLOCK, 1996] für die geometrische Modellierung der Baumkronen genutzt werden kann. Weiter fließen radiometrische Merkmale in die Baummodelle ein. Dabei wird meist ein Vegetationsindex

wie der NDVI genutzt. [STRAUB, 2003] verdeutlicht die Wichtigkeit der richtigen Maßstabsebene und segmentiert die Eingabebilder konsequenterweise in mehreren Maßstabsebenen, um für jeden Baum die optimale Ebene zu nutzen.

Für die Extraktion von Gebäuden wurden zwei verschiedene Ansätze vorgestellt. [JIN, 2005] nutzt Struktur-, Kontext- und Spektralinformationen, um verschiedene Gebäudetypen zu extrahieren. [FISCHER, 1998] sucht mit einem klassischen "bottom up" Ansatz zunächst nach Punkten und Linien um diese nach und nach zu Gebäuden zusammen zu setzten. Da so mehrere Gebäudehypothesen für ein einzelnes Gebäude entstehen können, wird anschließend "top-down" ein Matching durchgeführt, um die beste Hypothese zu erhalten.

Die Gebäudeextraktion ohne DOM hat sich als sehr komplexes Gebiet gezeigt. Zwar können mit einfachen Ansätzen recht gute Ergebnisse bei der Extraktion von Fahrzeugen und Bäumen erzielt werden, bei der Extraktion von Gebäuden konnte dies ohne DOM bisher aber nicht befriedigend gelöst werden.

[ECKSTEIN, 1996] nutzt ein DOM, um Schattenbereiche vorherzusagen, die als Ausgangspunkt für die Extraktion von Schatten genutzt werden. So wird verhindert, dass andere dunkle Bereiche, die keine Schatten sind, fälschlicherweise extrahiert werden. Da für diese Arbeit kein DOM zur Verfügung steht, kann dieser Ansatz so nicht genutzt werden. Die Annahme, dass Schatten nur nahe bei hohen Objekten liegen, kann aber auch ohne DOM genutzt werden (vgl. 4.4.2.2).

4 Detektion von Kontextobjekten

Die Qualität der späteren Bewertung der Lückenregionen bzw. der aufgestellten Straßensegmenthypothesen hängt von den Ergebnissen der Extraktion der einzelnen Kontextobjekte ab. Deswegen werden die in dieser Arbeit genutzten Extraktionsverfahren in diesem Kapitel detailliert vorgestellt.

Als Kontextobjekte werden Fahrzeuge, Bäume und ihre Schatten, Baumreihen, Gebäude und ihre Schatten, flache Vegetation und Asphaltflächen angesehen.

Asphaltfläche ist kein Kontextobjekt im eigentlichen Sinne. Es ist vielmehr Bestandteil einer Straße. Allerdings ist das Vorhandensein von Asphalt ein guter Hinweis auf ein vorhandene Straße (vgl. 4.7). Um dies mit in die Bewertung einfließen zu lassen, wird es der Einfachheit halber als Kontextobjekt behandelt.

Gebäude und Gebäudeschatten werden in dieser Arbeit nicht automatisch extrahiert. Die entsprechenden Regionen werden manuell markiert. Durch die hohe Komplexität einer automatischen Gebäudeextraktion ohne DOM würde die Implementierung den Rahmen dieser Arbeit sprengen. In Kapitel 3 werden Ansätze zur Extraktion von Gebäuden aus Luftbildern vorgestellt.

Die verschiedenen Werte für die geometrischen und radiometrischen Merkmale, die in den jeweiligen Modellen der Kontextobjekte festgelegt werden, wurden entweder aus der Literatur übernommen und leicht angepasst (z.B. Werte für den NDVI aus [WEIER, 2000]) oder empirisch ermittelt.

Bei den vorgestellten Ansätzen zur automatischen Objektextraktion liegt der Schwerpunkt auf einer hohen Korrektheit, damit bei der in Kapitel 5 vorgestellten Bewertung möglichst wenig 'false positives' entstehen.

Im Folgenden wird im Zusammenhang mit den Modellen der Kontextobjekte oft geschrieben, dass eine Region gewisse Intensitätswerte aufweisen muss. Diese Formulierung bedeutet, dass alle Pixel der Region entsprechende Intensitätswerte haben müssen, und nicht, dass der Mittelwert aller Intensitätswerte der Pixel einer Region diesen Intensitätswerten genügen muss.

4.1 Suchraumreduzierung

In Kapitel 5 werden nur Kontextobjekte genutzt, die in einem jeweils definierten Nachbarschaftsbereich der Straßensegmenthypothese liegen (vgl. Abb. 35). Dies wird genutzt, um den Suchraum vor der Extraktion der verschiedenen Kontextobjekte zu reduzieren.

Für die Festlegung des Suchraumes wird das 1.5-fache der erlaubten Entfernung zwischen Straße und Kontextobjekt angesetzt (vgl. 5.2.1). Der Bereich von *erlaubter Abstand* * 1.5 um die Hypothese herum ist also der Suchraum.

Ein großer Vorteil der Suchraumreduzierung ist der Performancegewinn während der Extraktion der Kontextobjekte.

4.2 Fahrzeuge

Bei der Fahrzeugextraktion wird hier auf die Implementierung zu [MEYER, 2006] zurückgegriffen. Das dort entwickelte Verfahren, wird im Folgenden erläutert.

Die Bilddaten, die für [MEYER, 2006] zur Verfügung standen, sind mit 3.3 cm/Pixel aufgelöste RGB Luftbilder. Für diese Arbeit stehen mit 10 cm/Pixel aufgelöste Farbinfrarotbilder zur Verfügung. Deshalb wird an einigen Stellen der Ansatz gegenüber [MEYER, 2006] angepasst. An entsprechender Stelle wird darauf eingegangen.

Der Ansatz wird hier nicht in aller Ausführlichkeit erläutert, detailliertere Informationen sind [MEYER, 2006] zu entnehmen.

4.2.1 Das Modell

In der realen Welt können Fahrzeuge Pkw, Lkw, Motorrad oder Spezialfahrzeuge wie Bagger oder Traktoren sein. Weiter kann ein Pkw in Limousine, Kombiwagen und Vans/Transporter unterteilt werden. Motorräder werden hier nicht berücksichtigt, da sie in der Bildebene sehr klein sind und die Straßenextraktion wenig beeinflussen. Aufgrund ihrer hohen Komplexität werden auch Spezialfahrzeuge nicht berücksichtigt. Weil die Extraktion der Lkw in den Ergebnissen eine zu geringe Korrektheit aufweist, und sie in vorstädtischen Gebieten nicht häufig vorkommen, werden sie im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls nicht mit berücksichtigt. Bei der Fahrzeugextraktion wird sich also auf die Kategorie Pkw konzentriert.

In der Bildebene stellt sich eine Limousine mit drei Teilregionen dar: Dach, Motorhaube und Heckklappe (Abb. 23). Keine Berücksichtigung im Modell erhalten die Windschutzscheiben, sie sind aufgrund ihrer kleinen Fläche in der Bildebene nicht ausreichend gut zu segmentieren. Motorhaube und Dach finden sich auch bei einem Kombiwagen wieder, ein Van/Transporter besteht in der Bildebene nur aus dem Dach.

Die drei Teilregionen werden nicht unterschieden, im Modell weisen also Motorhaube, Dach und Heckklappe die gleichen Merkmale auf. Die Fläche muss zwischen 0.6 und 8 m² groß, die Konvexität größer gleich 0.7, die Kompaktheit zwischen 1.1 und 3.0, die Länglichkeit zwischen 0.25 und 1 und der relative Flächenanteil zum kleinsten umschließenden Rechteck größer gleich 0.7 sein.

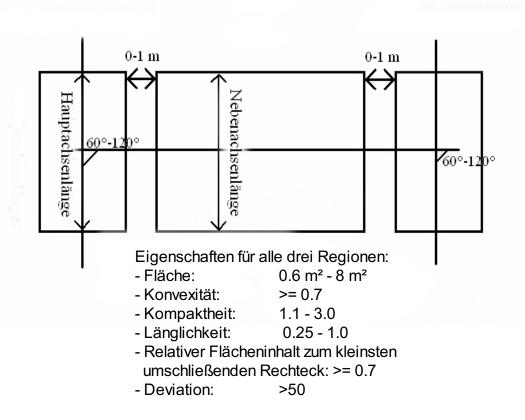


Abbildung 23: Modell für Kontextobjekt 'Fahrzeug' [MEYER, 2006]

Das entscheidende ist die Lage der Teilregionen zueinander. Diese Lagerelationen sind das, was im Modell das Auto ausmacht. Die drei Regionen (Bsp. Limousine) müssen auf einer Linie liegen, des Weiteren beträgt die Orientierung der Hauptachsen von Motorhaube und Heckklappe zu Dach in etwa 90°. Der Abstand einer Region zur nächsten sollte kleiner als

ein Meter und die Breite (aus Sicht des Gesamtautos) von Heckklappe, Motorhaube und Dach muss annähernd gleich sein. Diese Lagebeziehungen sind in Abbildung 23 veranschaulicht. Die Annahmen gelten entsprechen auch für einen Kombiwagen, jedoch ohne Heckklappe. Ein Van/Transporter besteht in der Bildebene nur aus der Teilregion Dach. So gibt es für Vans/Transporter keine Lagebeziehungen, was dessen Erkennung fehleranfälliger macht. Zwischen den Teilregionen (Motorhaube, Dach, Heckklappe) und den Fenstern herrscht meist ein hoher Unterschied in den Intensitätswerten. Eine gewisse Inhomogenität unterstützt also Fahrzeughypothesen. Diese Inhomogenität wird durch das Merkmal Deviation (vgl. 2.4.1.2) ausgedrückt und muss größer als 50 sein. Fahrzeuge wie Vans/Transporter, die sich in der Bildebene durch eine sehr homogene Region darstellen, werden dadurch häufiger aussortiert. Da bei der Objektextraktion im Rahmen der vorliegenden Arbeit mehr Wert auf einen hohe Korrektheit gelegt wird, wird dies aber in Kauf genommen.

Ein maximaler NDVI wird im Modell nicht festgelegt. Diese radiometrische Eigenschaft wird stattdessen bei der zusätzlichen Suchraumreduzierung (vgl. 4.2.2.1) genutzt.

4.2.2 Der Ansatz

Zuerst wird bei diesem Verfahren zusätzlich der Suchraum verkleinert, so dass einerseits weniger Fehlerkennungen auftreten können und andererseits die verschiedenen Operatoren eine kürzere Laufzeit haben. Nach der Suchraumreduzierung findet die eigentliche Vorverarbeitung zur Verbesserung des Bildes statt. Nach der anschließenden Segmentierung mittels Threshold und Flächenwachstum beginnt die Objekterkennung anhand des in 4.2.1 vorgestellten Modells.

4.2.2.1 Zusätzliche Suchraumreduzierung

Zwar wurde in 4.1 bereits eine Suchraumreduzierung durchgeführt, aber bei der Extraktion von Fahrzeugen wird der Suchraum zusätzlich eingeschränkt. Da für die in dieser Arbeit verwendeten Luftbilder der NDVI berechnet werden kann, können zusätzlich alle Vegetationsregionen aus dem Suchraum entfernt werden. Dabei werden alle Regionen mit einem NDVI-255 größer 20 (vgl. 2.4.1.2) als Vegetation betrachtet.

Es könnte alternativ auch ein maximaler NDVI im Modell festgelegt werden. Aufgrund der bereits vorhandenen Implementierung wird jedoch der Weg über die vorangestellte Suchraumreduzierung gewählt.

4.2.2.2 Vorverarbeitung

Das Eingabebild wird in seine drei Kanäle – im Folgenden Farbkanäle genannt – gesplittet und zusätzlich das entsprechende Grauwertbild erstellt. Eine Vorverarbeitung findet im Gegensatz zu [MEYER, 2006] aufgrund der schlechteren Auflösung der Bilder nicht statt.

4.2.2.3 Segmentierung

Für die Segmentierung werden zwei Ansätze genutzt: Threshold und Flächenwachstum. Beide Segmentierungsverfahren werden auf jedem der Farbkanäle und dem Grauwertbild durchgeführt.

Der Threshold mit einem Schwellwert von 140 segmentiert vor allem sehr farbintensive, in den Farbkanälen also sehr helle Regionen.

Die weniger farbintensiven und eher dunklen Regionen, lassen sich besser durch ein Flächenwachstum segmentieren. Das hier genutzte Verfahren fügt benachbarte Punkte dann einer Region R hinzu, wenn die Differenz der Intensitätswerte zwischen dem potentiell neuen und einem Nachbarpunkt aus R nicht größer als ein vorgegebener Toleranzwert (hier: 2-3) ist. Dieser niedrige Toleranzwert lässt das Verfahren eher kleine Regionen finden. Da der Threshold die hellen Regionen besser als das Flächenwachstum segmentiert, werden beide Verfahren zur Segmentierung genutzt.

Alle gefundenen Regionen werden als Hypothesen für Teilregionen und komplette Fahrzeuge übernommen. Es folgt die anschließende Bewertung.

4.2.2.4 Objekterkennung

Alle segmentierten Regionen werden anhand des Modells gefiltert, so dass anschließend nur Teilregionen von Fahrzeugen übrig bleiben. Zusätzlich werden alle Regionen nach kompletten Fahrzeugen gefiltert. Die Regionen, die hier also bereits den Bedingungen (s.u.) für komplette Fahrzeuge entsprechen, werden sofort als Fahrzeugregionen übernommen.

Die Segmentierungsergebnisse werden anhand von fünf geometrischen Merkmale auf Teilregionen hin untersucht: a) Größe:

Möglicher Wertebereich:]0, ∞[m²

Gültiger Wertebereich im Modell für Teilregionen: [0.6, 8] m²

b) Konvexität:

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Gültiger Wertebereich im Modell für Teilregionen: [0.7, 1]

c) Kompaktheit

Möglicher Wertebereich: [1, ∞[

Gültiger Wertebereich im Modell für Teilregionen: [1.1, 3]

d) Länglichkeit

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Gültiger Wertebereich im Modell für Teilregionen: [0.25, 1]

e) Relativer Flächenanteil zum kleinsten umschließenden Rechteck

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Gültiger Wertebereich im Modell für Teilregionen: [0.7, 1]

Regionen, die diese fünf Bedingungen erfüllen, werden als Teilregionen für die Bewertung der topologischen Relationen zwischen den Regionen übernommen. Dabei werden Regionen gesucht, deren Lage zueinander der im Modell vorgegebenen entspricht (vgl. Abb 23). In Abbildung 24 ist ein Beispiel für einen Kombiwagen dargestellt.

Die so gefundenen, zueinander passenden Regionen ergeben zusammen Hypothesen für Fahrzeuge. Diese Hypothesen werden anhand der beschriebenen geometrischen Merkmale klassifiziert. Anhand dieser Merkmale werden auch bereits die Segmentierungsergebnisse direkt nach kompletten Fahrzeugen durchsucht.



Abbildung 24: Extrahierte Teilhypothesen für einen Kombiwagen

Die Fahrzeughypothesen werden anhand von fünf geometrischen Merkmalen und einem radiometrischen Merkmal untersucht. Diese sind gegenüber [MEYER, 2006] teilweise leicht angepasst worden.

a) Größe:

Möglicher Wertebereich:]0, ∞[m²

Gültiger Wertebereich im Modell für Pkw: [3, 13] m²

b) Konvexität:

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Gültiger Wertebereich im Modell für Pkw: [0.8, 1]

c) Kompaktheit

Möglicher Wertebereich: [1, ∞[

Gültiger Wertebereich im Modell für Pkw: [1.2, 2.0]

d) Länglichkeit

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Gültiger Wertebereich im Modell für Pkw: [0.35, 0.6]

e) Relativer Flächenanteil zum kleinsten umschließenden Rechteck

Möglicher Wertebereich: [0, 1]

Gültiger Wertebereich im Modell für Pkw: [0.8, 1]

f) Abweichung von Mittelwert (Deviation)

Möglicher Wertebereich: [0, 255] (auf 8-bit codierten Bildern)

Gültiger Wertebereich im Modell für Pkw: [51, 255]

Alle so übernommenen Fahrzeugregionen werden im letzten Schritt auf doppelt erkannte Fahrzeuge überprüft und entsprechend gefiltert.

Die hier extrahierten Fahrzeugregionen werden als Kontextobjekt 'Fahrzeug' übernommen.

4.3 Schatten

Hier wird auf die Extraktion des Kontextobjekts 'Schatten' eingegangen. Nach der Segmentierung auf dem Grün-Kanal erfolgt eine, dem Modell entsprechende, Filterung der Regionen.

4.3.1 Das Modell



Abbildung 25: Modell für Kontextobjekt 'Schatten'

Abbildung 25 zeigt das Modell für das Kontextobjekt 'Schatten' in der Bildebene. Alle Regionen mit einem Intensitätswert kleiner 50 im Grün-Kanal und einer Fläche größer 1.5 m² sind hier als 'Schatten' definiert. Der Grün-Kanal wird gewählt, weil dort die Intensitätsunterschiede zu anderen Objekten am deutlichsten hervortreten.

4.3.2 Der Ansatz

Die Segmentierung findet anhand eines Thresholds auf dem NDVI-255-Bild statt. Bei der Nachbearbeitung der Segmentierung werden die gefundenen Regionen gefüllt, also "Löcher" in den Regionen geschlossen und danach die Regionen mit einem Opening nachbearbeitet, um die Kontur der Regionen ein wenig zu glätten.

Als Schatten werden alle Regionen mit einer Mindestgröße von 1.5 m² übernommen, diese allerdings nicht direkt als Kontextobjekte übernommen. Es wird versucht die Schatten bestimmten anderen (Kontext-)Objekten (hier: "Baum") zuzuordnen. Nur Schatten, die einem solchen (Kontext-)Objekt zugeordnet werden können, werden auch als Kontextobjekte übernommen. Wie diese Zuordnung durchgeführt wird, ist Abschnitt 4.4 zu

entnehmen.

4.4 Bäume

In diesem Abschnitt wird die Extraktion des Kontextobjekts 'Baum' erläutert. Dazu werden zunächst zwei verschiedene Modellvarianten vorgestellt und anschließend erläutert wann welches Modell genutzt wird. Danach wird auf die Segmentierung und die Objekterkennung eingegangen.

4.4.1 Die Modelle

Das erste Modell für das Kontextobjekt 'Baum' ist in Abbildung 26 dargestellt. Es bezieht sich auf die Darstellung in der Bildebene. Eigentlich ist es ein Modell für 'Hohe Vegetation', aber anhand dieses Modells gefundene Regionen werden später zerteilt und als Kontextobjekt 'Baum' genutzt. Eng beieinander stehende Bäume werden so von diesem Modell erfasst.

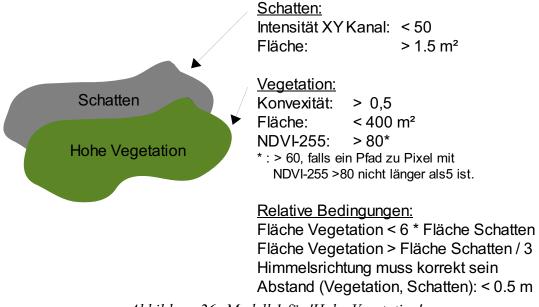


Abbildung 26: Modell 1 für 'Hohe Vegetation'

Die Vegetationsregion sollte einen NDVI-255 größer 80 bzw. 60 haben. Das bedeutet Pixel mit einem NDVI-255 größer 80 sind "sicher", Pixel mit einem NDVI-255 kleiner 60 werden direkt abgelehnt und Pixel dazwischen sind "potentielle Pixel" (vgl. 2.3.2). Die Fläche der Vegetation sollte 400 m² nicht überschreiten und die Konvexität größer als 0.5 sein.

Weiter basiert das Modell auf einem korrekten Schattenwurf der hohen Vegetation. Das bedeutet zum Einen, dass eine zugehörige Schattenregion nur Pixel mit einem Intensitätswert kleiner 50 im Grün-Kanal enthält und größer ist als 1.5 m² (vgl. 4.3). Der andere, wichtigere Aspekt betrifft die relativen Bedingungen der Regionen zueinander. Dazu gehört zum Ersten die relative Größe der Regionen zueinander (Fläche Vegetation < 6 * Fläche Schatten, Fläche Vegetation > Fläche Schatten / 3), zum Zweiten der Abstand (kleiner 0.5 m), und zum Dritten, dass der Schatten in der richtigen Himmelsrichtung liegt. Theoretisch kann es auf Luftbilder verschiedene Schattenwurfrichtungen geben. Damit dieser Fall eintritt, müssten die Bilder aber einen sehr großen Bereich der Erdoberfläche abdecken. Dies ist bei den vorliegenden Bildern nicht der Fall, deshalb kann es auf den vorliegenden Bildern nur eine richtige Richtung für den Schattenwurf von Objekten geben. Ist diese Richtung bekannt, kann Modell 1 (vgl. Abb. 26) genutzt werden. Sollte dies nicht der Fall sein, wird auf ein einfacheres Modell zurückgegriffen.

Dieses zweite Modell ist in Abbildung 27 dargestellt. Es bezieht sich ebenfalls auf die Darstellung in der Bildebene. Das Modell zielt nur auf einzeln stehende Bäume ab und berücksichtigt keinen Schattenwurf. Die drei Kriterien für eine Baumregion sind Kreisförmigkeit, Fläche und NDVI. Die Kreisförmigkeit sollte größer 0.6, die Fläche zwischen 1 m² und 100 m², und der NDVI-255 größer 70 bzw. 50 sein.

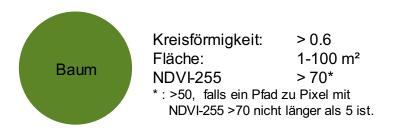


Abbildung 27: Modell 2 für Kontextobjekt 'Baum'

4.4.2 Der Ansatz

Nach der Vorverarbeitung des NDVI-255-Bildes findet eine Segmentierung durch einen Hysterese-Threshold mit anschließender Nachbearbeitung der segmentierten Regionen statt. Anhand der vorgestellten Modelle wird dann die Objekterkennung durchgeführt. Wie aus 4.4.1 zu ersehen ist, gibt es zwei Modelle. Das erste Modell wird genutzt, sofern eine Schattenwurfrichtung bekannt ist oder errechnet werden kann, andernfalls wird auf Modell

Nummer zwei zurückgegriffen.

Das NDVI-255-Bild wird mit einem Medianfilter vorverarbeitet. Dadurch wird das Bild geglättet.

4.4.2.1 Segmentierung

Nach der Vorverarbeitung wird die Segmentierung mit Hilfe eines Hysterese-Thresholds durchgeführt. Dieser ist so eingestellt, dass sehr flache Vegetation von vornherein nicht mit segmentiert wird. Dabei liegt die Tatsache zugrunde, dass anhand des NDVI zwischen verschieden dichten Vegetationen unterschieden werden kann. In vorstädtischen Gebieten ist flache Vegetation meist gemähte Rasenfläche. Diese stellt sich als wenig dichte Vegetation dar.

Die hier gefundenen Regionen werden im Folgenden als "Gute Vegetation" bezeichnet.

Die segmentierten Regionen werden mit der morphologischen Operatoren 'Löcher füllen', 'Closing' und 'Opening' nachbearbeitet.

4.4.2.2 Objekterkennung

Die Objekterkennung kann hier grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten geschehen. Entweder wird das in Abbildung 26 dargestellte Modell 1 für 'Hohe Vegetation' oder das in Abbildung 27 dargestellte Modell 2 für 'Baum' genutzt. Abhängig ist dies davon, ob die Schattenwurfrichtung auf dem Eingabebild bestimmt werden kann. Ist dies der Fall wird ersteres Modell genutzt, ansonsten das Zweite.

Die **Bestimmung der Schattenwurfrichtung** erfolgt in 3 Schritten:

Im ersten Schritt werden möglichst sichere Bäume nur anhand ihrer 2D Form gesucht. Dazu wird zur Segmentierung ein strenger Hysterese-Threshold auf dem NDVI-255-Bild angewandt. Sicher übernommene Pixel müssen einen NDVI-255 größer 70 vorweisen können. Anschließend wird anhand von Fläche und Kreisförmigkeit sortiert. Eine Baumregion sollte zwischen 1 m² und 100 m² groß sein und eine Kreisförmigkeit größer 0.6 besitzen. Diese Parameter liefern zwar bei weitem nicht alle Bäume, dafür sind die Ergebnisse aber sicher. Die beschriebenen Bedingungen entsprechen Modell 2 (Abb. 27).

Schritt zwei ist die Suche nach passenden Schattenregionen. Gesucht wird in der Menge aller Schatten aus Abschnitt 4.3. Als passend werden alle Schattenregionen angesehen, die

nahe der entsprechenden Baumregion liegen und sich von ihrer Größe nicht allzu sehr von der Größe der Baumregion unterscheiden. Hierbei gelten die gleichen relativen Bedingungen, wie in Abbildung 26 dargestellt.

In Schritt drei wird die Schattenwurfrichtung ermittelt. Sprich, in welcher Richtung, von der Baumregion aus gesehen, muss der Schatten des Baumes liegen? Unterschieden werden dabei Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, West und Nordwest. Es werden alle Baum-Schatten Paare überprüft und die Lage der Schatten protokolliert. Die Richtung, die am häufigsten vorkommt wird als korrekte Schattenlage übernommen, sofern sie zu mindestens 50% auftritt und die Menge aller Baum-Schatten Paare aus mindestens acht Elementen besteht.

Die Objekterkennung wird nach Modell 1 durchgeführt, falls die Schattenwurfrichtung bestimmt werden konnte. Dazu wird für jede Region aus der Menge der "Guten Vegetation" nach einem passenden Schatten gesucht. Dabei werden zunächst die Vegetationsregionen aus der Menge der "Guten Vegetation" und die Schattenregionen aus der Menge der "Schatten" nach solchen Regionen durchsucht, die jeweils die Bedingungen aus Modell 1 erfüllen. So entstehen zwei neue Mengen von Regionen: Vegetation V1 und Schatten S1. Anschließend wird für jede Region aus V1 nach einer passenden in S1 gesucht.

Alle Vegetationsregionen aus V1, für die ein passender Partner in S1 gefunden wurde, werden in einem weiteren Schritt genauer untersucht. Dabei wird geprüft, ob sie aus mehreren oder einem einzelnen Baum bestehen. Dazu wird die Annahme genutzt, dass Bäume sich in Luftbildern kreisförmig darstellen. Ab einem gewissen Höhen-Breiten Verhältnis einer Vegetationsregion wird deshalb darauf geschlossen, dass mehrere Bäume nebeneinander stehen, und die Region der Länge nach in möglichst kompakte Regionen zerteilt (vgl. Abb. 28).

Alle Vegetationsregionen, bzw. ihre Teilstücke, der hier gefundenen Paare werden als Kontextobjekt 'Einzelner Baum' übernommen.

Alle Schattenregionen der hier gefundenen Paare werden als Kontextobjekt 'Baumschatten' übernommen.



Abbildung 28: Zerteilung von 'Hoher Vegetation' (grün) in 'einzelne Bäume' (weiß umrandet), darüber Schatten (gelb)

Die Objekterkennung nach Modell 2 wird durchgeführt, wenn keine Richtung für die Lage der Schatten ermittelt werden kann. Dazu werden alle Regionen aus der Menge der "Guten Vegetation" anhand der Modellvorgabe durchsucht.

Die so gefundenen Regionen werden als Kontextobjekt 'Einzelner Baum' übernommen.

Werden die Baumregionen anhand von Modell 2 ermittelt, gibt es keine Kontextobjekte 'Baumschatten'.

Zusätzlich werden auch 'unsichere Bäume' extrahiert. Dazu werden alle Vegetationsregionen aus der Menge der "Guten Vegetation" genauer untersucht. Es wird geprüft, ob sie mehrere Bäume in einer Reihe darstellen könnten. Dafür kommen Regionen in Frage, die eine Breite von maximal 11.3 m haben und eine Länge von mindestens 22.6 m. Die Breite errechnet sich aus der maximalen Fläche von 100 m² für einen Baum (vgl. Abb. 27). Daraus ergibt sich bei Kreisförmigkeit die maximale Breite von 11.3 m. Ab einem gewissen Längen-Breiten Verhältnis einer Vegetationsregion wird deshalb darauf geschlossen, dass mehrere Bäume nebeneinander stehen, und die Region wird der Länge nach in möglichst kompakte Regionen zerteilt (vgl. Abb 29). Die Regionen aus dieser Teilung werden als 'unsichere Bäume' übernommen und lediglich bei der Suche nach Baumreihen verwendet.

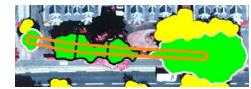


Abbildung 29: 'Unsichere Bäume' (grünschwarz) und sichere Bäume (grün-weiß) mit Schatten (gelb) und Baumreihe (orange)

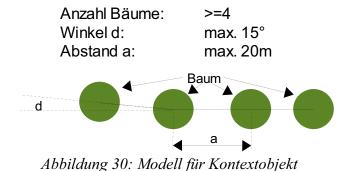
4.5 Baumreihen

Dieser Abschnitt erläutert, wie in der Menge der Kontextobjekte 'Einzelner Baum' das Kontextobjekt 'Baumreihe' gesucht wird.

4.5.1 Das Modell

In Abbildung 30 ist das Modell für das Kontextobjekt 'Baumreihe' in der Bildebene dargestellt.

Eine Baumreihe muss aus mindestens vier in Reihe stehenden Bäumen bestehen. Werden die Mittelpunkte der Bäume miteinander verbunden, darf die Differenz der Orientierung der Linien jeweils im Mittelpunkt nicht mehr als 15° betragen. Die Mittelpunkte zweier Nachbarbäume dürfen nicht mehr als 20 m auseinander liegen.



4.5.2 Der Ansatz

Die Menge der einzelnen Bäume aus 4.4, vereinigt mit der Menge der 'unsicheren Bäume', bildet hier die Menge aller Bäume. Dabei ist als weitere Bedingung zu beachten, dass eine Baumreihe nicht nur aus 'unsicheren Bäumen' bestehen darf.

'Baumreihe'

Für jeden Baum werden zunächst alle Nachbarn im Umkreis von 20 m, und dann für jedes dieser Paare nach weiteren, dazu passenden, Bäumen gesucht. Ein Baum kann so theoretisch in mehrere Baumreihen aufgenommen werden. So zusammenhängende Baumreihen werden zu einer einzelnen zusammengefasst. Falls ein Baum in zwei Baumreihen ist, die nicht zueinander gehören, werden diese auch nicht vereint. Baumreihen gehören nicht zusammen, wenn die Differenz ihrer Orientierungen mehr als 15° beträgt. Ein Beispiel dafür sind sich kreuzende Baumreihen.

Die Mittelpunkte der Baumregionen werden jeweils durch eine ca. 2 m breite Linie

verbunden.

Diese Linienregionen werden als Kontextobjekt 'Baumreihe' übernommen.

4.6 Flache Vegetation

Alle Regionen mit einem NDVI-255 größer 20 und einer Fläche größer 2 m², die nicht in der Menge der "Guten Vegetation" (vgl. 4.4.2.1) liegen, werden als Kontextobjekt 'Flache Vegetation' übernommen. 'Flache Vegetation' stellt sich im NDVI als weniger dichte Vegetation dar (vgl. 4.4.2.1).

4.7 Asphaltflächen

In diesem Abschnitt wird auf die Extraktion des Kontextobjektes 'Asphaltfläche' eingegangen. 'Asphaltfläche' ist kein Kontextobjekt im eigentlichen Sinne, sondern ist eher ein Bestandteil einer Straße, Bürgersteigen oder Fahrradwegen. Damit dies intuitiv mit in die Bewertung der Straßensegmenthypothesen (vgl. Kapitel 5) einfließen kann, wird 'Asphaltfläche' als Kontextobjekt behandelt und bewertet (vgl. 5.2.1.6).

4.7.1 Das Modell

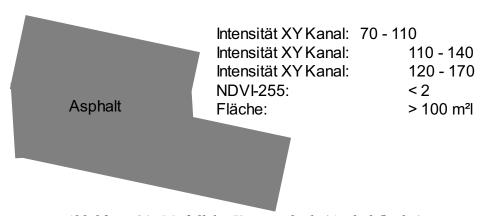


Abbildung 31: Modell für Kontextobjekt 'Asphaltfläche'

Das Kontextobjekt 'Asphaltfläche' stellt sich in der Bildebene als eine nicht bewachsene, formlose, graue, große Fläche dar.

Im Detail bedeutet dies, dass eine Asphaltfläche im NIR Kanal Intensitätswerte zwischen 70 und 110, im Rot-Kanal zwischen 110 und 140, und im Grün-Kanal zwischen 120 und 170 haben sollte. Eine sicher nicht bewachsene Fläche besitzt im Bild einen NDVI-255

kleiner 2. Die Größe der Fläche sollte mindestens 100 m² sein.

4.7.2 Der Ansatz

Auf jedem der drei Kanäle des Eingabebildes und auf dem NDVI-255-Bild wird ein separater Threshold durchgeführt. Aus der Schnittmenge dieser so gewonnenen Segmentierung werden anhand der Fläche die Asphaltregionen ausgewählt. Die Regionen werden durch die Operatoren 'Löcher füllen', 'Closing' und 'Opening' nachbearbeitet.

Die so gefundenen Regionen werden als Kontextobjekt 'Asphaltfläche' übernommen.

Die für diese Arbeit vorliegenden Daten für Straßenabschnitte bestehen aus mehreren Straßensegmenten, die anhand der in 3.1 vorgestellten Kriterien durch einen Straßengraphen verbunden sind. Dabei besitzt jedes Straßensegment an beiden Enden einen Knotenpunkt. Die Kante zwischen diesen zwei Knotenpunkten stellt einen minimalen Straßengraph dar. Diese Graphen können zu größeren Straßengraphen verbunden werden, wenn die entsprechenden Straßensegmente zueinander passen. Die dafür geltenden Bedingungen sind 3.1 oder [GROTE, 2008] zu entnehmen. Die Kanten eines solchen Straßengraphen lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- 1. Kante verbindet die Knotenpunkte eines Straßensegments
- 2. Kante verbindet zwei aneinander grenzende Straßensegmente
- 3. Kante verbindet zwei nicht aneinander grenzende Straßensegmente

Hier sollen die Kanten näher untersucht werden, die zwei nicht aneinander grenzende Straßensegmente (Kategorie drei) miteinander verbinden. Dabei werden im Bereich zwischen den Straßensegmenten Straßensegmenthypothesen aufgestellt (vgl. 5.1), anhand von entsprechenden Kontextobjekten bewertet (vgl. 5.2.1 und 5.2.2) und anschließend als Straßensegmente übernommen oder verworfen (vgl. 5.2.3). Diese Bewertung kann später bei der Zusammenfassung mehrere Straßensegmente zu einem Straßenabschnitt genutzt werden.

5.1 Aufstellung einer neuen Straßensegmenthypothese

Für jede Kante des Straßengraphen der Kategorie drei wird eine entsprechende Straßensegmenthypothese aufgestellt. Diese entspricht im Groben der Lücke zwischen den der Kante zugehörigen Straßensegmenten und soll eine optimale Verbindung zwischen ihnen darstellen. Für die Festlegung der Region für die Hypothese wird wie folgt vorgegangen.

Die Region wird vorläufig durch ein Viereck definiert. Jeweils zwei Punkte davon werden durch die angrenzenden Straßensegmente festgelegt. Vom jeweiligen zur Lücke liegenden Knotenpunkt K_1 aus werden die zwei Punkte $P_{1,2}$ folgendermaßen berechnet: $P_{1,2} = K_1 \pm \vec{v}$

Dabei sei \vec{k} der Vektor $\overline{K_2K_1}$ und \vec{v} ein auf \vec{k} senkrecht stehender Vektor der

Länge $\frac{M}{2}$, mit M gleich der mittleren Breite des aktuellen Straßensegmentes und K_2 der nicht zur Lücke liegende Knotenpunkt (vgl. Abb. 32).

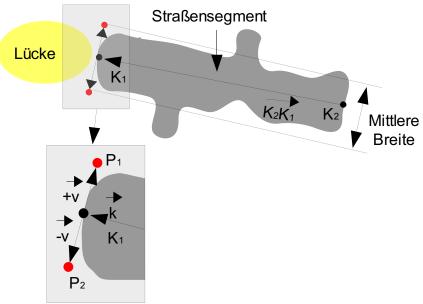


Abbildung 32: Festlegung der Eckpunkte für die Straßensegmenthypothese

Das daraus resultierende Viereck wird mit den angrenzenden Straßensegmenten geschnitten und die Schnittmenge von dem Viereck abgezogen. Die so entstehende Region ist die neue Straßensegmenthypothese (vgl. Abb. 33).

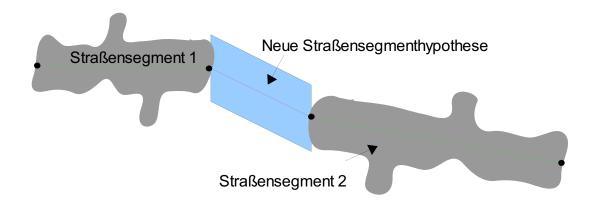


Abbildung 33: Beispiel einer neuen Straßensegmenthypothese

Diese Straßenhypothese stellt eine optimale Verbindung zwischen den zwei angrenzenden Straßensegmenten dar und wird in den nächsten Abschnitten überprüft.

Abbildung 34 zeigt ein Beispiel für eine Straßensegmenthypothese auf einem Luftbild.



Abbildung 34: Straßensegmenthypothese mit Straßengraph, grau: Vorhandene Straßensegmente, grün und rot: Straßengraph, gelb: Neue Straßensegmenthypothese

5.2 Bewertung der neuen Straßensegmenthypothesen

In diesem Abschnitt wird die Bewertung der in Abschnitt 5.1 aufgestellten Straßensegmenthypothesen erläutert.

Die Bewertung findet ausschließlich anhand von Kontextobjekten statt. Mit Hilfe dieser Kontextobjekte wird versucht die folgenden zwei Fragestellungen zu beantworten:

- 1. Wie stark sprechen die vorhandenen Kontextobjekte für oder gegen eine Straßensegmenthypothese (\rightarrow 5.2.1)?
- 2. Wie stark könnten die vorhandenen Kontextobjekte die Detektion der Straßensegmenthypothese durch den Algorithmus zur Straßenextraktion (vgl. 3.1 oder [GROTE, 2008]) behindert haben (→ 5.2.2)?

Nach der Beantwortung dieser zwei Fragen werden die Hypothesen in 5.2.3 abschließend klassifiziert.

5.2.1 Überprüfen der Hypothese

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie Straßensegmenthypothesen anhand von Kontextobjekten, die mit ihnen in bestimmten Relationen stehen, auf Glaubwürdigkeit untersucht werden. Dazu wird jede Relation 'Kontextobjekt-Straße' einzeln bewertet, und anschließend aus allen Einzelbewertungen eine Gesamtbewertung (vgl. 5.2.1.8) bestimmt. Als Kontextobjekte werden hier genutzt: Fahrzeuge, Gebäude, einzelne Bäume,

Baumreihen, flache Vegetation und Asphaltflächen. Nur Objekte aus der direkten Umgebung der Straßensegmenthypothese werden zu deren Bewertung herangezogen, genauer gesagt, es werden alle Kontextobjekte genutzt, die einen jeweils definierten maximalen Abstand zu der zu überprüfenden Hypothese haben und seitlich dieser liegen. Dieser "Nachbarschaftsbereich" ist in Abbildung 35 zu sehen. Die einzelnen Kontextobjekte werden nicht nur ob ihres Vorhandenseins, sondern auch ob ihrer Lage bezüglich der Hypothese untersucht.



Abbildung 35: Nachbarschaftsbereich einer Straßensegmenthypothese

Grundsätzlich sind auch die an die Hypothese angrenzenden Straßensegmente Kontextobjekte, die für die Hypothese sprechen, da diese aber schon implizit bei der Aufstellung der Hypothese genutzt werden, werden sie im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Die Relationen werden vor dem Hintergrund des globalen Kontextes *vorstädtisches Gebiet* aufgestellt.

Jede Relation 'Kontextobjekt-Straße' bekommt einen Wert zwischen -0.5 und 0.5. Die Werte der einzelnen Relationen können den folgenden sechs Abschnitten entnommen werden. Eine Übersicht der Werte wird in Tabelle 2 gegeben.

Die Frage, wie diese Werte zustande kommen, wird in 5.2.1.7 ausführlich beantwortet.

5.2.1.1 Fahrzeuge

Fahrzeuge stellen bezüglich einer Straßensegmenthypothese grundsätzlich positive Kontextobjekte dar, sind also unterstützend zu werten. Fahrzeuge können vier verschiedene Relationen mit einer Straße eingehen (vgl. Abb. 36).

1. 'Fahrzeug parallel auf Straße'

Fahrzeuge dieser Relation werden als Fahrzeuge interpretiert, die "ganz normal" auf der Straße fahren.

→ positive Relation

2. 'Fahrzeug parallel neben Straße'

Fahrzeuge dieser Relation werden als Fahrzeuge interpretiert, die am Straßenrand parken (parallel zur Straße).

 \rightarrow positive Relation

3. 'Fahrzeug quer auf Straße'

Fahrzeuge dieser Relation werden als Fahrzeuge interpretiert, die auf die Straße einbiegen oder von dieser abbiegen.

→ positive Relation

4. 'Fahrzeug senkrecht neben Straße'

Fahrzeuge dieser Relation werden als Fahrzeuge interpretiert, die am Straßenrand, quer zur Straße, parken.

\rightarrow positive Relation

Alle Fahrzeuge mit einem maximalen Abstand von drei Metern seitlich der Hypothese werden in diese vier Relationen eingeteilt, je nachdem wo sie am besten hinein passen. Sobald ein Fahrzeug mit mehr als 50% seiner Fläche auf der Hypothese steht, gilt es als "auf der Straße", stehen die Hauptachsen in einem Winkel zischen 0° und 45° Grad, gelten sie hier als parallel zur Straße, sonst als senkrecht, bzw. quer zueinander (46° - 90° Grad). Relation 1 (kurz: Fz-R1) bekommt einen Wert von 0.5, Relation 2 (Fz-R2) 0.3, Fahrzeuge der Relation 3 (Fz-R3) 0.2 und Relation 4 (Fz-R4) 0.3.

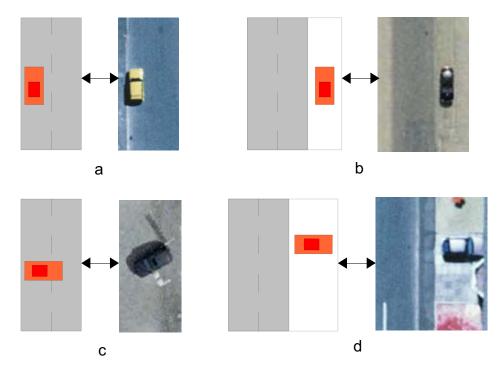


Abbildung 36: Die vier Relationen 'Fahrzeug-Straße' a: Relation 1, b: Relation 2, c: Relation 3, d: Relation 4

5.2.1.2 Gebäude

Gebäude können sowohl als positive als auch negative Kontextobjekte auftreten. Dies ist abhängig davon, welcher der folgenden Relationen sie zugeordnet werden (vgl. Abb. 37).

1. 'Gebäude auf Straße'

Gebäude dieser Relation würden als Gebäude interpretiert, die auf der Straße stehen. Allerdings stehen Gebäude typischerweise nicht auf, sondern neben der Straße¹.

→ negative Relation

2. 'Gebäude gerade neben Straße'

Gebäude dieser Relation werden als Gebäude interpretiert, die gerade, also parallel oder senkrecht, an der Straße stehen. Diese Relation ist in vorstädtischen Gebieten die häufigste zwischen Straße und Gebäude.

→ positive Relation

¹ Ab einer gewissen Gebäudehöhe und einem zu schrägem Blickwinkel könnten Gebäude, die eigentlich neben der Straße stehen, auch als auf der Straße erscheinen. Da es sich hier aber um vorstädtische Gebiete handelt, und die Gebäude eher flach und zusätzlich nicht sehr nah an der Straße stehen, kann dieser Fall vernachlässigt werden.

3. 'Gebäude schräg neben Straße'

Gebäude dieser Relation werden als Gebäude interpretiert, die schräg an der Straße stehen. Diese Relation ist in vorstädtischen Gebieten zwar nicht so häufig anzutreffen, aber möglich.

→ positive Relation

Alle Gebäude mit einem maximalen Abstand von neun Metern seitlich der Hypothese werden in diese drei Relationen eingeteilt, je nachdem wo sie am besten hinein passen. Anders als bei den Fahrzeugen gilt hier ein Gebäude bereits "auf der Straße", sobald es mit mehr als 15% seine Fläche auf ihr steht, oder mehr als 15% der Straßensegmenthypothese davon bedeckt sind, ansonsten ist es daneben. Als schräg zueinander gelten Gebäude und Straße, wenn ihre Hauptachsen in einem Winkel von 15° bis 75° stehen, ansonsten gelten sie als gerade zueinander.

Relation 1 (kurz: Gb-R1) erhält einen Wert von -0.5, Relation 2 (Gb-R2) 0.4 und Relation 3 (Gb-R3) 0.1.

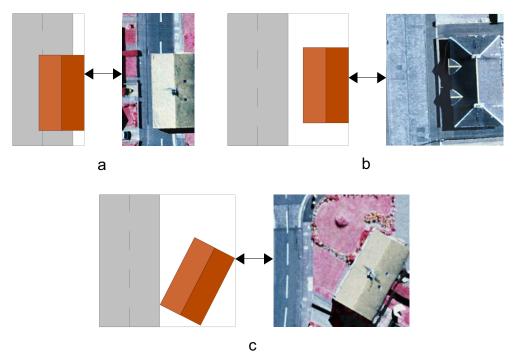


Abbildung 37: Die drei Relationen 'Gebäude-Straße' a: Relation 1 (Luftbild konstruiert), b: Relation 2, c: Relation 3

5.2.1.3 Einzelne Bäume

Einzelne Bäume können, wie Gebäude, als positive oder als negative Kontextobjekte auftreten. Abhängig ist dies von ihrer Lage bezüglich der Straßensegmenthypothese. Bäume werden hier in folgende Relationen eingeteilt (vgl. Abb. 38).

1. 'Einzelner Baum auf Straße'

Bäume dieser Relation würden als Bäume interpretiert werden, die auf der Straße stehen. Im Normalfall stehen Bäume nicht auf einer Straße.

- → negative Relation
- 2. 'Einzelner Baum neben Straße'

Bäume dieser Relation werden als Bäume interpretiert, die neben der Straße stehen. In vorstädtischen Gebieten tritt diese Relation häufig auf.

→ positive Relation

Alle Bäume mit einem maximalen Abstand von sieben Metern seitlich der Hypothese werden in diese zwei Relationen eingeteilt, je nachdem, wo sie am besten hinein passen. Aufgrund der besonderen Form von Bäumen gelten sie erst "auf der Straße", wenn sie zu mindestens 70% auf dieser stehen. In der Bildebene treten Bäume als kreisförmige Objekte auf (vgl. Abb. 27), in der Realität wird diese kreisförmige Fläche allerdings nur durch die Baumkrone erzeugt. Diese beginnt jedoch erst in meist mehr als drei Metern Höhe. Nur der Stamm, welcher in der Regel mittig steht, reicht bis zum Boden. Dies bedeutet, dass ein Baum mit kerzengeradem, exakt mittig orientiertem Stamm und einer kreisrunden Krone in der Bildebene mit nahezu 50% seiner Fläche auf der Hypothese erscheinen kann. Nun wachsen Bäume aber nicht immer kerzengerade, haben nicht immer eine optimal kreisrunde Krone, und auch ihr Stamm ist nicht immer mittig. So kann es vorkommen, dass ein Baum zu einem Großteil auf der Hypothese erscheint, aber mit seinem Stamm neben eben dieser steht. Um einen solchen Fall nicht als 'Einzelner Baum auf Straße' zu werten, wird dieser hohe Prozentsatz gewählt.

Relation 1 (EB-R1) bekommt einen Wert von -0.5, Relation 2 (EB-R2) 0.1.



Abbildung 38: Die zwei Relationen der Relation 'Einzelner Baum-Straße' a: Relation 1 (Luftbild konstruiert), b: Relation 2

5.2.1.4 Baumreihen

Baumreihen können nur positiv auftreten. Dies ist abhängig von ihrer Lage bezüglich der Straßensegmenthypothese. Baumreihen können in folgende Relation eingeteilt werden (vgl. Abb. 39).

1. 'Baumreihe parallel neben Straße'

Baumreihen dieser Relation werden als Baumreihen interpretiert, die neben und parallel zur Straße stehen. In vorstädtischen Gebieten tritt diese Relation hin und wieder auf.

→ positive Relation

Anzumerken ist, dass einzelne Bäume, die im vorherigen Abschnitt genutzt wurden, sich auch in Baumreihen wiederfinden, also doppelt genutzt werden. Darum gibt es keine Relation 'Baumreihe auf Straße', da diese bereits durch 'Einzelner Baum auf Straße' abgedeckt ist. Findet sich eine Baumreihe hingegen längs neben einer Hypothese wieder, wird diese Hypothese dadurch zusätzlich unterstützt. Der maximale Abstand einer Baumreihe zur Straßensegmenthypothese beträgt, wie bei einzelnen Bäumen, sieben Meter.

Relation 1 (BR-R1) erhält einen Wert von 0.3.

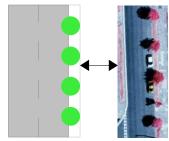


Abbildung 39: Relation 'Baumreihe parallel neben Straße'

5.2.1.5 Flache Vegetationen

Flache Vegetation kann in positive und negative Kontextobjekte eingeteilt werden. Abhängig ist dies wiederum von ihrer Lage bezüglich der Straßensegmenthypothese. Flache Vegetation wird in zwei Relationen aufgeteilt (vgl. Abb. 40).

1. 'Flache Vegetation auf Straße'

Flache Vegetationen dieser Relation würden als Gewächse interpretiert werden, die auf der Straße wachsen. In vorstädtischen Gebieten ist diese Relation eher unüblich.

→ negative Relation

2. 'Flache Vegetation neben Straße'

Flache Vegetationen dieser Relation würden als Gewächse interpretiert werden, die neben der Straße wachsen, also z.B. in Vorgärten oder sonstigen Grünanlagen am Straßenrand. Eine solche Relation ist in vorstädtischen Gebieten sehr häufig zu sehen.

→ positive Relation

Die gesamten flachen Vegetationen mit einem maximalen Abstand von sieben Metern seitlich der Hypothese werden in eine dieser Relationen eingeteilt, je nachdem, wo sie am besten hinein passen. Wie bei den Gebäuden gilt hier flache Vegetation bereits "auf der Straße", sobald sie sich mit mehr als 15% der Fläche auf ihr befindet, oder mehr als 15% der Straßensegmenthypothese davon bedeckt sind.

Relation 1 (FV-R1) bekommt einen Wert von -0.5, Relation 2 (FV-R2) 0.2.

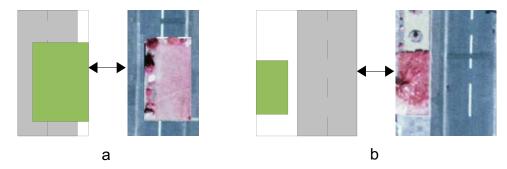


Abbildung 40: Die zwei Relationen der Relation 'Flache Vegetation-Straße' a: Relation 1 (Luftbild konstruiert), b: Relation 2

5.2.1.6 Asphaltflächen

Asphaltflächen sind, wie Fahrzeuge, immer positive Kontextobjekte. Abhängig von ihrer Lage werden Asphaltflächen in zwei Relationen aufgeteilt.

1. 'Asphaltfläche auf Straße'

Asphaltflächen dieser Relation werden als Asphalt der Straßenoberfläche interpretiert.

 \rightarrow positive Relation

2. 'Asphaltfläche neben Straße'

Asphaltflächen dieser Relation werden als Asphaltflächen interpretiert, die neben der Straße liegen, also z.B. Fußgänger- oder Radwege. Diese Relation ist in vorstädtischen Gebieten häufig zu sehen.

→ positive Relation

Alle Asphaltflächen mit einem maximalen Abstand von fünf Metern seitlich der Hypothese werden in eine dieser Relationen eingeteilt, je nachdem, wo sie am besten hinein passen. Da Asphaltflächen häufig groß sind und sich deshalb oft über die Ränder einer Hypothese hinweg erstrecken, werden sie quasi aufgeteilt. Ist mehr als 50% der Hypothese von Asphaltflächen bedeckt, wird die Fläche Relation 1 zugeteilt, liegen mehr als 30% der Asphaltfläche innerhalb der Nachbarschaftsregion neben der Hypothese, wird die Fläche Relation 2 zugeteilt. Das besondere hier ist, dass eine Asphaltfläche mehreren, bzw. zwei Relationen zugeordnet werden kann und dann doppelt in die Bewertung eingeht. Es gilt die Einschränkung, dass eine Straßensegmenthypothese nur höchstes einmal die Relation 'Asphaltfläche auf Straße' eingehen kann.

Relation 1 (Ap-R1) erhält einen Wert von 0.2, Relation 2 (Ap-R2) 0.1.

In Tabelle 2 sind nochmal alle Bewertungen der Relationen für die Überprüfung der Straßensegmenthypothesen zusammengefasst.

	Lagebeziehungen									
Kontextobjekt in Relation mit Straße	Parallel und Auf	Quer und Auf	Schräg und Neben	Parallel und Neben	Senkrecht und Neben	Auf	Neben			
Fahrzeug	0.5	0.2	/	0.3	0.3	/	/			
Gebäude	/	/	0.1	0.4	0.4	-0.5	/			
Einzelner Baum	/	/	/	/	/	-0.5	0.1			
Baumreihe	/	/	/	0.3	/	/	/			
Flache Vegetation	/	/	/	/	/	-0.5	0.2			
Asphaltfläche	/	/	/	/	/	0.2	0.1			

Tabelle 2: Bewertung der Relationen 'Kontextobjekt-Straße' für die Überprüfung der Straßensegmenthypothesen

5.2.1.7 Woher kommen die Werte für die Relationen?

Die Werte für die Bewertung der Relationen (vgl. Tab. 2) beruhen unter anderem auf Annahmen der Wahrscheinlichkeit des Vorkommens dieser Relationen. Sind Relationen nicht möglich bzw. sehr unwahrscheinlich, so gehen sie mit einem negativen Wert in die Bewertung der Hypothese ein, ansonsten mit einem positiven. Da z.B. die Relation 'Gebäude auf Straße' (vgl. Abb. 37 a) sehr unwahrscheinlich ist, bekommt diese einen negativen Wert. Wahrscheinlichere Relationen, wie beispielsweise 'Fahrzeug parallel neben Straße', bekommen dementsprechend einen positiven Wert.

Um die Wahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Relationen zu bestimmen, müsste man eine große Menge an Luftbildern von vorstädtischen Gebieten auswerten. Diese Aufgabe würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, weshalb nur eine kleine Anzahl von Luftbildern zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten herangezogen wurde. Anhand der so ermittelten Wahrscheinlichkeit ([0,1]) wird eine vorläufige Bewertung der Relationen festgelegt. Dabei wird Formel 7 angewandt.

Die Wahrscheinlichkeiten und die vorläufige Bewertung sind unter anderem Tabelle 3 zu entnehmen.

 $\label{eq:Vorläufige Bewertung} \textit{Vorläufige Bewertung} = \{ \begin{array}{l} -0.5, & \textit{wenn Wahrscheinlichkeit} = 0 \\ \textit{Wahrscheinlichkeit} / 2, & \textit{sonst} \end{array} \right.$

Formel 7: Vorläufige Bewertung

Allerdings reicht die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer Relation allein nicht aus, um konkrete Werte festzulegen. Auch wenn es in vorstädtischen Gebieten häufiger vorkommt, dass ein Gebäude am Straßenrand steht, als dass ein Fahrzeug auf der Straße fährt, sollte die Relation 'Fahrzeug parallel auf Straße' trotzdem höher bewertet werden als 'Gebäude gerade neben Straße'. Das liegt daran, dass das Vorhandensein eines Fahrzeuges auf einer Straßensegmenthypothese stärker für diese spricht, als ein Gebäude daneben. Diese "Wertigkeit" von Relationen wird anhand von Fuzzy-Gewichten auf dem Intervall [-0.5, 0.5] abgebildet. Diese Fuzzy-Gewichte werden zur vorläufigen Bewertung addiert. Dabei werden Werte außerhalb des Intervalls [-0.5, 0.5] entsprechend auf -0.5 oder 0.5 gesetzt. Die daraus resultierenden, auf eine Nachkommastelle gerundeten Werte liefern die Bewertung für eine Relation (vgl. Tab. 3).

Zusätzlich wird ein "Vetorecht" eingeführt. So kann das Auftreten einer Relation eine Hypothese direkt ablehnen. Dieses Vetorecht erhalten 'Gebäude auf Straße' und 'Flache Vegetation auf Straße'.

Relation	Wahrscheinlichkeit	Vorläufige Bewertung	Fuzzy-Gewicht für "Wertigkeit"	Endgültige Bewertung	Vetorecht
'Gebäude gerade neben Straße'	0.86	0.43	+0.0	0.4	-
'Gebäude schräg neben Straße'	0.11	0.05	+0.0	0.1	-
'Gebäude auf Straße'	0	-0.50	-0.5	-0.5	X
'Fahrzeug parallel auf Straße'	0.16	0.08	+0.5	0.5	-
'Fahrzeug quer auf Straße'	0.01	0.01	+0.2	0.2	-
'Fahrzeug parallel neben Straße'	0.03	0.02	+0.3	0.3	-
'Fahrzeug senkrecht neben Straße'	0.03	0.02	+0.3	0.3	-
'Einzelner Baum neben Straße'	0.16	0.08	0	0.1	-
'Einzelner Baum auf Straße'	0	-0.50	-0.3	-0.5	-
'Baumreihe parallel neben Straße'	0.16	0.08	+0.2	0.3	-
'Flache Vegetation neben Straße'	0.70	0.35	-0.2	0.2	-
'Flache Vegetation auf Straße'	0	-0.50	-0.5	-0.5	X
'Asphaltfläche auf Straße'	1	0.50	-0.3	0.2	-
'Asphaltfläche neben Straße'	0.83	0.42	-0.3	0.1	-

Tabelle 3: Zusammensetzung der Bewertung für die Relationen

5.2.1.8 Gesamtbewertung für die Überprüfung der Hypothesen

Wenn alle vorhandenen Relationen bewertet sind, wird aus diesen Einzelbewertungen eine Gesamtbewertung für jede Hypothese errechnet. Dazu werden im Prinzip alle Bewertungen der verschiedenen Relationen addiert. Sollte eine Relation mehr als einmal vorkommen, wird jedes weitere Vorkommen in der Bewertung abgeschwächt. Kommt eine Relation das zweite Mal vor, geht sie nur mit der halben Bewertung ein, kommt sie ein drittes mal vor nur mit einem Drittel der Bewertung, usw. Dies ist in Formel 8 dargestellt.

Bewertung einer Relation =
$$\sum_{i=1}^{n} \frac{einzelne\ Bewertung}{i}$$

Formel 8: Berechnung der abgeschwächten Bewertung einer Relation

Hierbei sei n die Häufigkeit der mehrfach vorkommenden Relation.

Kommt eine Relation mit Vetorecht vor, wird die Bewertung auf -∞ gesetzt.

Es wird also für jede Relation Formel 8 angewandt und anschließend die Bewertungen der Relationen addiert.

5.2.2 Störung durch Kontextobjekte

Neben der Frage, ob die Kontextobjekte für oder gegen eine Straßensegmenthypothese sprechen, kann weiter die Frage gestellt werden, warum die zu untersuchende Hypothese nicht schon bei der eigentlichen Straßenextraktion (vgl. 3.1 oder [GROTE, 2008]) detektiert wurde. Hier ergeben sich zwei Möglichkeiten. Entweder die Hypothese ist falsch, der Algorithmus für die Straßenextraktion hat an der entsprechenden Stelle also völlig zu Recht kein Straßensegment gefunden, oder der Algorithmus hat fälschlicherweise kein Segment gefunden, wurde also durch irgendetwas daran gehindert.

Abbildung 41 zeigt, wie eine Straße in der Bildebene von verschiedenen Objekten verdeckt wird. Solche Überdeckungen können das Ergebnis der Straßenextraktion erheblich beeinträchtigen. Deshalb soll hier untersucht werden, ob die Extraktion der Hypothese eventuell durch solche Störobjekte behindert wurde. Es wird also die Annahme überprüft, dass die Hypothese fälschlicherweise nicht als Straßensegment gefunden wurde.

Dazu wird im Bereich der Straßensegmenthypothese nach entsprechenden Störobjekten gesucht. Als Störobjekte werden hier berücksichtigt: Fahrzeuge, Bäume, Schatten von Bäumen und Schatten von Gebäuden. In den in dieser Arbeit betrachteten vorstädtischen Gebieten gibt es aufgrund der geringen Höhe der Gebäude keine Überdeckung durch diese. Wären die Gebäude höher, könnte es ab einem gewissen Blickwinkel vorkommen, dass Straßenabschnitte auch durch Gebäude überdeckt würden.

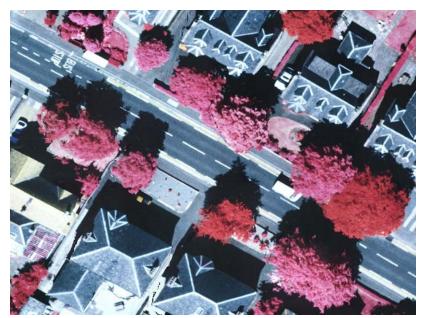


Abbildung 41: Teilweise von Störobjekten überdeckte Straße

Aus den vier Störobjekten lassen sich entsprechend vier Relationen 'Kontextobjekt-Straße' ableiten.

- 1. 'Fahrzeug überdeckt Straßenteile'
- 2. 'Baum überdeckt Straßenteile'
- 3. 'Schatten eines Baumes überdeckt Straßenteile'
- 4. 'Schatten eines Gebäudes überdeckt Straßenteile'

Im Gegensatz zu 5.2.1 wird hier die Lage der Objekte bezüglich der Segmenthypothese nur insofern berücksichtigt, als dass geprüft wird, wie viel von der Hypothese von Störobjekten verdeckt wird. Ob diese Objekte quer, parallel oder schräg stehen, ist völlig bedeutungslos. Als Grundlage für die Überprüfung der oben angesprochenen Annahme dient der Prozentsatz der von Störobjekten überdeckte Bereich der Straßensegmenthypothese.

Zur Berechnung dieses Prozentsatzes werden alle Regionen der potentiellen Störobjekte vereinigt (mengentheoretisches 'oder'), dann mit der Region der Hypothese geschnitten (mengentheoretisches 'und') und anschließend die Fläche der daraus resultierenden Region R durch die Fläche der Region H der Hypothese geteilt. Das Ergebnis liegt im Intervall [0, 1]. In Abbildung 42 rechts entspricht die rote Fläche der Region R, die gesamte Fläche, also rot und grün zusammen, der Region H.

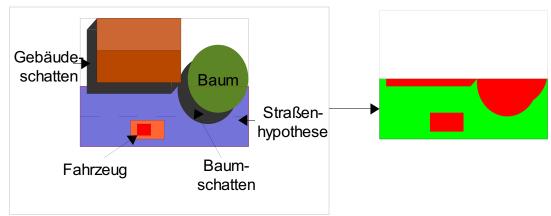


Abbildung 42: Straßensegmenthypothese mit Störobjekten (links) aufgeteilt in Überdeckungen (rot) und keine Überdeckung (grün) (rechts)

5.2.3 Klassifizierung der Hypothesen

Für die abschließende Fragestellung, ob ein Hypothese angenommen oder verworfen wird, werden die beiden Bewertungen aus 5.2.1 und 5.2.2 addiert und das Resultat bewertet. Für die Bewertung der Hypothesen anhand der Kontextobjekte bzw. der Relationen 'Kontextobjekt-Straße' (Bewertung 1) erhalten wir bei Nicht- Berücksichtigung von -∞ typischerweise einen Wert zwischen - 1.5 und 1.5, aus der Bewertung bezüglich der Störung (Bewertung 2) der Straßenextraktion durch Kontextobjekte ergibt sich ein Wert aus [0, 1]. Insgesamt ergibt sich bei Addition daraus ein Intervall von [-1.5, 2.5]. Allerdings können sich bei Bewertung 1 theoretisch auch Werte außerhalb des angegebenen Intervalls ergeben. Die Erfahrung zeigt aber, das die Bewertung anhand der Kontextobjekte (Bewertung 1) fast immer im angegebenen Wertebereich liegt.

Ab welchem Wert eine Hypothese angenommen werden sollte, ist schwierig zu sagen. Geht man davon aus, dass eine Hypothese korrekt ist, muss Bewertung 2 auf jeden Fall größer 0 sein, da der Algorithmus zu Straßenextraktion im diesem Fall ja durch irgendwelche Objekte gestört worden sein muss. Bei einer typischen Überdeckung, wie sie in Abbildung 42 dargestellt ist, beträgt die Überdeckung durch die Störobjekte in etwa 30%, entspricht also einer Bewertung von 0.3.

Bei Bewertung 1 wird hier die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der verschiedenen Relationen näher betrachtet. Die Relationen 'Gebäude gerade neben Straße' und 'Flache Vegetation neben Straße' treten nach Tabelle 3 mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.86 bzw. 0.70 auf. Nimmt man an, dass die anderen positiven Relationen nicht auftreten, sondern

5 Lückenregionen 72

nur die zwei eben genannten, so kommt dabei eine Bewertung von mindestens 0.6 raus.

Zusammengerechnet kommt man so auf eine Bewertung von mindesten 0.9, falls eine Hypothese korrekt ist. Ein Wert von 0.9 wird hier deswegen als minimaler Schwellwert für die Annahme von Straßensegmenthypothesen empfohlen. Je nach Wunsch nach höherer Vollständigkeit oder Korrektheit des Endergebnisses der Straßenextraktion kann dieser Schwellwert im jeweiligen Fall entsprechend angepasst werden. Die in Abschnitt 6.2 gezeigten Ergebnisse werden mit einem Schwellwerten von 1 erzielt.

In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Ergebnisse auf dem Weg zu einer abschließenden Bewertung der Straßensegmenthypothesen vorgestellt und kurz erläutert. Dabei geht 6.1 auf die Extraktion der einzelnen Kontextobjekte ein, und 6.2 erläutert die Ergebnisse der Bewertung der Hypothesen.

Untersucht werden die Ergebnisse auf drei Eingabebildern (vgl. Abb. 43, 44 und 45). Alle diese Bilder setzen sich aus drei Kanälen zusammen: Nahes Infrarot, Rot und Grün. Die Auflösung der Bilder beträgt 10 cm / Pixel. Die Bilder zeigen jeweils ca. 200 m * 200 m aus vorstädtischen Gebieten Schottlands.



Abbildung 43: Bild I



Abbildung 44: Bild II



Abbildung 45: Bild III

6.1 Extraktion der Kontextobjekte

Bei der Darstellung der Ergebnisse für die Extraktion der Kontextobjekte stellt sich die Frage, bezüglich welcher Regionen diese untersucht werden sollen. Sollen die Ergebnisse lediglich in Bereichen rund um mögliche bzw. wahrscheinliche Straßenhypothesen, also rund um den Straßengraphen, oder auf dem gesamten Eingabebild untersucht werden? Für die Bewertung von Straßensegmenthypothesen sind hier nur die Ergebnisse in Bereichen rund um den Straßengraphen wichtig. Deshalb wird der Fokus darauf gelegt. "Rund um den Straßengraphen" entspricht dem in 4.1 festgelegten maximalen Suchraum, entsprechend erweitert auf alle Straßensegmente. In Abbildung 46 sind die Bilder I-III mit den für diese Arbeit bereits zur Verfügung stehenden Straßensegmenten und den Straßengraphen und den daraus resultierenden neuen Straßensegmenthypothesen dargestellt. Die Festlegung des Suchraumes für die Ergebnisdarstellung ist von diesen Daten abhängig.







Abbildung 46: Bilder mit Straßensegmenten, -graphen und Segmenthypothesen, Links oben: Bild I, rechts oben: Bild II, unten: Bild III, grau: Straßensegmente, grün-schwarz und rot-schwarz: Straßengraphen, gelb: Straßensegmenthypothesen

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass bei der Extraktion der Kontextobjekte eine hohe Korrektheit der Ergebnisse im Vordergrund stand.

6.1.1 Fahrzeuge

Bild I:

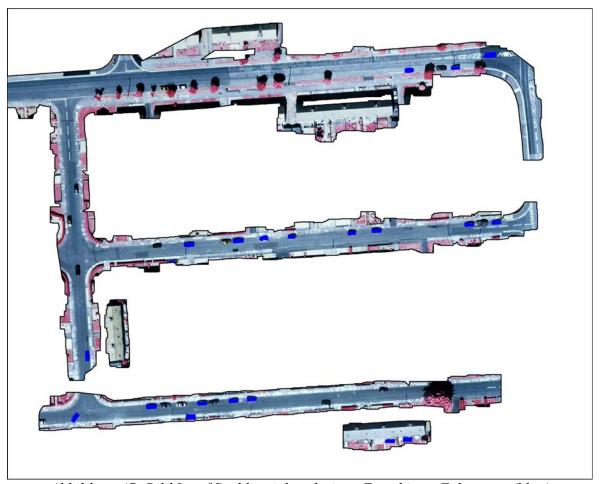


Abbildung 47: Bild I, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte Fahrzeuge (blau)

Gefundene Regionen	21
Vorhandene Fahrzeuge	28
Korrekt gefundene Fahrzeuge	16
Vollständigkeit	57%
Korrektheit	76%

Tabelle 4: Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild I

Auf Bild I befinden sich im entsprechenden Suchbereich (vgl. Abb. 47) 28 zu extrahierende Fahrzeuge zu sehen, die teilweise vereinzelt, auch am Straßenrand, und teilweise nah beieinander stehen.

57% der Fahrzeuge sind erkannt worden. Die Korrektheit liegt mit 76% deutlich höher. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Der Großteil der nicht erkannten Fahrzeuge sind sehr dunkel. Diese Schwäche bei der Extraktion dunkler Fahrzeuge ist auch schon in [MEYER, 2006] aufgetreten, und wird hier nicht gesondert behandelt.

Bild II:

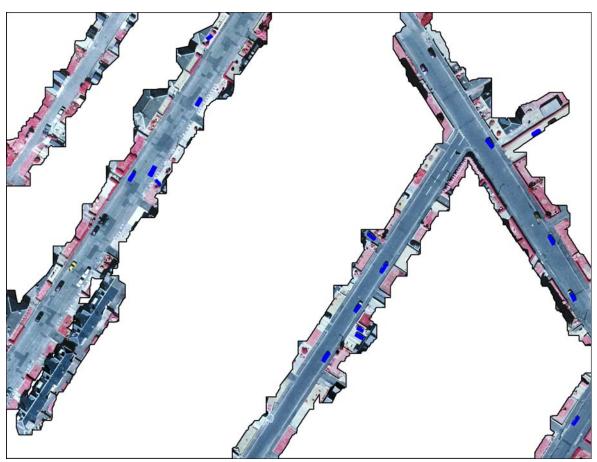


Abbildung 48: Bild II, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte Fahrzeuge (blau)

Gefundene Regionen	16
Vorhandene Fahrzeuge	26
Korrekt gefundene Fahrzeuge	14
Vollständigkeit	54%
Korrektheit	88%

Tabelle 5: Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild II

Auf Bild II befinden sich im entsprechenden Suchbereich (vgl. Abb. 48) 26 zu extrahierende Fahrzeuge, die größtenteils einzeln stehen.

Gut die Hälfte der Fahrzeuge wurden erkannt. Die Korrektheit liegt bei 88%. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Auch hier sind viele der nicht erkannten Fahrzeuge eher dunkel.

Bild III:

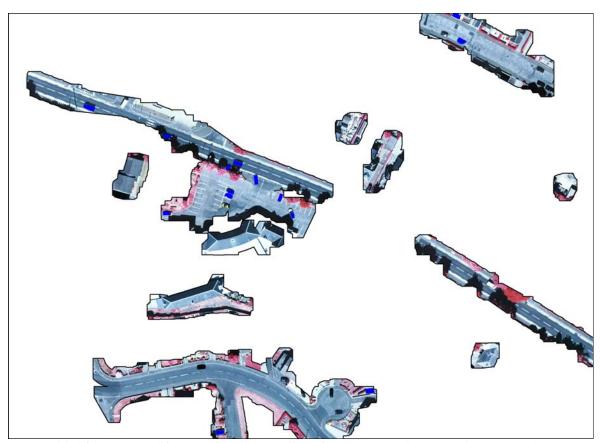


Abbildung 49: Bild III, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte Fahrzeuge (blau)

Gefundene Regionen	14
Vorhandene Fahrzeuge	21
Korrekt gefundene Fahrzeuge	12
Vollständigkeit	57%
Korrektheit	86%

Tabelle 6: Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild III

In Bild III befinden sich im entsprechenden Suchbereich (vgl. Abb. 49) 21 zu extrahierende Fahrzeuge. Meist stehen diese einzeln, einige Fahrzeuge stehen auf einem Parkplatz.

Hier wurde mit 57% Vollständigkeit und 86% Korrektheit knapp das beste Ergebnis bei der Fahrzeugextraktion erreicht. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Wiederum sind die meisten nicht erkannten Fahrzeuge dunkel.

Tabelle 7 fasst die Ergebnisse aus den Tabellen 4, 5 und 6 zusammen.

Gefundene Regionen	51
Vorhandene Fahrzeuge	75
Korrekt gefundene Fahrzeuge	42
Vollständigkeit	56%
Korrektheit	82%

Tabelle 7: Addierte Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion, Bild I-III

Die höhere Korrektheit gegenüber den in [MEYER, 2006] erzielten Ergebnissen erklärt sich zum größten Teil durch die zusätzliche Suchraumverkleinerung anhand des NDVI, der in [MEYER, 2006] nicht zur Verfügung stand, und dem sehr viel höheren Mindestwert für die Abweichung vom Mittelwert bezüglich der Grauwerte der Fahrzeugregionen (Deviation). Die höhere Korrektheit gegenüber [MEYER, 2006] wird allerdings mit einer niedrigeren Vollständigkeit erkauft.

In Tabelle 8 sind zum Vergleich die addierten Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion ohne Bewertung der Fahrzeughypothesen durch die Deviation (vgl. 2.4.1.2) angeführt. Zu sehen ist, dass die Vollständigkeit mit +17% stark ansteigt, und die

Korrektheit mit -28% stark absinkt.

Gefundene Regionen	102
Vorhandene Fahrzeuge	75
Korrekt gefundene Fahrzeuge	55
Vollständigkeit	73%
Korrektheit	54%

Tabelle 8: Addierte Ergebnisse der automatischen Fahrzeugextraktion ohne die Bewertung durch Deviation, Bild I-III

6.1.2 Bäume, Baumschatten und Baumreihen

Bild I:



Abbildung 50: Bild I, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte Bäume (grün-weiß), unsicher extrahierte Bäume (grün-schwarz), extrahierte Baumschatten (gelb), extrahierte Baumreihen (orange)

	Bäume	B.Schatten
Gefundene Regionen	24	24
Vorhandene Bäume / Schatten	35	34
Korrekt gefundene Bäume / Schatten	23	22
Vollständigkeit	66%	65%
Korrektheit	96%	92%

Tabelle 9: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild I

In Bild I befinden sich im entsprechenden Suchbereich 35 zu extrahierende Bäume und 34 zu extrahierende Baumschatten. Ganz unten rechts ist auf Abbildung 50 ein Baum zu sehen, der in der Bildebene keinen Schatten wirft, da er, aus Beleuchtungsrichtung gesehen, vor einem Gebäude steht. Zwei Drittel der Bäume und deren Schatten werden gefunden, die Korrektheit stellt sich dabei mit über 90% in beiden Fällen sehr gut dar. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle 9 zu entnehmen.

In Bild I konnte die Schattenwurfrichtung korrekt erkannt und somit Modell 1 für die Extraktion der Bäume verwendet werden (vgl. 4.4.1).

Die unsicher extrahierten Bäume (vgl. 4.4) sind in Abbildung 50 (grün mit schwarzem Rand) mit dargestellt, weil sie für die Suche nach Baumreihen mit genutzt werden. In Bild I werden neun unsichere Bäume gefunden, vier davon sind tatsächlich nur eine hohe Hecke, die restlichen fünf hoher Rasen oder ähnliches. In diesem Bild sind die unsicheren Bäume also nur störend.

Es werden zwei Baumreihen gefunden, beide sind korrekt. Die Ergebnisse der Suche nach Baumreihen ist komplett davon abhängig, wie gut die Extraktion der Bäume funktioniert. Auf der Menge der gefundenen Bäume wird dann nach dem Modell entsprechenden Baumformationen gesucht. Aus diesen Gründen werden für die Ergebnisse der Extraktion von Baumreihen keine gesonderten Ergebnisse für Vollständigkeit und Korrektheit angegeben.

Bild II:



Abbildung 51: Bild II, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte Bäume (grün-weiß), unsicher extrahierte Bäume (grün-schwarz)

	Bäume	B.Schatten
Gefundene Regionen	23	0
Vorhandene Bäume / Schatten	14	14
Korrekt gefundene Bäume / Schatten	3	0
Vollständigkeit	21%	0%
Korrektheit	13%	/

Tabelle 10: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild II

In Bild II befinden sich im entsprechenden Suchbereich 14 zu extrahierende Bäume und Baumschatten. Davon werden drei Bäume gefunden. Es ergibt sich für die Baumsuche eine Vollständigkeit von 21% und eine Korrektheit von 13% (vgl. Tab. 10). Diese extrem niedrigen Werte ergeben sich, weil auf Bild II keine Schattenwurfrichtung bestimmt

werden konnte. Deswegen gibt es auch keine Baumschattenregionen. Baumreihen werden korrekterweise nicht erkannt. Wenn die Schattenwurfrichtung manuell vorgegeben wird, werden die Ergebnisse besser. Die so erzielten Ergebnisse sind in Abbildung 52 und Tabelle 11 dargestellt.



Abbildung 52: Bild II, auf Suchbereich reduziert, Schattenwurfrichtung vorgegeben: Extrahierte Bäume (grün-weiß), unsicher extrahierte Bäume (grün-schwarz), extrahierte Baumschatten (gelb)

	Bäume	B.Schatten
Gefundene Regionen	9	9
Vorhandene Bäume / Schatten	14	14
Korrekt gefundene Bäume / Schatten	6	6
Vollständigkeit	43%	43%
Korrektheit	67%	67%

Tabelle 11: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion bei vorgegebener Schattenwurfrichtung, Bild II

Wie Tabelle 11 entnommen werden kann, verdoppelt sich die Vollständigkeit auf 43%, und die Korrektheit steigt auf mehr als das fünffache (67%) gegenüber den Ergebnissen ohne Schattenwurfrichtung. Dies zeigt deutlich den Vorteil von Modell 1 bei der Baumextraktion.

Die drei bzw. vier unsicheren Bäume, die in Bild II gefunden werden sind alle falsch. Sie markieren eher Büsche oder ähnliches. Baumreihen werden korrekterweise nicht gefunden.

Bild III:

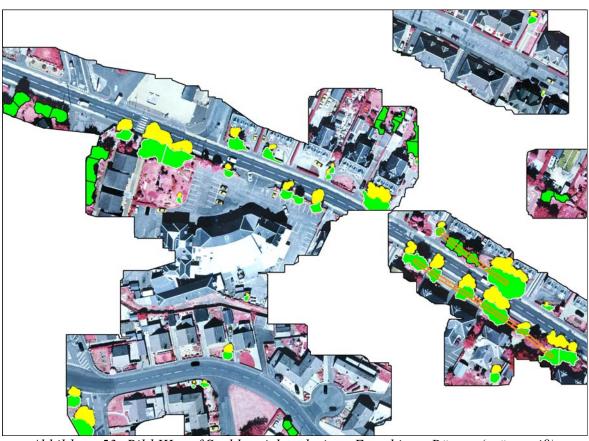


Abbildung 53: Bild III, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte Bäume (grün-weiß), unsicher extrahierte Bäume (grün-schwarz), extrahierte Baumschatten (gelb), extrahierte Baumreihen (orange)

	Bäume	B.Schatten
Gefundene Regionen	33	33
Vorhandene Bäume / Schatten	56	56
Korrekt gefundene Bäume / Schatten	33	33
Vollständigkeit	59%	59%
Korrektheit	100%	100%

Tabelle 12: Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild III

In Bild III befinden sich im entsprechenden Suchbereich 56 zu extrahierende Bäume und Baumschatten. Davon werden 59% gefunden, und zwar mit 100% Korrektheit. Die Ergebnisse für die Baumschatten sind identisch. Genaue Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Die Schattenlage konnte hier wieder automatisch bestimmt werden, die zwei Baumreihen wurden richtig erkannt.

Alle unsicheren Bäume sind hier korrekt: Es wurden 20 Regionen als unsichere Bäume markiert, von denen alle richtig sind. Eine der zwei Baumreihen kommt nur durch die unsicheren Bäume zustande.

Anmerkung: In Bild III erweisen sich die unsicheren Bäume also als sehr nützlich, so dass es zu überlegen wäre, sie als sichere Bäume zu übernehmen. Da das aber nicht die Regel ist, wird darauf verzichtet.

Tabelle 13 fasst die Ergebnisse aus den Tabellen 9, 10 und 12 zusammen. Für Bild II werden die Ergebnisse ohne Berücksichtigung der Schattenwurfrichtung genutzt.

	Bäume	B.Schatten
Gefundene Regionen	80	57
Vorhandene Bäume / Schatten	105	104
Korrekt gefundene Bäume / Schatten	59	55
Vollständigkeit	56%	56%
Korrektheit	52%	96%

Tabelle 13: Addierte Ergebnisse der automatischen Baum- und Baumschattenextraktion, Bild I-III

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse aus den Tabellen 9, 11 und 12 zusammengefasst. Es werden für Bild II also die Ergebnisse mit manuell vorgegebener Schattenwurfrichtung genutzt.

	Bäume	B.Schatten
Gefundene Regionen	66	66
Vorhandene Bäume / Schatten	105	104
Korrekt gefundene Bäume / Schatten	62	61
Vollständigkeit	59%	59%
Korrektheit	94%	92%

Tabelle 14: Addierte Ergebnisse der Baum- und Baumschattenextraktion, Bild I-III, mit vorgegebener Schattenwurfrichtung für Bild II

Bei dem Vergleich der Tabellen 13 und 14 wird deutlich, dass durch die Nutzung des ersten Modells (vgl. 4.4.1) die Korrektheit der Baumextraktion deutlich verbessert wird. Die Vollständigkeit steigt ebenfalls leicht an.

Würden auch die unsicheren Bäume als Sichere gewertet, würde die Vollständigkeit der Baumextraktion auf fast 75% bzw. 76% steigen, die Korrektheit auf knapp 57% bzw. 83% sinken. Der jeweils erste Wert bezieht sich auf Tabelle 13, der jeweils zweite auf Tabelle 14 als Grundlage.

6.1.3 Flache Vegetation und Asphaltflächen

Bild I:



Abbildung 54: Bild I, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte flache Vegetation (dunkelgrün), extrahierte Asphaltflächen (grau-weiß)

	Flache Vegetation	Asphaltflächen
Gefundene Regionen	160	4460 m ²
Vorhandene flache Vegetation / Asphaltflächen	~190	$\sim 8060 \; m^2$
Korrekt gefundene Vegetation / Asphaltflächen	~150	$\sim 4440\ m^2$
Vollständigkeit	79%	55%
Korrektheit	94%	100%

Tabelle 15: Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen, Bild I

Die Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen lassen sich schwer in genauen Zahlen ausdrücken. Bei der flachen Vegetation ist das

Zählen der fälschlicherweise und der nicht erkannten Regionen vertretbar. Aber aufgrund der sehr großflächigen Erscheinungsweise von Asphaltflächen werden für die Berechnung von Vollständigkeit und Korrektheit anstatt der Anzahl gefundener und korrekter Regionen die Flächenanteile für die Errechnung von Vollständigkeit und Korrektheit genutzt. Die Korrektheit ist bei der flachen Vegetation und bei den Asphaltflächen über 90% bzw. fast 100%, die Vollständigkeit liegt bei der Vegetation bei 79%, bei den Asphaltflächen sind es lediglich 55%. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle 15 zu entnehmen.

Die geringe Vollständigkeit ist darauf zurück zu führen, dass die festen Intervalle für die Grauwerte bei der Segmentierung der Asphaltflächen den vielen unterschiedlichen Erscheinungsarten bezüglich ihrer Grauwerte nicht immer genügen können (vgl. 8.1).

Bild II:



Abbildung 55: Bild II, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte flache Vegetation (dunkelgrün), extrahierte Asphaltflächen (grau-weiß)

	Flache Vegetation	Asphaltflächen
Gefundene Regionen	241	6405 m ²
Vorhandene flache Vegetation / Asphaltflächen	~280	$\sim 5700 \; m^2$
Korrekt gefundene Vegetation / Asphaltflächen	~230	$\sim 5000~m^2$
Vollständigkeit	82%	88%
Korrektheit	95%	78%

Tabelle 16: Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen, Bild II

Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen. Wie schon bei Bild I werden die Ergebnisse bei den Asphaltflächen über die Flächenanteile berechnet. Bei der flachen Vegetation sind Vollständigkeit und Korrektheit bei 82% bzw. 95%, bei den Asphaltflächen liegt die Vollständigkeit knapp unter 90%, die Korrektheit knapp unter 80%. Die Fehlerkennungen bei den Asphaltflächen sind hier zum größten Teil Hausdächer, da diese in der Bildebene den Asphaltflächen sehr stark ähneln.

Bild III:



Abbildung 56: Bild III, auf Suchbereich reduziert: Extrahierte flache Vegetation (dunkelgrün), extrahierte Asphaltflächen (grau-weiß)

	Flache Vegetation	Asphaltflächen
Gefundene Regionen	224	6797 m ²
Vorhandene flache Vegetation / Asphaltflächen	~250	$\sim 8300\ m^2$
Korrekt gefundene Vegetation / Asphaltflächen	~210	$\sim 5500\ m^2$
Vollständigkeit	84%	66%
Korrektheit	93%	81%

Tabelle 17: Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen, Bild III

Wie Tabelle 17 zu entnehmen ist, liegen die Werte für Vollständigkeit und Korrektheit bei der Extraktion der flachen Vegetation bei 84% bzw. 93%. Bei den Asphaltflächen sind die Werte, wiederum über die Flächenanteile gerechneten, mit 66% bei der Vollständigkeit und 81% bei der Korrektheit etwas niedriger. Fehlerkennungen bei den Asphaltflächen liegen hier ebenfalls zumeist auf Hausdächern.

Zusammengefasst sind die Ergebnisse der Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen (Tabelle 15, 16 und 17) in Tabelle 18 dargestellt.

	Flache Vegetation	Asphaltflächen
Gefundene Regionen	625	17662 m²
Vorhandene flache Vegetation / Asphaltflächen	~720	$\sim 22060\ m^2$
Korrekt gefundene Vegetation / Asphaltflächen	~590	$\sim 14940\ m^2$
Vollständigkeit	82%	68%
Korrektheit	94%	85%

Tabelle 18: Addierte Ergebnisse der automatischen Extraktion von flacher Vegetation und Asphaltflächen, Bild I-III

Auf allen drei Beispielbildern zusammen ergibt sich demnach eine Vollständigkeit von 82% für die flache Vegetation und 68% für die Asphaltflächen. Die Korrektheit liegt bei 94% bei flacher Vegetation, 85% sind es bei den Asphaltflächen.

6.2 Bewertung der Straßensegmenthypothesen

Hier werden die Ergebnisse der Bewertungen der einzelnen Straßensegmenthypothesen genauer untersucht. Die Abbildungen 57 und 58 zeigen die Lücken der Straßenextraktion aus [GROTE, 2008] (vgl. 3.1) mit überlagerten Regionen für die

Straßensegmenthypothesen und die verschiedenen Kontextobjekte. Die Ausschnitte entsprechen den maximalen Nachbarschaftsbereichen der Hypothesen (vgl. 5.2.1). Die Hypothesen sind gelb dargestellt, Fahrzeuge blau, Gebäude (manuell extrahiert) hellgrauweiß, Gebäudeschatten (manuell extrahiert) dunkelgrau-weiß, Bäume grün-weiß, Baumschatten braun, flache Vegetation dunkelgrün und Baumreihen orange. Die Asphaltflächen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit hier nicht mit dargestellt. Eine Straßensegmenthypothese wird angenommen, wenn sie eine Bewertung größer 1.0 bekommt.

Alle in Abbildung 57 zu sehenden Straßensegmenthypothesen sind aus Bild I.

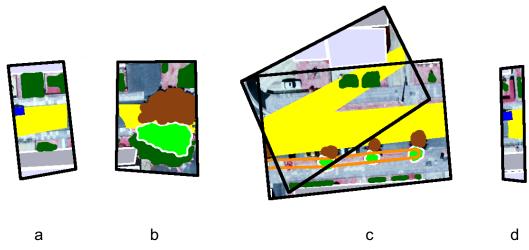


Abbildung 57: Straßensegmenthypothesen aus Bild I mit benachbarten Kontextobjekten, a: Hypothesen 1, b: Hypothese 2, c: Hypothese 3 und 4, d: Hypothese 5

Abbildung 57 a zeigt eine Hypothese mit folgenden Relationen (vgl. 5.2.1): 'Fahrzeug parallel auf Straße', 'Gebäude gerade neben Straße' (2x), 'Flache Vegetation neben Straße' (3x), 'Asphaltfläche auf Straße' (nicht dargestellt). Die Überdeckung (vgl. 5.2.2) beträgt 7% und wird durch ein Fahrzeug verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine Bewertung von 1.74, die deutlich für eine Annahme der Hypothese 1 spricht.

Abbildung 57 b zeigt eine Hypothese mit folgenden Relationen: 'Gebäude gerade neben Straße' (2x)², 'Einzelner Baum neben Straße', 'Flache Vegetation neben Straße' (4x), 'Asphaltfläche neben Straße' (nicht dargestellt). Die Überdeckung beträgt 72% und wird durch einen Baum und dessen Schatten verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine

² Das zweite Gebäude ist gerade noch in der linken oberen Ecke zu sehen.

Bewertung von 1.94, die deutlich für eine Annahme der Hypothese 2 spricht.

Abbildung 57 c zeigt zwei Hypothesen. Die obere besitzt u.a. die Relation 'Flache Vegetation auf Straße', und wird somit direkt abgelehnt.

Die untere Relation in Abbildung 57 c besitzt folgende Relationen: 'Gebäude gerade neben Straße', 'Einzelner Baum neben Straße' (4x)³, 'Flache Vegetation neben Straße' (5x), 'Asphaltfläche neben Straße' (nicht dargestellt), 'Baumreihe parallel neben Straße'. Die Überdeckung beträgt 5% und wird durch drei Baumschatten verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine Bewertung von 1.52, die deutlich für eine Annahme der Hypothese 4 spricht.

Abbildung 57 d zeigt eine Hypothese mit den folgenden Relationen: 'Fahrzeug parallel neben Straße', 'Gebäude gerade neben Straße' (2x), 'Flache Vegetation neben Straße' (3x)⁴, 'Asphaltfläche auf Straße'. Die Überdeckung beträgt 8% und wird durch ein Fahrzeug verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine Bewertung von 1.55, die deutlich für eine Annahme der Hypothese 5 spricht.

Die in Abbildung 58 a zu sehende Straßensegmenthypothese ist aus Bild II, 58 b, c und d aus Bild III.

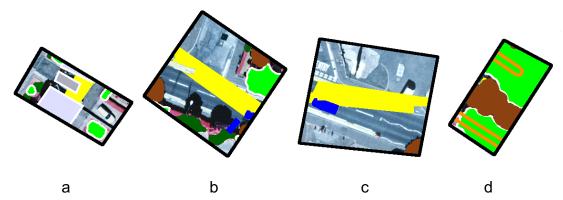


Abbildung 58: Straßensegmenthypothesen aus Bild II (a) und III (b, c, d) mit benachbarten Kontextobjekten, a: Hypothese 6, b: Hypothese 7, c: Hypothese 8, d: Hypothese 9

Abbildung 58 a zeigt eine Hypothese unter anderem mit der Relation: 'Gebäude auf Straße', und wird somit direkt abgelehnt.

Abbildung 58 b zeigt eine Hypothese mit den folgenden Relationen: 'Fahrzeug parallel

³ Der vierte Baum, bzw. dessen weißer Rand, ist gerade noch am linken Rand zu sehen.

⁴ Die dritte flache Vegetation ist vom Gebäudeschatten verdeckt.

auf Straße', 'Fahrzeug senkrecht neben Straße', 'Einzelner Baum neben Straße' (2x), 'Flache Vegetation neben Straße', 'Asphaltfläche auf Straße', 'Asphaltfläche neben Straße'. Die Überdeckung beträgt 5% und wird durch ein Fahrzeug verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine Bewertung von 1.50, die deutlich für eine Annahme der Hypothese 7 spricht.

Abbildung 58 c zeigt eine Hypothese mit den folgenden Relationen: 'Fahrzeug parallel neben Straße', 'Asphaltfläche neben Straße'. Die Überdeckung beträgt 4% und wird durch ein Fahrzeug verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine Bewertung von 0.44, die gegen die Annahme der Hypothese 8 spricht.

Abbildung 58 d zeigt eine Hypothese mit den folgenden Relationen: 'Einzelner Baum neben Straße' (2x), 'Baumreihe parallel neben Straße' (2x). Die Überdeckung beträgt 98% und wird durch zwei Bäume und einen Baumschatten verursacht. Insgesamt ergibt sich daraus eine Bewertung von 1.58, die deutlich für eine Annahme der Hypothese 9 spricht.

Die oben aufgezählten Ergebnisse sind detailliert in Tabelle 19 zusammengefasst.

Hypothese	Bewertung 1 (vgl. 5.2)				Bewertung 2	Gesamt-		
	Fz.	Gb.	e.B.	f.V.	Af.	Br.	(vgl. 5.2)	bewertung
1 (vgl. Abb. 57 a)	0.5	0.6	0	0.37	0.2	0	0.07	1.74
2 (vgl. Abb. 57 b)	0	0.6	0.1	0.42	0.1	0	0.72	1.94
3 (vgl. Abb. 57 c)	/	/	/	-∞	/	/	/	-∞
4 (vgl. Abb. 57 c)	0	0.4	0.21	0.46	0.1	0.3	0.05	1.52
5 (vgl. Abb. 57 d)	0.3	0.6	0	0.37	0.2	0	0.08	1.55
6 (vgl. Abb. 58 a)	/	-∞	/	/	/	/	/	-∞
7 (vgl. Abb. 58 b)	0.8	0	0.15	0.2	0.3	0	0.05	1.50
8 (vgl. Abb. 58 c)	0.3	0	0	0	0.1	0	0.04	0.44
9 (vgl. Abb. 58 d)	0	0	0.15	0	0	0.45	0.98	1.58

Tabelle 19: Ergebnisse der Bewertungen der Straßensegmenthypothesen (Fz. = Fahrzeuge, Gb.. = Gebäude, e.B. = Einzelne Bäume, f.V. = Flache Vegetation, Af. = Asphaltflächen, Br. = Baumreihen)

Die zweite 'flache Vegetation' ist zu weit weg. Dargestellt wird der maximale Nachbarschaftsbereich. Dieser entspricht dem für Gebäude.

In den Abbildungen 59, 60 und 61 sind die extrahierten Straßensegmente (grau-weiß) zusammen mit den bewerteten Straßensegmenthypothesen (grüne und rote Flächen) und dem Straßengraphen dargestellt. Die grün eingefärbten Hypothesen sind bei einem Schwellwert von 1.0 angenommen, die rot eingefärbten nicht. Von Bild II ist nur ein Ausschnitt abgebildet, da es dort nur eine Straßensegmenthypothese gibt.



Abbildung 59: Bild I, bewertete Straßensegmenthypothesen



Abbildung 60: Ausschnitt aus Bild II, bewertete Straßensegmenthypothese



Abbildung 61: Bild III, bewertete Straßensegmenthypothesen

Alle Hypothesen aus Bild I und II (Abb. 59 und 60) sind korrekt, eine der drei Hypothesen auf Bild III (Abb. 61) ist jedoch falsch eingeteilt worden. Der Bewertungsalgorithmus bewertet Hypothese 7 (vgl. Abb. 61 zweite von links und Abb. 58 b) mit 1.50. Ausschlaggebend sind dabei die beiden Fahrzeuge, die auf bzw. nahe neben der Hypothese gefunden werden. Eine der Relation 'Fahrzeug-Straße' wird mit einem falschen Fahrzeug gebildet. Würde diese wegfallen, ergäbe dies eine Bewertung von 1.20. Die Hypothese hätte also noch immer eine recht gute Bewertung. Zu erklären ist dies damit, dass sie zu großen Teilen in Straßenbereichen liegt, also nicht komplett falsch ist, und somit einige positive Relationen mit Kontextobjekten eingeht.

Für alle drei Bilder zusammen ergibt sich eine Korrektheit von 89%.

7 Implementierung

In diesem Kapitel wird kurz auf die Implementierung der in Kapitel 4 und 5 erläuterten Ansätze eingegangen.

Eine Anleitung für den Benutzung von "KontextCheck" befindet sich im Anhang.

7.1 Halcon

Das von der Firma MVTec entwickelte Bildverarbeitungsprogramm Halcon bietet eine umfassende Funktionsbibliothek für Bildverarbeitungsoperatoren ([MVTEC, 2008]). Diese Funktionsbibliothek (C++, Version 7.0.2) wurde für die Implementierung der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Software genutzt.

Neben der reinen Funktionsbibliothek bietet Halcon auch die Entwicklungsumgebung HDevelop.

7.2 Qt

Qt ist eine von der Firma Qt Software (früher Trolltech) entwickelte Klassenbibliothek zur plattformübergreifenden Programmierung von grafischen Benutzeroberflächen. Zusätzlich bietet Qt viele weitere Funktionen, z.B. zur Internationalisierung von Software.

Ein wichtiges Konzept von Qt ist das "Signal-Slot" Konzept, mit dem eine einfache und klar strukturierte Kommunikation zwischen Objekten möglich ist.

Zusätzlich zur reinen Klassenbibliothek ([QT, 2008]) bietet Qt den Qt-Designer zum Erstellen grafischer Oberflächen und den Qt-Linguist für die Übersetzungen der Programme.

Für die Implementierung der Benutzeroberfläche der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Software wurde Qt in der Version 4.4.0 genutzt.

7.3 KontextCheck

"KontextCheck" ist die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Software. Die Implementierung erfolgte in C++ und basiert auf fünf Klassen. Die Klasse "MainWindow" ist eine von QMainWindow (vgl. [QT, 2008]) abgeleitete Klasse, die sich um die graphische Nutzeroberfläche und die Eingabe und Ausgabe vom und an den Benutzer kümmert. Alle Eingaben des Benutzers werden von dieser Klasse lediglich "interpretiert" und an die Klassen "RoadGraphList" und "KontextObjectList" weitergegeben,

"MainWindow" dient also als Schnittstelle zwischen diesen Klassen und dem Nutzer.

Die Klasse "RoadGraphList" verwaltet mehrere Objekte der Klasse "RoadGraph". Diese zwei Klassen sind für die Verwaltung der Straßengraphen und der entsprechenden Straßensegmente, sowie die Berechnung der Straßensegmenthypothesen zuständig. Die wichtigste Aufgabe ist jedoch die Bewertung der Straßensegmenthypothesen. Die dafür notwendige Suche nach den Relationen zwischen Straßensegmenthypothesen und Kontextobjekten ist ebenfalls Aufgabe dieser Klassen.

Die Klasse "KontextObjectList" ist für die Extraktion und Verwaltung der Kontextobjekte zuständig. Ein Kontextobjekt wird dabei durch die Klasse "KontextObject" dargestellt.

Auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Funktionen wird hier verzichtet. Die Funktionsweise der Ansätze wurde in den Kapiteln 4 und 5 ausreichend erläutert.

Es gibt einige mögliche Weiterentwicklungen für die vorliegende Arbeit. Eine automatische Gebäudeextraktion hinzuzufügen ist dabei nur Eine. Weitere ergeben sich aus der teilweise etwas niedrigen Vollständigkeit bei der Extraktion der anderen Kontextobjekte. Zu deren Verbesserung sind in 8.1 einige konkrete Vorschläge angeführt. Auch die Verfeinerung des Bewertungssystems, speziell der verwendeten Relationen, ist ein Aspekt für eine zukünftige Weiterentwicklung. In 8.1 werden auch hierfür Vorschläge vorgestellt.

Die in 8.1 angeführten Vorschläge sind alle ohne weitere Daten umsetzbar, zusätzlich gibt es noch weitere Ideen, die allerdings zusätzliche Eingabedaten erfordern. Mit einem DOM könnte die automatische Extraktion von Gebäuden leichter realisiert werden und die Extraktion der übrigen Kontextobjekte verbessert werden.

Mit Daten über den genauen Aufnahmezeitpunkt der einzelnen Eingabebilder und deren Aufnahmeparameter könnte die Schattenwurfrichtung sicher errechnet werden, wodurch eine sichere Extraktion der Bäume nicht von der in 4.4.2 erläuterten Bestimmung abhängig wäre.

8.1 Konkrete Verbesserungsvorschläge

Während der Entwicklung und Implementierung des in dieser Arbeit vorgestellten Ansatzes sind einige Ideen aufgetaucht, die nicht mehr umgesetzt werden konnten. Diese Ideen werden hier als Verbesserungsvorschläge vorgestellt.

"Kontext bei der Fahrzeugextraktion nutzen, um Parkplatzbereiche zu erkennen" (Bezug: 4.2)

Fahrzeuge gelten im Rahmen dieser Arbeit immer als positive Kontextobjekte. Es gibt aber eine Situation, die in vorstädtischen Gebieten häufiger vorkommen kann, in der Fahrzeuge in Bezug auf Straßenhypothesen nicht positiv gewertet werden sollten. Gemeint sind Parkplätze. Stehen mehrere Fahrzeuge, wie in Abbildung 62 dargestellt, nebeneinander, so deutet das auf einen Parkplatz hin. Die gefundenen Fahrzeuge sollten auf solche topologischen Beziehungen hin untersucht werden. Bereiche in denen Fahrzeuge so auftreten, könnten dann als Straßenhypothesen abgelehnt werden. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass mehrspurigen Straßenabschnitten mit Fahrzeugen dadurch nicht

abgelehnt werden.



Abbildung 62: Fahrzeuge auf Parkplatz

"Orientierung von annähernd quadratischen Teilregionen genauer betrachten" (Bezug: 4.2.2.4)

Im Rahmen der Modellvorgaben in 4.2.1 kann eine Teilregion eines Fahrzeuges auch quadratisch sein. Der Bereich, in dem sich zugehörige Teilregionen befinden dürfen, wird anhand der Orientierung der Teilregionen festgelegt. Ist eine Teilregion annähernd quadratisch, müsste in jeder Richtung nach zugehörigen Teilregionen gesucht werden, da die Orientierungen bei annähernd quadratischen Regionen nicht mehr so aussagekräftig ist, d.h. sie kann sich schon bei kleinen Veränderungen der Region stark ändern.

"Bei der Suche nach Asphalt die Grauwerte der Nachbarsegmente für die Schwellwerte nutzen" (Bezug: 4.7)

Der Nachteil bei der Extraktion von Asphaltflächen (vgl. 4.7) sind die festen Intervalle für die Grauwerte. Diese könnten anhand der Grauwerte der angrenzenden Straßensegmente automatisch angepasst werden, um die Extraktion der Asphaltflächen so auf den jeweiligen Straßenbelag anzupassen.

"Möglichkeit zum Anpassen der Straßensegmenthypothesen" (Bezug: 5)

In Kapitel 5 werden die Hypothesen für Straßensegmente anfangs einmal aufgestellt und dann angenommen oder abgelehnt. Bei Ablehnung einer Hypothese könnte aber auch eine Anpassung der Hypothese erfolgen, die dann erneut bewertet wird. Denkbar wäre dies, wenn z.B. die seitlichen Ränder einer Hypothese von einem Gebäude oder Vegetation überdeckt sind, und diese deshalb abgelehnt wird. Eine etwas schmalere Hypothese würde

evtl. angenommen werden. Für solche angepassten Hypothesen sollte der Schwellwert für eine positive Bewertung entsprechend angehoben werden.

"Straßensegmenthypothesen mit Einfluss des Eingabebildes aufstellen" (Bezug: 5.1)

Bisher werden die neuen Straßensegmenthypothesen anhand der bereits vorhandenen, sie begrenzenden Straßensegmente aufgestellt. Alternativ könnten Strukturen im Eingabebild, z.B. Kanten, Einfluss auf die Aufstellung der Hypothesen haben. Die seitliche Begrenzung könnte beispielsweise durch auf dem Bild gefundenen Kanten und Linien beeinflusst werden. Es muss aber darauf geachtet werden, dass Kanten von Störobjekten das Ganze nicht zu stark beeinflussen.

"Bewertung der angrenzenden Straßensegmente" (Bezug: 5.2)

Jede Straßensegmenthypothese wird aufgrund der angrenzenden Straßensegmenten aufgestellt. Diese angrenzenden Segmente werden als korrekt angenommen. Als Alternative dazu könnten diese Segmente ebenfalls anhand ihrer Relationen zu Kontextobjekten bewertet werden, und diese Bewertung dann in die Bewertung der neuen Hypothese mit einfließen. Bei unsicheren Nachbarsegmenten könnte dann z.B. der Schwellwert für eine positive Bewertung der Hypothese angehoben werden.

"Sicherheit der Kontextobjekte für die Bewertung nutzen" (Bezug: 5.2.1)

Bei der Extraktion der Kontextobjekte könnte jedes Objekt bezüglich seiner "Sicherheit" bewertet werden. Diese Bewertung der einzelnen Kontextobjekte könnte dann weiter in die Gewichtung der Relationen, die sie mit neuen Straßensegmenthypothesen eingehen, einfließen. Ein eher unsicher extrahiertes Objekt könnte dann z.B. nur die halbe Gewichtung eines sicheren Objektes haben.

Kann eine Aussage zur Qualität der Extraktion nur für komplette Objektklassen gemacht werden, könnte dies bei der Wahl der Fuzzy-Gewichtung für die Wertigkeit von Relationen (vgl. 5.2.1.7) mit einfließen.

Wie gut die Sicherheit der Extraktion einzelner Objekte eingeschätzt werden kann, ist von

der jeweiligen Implementierung der Objektextraktion abhängig.

"Feinere Unterteilung und mehr Bedingungen bei den Relationen 'Kontextobjekt-Straße'" (Bezug: 5.2.1)

Die in Abschnitt 5.2.1 aufgestellten Relationen könnten noch weiter unterteilt werden, bzw. engere Bedingungen bekommen. Beispielsweise könnte für die Relation 'Fahrzeug quer auf Straße' eine Bedingung eingeführt werden, die erklärt, warum sich ein Fahrzeug quer auf der Straße befindet. Der Hauptgrund für ein sich quer auf der Straße befindliches Fahrzeug ist ein Ab- oder Einbiegen von/auf die Straße. Als weitere Bedingung für die Relation 'Fahrzeug quer auf Straße' könnte also ein Hinweis auf eine Abzweigung oder eine Einfahrt gefordert werden.

8.2 Fazit

Für das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Bewertungssystem wird für jede Klasse von Kontextobjekten eine oder mehrere Relationen 'Kontextobjekt-Straße' aufgestellt, die jeweils eine explizite Bewertung erhalten, die sich aus der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens und einem Fuzzy-Gewicht für ihre "Wertigkeit" zusammensetzt. An diesem Punkt können die Parameter für die Bewertung intuitiv verändert werden. Das bedeutet, der Nutzer kann hier ohne tiefen Einstieg in die Materie Einfluss auf die Bewertung nehmen. Außerdem kann an dieser Stelle das Bewertungssystem durch einfache Änderungen an andere globale Kontexte angepasst werden. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass in einem anderen globalen Kontext zusätzliche Relationen auftreten können.

Die Beziehung zwischen einer Klasse von Kontextobjekten und einer Straße wird nicht nur durch eine einzelne Relation beschrieben, z.B. 'Fahrzeug-Straße', sondern je nach Lage der Objekte zur Straße in mehrere Relationen unterteilt. Dadurch werden die in der Realität auftretenden Relationen genauer als in bisherigen Arbeiten modelliert. Zusätzlich werden auch negative Kontextobjekte genutzt, also Objekte die einer Straßensegmenthypothese widersprechen können, falls sie in entsprechender Relation mit ihr stehen. Ein Teil der Bewertung für eine Relation 'Kontextobjekt-Straße' leitet sich aus statistischen Untersuchungen ab. Je nach Häufigkeit des Vorkommens einer Relation im globalen

Kontext fließt ein entsprechender Wert in ihre Bewertung mit ein. Dadurch sind die Bewertungen der Relationen nicht nur von der Einschätzung ihrer Wertigkeit abhängig.

Zusätzlich wurde der Überdeckungsgrad durch bestimmte Kontextobjekte für jede Hypothese bestimmt. Dabei wird explizit auch der Einfluss von Schatten berücksichtigt. Genutzt werden Schatten von Bäumen und Gebäuden.

Neben dieser Nutzung spielt Schatten eine große Rolle bei der automatischen Extraktion von Bäumen. Um Bäume sicher von niedrigerer Vegetation zu trennen, wird für Baumhypothesen nach einem zugehörigen Schatten gesucht. Die korrekte Schattenwurfrichtung wird automatisch für jedes Eingabebild bestimmt. In einem Bild konnte die Schattenwurfrichtung nicht automatisch bestimmt werden. Zum Vergleich wurde die Schattenwurfrichtung manuell vorgegeben. Dadurch stieg die Korrektheit von 13% auf 67% und die Vollständigkeit von 21% auf 43%. Dies zeigt den großen Vorteil, den die Nutzung der Schattenregionen als eine Art 3D-Information bringt.

Ziel war es, dass die Bewertungen der in den Lückenbereichen aufgestellten Straßensegmenthypothesen möglichst wenig "false positives" hervorbringen. Daraus ging die Forderung nach einer hohen Korrektheit der Extraktionsverfahren der einzelnen Kontextobjekte hervor. Aufgrund dieser Forderung wird eine automatische Gebäudeextraktion nicht umgesetzt. Es stellte sich heraus, dass die automatische Extraktion von Gebäuden, vor allem mit der Forderung nach einer hohen Korrektheit, ohne ein vorhandenes digitales Oberflächenmodell eine sehr komplexe Angelegenheit ist, die im Rahmen dieser Arbeit, bzw. in der dafür zur Verfügung stehenden Zeit nicht verwirklicht werden kann. Deshalb werden Gebäude und zugehörige Schatten manuell extrahiert.

Die automatische Extraktion der anderen Kontextobjekte (Fahrzeuge, Bäume, Baumschatten, Baumreihen, flache Vegetation, Asphaltflächen) wird umgesetzt und genügt der Anforderung nach einer hohen Korrektheit. Im Schnitt erreicht diese 82% bei Fahrzeugen, 52% bei Bäumen, bzw. 93% mit manuell vorgegebener Schattenwurfrichtung in Bild II, 56% bei Baumschatten, bzw. 96% mit manuell vorgegebener Schattenwurfrichtung in Bild II, 94% bei flacher Vegetation und 81% bei Asphaltflächen.

Durch die Fokussierung auf eine hohe Korrektheit müssen bei der Vollständigkeit schlechtere Ergebnisse in Kauf genommen werden. Sie liegen im Schnitt zwischen 56% und 67%. Nur die Vollständigkeit bei der Extraktion der flachen Vegetation sticht mit

einem Schnitt von 82% heraus.

Mit 89% Korrektheit kann das Ziel, wenig *false positives* bei der Bewertung der Lücken zu bekommen, erreicht werden. Da dieses Ergebnis aber nur auf wenigen Beispielen beruht, sollte es nicht als endgültig betrachtet, sondern zukünftig mit weiteren Beispielen geprüft werden. Absolut ausgedrückt wurden acht von neun Hypothese richtig klassifiziert. Die eine falsch klassifizierte Hypothese kann als Grenzfall betrachtet werden, genauer gesagt liegt sie größtenteils in auf einer Straße, bzw. auf einer Abzweigung. Bei der in dieser Arbeit vorgenommenen Klassifizierung in nur zwei Klassen, muss sie aber als falsch, also als "nicht-Straßenobjekt" betrachtet werden, wurde aber als richtig, also als Straßensegment klassifiziert (vgl. 6.2, Hypothese 7).

Bei einer Umsetzung der in 8.1 vorgeschlagenen Verbesserungen ist zu erwarten, dass sich die Korrektheit der einzelnen Objektextraktionen sowie die Qualität der abschließenden Bewertung weiter erhöht. Ein wichtiger Punkt zukünftiger Weiterentwicklung dieser Arbeit ist auch die Erhöhung der Vollständigkeit ohne gleichzeitige Verringerung der Korrektheit sein. Für die Verbesserung der Ergebnisse wird die Nutzung eines DOMs als die effektivste Möglichkeit angesehen. Besonders für eine automatische Gebäudeextraktion hat sich dies in der Literatur als besonders hilfreich gezeigt.

Die erzielten Ergebnisse können nun genutzt werden um verschiedenen Hypothesen für zusammengehörige Straßensegmente aus [GROTE, 2008] zu bewerten und zu entscheiden, welche richtig sind und welche falsch. Zusätzlich können die in [GROTE, 2008] extrahierten Straßensegmente direkt bewertet werden.

Der entwickelte Ansatz kann ebenso alle anderen Arten von Straßenextraktionen auf hochauflösenden Luftbildern unterstützen, indem er die extrahierte Straßenteile bewertet. Durch sein flexibles Bewertungssystem kann er leicht auch an andere globale Kontexte als vorstädtische Gebiete angepasst werden.

[BÄHR, 1998]:

Bähr, Hans-Peter / Vögtle, Thomas (Hrsg.): *Digitale Bildverarbeitung – Anwendungen in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung.*

1998, Wichmann Verlag Heidelberg, 3. Auflage, 360 S.

[BAUMGARTNER & ECKSTEIN, 1997]:

Baumgartner, A. / Eckstein, W. / Mayer, H. / Heipke, C. / Ebner H.: *Context-Supported Road Extraction*.

1997, Forschungsgruppe Bildverstehen (FG BV), Informatik IX, Technische Universität München, 10 S.

[BAUMGARTNER & STEGER, 1997]:

Baumgartner, A. / Steger, C. / Mayer, H. / Eckstein, W.: Semantic Objects and Context for Finding Roads.

1997, Integrating photogrammetric techniques with scene analysis and machine vision. Conference No3, Orlando FL , ETATS-UNIS (21/04/1997), vol. 3072, S. 98-109

[BECHTEL, 2007]:

Bechtel, Benjamin: *Objektextraktion von Bäumen aus Luftbildern – Vergleich und Steuerung von Segmentierungsverfahren zur Vorbereitung eines Expertensystems*. 2007, Hamburg, unveröffentlichte Diplomarbeit, http://www.uni-hamburg.de/geographie/personal/Mitarbeiter/bechtel/index_/da_bechtel_final_screen.pdf, 157 S.

[BRANDBERG, 1998]:

Brandberg, T / Walter, F.: Automated delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images by multiple-scale analysis.

1998, In Machine Vision and Applications 11, S. 64-73

[COLLINS, 1995]:

Collins, R.T. / Hanson, A.R. / Riseman, M.R. /Schultz, H.: *Automatic extraction of buildings and terrain from aerial images*.

1995, In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, Birkhäuser Verlag, Basel, S. 169-178

[ECKSTEIN, 1996]:

Eckstein, W. / Steger, C.: Fusion of Digital Terrain Models and Texture for Object Extraction.

1996, In: Proceedings of the Second International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Vol III, S. 1-10

[ERHARDT, 2008]:

Erhardt, Angelika: Einführung in die Digitale Bildverarbeitung – Grundlagen, Systeme und Anwendungen.

2008, Vieweg+Teubner Wiesbaden, 1. Auflage, 248 S.

[FISCHER, 1998]:

Fischer, Andre / Kolbe, Thomas A. / Lang, Felicitas / Cremers, Armin B. / Förstner, Wolfgang / Plümer, Lutz / Steinhage, Volker: *Extracting Buildings from Aerial Images using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D*.

1998, Computer vision and image understanding, vol. 72,nr. 2, S. 185-203

[GROTE, 2008]:

Grote, Anne / Heipke, C.: Road extraction for the update of road databases in suburban areas

2008, IntArchPhRS. Band XXXVII, Teil B3b. Peking, S. 563-568

[HERRERA, 2004]:

Herrera, B. / Kleinn, C. / Koch, B. / Dees, M.: *Automatic Classification of Trees outside Forest using an object-driven Approach: an Application in a Costa Rican Landscape.* 2004, in: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation 2, S. 111-119

[HILDEBRANDT, 1996]:

Hildebrandt, Gerd: Fernerkundung und Luftbildmessung – für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie.

1996, Wichmann Verlag Heidelberg, 1. Auflage, 676 S.

[HINZ, 2001]:

Hinz, Stefan: *Using context as guide for automatic object extraction in urban areas*. 2001, In Regensburger Geographische Schriften (35), C. Juergens (hrsg.): "Remote Sensing of Urban Areas", Institut für Geographie, Universitaet Regensburg

[HINZ, 2004]:

Hinz, Stefan: *Automatische Extraktion urbaner Straßennetze aus Luftbildern*. 2004, Dissertation, Verlag der Bayrischen Akademie der Wissenschaften München, 133 S.

[HINZ, 2005]:

Hinz, Stefan: Detection of vehicles and vehiclequeues in high resolution aerial images. 2005, Proceedings of 9th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics

[HINZ, 2006]:

Hinz, Stefan; Stilla, Uwe: Car detection in aerial thermal images by local and global evidence accumulation.

2006, Pattern Recognition Letters 27 (2006) S. 308-315

[HINZ & BAUMGARTNER, 2001]:

Hinz, Stefan / Baumgartner, Albert: Vehicle Detection in Aerial Images Using Generic Features, Grouping, and Context.

2001, in DAGM Symposium for Pattern Recognition 2001, Lecture Notes on Computer Science, Springer Verlag, Berlin S. 45-52

[HERMES, 2005]:

Hermes, Thorsten: *Digitale Bildverarbeitung – Eine praktische Einführung*. 2005, Carl Hanser Verlag München/Wien, 1. Auflage, 230 S.

[JÄHNE, 1997]:

Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung.

1997, Springer Verlag Berlin/Heidelberg, 4. Auflage, 591 S.

[JIANG, 1992]:

Jiang, C. / Ward, M.O.: Shadow identification.

1992, in: Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings CVPR '92, S. 606-612

[JIN, 2005]:

Jin, Xiaoying / Davis, Curt H.: Automated Building Extraction from High-Resolution Satellite Imagery in Urban Areas Using Structural, Contextual, and Spectral Information. 2005, EURASIP Journal on Applied Signal Processing: 14, S. 2196-2206

[LARSEN 1997]:

Larsen, M. / Rudemo, M.: *Estimation of Tree Position from Aerial Photos*. 1997, Proceedings of the 1997 Swedish Symposium on Image Analysis, S. 130-134

[LEITLOFF, 2005]:

Leitloff, J.; Hinz, Stefan; Stilla, Uwe: Automatic vehicle detection in space images supported by digital map data.

2005, in: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences, vol. 36-3W/24, S. 75-80.

[MEYER, 2006]:

Meyer, Hannes: *Extraktion von Fahrzeugen als Kontextobjekte in optischen Bilddaten.* 2006, Hannover, unveröffentlichte Bachelorarbeit, 73 S.

[MOONS, 1998]:

Moons, Theo / Frere, David / Vandekerckhove, Jan / Van Gool, Luc: *Automatic Modelling and 3D Reconstruction of Urban House Roofs from High Resolution Aerial Imagery.* 1998, Spriger Berlin/Heidelberg, Lecture Notes in Computer Science, Volume 1406, Computer Vision – ECCV'98, 410 S.

[NEVATIA, 1997]:

Nevatia, R. / Lin, C. / Huertas, A.: *A system for building detection from aerial images*. 1997, In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Birkhäuser Verlag, Basel, S. 77-86

[PESARESI, 2001]:

Pesaresi, M. / Benediktsson, J. A.: *A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery.* 2001, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 39, Nr. 2, S. 309-320

[POLLOCK, 1996]:

Pollock, R. J.: The Automatic recognition of Individual trees in Aerial Images of Forests based on a Synthetic Tree Crown Image Model.

1996, in Computer Science. Vancouver, Canada: University of British Columbia, 170 S.

[RADIG, 1993]:

Radig, B.(Hrsg.): Verarbeiten und Verstehen von Bildern.

1993, R. Oldenbourg Verlag München/Wien, 1. Auflage, 294 S.

[PAKZAD, 2006]:

Pakzad, K.: Bildanalyse 2.

2006, Skript zur Vorlesung, Universität Hannover - Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, www.ipi.uni-hannover.de -> Skript zur Vorlesung "Bildanalyse 2" Stand: April2006

[ROUX, 1997]:

Roux, M. / Maitre, H.: Three-dimensional description of dense urban areas using maps and aerial images.

1997, In: Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II), Birkhäuser Verlag, Basel, S. 311-322

[RUSKONÉ, 1996]:

Ruskoné, R. / Guiges, L. / Airault, S. / Jamet, O.: Vehicle detection on aerial images: A structural approach.

A 13th International Conference on Pattern Recognition 3, S. 900-903

[SALVADOR, 2001]:

Salvador, E. / Cavallaro, A. / Ebrahimi, T.: *Shadow identification and classification using invariant color models*.

2001, Proceedings of the Acoustics, Speech, and Signal Processing, on IEEE International Conference, S.1545-1548

[SOILLE, 1998]:

Soille, Pierre: *Morphologische Bildverarbeitung – Grundlagen, Methoden, Anwendungen.* 1998, Springer Berlin/Heidelberg/New York, 1. Auflage, 316 S.

[STRAUB, 2003]:

Straub, Bernd-Michael: *Automatische Extraktion von Bäumen aus Fernerkundungsdaten*. 2003, Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 572, München

[STRAUB, 2004]:

Straub, B.-M. / Heipke, C.: Concepts for Internal and External Evaluation of Automatic Delineated Tree Tops.

2004, IntArchPhRS XXXVi 8/W2, Freiburg, 97 S.

[TÖNNIES, 2005]:

Tönnies, Klaus D.: Grundlagen der Bildverarbeitung.

2005, Pearson Studium, 1. Auflage, 341 S.

[ÜNSALAN, 2004]:

Ünsalan, Cem / Boyer, Kim L.: Linearized Vegetation Indices Based on a Formal Statistical Framework.

2004, IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, Vol. 42, No. 7, S. 1575-1585

[WESSEL, 2003]:

Wessel, B. / Wiedemann, C. / Ebner, H.: *The role of context for road extraction from SAR imagery*.

2003, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International, vol.6, S. 4025-4027

[WESSEL, 2006]:

Wessel, Birgit: Automatische Extraktion von Straßen aus SAR-Bilddaten.

2006, Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Reihe C, Dissertationen, Heft Nr. 600, München

[WOLF, 2007]:

Wolf (né Straub), Bernd-Michael / Heipke, Christian: *Automatic extraction and delineation of single trees from remote sensing data*.

2007, Machine Vision and Applications: 18, 317-330

[ZHAO, 2001]:

Zhao, Tao / Nevatia, R.: Car detection in low resolution aerial image.

2001, Computer Vision, ICCV 2001. Proceedings. Eighth IEEE International Conference on Volume 1, Issue, 2001 S. 710-717

Internetquellen:

[WEIER, 2000]:

Weier, John / Herring, David: Measuring Vegetation (NDVI & EVI).

2000, NASA Earth Observatory

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.p hp, Stand 12/2008

[WP, 2008]:

Wikipedia, Modell.

http://de.wikipedia.org/wiki/Modell

Stand 11/2008

[QT, 2008]:

QT Reference Documentation .

http://doc.trolltech.com/4.4/index.html

Stand: 12.2008

[MVTEC, 2008]:

MVTec – *C*++ *Index aller Operatoren*.

www.mvtec.com/download/documentation/reference_d-.1/cpp/index_by_name.html

Stand: 12.2008

Anleitung zu "KontextCheck"

Die hier gegebene Anleitung ist in der Form eines Tutorials gegeben. Die Software "KontextCheck" und die verwendeten Ausgangsdaten sind dieser Arbeit beigelegt. Abbildung 63 zeigt die Benutzeroberfläche von KontextCheck. Im Folgenden sind hinter den einzelnen Schritten des Tutorials Zahlen angegeben (→ Zahl), die sich auf die roten Zahlen in Abbildung 63 beziehen.



Abbildung 63: Benutzeroberfläche der Software KontextCheck

Die Software wird durch das Ausführen von 'KontextCheck.exe' gestartet.

Zuerst muss ein **Bild geöffnet** werden. Klicken Sie dazu auf '*Datei→Bild oeffnen*' (→ 1) und wählen Sie eines der Bilder 'Bild1.tif', 'Bild2.tif' und 'Bild3.tif'. Die Bilddateien befinden sich ausgehend von dem Verzeichnis, in dem 'KontextCheck.exe' liegt, in dem Verzeichnis 'Bilder'. Das entsprechende Bild sollte nun im linken Bereich der Software

erscheinen (\rightarrow 2).

Nun sollten zunächst die **Straßensegmente und Straßengraphen geladen** werden. Dies geschieht über die Buttons 'Straßen...' (\rightarrow 3) und 'Straßengraphen...' (\rightarrow 4) im rechten Bereich der Software. Laden Sie so bitte die zum Bild zugehörigen Straßensegmente und Graphen ('SortedRoadParts_Bild1.reg' und 'Knoten_Bild1.dat' zu 'Bild1.tif', usw.). Die Dateien hierfür befinden sich im Verzeichnis 'Regionen', bzw. 'Graphen'.

Die eben geladenen Straßensegmente und die Straßengraphen können nun bereits **angezeigt** werden. Dies geschieht über den Button 'Ausgewählte anzeigen' (\rightarrow 5). Durch Klicken dieses Buttons werden all darunter ausgewählten Objekte (\rightarrow 6) angezeigt. Sind hier Objekte nicht anwählbar, bedeutet das, dass sie noch nicht geladen/extrahiert worden sind.

Jetzt sollten die übrigen **Kontextobjekte geladen bzw. extrahiert** werden. Über den Button 'PKW...' (\rightarrow 7) werden die Pkw-Regionen geladen ('Fahrzeuge aus FindingVehicle Bild1.reg' zu 'Bild1.tif', usw.), über $'Geb\ddot{a}ude...'$ (\rightarrow 8) die Gebäude-Regionen ('Gebäude_Bild1.reg' zu 'Bild1.tif', usw.) und über $'Geb\ddot{a}ude$ -Schatten...' (\rightarrow 9) die Gebäude-Schatten-Regionen ('GebäudeSchatten Bild1.reg' zu 'Bild1.tif', usw.).

Die Pkw-Regionen sind von einem externen Programm extrahiert worden. Sollen nur die im Suchraum (vgl. 4.1) liegenden Regionen übernommen werden, muss vor dem Laden der Pkw-Regionen die Auswahl 'Suchraum simulieren: Pkw' (\rightarrow 10) aktiviert sein. Da Gebäude und ihre Schatten nicht automatisch sondern manuell extrahiert werden, ist eine solche Suchraum-Simulierung für diese Objekte nicht realisiert worden. Es wird davon ausgegangen, dass der Anwender dieser Software nur die nötigen Gebäude und Schatten markiert. Anstatt die Kontextobjekte Pkw, Gebäude und Gebäudeschatten zu laden, können diese auch über die Buttons 'Fahrzeuge markieren' (\rightarrow 11), 'Gebäude markieren' (\rightarrow 12) und 'Gebäude-Schatten markieren' (\rightarrow 13) manuell markiert werden (näheres dazu siehe unten). Wird eine Klasse von Kontextobjekten zum zweiten mal geladen, werden die vorherigen gelöscht. Jede neu geladene oder markierte Klasse von Kontextobjekten kann anschließend mit angezeigt werden. Über die Auswahl 'Identifiziere Hypothesen' (\rightarrow 14) kann gesteuert werden, ob die Nummer der Hypothesen mit angezeigt werden. Dies ist hilfreich um die spätere Bewertung den Hypothesen zuzuordnen.

Die Extraktion der Kontextobjekte, die von der Software selbst automatisch extrahiert

werden können (Bäume, Schatten, flache Vegetation, Asphaltflächen), wird über den Button 'Suche Kontextobjekte' (→ 15) gestartet. Wurden vorher die Straßensegmente und Straßengraphen geladen, kann durch Markieren der Auswahl 'Suchraumreduzierung' (→ 16) der Suchraum eingeschränkt (vgl. 4.1) werden.

Nun sollte zur Anzeige zusätzlich der Button 'Alle anzeigen' (\rightarrow 17) aktiviert sein. Mit diesem Button können alle Objekte angezeigt werden. Unter der Auswahl für die Kontextobjekte gibt es die Auswahl 'Nur Suchbereich anz.' (\rightarrow 18), ist diese aktiviert, wird nur der Suchbereich angezeigt.

Sobald die Straßensegmente, die Straßengraphen und eine Klasse von Kontextobjekten geladen oder extrahiert ist, können die **Straßensegmenthypothesen bestimmt und bewertet** werden. Die Bewertung findet anhand aller geladenen und extrahierten Kontextobjekte – wie in Kapitel 5 beschrieben – statt, und wird über den Button 'Gesamtbewertung' (\rightarrow 19) gestartet. Die genauen Ergebnisse werden im Textfenster rechts unten (\rightarrow 20) angezeigt. Nach der Bewertung können die Hypothesen je nach Bewertung farblich unterschiedlich dargestellt werde. Dafür können zwei Werte eingestellt werden. Alle Hypothesen mit einer Bewertung über dem 'Annehmen'-Wert (\rightarrow 22) werden grün, alle mit einer Bewertung unter dem 'Ablehnen'-Wert (\rightarrow 21) rot, und alle dazwischen gelb dargestellt. Diese Einteilung findet nur statt, wenn die Auswahl 'Hyp. bewertet anzeigen' (\rightarrow 23) aktiviert ist.

Was noch wissenswert ist:

Mit dem Button 'Reset' (\rightarrow 24) können alle geladenen und extrahierten **Objekte** aus dem Speicher **gelöscht** werden.

Alle Ausgaben, die im **Textfenster** angezeigt werden, werden zusätzlich mit Datum und Zeit **in der Datei** 'log.txt' abgespeichert. Diese Datei liegt im selben Verzeichnis wie die 'KontextCheck.exe'.

Jeweils das zuletzt **angezeigte Bild** wird im 'Bilder'-Verzeichnis als 'tmp.tif' **abgespeichert**.

Zum Markieren von Kontextobjekten wird folgendermaßen vorgegangen:

1. Entsprechenden Button klicken (\rightarrow 11, 12, oder 13).

2. Auf dem erscheinenden Popup Fenster mit dem Mauszeiger Vierecke markieren. Dazu müssen vier Ecken geklickt werden. Dabei ist bei der Reihenfolge auf folgendes zu achten: Nicht diagonal springen, sondern die Ecken immer im oder gegen den Uhrzeigersinn zu klicken.

- 3. Das Viereck wird nach Klicken der vierten Ecke angezeigt. Schritt zwei kann erneut ausgeführt werden.
- 4. Sich überlappende Vierecke werden zu einer Region vereint.
- 5. Zum Beenden die rechte Maustaste drücken. Nun können die markierten Regionen abgespeichert werden, anschließend sind die markierten Regionen direkt geladen, auch wenn sie nicht gespeichert wurden.

Danksagung

Zuerst danke ich meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben und ohne die mein Studium so nicht möglich gewesen wäre.

Weiter danke ich in alphabetischer Reihenfolge:

Anne Grote für die gute Betreuung während der Arbeit und ihr hilfreiches Korrekturlesen.

Meiner Freundin AnnChristin Schnabel, einfach fürs "Da sein", ihre moralische Unterstützung und für ihr abschließendes Korrekturlesen.

Bernd-Michael Wolf für sein kritisch-konstruktives Korrekturlesen und die vielen sehr hilfreichen Tipps.