

# Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für Geoinformatik (Z\_GIS)  
der Paris-Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

**„Sind terrestrische Panoramaaufnahmen zum Aufbau und  
zur Laufendhaltung eines Baumkatasters geeignet?“**

vorgelegt von

**Johannes Göthel**

102759, UNIGIS MSc Jahrgang 2012

Zur Erlangung des akademischen Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:

Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Weimar, 24.05.2014

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Weimar, den 24.05.2014

Unterschrift:

## Kurzfassung

Terrestrische Panoramaaufnahmen sind eine interessante Datenquelle mit Blick auf den Aufbau und die Laufendhaltung von Baumkatastern im kommunalen Bereich. Die vorliegende Arbeit untersucht die Tauglichkeit dieser Datenquelle im Vergleich zu den etablierten Datenquellen in diesem Bereich. Diese sind digitale Orthofotos und die Begehung durch Sachverständige vor Ort.

Die gewählte Methodik untersucht die Auswertbarkeit terrestrischer Panoramaaufnahmen bezüglich wichtiger Baummerkmale. Auf Grundlage einer Reihe terrestrischer Aufnahmen im Bereich Berlin wurde die Gewinnbarkeit ausgewählter Baummerkmale getestet. Zur Auswertung der Aufnahmen wurde die photogrammetrische Auswertungssoftware „Globespotter“ eingesetzt. Die Ergebnisse wurden im Geoinformationssystem „GajaMatrix“ genutzt, um den Aufbau eines Baumkatasters zu simulieren. Die getesteten Baummerkmale waren der Baumstandort, die Baumhöhe, der Kronenansatz, der Kronendurchmesser, der Stammdurchmesser, der Schlankheitsgrad, die Baumlebensphase, die Baumart, die Baumgattung sowie weitere Baummerkmale der Baumkontrolle.

Im Ergebnis nehmen terrestrische Aufnahmen, mit Blick auf die Auswertbarkeit und den Zeitaufwand eine mittlere Position zwischen dem digitalen Orthofoto und der Begehung durch einen Sachverständigen vor Ort ein.

## Abstract

Terrestrial Panoramic images are an interesting data source with regard to the development and updating of tree registers in the municipal sector. This work will investigate the suitability of this new data source in comparison to the established data sources in this area: digital orthofotos and experts on site.

The selected methodology examines the readability of terrestrial panorama images on important tree characteristics. Based upon a series of terrestrial recordings in the Berlin region, recoverability of selected tree characteristics was tested. To analyse the recordings, the photogrammetric evaluation software "Globespotter" was used. The results were used in the geographic information system "GajaMatrix" to simulate the construction of a tree cadastre. The tested tree characteristics were: tree location, tree height, crown base, crown diameter, stem diameter, the slenderness ratio, the tree of life phase, the tree species, the tree type and other tree characteristics of the tree control.

The results indicate that terrestrial images position, in terms of readability and time efficiency, is in the middle between the digital orthofoto and the experts on site.

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>X</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GRUNDLAGEN</b> .....	<b>2</b>
2.1. BAUMKATASTER.....	2
2.1.1. <i>Begriffliche Einordnung</i> .....	2
2.1.2. <i>Abgrenzung relevanter Merkmale</i> .....	5
2.2. TERRESTRISCHE PANORAMAUFNAHMEN .....	6
<b>3. METHODIK</b> .....	<b>8</b>
3.1. VERSUCHSAUFBAU / SYSTEMARCHITEKTUR.....	8
3.1.1. <i>Mobile-Mapping-System</i> .....	10
3.1.2. <i>Archiv für Panoramaaufnahmen</i> .....	12
3.1.3. <i>Photogrammetrische Auswertungssoftware</i> .....	13
3.1.4. <i>Übergabedatei (photogrammetrische Auswertungssoftware → GIS)</i> .....	16
3.1.5. <i>Raumbezogenes Baumkataster</i> .....	16
3.1.6. <i>GDI-DE und GDI-Knoten</i> .....	17
3.2. ERHEBUNG GEOMETRISCHER BAUMMERKMALE .....	18
3.2.1. <i>Baumstandort</i> .....	19
3.2.1.1. Erhebungsreihenfolge.....	19
3.2.1.2. Baumstandpunkt / Baumstandfläche .....	23
3.2.1.3. Abgrenzung öffentlicher Baum / privater Baum .....	31
3.2.1.4. Übergabe der Baumstandorte an das GIS.....	37
3.2.1.5. Übergabe der Baumstandorte an photogrammetrische Auswertungssoftware per WFS .....	40
3.2.2. <i>Baumhöhe (H)</i> .....	41
3.2.3. <i>Kronenansatz (KA)</i> .....	44
3.2.4. <i>Stammdurchmesser (D) / Stammumfang</i> .....	45
3.2.5. <i>Kronendurchmesser(KD)</i> .....	48
3.2.6. <i>Schlankheit (H/D Wert)</i> .....	52
3.2.7. <i>Baumscheibe (Fläche)</i> .....	53
3.3. ERHEBUNG WEITERER MERKMALE .....	54
3.3.1. <i>Baumart und Baumgattung</i> .....	54
3.3.2. <i>Baumlebensphase</i> .....	55
3.3.3. <i>Durchführen von Baumkontrollen und Baumuntersuchungen</i> .....	56
<b>4. ERGEBNISSE</b> .....	<b>57</b>
4.1. BAUMSTANDORTE .....	57
4.2. BAUMHÖHE .....	58
4.3. KRONENANSATZ.....	59
4.4. STAMMDURCHMESSER .....	60
4.5. KRONENDURCHMESSER .....	62

4.6.	BAUMSCHEIBE .....	63
4.7.	ERGEBNISÜBERBLICK BESTIMMBARER BAUMMERKMALE.....	64
4.8.	GRENZEN DER ERHEBUNG VON BAUMMERKMALEN.....	64
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>66</b>
<b>6.</b>	<b>AUSBLICK .....</b>	<b>69</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>71</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>X</b>
	BILDSERIE 1 ALS GRUNDLAGE FÜR EXPERTENBEFRAGUNG .....	X
	BILDSERIE 2 ALS GRUNDLAGE FÜR EXPERTENBEFRAGUNG .....	XVIII

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Projektionsbedingte Verzerrung (sphärisch auf planar) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	7
Abbildung 2. Systemarchitektur des Versuchsaufbaus.....	9
Abbildung 3. Testgebiet mit 31 Testbäumen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter); Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix); Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).....	9
Abbildung 4. Mobile-Mapping-System (CycloMedia Deutschland GmbH (Website)).	10
Abbildung 5. Zwei mit Fisheye-Objektiven erstellte Aufnahmen (Luhmann 2010, S. 212). .....	12
Abbildung 6. Panoramaaufnahme (Zylinderprojektion) mit Metadaten (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	12
Abbildung 7: Große Raumausschnitte mit Liniendarstellung verfügbarer Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	14
Abbildung 8: Mittelgroße Raumausschnitte mit Flächendarstellung verfügbarer Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	14
Abbildung 9: Kleine Raumausschnitte mit Punktdarstellung verfügbarer Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	15
Abbildung 10. Ein Baum in drei Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	15
Abbildung 11. Homologe Bildpunkte des selben Objektteils auf zwei Aufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	16
Abbildung 12. Raumbezogenes Baumkataster (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)). .....	17
Abbildung 13. A: Kleinräumige Gliederung Berlin (LOR); B: Orthofotos (CIR) (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume). .....	17
Abbildung 14. Geoportal Birkenwerder mit Baumstandorten (Gemeindeverwaltung Birkenwerder). .....	20
Abbildung 15. A: Hierarchie der Kleinräumige Gliederung Berlin (Bömermann et al., S. 369). B: Kleinräumige Gliederung Berlin im GIS (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume). .....	21
Abbildung 16. Planungsräume Berlin (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume). .....	22
Abbildung 17. Baumkronenflächen mit geschätztem Schwerpunkt auf DOP20CIR (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin). .....	24
Abbildung 18. A: Baum mit Schiefstand; B: Gerade gewachsener Baum. (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	25

Abbildung 19. Baumstandort: Position, an der ein Baum mit dem Erdreich verbunden ist (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	25
Abbildung 20. Stereobild Darstellung eines Baumstandortes (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	26
Abbildung 21. Standpunktermittlung durch Komplexitätsreduktion (Formeln und Tabellen für die Sekundarstufen I und II 2001, S. 30).....	27
Abbildung 22. Messpunkte auf hypothetischer Kreislinie als Standflächenrand (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	27
Abbildung 23. Rechnerische Bestimmung des Baumstandpunktes (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)). .....	27
Abbildung 24. Vereinfachte Baumstandfläche in verschiedenen Betrachtungswinkeln.	28
Abbildung 25. Heuristische Bestimmung des Baumstandpunktes (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	29
Abbildung 26. Liegenschaftskarte Berlin im GIS (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume [ALK im Datenangebot enthalten]). .....	32
Abbildung 27. Liegenschaftskarte mit grün hervorgehobenen kommunalen Flurstücken (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume [ALK im Datenangebot enthalten]). (Anmerkung: Eigentumsverhältnisse fiktiv). .....	33
Abbildung 28. Projektion Liegenschaftskarte (nur Vektoren) in eine Panoramaaufnahme (CycloMedia Deutschland GmbH (Website)).....	34
Abbildung 29. Projektion einer Fläche in eine Panoramaaufnahme (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	34
Abbildung 30. Beispiel für eindeutige Eigentumssituation (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)). .....	35
Abbildung 31. Beispiel für unklare Eigentumssituation. ....	35
Abbildung 32. Bäume auf öffentlichen Flurstücken (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume). .....	36
Abbildung 33. Visualisierung von Baumstandorten in der photogrammetrischen Auswertungssoftware (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	37
Abbildung 34. Visualisierung der Baumstandorte im GIS (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)). .....	37
Abbildung 35. Baumstandorte mit Orthofoto im Hintergrund (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix); Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin). .....	38
Abbildung 36. Ergebnisvergleich ermittelte Baumstandorte (rot: Baumstandort auf Grundlage des Kronenschwerpunktes; gelb: Baumstandort auf Grundlage des Standflächenschwerpunktes) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	39

Abbildung 37. Messung Kronendurchmesser auf CIR20DOP (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).....	39
Abbildung 38. Baum 10 (Bildmesspunkt 23) überdeckt Baum 9 (Bildmesspunkt 22) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	40
Abbildung 39. Darstellung Baumstandpunkt mit Baumnummer per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter); Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).....	41
Abbildung 40. Schema einer Baumkrone (Nadelbaum) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	42
Abbildung 41. Schema einer Baumkrone (Laubbaum) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	42
Abbildung 42. Messung der Baumhöhe durch Stereobildauswertung (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	43
Abbildung 43. Ermittlung der Kronenhöhe durch Stereobildauswertung (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	44
Abbildung 44. Darstellung der Höhe von 1 Meter ab Erdoberfläche (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	45
Abbildung 45. Objektpunkt 2 ist vom Aufnahmezentrum A aus verdeckt.....	46
Abbildung 46. Messachse 1A und 2A überlagern sich.....	46
Abbildung 47. Die Aufnahmezentren der herangezogenen Aufnahmen sind annähernd im rechten Winkel zum Baumstandpunkt (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	47
Abbildung 48. Heuristische Messung des Stammdurchmessers (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	48
Abbildung 49. Messschema Kronendurchmesser.....	49
Abbildung 50. Aufnahmezentren der Aufnahmen befinden sich näherungsweise im rechten Winkel zum Baumstandpunkt (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	49
Abbildung 51. Abtragen der Kronenbreite (Frontalansicht)(CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	50
Abbildung 52. Abtragen der Kronenbreite (Seitenansicht) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter))	50
Abbildung 53. Ergebnisdarstellung (4,66m) der Messung des Kronendurchmessers (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	51
Abbildung 54. Visualisierung des Kronendurchmessers (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).	51
Abbildung 55. Visualisierung des Schlankheitsgrades im GIS (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).	52

Abbildung 56. Messung der Fläche der Baumscheibe (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	53
Abbildung 57. Gemessener Baumstandort auf Grundlage unterschiedlicher Datengrundlagen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).	57
Abbildung 58. Kritische Baumstandorte (Nähe Flurstücksgrenze).	58
Abbildung 59. Verdeckung des relevanten Baumbereichs (hier Baumstandort) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	65
Abbildung 60. Bildserie 1 Testbaum 1 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	X
Abbildung 61. Bildserie 1 Testbaum 2 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XI
Abbildung 62. Bildserie 1 Testbaum 3 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XII
Abbildung 63. Bildserie 1 Testbaum 4 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XIII
Abbildung 64. Bildserie 1 Testbaum 5 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XIV
Abbildung 65. Bildserie 1 Testbaum 6 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XV
Abbildung 66. Bildserie 1 Testbaum 26 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XVI
Abbildung 67. Bildserie 1 Testbaum 27 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XVII
Abbildung 68. Bildserie 2 Testbaum 1 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XVIII
Abbildung 69. Bildserie 2 Testbaum 1 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XIX
Abbildung 70. Bildserie 2 Testbaum 1 Detailansicht Blätterdach (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XX
Abbildung 71. Bildserie 2 Testbaum 2 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XXI
Abbildung 72. Bildserie 2 Testbaum 2 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XXII
Abbildung 73. Bildserie 2 Testbaum 2 Detailansicht Blätterdach (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XXIII
Abbildung 74. Bildserie 2 Testbaum 3 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XXIV
Abbildung 75. Bildserie 2 Testbaum 3 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).	XXV

Abbildung 76. Bildserie 2 Testbaum 3 Detailansicht Blätterdach (Nadeldach) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	XXVI
Abbildung 77. Bildserie 2 Testbaum 4 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)). .....	XXVII
Abbildung 78. Bildserie 2 Testbaum 4 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	XXVIII
Abbildung 79. Bildserie 2 Testbaum 4 Detailansicht Blätterdach (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).....	XXIX

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Abweichungen zu den ermittelten Baumstandorten. ....	57
Tabelle 2. Messergebnisse zur Baumhöhe mit Abweichung. ....	59
Tabelle 3. Messergebnisse zum Kronenansatz mit Abweichung. ....	60
Tabelle 4. Messergebnisse zum Stammumfang mit Abweichung. ....	61
Tabelle 5. Messergebnisse zum Kronendurchmesser. ....	63
Tabelle 6. Messergebnisse zur Baumscheibenfläche. ....	64
Tabelle 7. Bestimmbarkeit von Merkmalen auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen im Vergleich zu etablierten Verfahren. ....	64

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
CAD	Computer aided design (rechnergestütztes Konstruieren)
CIR	Color-Infrarot-Orthofoto
DOP	Digitale Orthofotos
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
GDI-DE	Geodateninfrastruktur Deutschland
GPS	Global Positioning System
INS	Inertial Navigation System (Trägheitsnavigationssystem)
LOR	Lebensweltlich orientierte Räume
UTM	Universal Transverse Mercator
VTA	Visual Tree Assessment
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service

## 1. Einleitung

Öffentliche Verwaltungen werden in der öffentlichen Wahrnehmung als ineffektiv beschrieben und mit nicht kostenschonendem Handeln in Verbindung gebracht. Um diesem Image entgegen zu wirken ist ein Streben im kommunalen Bereich zu erkennen, bestehende Verfahren und Methoden durch effektivere Alternativen zu erweitern oder zu ersetzen. Ziel ist die Steigerung der Effizienz und die Unterstützung eines kostenschonenden Verwaltungshandelns.

Der Aufbau und die Laufendhaltung eines Baumkatasters ist eine aufwändige Verwaltungsaufgabe. Alle erforderlichen Daten zum Aufbau von Baumkatastern werden nach aktuellem Stand der Erkenntnisse durch Auswertung von Luftbildern sowie durch Begutachtung und Vermessung direkt vor Ort gewonnen. Im Bereich der Geoinformatik hat eine interessante Datenquelle Einzug gehalten. Terrestrische Panoramaaufnahmen sind möglicherweise geeignete Datenquellen, um Baumkataster aufzubauen und laufend zu halten. Bei hinreichender Eignung dieser neuartigen Datenquelle könnte diese Aufgabestellung durch die Verwaltung möglicherweise mit höherer Effizienz bewältigt werden.

Die vorliegende Untersuchung soll die Frage beantworten, ob terrestrischen Panoramaaufnahmen als Datenquelle zum Aufbau und zur Laufendhaltung von raumbezogenen Baumkatastern geeignet sind. Nebenbedingung ist die Berücksichtigung der Aufgaben- und Zielstellungen einer kommunalen Verwaltung.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wird eine Serie terrestrischer Panoramaaufnahmen mit Hilfe einer photogrammetrischen Auswertungssoftware analysiert. Die Auswertungsergebnisse werden zum Aufbau des Baumkatasters in einem Geographischen Informationssystem gespeichert und visualisiert.

## 2. Grundlagen

### 2.1. Baumkataster

#### 2.1.1. Begriffliche Einordnung

Kataster sind systematische Verzeichnisse gleichartiger Objekte mit Raumbezug (Bill und Zehner 2001, S. 152). Die konkreten, gleichartigen Objekte ergeben sich aus dem individuellen Anwendungsfall. Der individuelle Anwendungsfall ist von vielen Faktoren des täglichen Lebens abhängig und spannt ein sehr weites Feld möglicher Katasterausprägungen auf.

Die vorliegende Arbeit betrachtet den öffentlichen Baumbestand auf dem Zuständigkeitsgebiet deutscher Gebietskörperschaften auf der föderalen Kommunalebene. Der öffentliche Baumbestand umfasst Bäume, die sich im kommunalen Eigentum befinden. Als Kriterium zur Abgrenzung des öffentlichen Baumes zur Gesamtmenge der Bäume auf kommunalem Gebiet wird sein Standort mit den resultierenden Eigentumsverhältnissen herangezogen. Der Standort eines öffentlichen Baumes befindet sich auf einem kommunalen Flurstück. Im Fall eines kommunalen Flurstücks ist die Kommune als Eigentümer im Liegenschaftsbuch vermerkt (Baumgarten 2010, S. 8). Ein systematisches Verzeichnis öffentlicher Bäume mit Raumbezug wird im Folgenden als Baumkataster bezeichnet. Der öffentliche Baumbestand fällt durch seinen Standort auf einem kommunalen Flurstück im Sinne von Aufwuchs in das öffentliche Eigentum und damit in den Zuständigkeitsbereich der kommunalen Verwaltung (Marettke et al. 2004, S. 117–118).

Im Focus der Untersuchung steht die Beschreibung des einzelnen Baumes. Dem gegenüber steht eine flächige Betrachtung von Baumbeständen im Forstbereich. Beim Aufbau eines Forstkatasters müssen andere Rahmenbedingungen beachtet werden als beim Aufbau eines Baumkatasters. Kommunaler Forst wird in der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet.

Zur zweckdienlichen Bewirtschaftung eines größeren Baumbestandes ist die Führung eines Baumkatasters erforderlich (Marettke et al. 2004, S. 118). Auf kommunalem Gebiet liegt die Notwendigkeit eines öffentlichen Baumbestandes vor. Öffentliche Bäume wirken sich vielfältig positiv auf die Gegebenheiten in der Kommune aus und leisten insbesondere mit Blick auf umwelt- und gesundheitsbeeinflussende Faktoren wichtige Beiträge. So zum Beispiel auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bürger. Das Blätterdach reinigt die Luft von schädlichen Stäuben, befeuchtet sie und bildet den lebenswichtigen Sauerstoff. Der Baumbestand mildert extreme Wetterlagen wie hohe Windgeschwindigkeiten, große Hitze oder starke Regenfälle wirksam ab, dämpft Lärm

und schützt so Menschen, Bebauung und sonstiges Eigentum vor deren schädlicher Wirkung. (Semmler und Wochatz 1994, S. 9) Außerdem verfügen Bäume über eine starke psychologische Wirkung auf den Menschen. Sie dienen als räumliche (Mäcke und Ziegler 1987, S. 10) und jahreszeitliche Orientierung, fördern das Gefühl von Wohlbefinden und beleben das Kommunalbild (Semmler und Wochatz 1994, S. 9; Balder et al. 1997, S. 38–49).

Durch das Vorhandensein eines öffentlichen Baumbestandes entsteht der zuständigen kommunalen Verwaltung ein hoher Aufwand zum adäquaten Unterhalt der Bäume (Balder et al. 1997, S. 78–79). Der Unterhaltsaufwand dieser Bäume ist hoch, weil sie im Kommunalgebiet regelmäßig suboptimalen oder sogar schädigenden Bedingungen ausgesetzt sind. Belastungen und Einschränkungen durch Verkehr und Bebauung wie zum Beispiel eine starke Bodenversiegelung um den Baumstandort oder eine hohe Salzbelastung im Boden, als Folge der Räumung der öffentlichen Straßen durch den Winterdienst, schädigen den Baum (Semmler und Wochatz 1994, S. 11). Um den Baumbestand dennoch zu erhalten, muss Aufwand in Form diverser präventiver und kurativer Maßnahmen betrieben werden.

Der Baumunterhaltsaufwand erhöht sich zudem durch eine große Zahl anzuwendender, rechtskräftiger Gesetze, Regelungen, Verordnungen und Satzungen. Deren Regelungen müssen im Rahmen des Baumunterhalts berücksichtigt werden. Zu nennen sind das Baugesetzbuch sowie das Bundesnaturschutzgesetz mit den entsprechenden Umsetzungen im Landesrecht in Form von landesrechtlichen Baumschutzregelungen. Auf kommunaler Ebene sind häufig rechtskräftige Baumschutzverordnungen und Baumschutzsatzungen zu berücksichtigen (Semmler und Wochatz 1994, S. 11–14). Hieraus ergeben sich für die Kommunen stark ausdifferenzierte, restriktive Vorschriften zum Baumschutz, zur Baumpflege und zur Baumstandortgestaltung (Balder et al. 1997, S. 174). So zieht zum Beispiel das Auftreten bestimmter Schaderreger eine Quarantäne- und Meldepflicht nach sich (Balder et al. 2003, S. 18). Der Verkehrssicherungspflicht ist im kommunalen Bereich ein sehr hoher Stellenwert beizumessen. Die Verkehrssicherungspflicht ergibt sich aus der Eröffnung oder Zulassung eines öffentlichen Verkehrs. Auf kommunalen Flurstücken mit öffentlichen Bäumen ist in der Regel ein öffentlicher Verkehr eröffnet. So können sich beispielsweise Bürger und Touristen im öffentlichen Park, in der öffentlichen Fußgängerzone oder im öffentlichen Straßenraum entsprechend der geltenden Bestimmungen frei bewegen. Die Aufgabe der kommunalen Verwaltung ist es, ein angemessenes Maß an Sicherheit für diesen Verkehr zu gewährleisten. Maßgeblich ist die berechtigte Sicherheitserwartung der Verkehrsteilnehmer (Büttner 2004, S. 16). Hierfür ist es erforderlich, angemessene turnusmäßige Kontrollen zum Erkennen von Gefahrenquellen und Schäden durchzuführen. In der Folge müssen zweckdienliche Maßnahmen zur Sicherung

vorgenommen werden. Bei Vernachlässigung der Verkehrssicherungspflicht steigt die Wahrscheinlichkeit, dass der Kommune hohe Kosten durch Schadensersatzansprüche entstehen (Büttner 2004, S. 9; Balder et al. 2003, S. 18–19). Schadensersatzansprüche können beispielsweise durch Schäden entstehen, die in Folge des Herabfallens von Totholz oder des Umstürzens von kranken Bäumen auftreten. Im Extremfall ergeben sich strafrechtliche Konsequenzen für kommunales Personal. Zum Beispiel beim Auftreten eines Personenschadens mit Todesfolge durch herabstürzenden Totast, nachdem offensichtliche Baumdefektsymptome (bewusst) übersehen wurden (Baumgarten 2010, S. 12–13).

Die Gewährleistung der Verkehrssicherungspflicht wurde als Hauptmotivation zum Aufbau eines Baumkatasters im kommunalen Bereich angenommen.

Unter dem Gesichtspunkt eines rechtssicheren Handelns im Sinne der Verkehrssicherungspflicht sind zunächst turnusmäßige Baumkontrollen durchzuführen. Im Rahmen einer Baumkontrolle wird der Baum bezüglich seines Zustands und seiner Gesundheit besichtigt. Die Baumkontrolle erfolgt durch Inaugenscheinnahme vom Boden aus und nach Möglichkeit von allen Seiten. Zur Durchführung dieses terrestrisch-visuellen Verfahrens ist Fachkenntnis in Form einer einschlägigen Qualifikation erforderlich. Erst nachdem mindestens ein Verdachtsmoment als Hinweis auf Einschränkung der Verkehrssicherheit erkannt wurde, muss eine Baumuntersuchung durchgeführt werden. Verdachtsmomente sind zum Beispiel sichtbare Baumschäden wie Totholz oder Hinweise auf Baumkrankheiten. Eine Baumuntersuchung muss ebenfalls durch entsprechend qualifiziertes Personal durchgeführt werden und ist nicht auf die visuelle Begutachtung vom Boden aus beschränkt. Im Rahmen von Baumuntersuchungen kommen spezifische Methoden und Werkzeuge zum Einsatz (Baumgarten 2010, S. 48–49).

Als wichtige, verwaltungsrechtliche Rahmenbedingung ist außerdem der Grundsatz des wirtschaftlichen Verwaltungshandelns zu nennen. Hieraus erwächst der Verwaltung die Verpflichtung zur Lösung einer gegebenen Aufgabenstellung aus Menge der verfügbaren und geeigneten Lösungswege unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung auszuwählen. Wenn die Auswahl unter Berücksichtigung einer kurz-, mittel- und langfristigen Mitteleinsatzoptimierung erfolgt, ergibt sich ein eigenständiges, komplexes Optimierungsproblem (Schuster 2002, S. 1–74). Diese Form der Optimierung wird in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

Geoinformationssysteme umfassen Funktionen zur Erhebung, Laufendhaltung, Speicherung, Bearbeitung, Analyse, Ausgabe und Visualisierung von Daten mit Raumbezug (Bill und Zehner 2001, S. 108–109). Raumbezogene Baumkataster sind Verzeichnisse von Bäumen mit dem Funktionsumfang eines GIS. Öffentliche Bäume weisen durch ihren Standort einen Raumbezug auf. Zur Lösung der Aufgaben rund um

den öffentlichen Baumbestand im Spannungsfeld der rechtlichen Rahmenbedingungen müssen durch kommunale Verwaltungen ausgewählte Daten rund um den öffentlichen Baum erhoben und behandelt werden. GIS-basierte Baumkataster sind daher als spezifisches Informationssystem zum Einsatz in der öffentlichen Verwaltung mit Blick auf den öffentlichen Baumbestand geeignet.

### 2.1.2. Abgrenzung relevanter Merkmale

Die kommunale Informationshoheit ist ein wichtiges Recht der Kommunen im Rahmen der kommunalen Selbstverwaltung. Durch die Informationshoheit können sich Kommunen Informationen, die zur Erledigung der erforderlichen Aufgaben notwendig sind, beschaffen und laufend halten (Verband Deutscher Städtestatistiker und Deutscher Städtetag 1991, S. 7). GIS-basierte Baumkataster ermöglichen es, viele verschiedene Daten mit Blick auf den Unterhalt öffentlicher Bäume zu speichern und zu behandeln. Der erforderliche Datenumfang ergibt sich aus der kommunalen Aufgabenstellung und den relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen.

Zur Fundierung der Datenauswahl wurden etablierte Kontrollmethoden zur Baumbegutachtung und Ableitung von Pflegemaßnahmen herangezogen. Im kommunalen Bereich hat sich zum Beispiel die 1997 vom Bundesgerichtshof bestätigte Visual Tree Assessment Methode kurz VTA-Methode (Mattheck 2007, S. 90) bewährt. Außerdem ist die „Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen“ der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) e.V. (Büttner 2004) etabliert. Des Weiteren wurde die Hamburger Methode zur Baumkontrolle herangezogen (Baumgarten 2010). Die genannten Verfahren sind geeignet, um eine Erstmenge von Baummerkmalen zu finden, die zum Aufbau eines Baumkatasters erforderlich ist.

Als Ausgangsszenario wurde das vollständige Fehlen eines Baumkatasters angenommen.

Ein wichtiges Anliegen bei der Arbeit mit einem Geografischen Informationssystem ist die Verbindung von Daten mit einer Örtlichkeit. Durch den Raumbezug können raumbezogene Fragestellungen beantwortet werden (Klemmer 2004, S. 17). In einem ersten Schritt wurden die Baumstandorte kartiert und mit einem Sachdatensatz verbunden. Die Sachdatensätze wurden im Folgenden mit den erforderlichen Baumdaten zum Aufbau eines Baumkatasters angereichert. Unter realen Einsatzbedingungen werden die Daten im Auftrag oder in Eigenregie durch die kommunale Gebietskörperschaft erhoben. Die Kartierung im entsprechenden amtlichen Lagebezugssystem bot sich an. Zur Schaffung eines Primärschlüssels wurde in dieser Phase jedem Testbaum eine eindeutige Baumnummer zugewiesen.

Nachdem die Baumstandorte erhoben waren, musste die Ausprägung grundlegender Baumattribute an den Baumobjekten hinterlegt werden. Auf Grundlage der oben genannten Verfahren wurden zweckmäßige Baumattribute ausgewählt. Getestet wurde die Tauglichkeit terrestrischer Panoramaaufnahmen als Datengrundlage zur Erhebung der Baumhöhe, des Kronenansatzes, des Stammdurchmessers (bzw. des Stammumfangs), des Kronendurchmessers, des Schlankheitsgrades, der Baumscheibe, der Baumlebensphase sowie der Baumgattung und der Baumart.

## 2.2. Terrestrische Panoramaaufnahmen

Fernerkundung ist die Erhebung von Daten zu entfernten Objekten ohne direkten Kontakt mit diesen. Bezüglich des Abstandes der Aufnahmeplattform zum Zielobjekt können drei Systemklassen unterschieden werden. Raumfahrzeuggestützte Systeme, Luftfahrzeuggestützte Systeme und Bodengebundene Systeme (Blaschke 2002, S. 11; Kraus 2004, S. 180–181). Mit Blick auf die berücksichtigte elektromagnetische Wellenlänge werden verschiedene Systemklassen differenziert. Verfügbare Systeme sind zum Beispiel optimiert für den Lichtbereich, der für das menschliche Auge sichtbar ist. Andere Systeme sind zur Abbildung des fernen Infrarotbereichs, des mittleren Infrarotbereichs, des nahen Infrarotbereichs, des Mikrowellenbereichs oder des Ultraviolettbereichs ausgelegt (Bill und Zehner 2001, S. 92; Blaschke 2002, S. 11).

Panoramaaufnahmen können nach der zugrunde liegenden Referenzgeometrie unterschieden werden. Auf der gedachten Oberfläche oder Fläche der Referenzgeometrie wird beim Herstellungsprozess die Bildinformation aufgebracht. Planare Panoramaaufnahmen basieren auf einer zweidimensionalen Referenzfläche und ergeben sich im Lehrbuchfall aus einer horizontalen Erweiterung des menschlichen Blickwinkels. Panoramaaufnahmen mit dreidimensionaler Referenzgeometrie sind zylindrische, kubische und sphärische Panoramaaufnahmen. Der Betrachter befindet sich im virtuellen Zentrum der Referenzgeometrie. Zylindrische Panoramaaufnahmen basieren auf einem zylindrischen Referenzkörper und ergeben sich aus einer horizontalen Erweiterung des menschlichen Blickwinkels auf eine 360° Rundumsicht. Kubische Panoramaaufnahmen basieren auf der Referenzgeometrie eines Würfels und ergeben sich aus einer horizontalen Erweiterung des Blickwinkels auf eine 360° Rundumsicht und eine vertikale Erweiterung des Blickwinkels auf jeweils 90° zum Zenit und zum Nadir. Sphärische Panoramabilder basieren auf einer Referenzkugel und gestatten vom Zentrum ausgehend eine horizontale 360° Rundumsicht und eine vertikale Rundumsichtspanne von Zenit bis Nadir. Vergleicht man diese Panoramaaufnahmearten mit Blick auf Verzerrungseffekte, die von der Referenzgeometrie ausgehen, so weisen sphärische Panoramabilder eindeutige Vorteile auf. Bei sphärischen Panoramabildern ist der Abstand vom Zentrum der Referenzkugel bis zur Wand bei jeder Änderung des Blickwinkels gleich. Dadurch

treten bei Blickwinkeländerung keine Verzerrungseffekte beim Vermessen auf, die auf die Art des Referenzkörpers zurückgehen (Bredenfeld 2010, S. 29–34).

Im Rahmen einer photogrammetrischen Auswertung mit Hilfe einer computergestützten photogrammetrischen Software muss berücksichtigt werden, dass die sphärischen Aufnahmen zur Betrachtung auf einer planaren Bildschirmfläche dargestellt werden. Hierbei treten projektionsbedingte Verzerrungen auf. Ausschnitte der sphärischen Panoramaaufnahme werden auf eine ebene Fläche projiziert. In der Mitte des betrachteten Ausschnitts ist diese Verzerrung minimal. Je größer der Abstand von der Bildmitte ist, desto stärker ist die Verzerrung ausgeprägt. Am Rand des Bildausschnittes ist die projektionsbedingte Verzerrung sehr hoch. Abbildung 1 verdeutlicht diesen Effekt mit der Darstellung eines Gebäudes. In der Realität verläuft die Gebäudeseite (oben links außen) parallel zum Lot zur Erdanziehung. Die Abbildung ist aufgrund der Projektion des sphärischen Referenzkörpers der terrestrischen Aufnahme auf die planare Fläche des Bildschirms vom Bildzentrum ausgehen verzerrt. Bei seitlich zunehmender Entfernung zur Bildmitte führt diese Verzerrung zur Darstellung eines nicht vorhandenen Objektkippens. Bei der Betrachtung von sphärischen Panoramaaufnahmen am Bildschirm muss dieser Effekt berücksichtigt werden. Soll zum Beispiel begutachtet werden, ob ein Baum schräg gewachsen ist, so ist die Minimierung des Kippeffekts durch Einstellung des Baumes in der Nähe der Mittelachse der Aufnahme angezeigt. Messungen werden durch die projektionsbedingte Verzerrung nicht beeinträchtigt. Die photogrammetrische Auswertungssoftware berücksichtigt diesen Effekt.

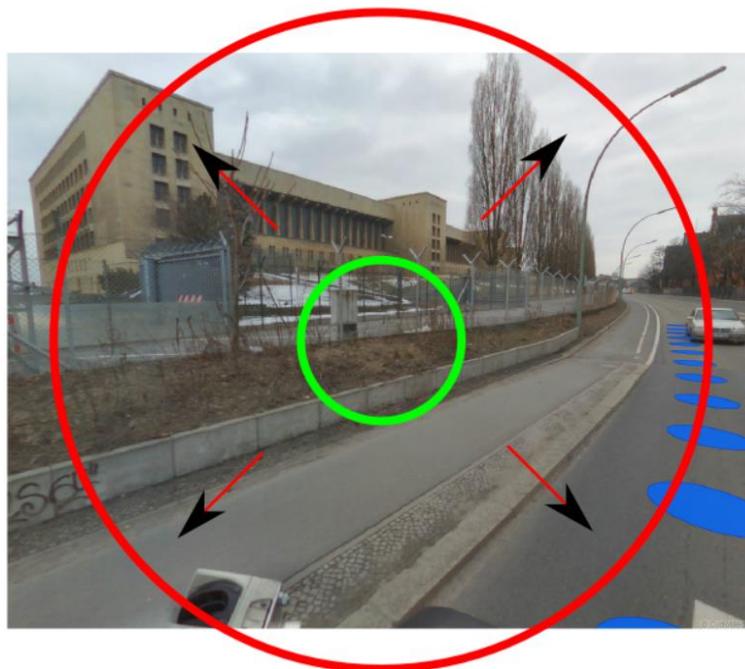


Abbildung 1. Projektionsbedingte Verzerrung (sphärisch auf planar)  
(CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Im Rahmen der Untersuchung wurden terrestrische Aufnahmen eingesetzt, welche von einem bodengebundenen Trägersystem in einem für das menschliche Auge sichtbaren elektromagnetischen Wellenbereich aufgenommen und auf einem sphärischen Referenzkörper basieren. Die Testdaten sind Aufnahmeserien sphärischer terrestrischer Panoramaaufnahmen der Firma CycloMedia Technology B.V.

Die Verkehrssicherheit eines öffentlichen Baumes muss auf Grundlage einer visuellen Kontrolle bestimmt werden (Büttner 2004, S. 10). Terrestrische Panoramaaufnahmen sind eine zeitpunktbezogene Abbildung eines Raumausschnitts. Im Gegensatz zu Aufnahmen von raum- und luftfahrbezogenen Trägersystemen weisen terrestrische Aufnahmen Eigenschaften auf, die sie für den Einsatz zum Aufbau von Baumkatastern qualifizieren. Sie ermöglichen einen zeitversetzten Blick auf das Objekt des Interesses vom erdfesten Standpunkt aus. Im Vergleich zum Orthofoto muss sich die/der Auswerterin/Auswerter nicht in die für das menschliche Auge ungewohnte Vogelperspektive hineinversetzen. Die durch terrestrische Panoramaaufnahmen gebotene Perspektive ist nah an der gewohnten Perspektive menschlicher Augen. Dadurch wird die Aufnahmeinterpretation für einen menschlichen Betrachter vereinfacht.

Im kommunalen Bereich kommen häufig digitale Orthofotos zum Einsatz. Gängig sind Orthofotos mit einer Bodenauflösung im Bereich von 10 bis 20 Zentimeter pro Pixel. Bei dieser Bodenauflösung ist mit dem heutigen Stand der Aufnahmetechnik ein gutes Verhältnis von Kosten zur Auswertbarkeit gegeben. Viele Ämter für Landesvermessungen veröffentlichen für Kommunen entgeltfrei Orthofotos mit einer Bodenauflösung von 20 Zentimetern pro Pixel in der GDI-DE. (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin). Die Bodenauflösung terrestrischer Aufnahmen ist deutlich höher als die Bodenauflösung von Orthofotos. Durch den erdfesten Standpunkt des Trägersystems ergibt sich eine Entfernung des Kamerasystems zum Objekt des Interesses von wenigen Metern. Diese Entfernung ist bei einem satelliten- oder luftfahrzeuggebundenem Trägersystem deutlich höher. Die Panoramaaufnahmen des Testdatenbestandes weisen eine Auflösung von 4800 Pixel in der Breite und 2400 in der Höhe auf (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)). Der Abstand der betrachteten Bäume zum Aufnahmezentrum bewegt sich in einer Zone von 5,5 Metern im Bereich von engen Nebengassen und 20 Metern im Bereich von breiten Landstraßen.

### 3. Methodik

#### 3.1. Versuchsaufbau / Systemarchitektur

Abbildung 2 verdeutlicht in Schemaform den Aufbau der Versuchsanordnung.

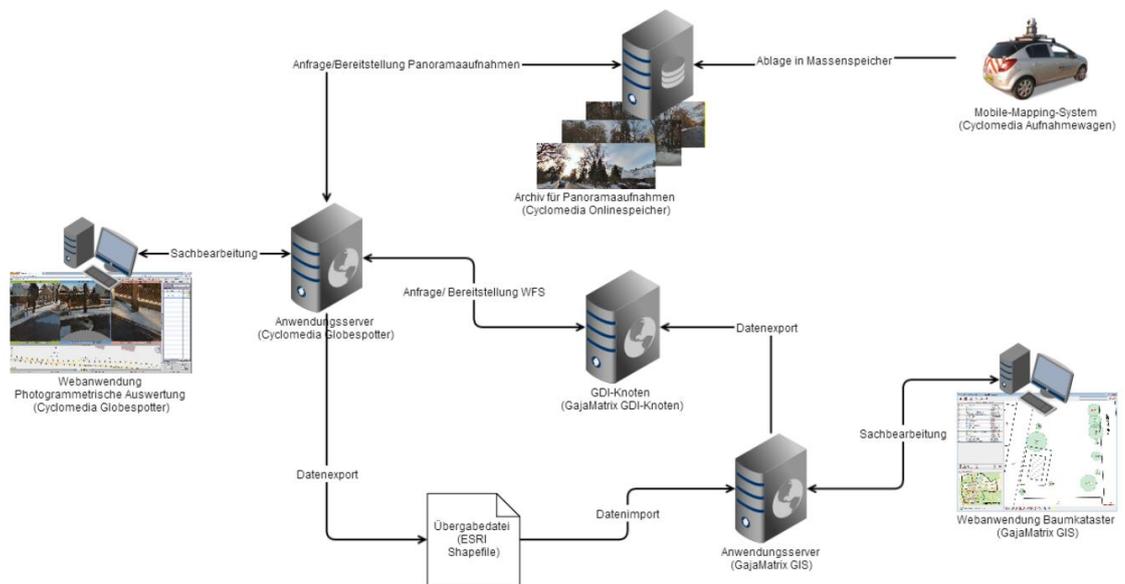


Abbildung 2. Systemarchitektur des Versuchsaufbaus.

Die Erstellung der terrestrischen Panoramaaufnahmen erfolgt mit einem Mobile Mapping System der Firma CycloMedia Technologie B.V. Die Testaufnahmen wurden auf dem Gebiet der Stadt Berlin erhoben. Das konkrete Testgebiet (siehe Abbildung 3) mit 31 Testbäumen war ein Straßenzug mit einer Länge von ca. 180 Metern in Berlin-Müggelheim.



Abbildung 3. Testgebiet mit 31 Testbäumen (CycloMedia Technologie B.V. (GlobeSpotter); Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix); Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).

Die Aufbereitung der unverarbeiteten Aufnahmen für die photogrammetrische Auswertung erfolgte durch die Firma CycloMedia Technologie B.V. Die dauerhafte Speicherung der Aufnahmen erfolgte in einem per Internet verfügbaren Massenspeicher

der Firma CycloMedia Technologie B.V. Zur photogrammetrischen Auswertung der Aufnahmen wurde die photogrammetrische Auswertungssoftware Globespotter der Firma CycloMedia Technologie B.V. eingesetzt. Globespotter wurde auf einem Anwendungsserver ausgeführt und als Service über das Internet als Browseranwendung bereitgestellt. Globespotter war mit dem Onlinemassenspeicher für die Aufnahmen verbunden. Mit Hilfe der Funktionen der photogrammetrischen Auswertungssoftware erfolgte die Erhebung der Daten für den Aufbau des Baumkatasters. Der Aufbau des Baumkatasters erfolgte in der Fachlösung Baumkataster des Geographischen Informationssystems Gaja<sup>®</sup>Matrix der Firma Gingko.Systeme GmbH. Das Baumkataster wurde als Service auf einem Anwendungsserver der Firma Gingko.Systeme GmbH ausgeführt und per Browseranwendung im lokalen Netzwerk bereitgestellt. Die Übergabe ausgewählter Daten von der photogrammetrischen Auswertungssoftware an das GIS erfolgte per Shapefile. Die Übergabe ausgewählter Daten aus dem GIS an die photogrammetrische Auswertungssoftware erfolgte per Web Feature Service (WFS). Der WFS wurde über einen Gaja<sup>®</sup>Matrix GDI-Knoten der Firma Gingko.Systeme GmbH bereitgestellt.

#### 3.1.1. Mobile-Mapping-System

Der Versuchsaufbau basierte auf dem Einsatz von sphärischen terrestrischen Panoramaaufnahmen mit bekannter innerer und äußerer Orientierung. Als Testdaten dienten Aufnahmen der Firma CycloMedia Technologie B.V. Diese Aufnahmen werden als Cycloramas bezeichnet. Die Erstellung von Cycloramas erfolgt im Rahmen einer Befahrung. Die terrestrische Trägerplattform war ein Straßenkraftfahrzeug mit spezifischer technischer Ausstattung (siehe Abbildung 4). Derartige Kamerafahrzeuge können als Mobile-Mapping-Systeme bezeichnet werden.



Abbildung 4. Mobile-Mapping-System (CycloMedia Deutschland GmbH (Website)).

Die spezifische Ausstattung umfasst ein System zur Ermittlung der äußeren Orientierung, ein Kamerasystem zur Erstellung von Aufnahmen mit bekannter innerer Orientierung sowie ein System zur Speicherung der Aufnahmen (Luhmann 2010, S. 519–520; Gingko.Systeme GmbH (Website)).

Als terrestrische Trägerplattform sind Kraftfahrzeuge mit Straßenzulassung etabliert. Die Palette möglicher mobiler Trägersysteme mit erdfestem Standpunkt reicht vom großen

Lastkraftwagen bis zum kleinen Personenkraftwagen. Mit Blick auf den kommunalen Datenbedarf waren insbesondere öffentliche Verkehrsräume und deren direktes Umfeld von Interesse. Straßenfahrzeuge mit kleineren Abmaßen sind beweglicher und weniger häufig von Verkehrseinschränkungen betroffen als größere Fahrzeuge, bei denen man zum Beispiel eine maximal zulässige Durchfahrtsbreite beachten muss. Aus diesem Grund werden für Befahrungen des öffentlichen Verkehrsraums kleinere Fahrzeuge bevorzugt. Um den öffentlichen Verkehrsraum mit hoher Abdeckung aufzunehmen, muss eine Panoramabildserie entlang des öffentlichen Verkehrsraums erstellt werden. Der Abstand zwischen den einzelnen Aufnahmen muss ein gutes Mittelmaß zwischen den Aufnahmekosten und der Auswertbarkeit darstellen. Wird der Abstand erhöht, sinkt die Anzahl der Aufnahmen, die Höhe der Kosten sinkt bei weniger auswertbarem Datenmaterial. Wird der Abstand erhöht, steigt die Anzahl der Aufnahmen bei steigenden Gesamtkosten und im Ergebnis mehr auswertbarem Material. Als ein guter Kompromiss hat sich ein Abstand von 5 Metern zwischen den Aufnahmezentren erwiesen (CycloMedia Deutschland GmbH (Website)).

Die äußere Orientierung beschreibt die Kameralage im übergeordneten Lagebezugssystem (Luhmann 2010, S. 8–9). Ein System zur Ermittlung der äußeren Orientierung setzt sich aus einem Teilsystem zur Positionsbestimmung und einem Teilsystem zur Bestimmung der Kamerastellung zusammen (Kraus 2004, S. 199). Die Positionsbestimmung kann durch den Einsatz eines GPS-Empfängers mit der notwendigen Genauigkeit erfolgen. Die Kamerastellung kann mit Hilfe eines INS (Inertiales Navigationssystem) ermittelt werden (Tao und Li 2007, S. 64–68). Der Kamerawinkel bei Aufnahmeerstellung beschreibt die Kamerastellung. Wie Abbildung 6 darstellt, enthielten die Metadaten der Testaufnahmen alle erforderlichen Parameter der äußeren Orientierung. Neben den Koordinaten des Aufnahmezentrums für Breite, Länge und Höhe war das Lagebezugssystem angegeben. Die Höhe des Kameramittelpunktes betrug für alle Aufnahmen 2,22 Meter. Der Gierenwert gab für alle Aufnahmen den Stellungswinkel der Kamera auf der Vertikalachse an (Kraus 2004, S. 307–308; CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)). Die innere Orientierung einer Kamera ist in ihrem Kalibrierungsprotokoll dokumentiert. Sie beschreibt das Kameramodell geometrisch.

Zur Erstellung sphärischer Panoramaaufnahmen bietet sich der Einsatz von Fisheye-Objektiven an. Wird das Trägersystem mit zwei entgegengesetzt blickenden, mit Fisheye-Objektiven bestückten Kameras ausgestattet, können zur Erstellung von sphärischen Panoramaaufnahmen geeignete halbabbildende Aufnahmen (siehe Abbildung 5) erstellt werden (Luhmann 2010, S. 212).



Abbildung 5. Zwei mit Fisheye-Objektiven erstellte Aufnahmen (Luhmann 2010, S. 212).

Um eine photogrammetrische Zweibildauswertung mit einer praxistauglichen Genauigkeit zu ermöglichen, müssen alle beteiligten Aufnahmesysteme für die gewünschte Genauigkeit kalibriert und aufeinander ausgerichtet werden. Dieser Vorgang ist häufig mit sehr hohem Aufwand verbunden (Luhmann 2010, S. 520).

### 3.1.2. Archiv für Panoramaaufnahmen

Nachdem die Rohaufnahmen im Rahmen der Befahrung erhoben wurden, erfolgt die Vorverarbeitung. Die Vorverarbeitung umfasst die Erstellung der sphärischen Panoramaaufnahmen aus den Einzelaufnahmen und das Hinterlegen von Metadaten. Eine mit einem Fisheye-Objektiv ausgestattete Kamera liefert die erforderlichen 180°-Aufnahmen. Regelmäßig ist die Gradzahl etwas größer als 180. Mit Hilfe dieser Randzugabe kann durch ein zusammenfügendes Stitching ein monolithisches Panoramabild erzeugt werden. Die Panoramabilder werden außerdem mit wichtigen Metadaten angereichert (siehe Abbildung 6). Wichtige Metadaten sind die eindeutige Bildnummer sowie Angaben zur äußeren Orientierung (Luhmann 2010, S. 212–213, 2010, S. 10–12).



Abbildung 6. Panoramaaufnahme (Zylinderprojektion) mit Metadaten (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

### 3.1.3. Photogrammetrische Auswertungssoftware

Um räumliche Objekte rekonstruieren und vermessen zu können, waren mindestens zwei Aufnahmen des Objektes notwendig. Von jeder Aufnahme musste, als mathematische Grundlage die innere und äußere Orientierung bekannt sein. Waren diese Voraussetzungen erfüllt, konnten auf Grundlage photogrammetrischer Verfahren Vermessungen in Form von Punkt-, Linien- und Flächenmessungen durchgeführt werden (Kraus 2004, S. 19; Luhmann 2010, S. 7–16). Damit der Arbeitsaufwand zur Gewinnung der geforderten Messergebnisse ein praxisrelevantes Niveau erreichte, empfahl sich der Einsatz einer leistungsfähigen Software zur photogrammetrischen Auswertung. Die komplexen photogrammetrischen Berechnungen erfolgten so weitgehend automatisiert. Die vorliegenden Panoramaaufnahmen wurden mit Hilfe der photogrammetrischen Auswertungssoftware Globespotter der Firma CycloMedia Technology B.V. ausgewertet.

Die Präsentation der Panoramaaufnahmen in der photogrammetrischen Auswertungssoftware erfolgte in Abhängigkeit des Abbildungsmaßstabes in der das Orientierungskartenmaterial betrachtet wurde. In überblicksartigen Zoomstufen lag der Focus auf einer allgemeinen Orientierung und der groben Verfügbarkeitsdarstellung des Angebotes an terrestrischen Panoramaaufnahmen. Bei Betrachtung größerer Raumausschnitte erfolgte eine vereinfachte Darstellung des Datenangebotes an Panoramaaufnahmen. Bei Abbildungsmaßstäben oberhalb 1:100.000 wurde eine Liniendarstellung mit prominenter (lila Liniensignatur siehe Abbildung 7) Farbgebung gewählt. Zur räumlichen Einordnung eignete sich ein Layer mit überblicksartigen Topographieelementen. Ein genereller Topographieeindruck entstand hier durch das Einblenden eines OpenStreetMap-Layers (OSM-Layer) im Hintergrund (siehe Abbildung 7). OSM ist ein im Sinne der creative commons license freier Datenbestand. Im geographischen Bereich Berlin lag ein flächendeckendes Angebot an grundlegender Topographie in Form eines freien OSM-Datenbestandes vor. Erstellung und Laufendhaltung dieses Datenbestandes erfolgt unter anderem durch die OSM-Community vor Ort. Durch die dichte Besiedlung und hohe Bevölkerungsdichte im Bereich Berlin konnte eine hinreichend große und hinreichend aktive OSM-Community angenommen werden (Ramm und Topf 2011, S. 3–24). Eine Reduktion der Komplexität durch vereinfachende Generalisierung beider Layer bietet eine gute räumliche Orientierung grundlegender Art sowie eine überblicksartige Beurteilungsgrundlage für die Verfügbarkeit von Panoramaaufnahmen.

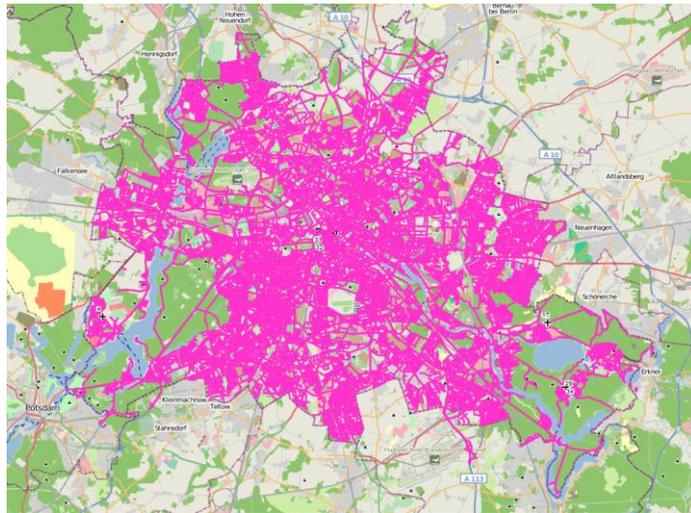


Abbildung 7: Große Raumausschnitte mit Liniendarstellung verfügbarer Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

In mittleren Zoomstufen unterhalb eines Darstellungsmaßstabs von 1:100.000 wurde der Detaillierungsgrad der Darstellung des Datenangebotes an Panoramaaufnahmen erhöht dargestellt (siehe Abbildung 8). Verfügbare Panoramaaufnahmen wurden als Flächen, welche durch Linien begrenzt sind, visualisiert. Die Flächen beschrieben die räumlichen Bereiche, die mit Hilfe der Panoramaaufnahmen eingesehen werden konnten. Der Detaillierungsgrad der Topographiedarstellung des OSM-Datenbestandes wurde in diesen Zoomstufen mit erhöhter Detailmenge dargestellt.

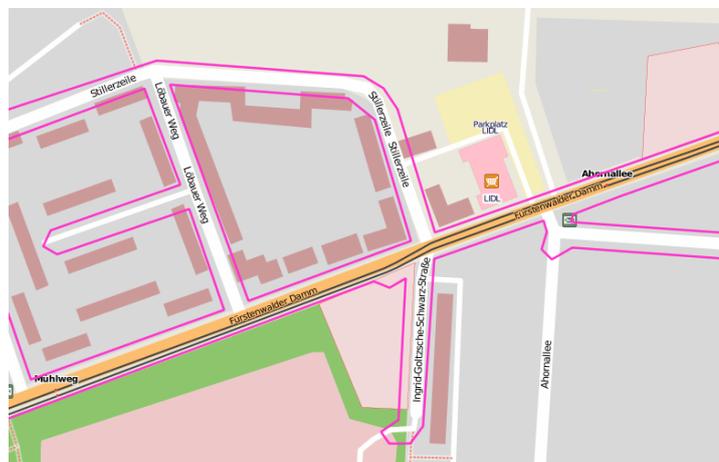


Abbildung 8: Mittelgroße Raumausschnitte mit Flächendarstellung verfügbarer Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Bei Einstellung kleiner Raumausschnitte unterhalb eines Darstellungsmaßstabs von 1:1.000 erfolgt die Präsentation der Panoramaaufnahmen in Form von Kreisflächen (siehe Abbildung 9). Jede Kreisfläche stellt das Aufnahmezentrum einer Panoramaaufnahme dar. In dieser Präsentationsform können die Panoramaaufnahmen einzeln angewählt und aufgerufen werden.



Abbildung 9: Kleine Raumausschnitte mit Punktdarstellung verfügbarer Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Die Ermittlung der Baumstandorte erfolgte in der photogrammetrischen Auswertungssoftware. Entsprechend einer zweckdienlichen Erhebungsreihenfolge mussten die Bäume zunächst auf mindestens zwei Aufnahmen eingestellt werden (siehe Abbildung 10). Die Unterstützung beim Öffnen eines geeigneten Satzes Panoramaaufnahmen am Ort des Interesses in einer geeigneten Ausrichtung sollte im Funktionsumfang der Auswertungssoftware enthalten sein.

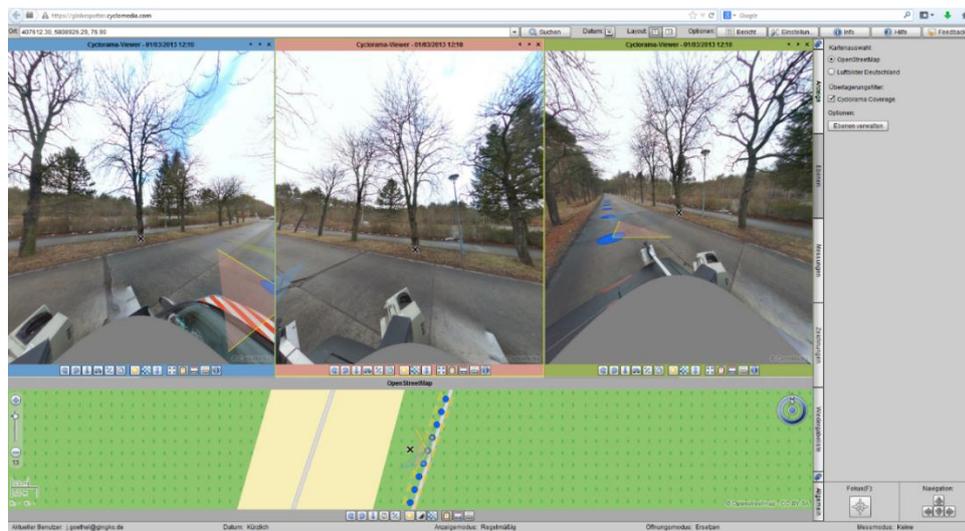


Abbildung 10. Ein Baum in drei Panoramaaufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Die Punktmessung erfolgt nach dem Prinzip der digitalen Stereobildauswertung. Zunächst ist es erforderlich, ein paar korrespondierender Bildpunkte einzustellen. Auf Grundlage dieser homologen Bildpunkte konnten bei bekannten inneren und äußeren Orientierung der Aufnahmen Messungen von Merkmalen vorgenommen werden (siehe Abbildung 11). Alternativ konnten im Rahmen einer digitalen Mehrbildauswertung auch drei oder mehr Panoramaaufnahmen ausgewertet werden. Voraussetzung ist auch hier die Ermittlung von entsprechend drei oder mehr homologen Bildpunkten, die sich auf dasselbe Objekt oder denselben Objektteil beziehen.



Abbildung 11. Homologe Bildpunkte des selben Objektteils auf zwei Aufnahmen (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Im Vergleich zur digitalen Stereobildauswertung kann mit der digitalen Mehrbildauswertung eine höhere Genauigkeit erzielt werden. Die höhere Genauigkeit kann durch Einsatz von Methoden der Mehrbildtriangulation auf Basis von mindestens drei Aufnahmen erreicht werden (Luhmann 2010, S. 132–134).

#### 3.1.4. Übergabedatei (photogrammetrische Auswertungssoftware → GIS)

Die im Rahmen der photogrammetrischen Auswertung erhobenen Daten wurden zum Aufbau des Baumkatasters an das GIS übergeben. Im Versuch wurde das Gaja<sup>®</sup>Matrix Baumkataster der Firma Gingko.Systeme GmbH eingesetzt. Als Übergabedatei kam ein Shapefile zum Einsatz. Shapefiles sind ein offen dokumentiertes Dateiformat der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc. 1998). Der Verbreitungsgrad von Shapefiles zum Austausch von Geodaten ist sehr hoch. Die photogrammetrische Auswertungssoftware unterstützte den Datenexport in ein Shapefile. Das GIS unterstützte den Datenimport aus einem Shapefile.

#### 3.1.5. Raumbezogenes Baumkataster

Zum Aufbau eines raumbezogenen Baumkatasters kam dem GIS eine zentrale Rolle zu. Das GIS vereinte und behandelte die relevanten Datenbestände über den gemeinsamen Raumbezug.

Der konkrete Aufbau des Baumkatasters erfolgte testweise in der Fachlösung Baumkataster des Geographischen Informationssystems Gaja<sup>®</sup>Matrix. Hier wurden die mit Hilfe der photogrammetrischen Auswertungssoftware erhobenen Daten systematisch gespeichert und behandelt. Der erforderliche Datenaustausch zwischen der photogrammetrischen Auswertungssoftware und dem GIS wurde zweckdienlich etabliert (siehe Kapitel 3.1.4 und Kapitel 3.1.6).

Der Gaja<sup>®</sup>Matrix Anwendungsserver wurde als zentrale Systemkomponente im lokalen Netzwerk etabliert.

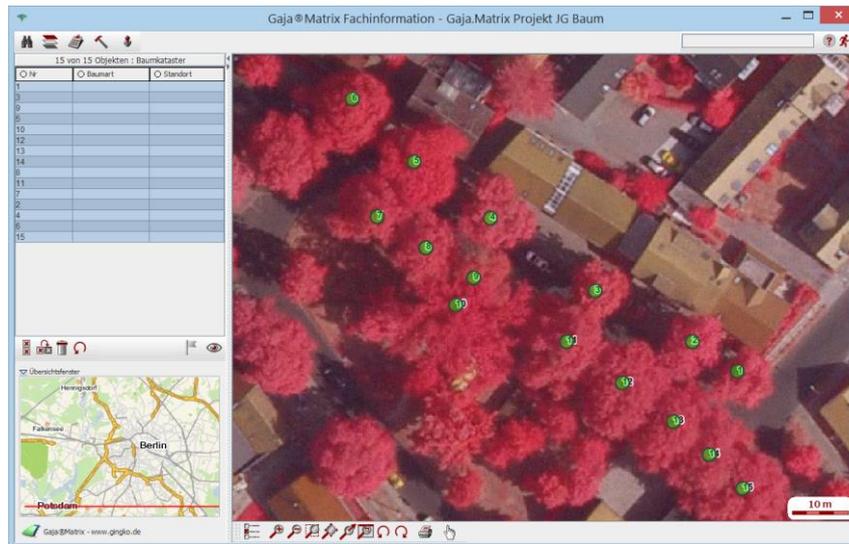


Abbildung 12. Raumbezogenes Baumkataster (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).

Die browsergestützte Arbeit zum Aufbau des Baumkatasters erfolgte am lokalen Arbeitsplatz (siehe Abbildung 12). Der Aufbau des Baumkatasters erfolgte ausschließlich mit Hilfe von Daten, die auf Grundlage der terrestrischen Aufnahmen erhoben wurden. Zur Überprüfung von Ergebnissen oder zur Organisation eines Arbeitsablaufes wurden einzelfallbezogen weitere Daten hinzugeladen.

### 3.1.6. GDI-DE und GDI-Knoten

Die Geodateninfrastruktur Deutschland dient dem standardisierten Austausch von Geodaten (Bernard et al. 2005, S. 3–8). Im Versuchsaufbau wurde die GDI-DE als Datenquelle für Prüf- und Orientierungsdaten sowie zur Abgabe von Geodaten vom GIS an die photogrammetrische Auswertungssoftware eingesetzt.

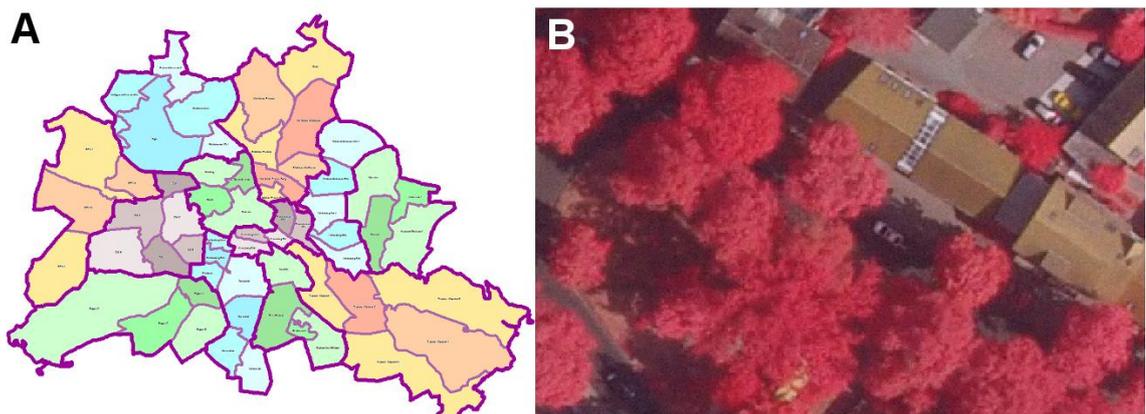


Abbildung 13. A: Kleinräumige Gliederung Berlin (LOR); B: Orthofotos (CIR)  
(Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume).

Prüfdaten waren zur groben Validierung der Messwerte erforderlich. Ein gängiger Datenbestand, der zum Aufbau von Baumkatastern herangezogen wird, sind Orthofotos. Die Landesvermessung Berlin veröffentlichte im Untersuchungsgebiet unter anderem

Color-Infrarot-Orthofotos mit einer Bodenauflösung von 20 Zentimetern pro Pixel (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin) per Web Map Service (WMS). Dieses Datenangebot wurde in das GIS eingebunden (siehe Abbildung 13 B) und zur Überprüfung und Einordnung der erhobenen Daten herangezogen. Die zum Einbinden in das GIS erforderlichen Metadaten wurden im Metadateninformationssystem, konkret im FIS-Broker Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt) recherchiert.

Daten zur kleinräumigen Gliederung des Untersuchungsgebietes wurden in Form der Lebensweltlich orientierten Räume (LOR) als lokalamtliche Kleinräumige Gliederung in der GDI-DE veröffentlicht (siehe Abbildung 13 A). Dieses Datenangebot wurde per WMS in das GIS eingebunden (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume; Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume). Die zum Einbinden in das GIS erforderlichen Metadaten wurden ebenfalls im FIS-Broker Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt), recherchiert.

Zur Abgabe ausgewählter Daten aus dem GIS an die photogrammetrische Auswertungssoftware erfolgte eine Veröffentlichung der Baumstandpunktlayers per WFS in der GDI-DE. Da es sich um einen Versuchsaufbau handelt, wurde auf einen Eintrag im Metadateninformationssystem der GDI-DE verzichtet. Eine breitenwirksame Veröffentlichung des Datenbestandes wurde damit vermieden.

### 3.2. Erhebung geometrischer Baummerkmale

Zum initialen Aufbau eines Baumkatasters ist eine grundsätzliche Beschreibung des Baumbestandes sehr sinnvoll. Sie dient als qualifizierte Ausgangsbasis für die laufende Durchführung von Baumkontrollen und Baumuntersuchungen. Die notwendigen Attribute zur Einschätzung der berechtigten Sicherheitserwartung des Verkehrs ergeben sich aus der Art des zu erwartenden Verkehrs unter Berücksichtigung der Verkehrssicherungspflicht. Die generell erhobene Attributmenge wird im begründeten Einzelfall durch den Baumsachverständigen erhöht (Büttner 2004, S. 16). In einem ersten Durchgang lag der Focus auf der Abgrenzung und geometrischen Beschreibung des Baumbestandes. Geometrische Baummerkmale erfordern keine einschlägige Fachkenntnis über das Wesen und die Art von Bäumen. Eine zweckmäßige Unterweisung und Begleitung durch einen Fachmann ist jedoch hilfreich mit Blick auf einen qualifizierten Einstieg und zur Bewertung kritischer Einzelfälle beim Aufbau eines Baumkatasters.

### 3.2.1. Baumstandort

Die Bestimmung der Baumstandorte erfolgte mit der photogrammetrischen Auswertungssoftware. Dazu musste zunächst eine geeignete Reihenfolge gefunden werden, in der das Untersuchungsgebiet bearbeitet werden konnte. Entlang der Bearbeitungsreihenfolge wurden anschließend die Baumstandpunkte aus dem vorliegenden Bildmaterial ermittelt. Die gemessenen Baumstandpunkte repräsentieren den Standort eines Baumes. Bei den bewerteten Bäumen wurde zwischen privatem und öffentlichem Eigentum unterschieden. Abschließend wurde eine Übergabe der Messungen per Shapefile aus der photogrammetrischen Auswertungssoftware an das GIS durchgeführt. Im GIS wurde jedem Baumsachdatensatz eine eindeutige Baumnummer zugewiesen. Um in den folgenden Schritten weitere Messergebnisse einem Baumdatensatz im GIS zuordnen zu können, wurden die Baumstandorte und die Baumnummern per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebunden.

Die Baumstandorte wurden in Form von Punktkoordinaten erhoben. Räumlich befanden sich die Testaufnahmen im Bereich des Stadtgebiets Berlin. Das amtliche Koordinatenreferenzsystem ist in diesem Bereich ETRS89 mit der UTM Zone 33N. Es trägt den EPSG-Code 25833. Das offizielle Koordinatenreferenzsystem der GDI-DE ist ebenfalls ETRS89 (Rosenthal). Ein durchgängiger Bezug auf ETRS89 bot sich daher an. Koordinatentransformationen als potenzielle Fehlerquelle konnten so vermieden werden. ETRS89 wurde in der photogrammetrischen Auswertungssoftware und im GIS eingestellt. Als alternative Koordinatensysteme wären auch WGS 1984 oder DHDN Soldner Berlin möglich gewesen. Unterschiedliche Koordinatenreferenzsysteme in den Architekturteilen hätten zu einem zusätzlichen Aufwand zur Koordinatentransformation geführt und würden außerdem eine potenzielle Fehlerquelle darstellen. Aus diesen Gründen wurde bei allen Prozessschritten das amtliche Koordinatenreferenzsystem für diesen Bereich in Form des ETRS89 mit der UTM Zone 33N vereinbart.

#### 3.2.1.1. Erhebungsreihenfolge

In einem kommunalen Zuständigkeitsbereich befindet sich regelmäßig eine größere Anzahl an öffentlichen Bäumen. Eine größere Anzahl wurde hier im Sinne einer Menge angenommen, die eine systematische Dokumentation erfordert. Als Beispiele sollen die Baumbestände von 3 Kommunen/Städten angedeutet werden.

Der öffentliche Baumbestand der Stadt Hamburg wurde 1995 auf 220.000 Bäume geschätzt (Baumgarten 2010, S. 21). Zu dieser Zeit belief sich die Bevölkerung auf ungefähr 1.700.000 Menschen, die auf einer Stadtfläche von ungefähr 755 km<sup>2</sup> lebten. Daraus ergab sich in Hamburg ein öffentlicher Baum auf 7,7 Einwohner. Auf einen Quadratkilometer Stadtfläche standen dort im Durchschnitt ca. 291 öffentliche Bäume.

In Berlin kamen auf ungefähr 3.400.000 Einwohner in 2012 etwa 438.740 öffentliche Bäume auf einer Fläche von ca. 892 km<sup>2</sup>. Damit kamen dort auf einen Baum ca. 7,8 Einwohner, wobei auf einen Quadratkilometer im Durchschnitt 492 öffentliche Bäume standen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, Referat Freiraumplanung und Stadtgrün).

Die Gemeindeverwaltung Birkenwerder erfasste mit Stand zum 06.03.2014 ungefähr 9.000 öffentliche Bäume (Gemeindeverwaltung Birkenwerder).



Abbildung 14. Geoportal Birkenwerder mit Baumstandorten (Gemeindeverwaltung Birkenwerder).

Die Bevölkerung belief sich auf ungefähr 7.800 Einwohner, die auf einer Gemeindefläche von etwa 18 km<sup>2</sup> lebten. Hier ergab sich näherungsweise ein öffentlicher Baum auf 0,87 Bürger und ca. 500 Bäume je Quadratkilometer Gemeindefläche.

Diese statistische Kurzbetrachtung der Menge öffentlicher Bäume auf kommunalem Gebiet verdeutlicht, dass bereits bei kleineren Kommunen eine große Anzahl öffentlicher Bäume zu verwalten ist. Die flächenmäßig geringste Baumdichte wies Hamburg mit ungefähr 291 öffentlichen Bäumen pro Quadratkilometer auf. Hier wäre bei einer Gemeindefläche von ca. 3,4 km<sup>2</sup> bereits eine Menge ca. 1.000 öffentlichen Bäumen erreicht. Auf den Einwohner gerechnet, weist Berlin mit ungefähr 7,8 Einwohnern je öffentlichem Baum die geringste Baumdichte auf. Hier wäre bereits bei um die 7.800 Einwohnern eine Menge von 1.000 öffentlichen Bäumen erreicht. Bei größeren Städten setzt sich dieser Zusammenhang fort und erreicht näherungsweise ab ca. 78.000 Einwohnern bereits eine Anzahl öffentlicher Bäume die um die 10.000 Stück beträgt. In den genannten Größenordnungen liegt eine für einen Menschen unüberschaubare Baummenge vor. Hieraus ergibt sich der zwingende Bedarf nach einem systematischen Vorgehen bei der Bestimmung der Standorte. Nur so können Fehler vermieden werden. Häufige Fehler bei einer unsystematischen Arbeitsweise sind zum Beispiel unbeabsichtigtes Vergessen oder die Mehrfacherhebung von Baumstandorten.

Um die Standorte im Rahmen einer Ersterhebung systematisch erheben zu können, musste eine zweckdienliche Gliederung des Betrachtungsgebietes vorgenommen werden. Als Ordnungskriterium im kommunalen Bereich bot sich die Kleinräumige Gliederung an. Das Konzept der Kleinräumigen Gliederung findet seinen Ursprung im Bereich der Kommunalstatistik. Der grundsätzliche Aufbau einer Kleinräumigen Gliederung stützt sich in Deutschland auf die Empfehlungen des Deutschen Städte- und Gemeindebundes. Zielstellung ist die Bildung von Raumeinheiten, die zur Bildung von statistischen Kennzahlen herangezogen werden können. Die Kleinräumige Gliederung eines Stadtgebietes ist hierarchisch aufgebaut. Die räumlich größte Einheit ist die Gemeinde. Jeder Gemeinde ist ein eindeutiger amtlicher Gemeindeschlüssel zugeordnet. Unterhalb der Gemeindeebene werden Stadtbezirke mit Ortsteilen gebildet. Die Ortsteile wiederum zerfallen in statistische Bezirke mit Blöcken. Der Block wird begrenzt durch Blockseiten (Verband Deutscher Städtestatistiker und Deutscher Städtetag 1991, S. 15–20). Die Gliederungsausdifferenzierung ist in der praktischen Anwendung stark von der Gemeindegröße abhängig.

Das Grundprinzip einer Kleinräumigen Gliederung wurde im Untersuchungsgebiet Berlin im Konzept der Lebensweltlich orientierten Räume (LOR) realisiert (siehe Abbildung 15 A). Die LOR untergliedern das Stadtgebiet zunächst in Bezirke. Die Bezirke zerfallen in Prognoseräume mit Bezirksregionen. Die Bezirksregionen bestehen aus Planungsräumen, welche wiederum aus Blöcken zusammengesetzt sind. Blöcke bestehen aus Blockseiten. Die feingliedrigste Hierarchieebene befindet sich unterhalb der Blockseite in Form der einzelnen Adressen.

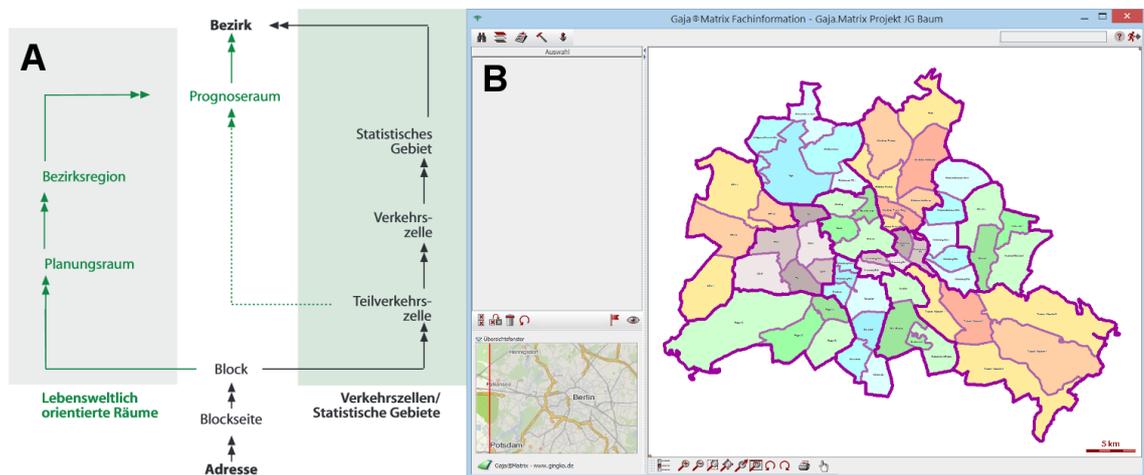


Abbildung 15. A: Hierarchie der Kleinräumigen Gliederung Berlin (Bömermann et al., S. 369). B: Kleinräumige Gliederung Berlin im GIS (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume).

Die Hierarchie im Sinne der LOR wurde in Berlin seit 2006 für das gesamte Stadtgebiet etabliert und löste unzulängliche und historisch gewachsene Gliederungsansätze ab. Die LOR sind seitdem ein grundlegendes Ordnungskriterium für Statistiken und dienen in vielen anderen Fachbereichen als wichtige Arbeitsgrundlage (Bömermann et al.).

Die Kleinräumige Gliederung in der Form der LOR wurde im Untersuchungsgebiet herangezogen, um die Gesamtfläche systematisch entlang einer Hierarchie in Teilgebiete zu untergliedern. Die konkrete Definition, Erstellung, Laufendhaltung sowie die Abgabe an interne und externe Bedarfsträger ist regelmäßig im Aufgabenbereich der statistischen Organisationseinheit der Kommune angesiedelt. Die LOR standen als WMS in der GDI-DE zur Verfügung. Dieses Datenangebot wurde als Referenz im GIS eingebunden (siehe Abbildung 15 B). Das WMS-Datenangebot konnte über den Metadatenkatalog der Stadt Berlin recherchiert werden (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt). Hier waren alle erforderlichen Angaben zum Einbinden des WMS dokumentiert. Zu den drei LOR Hierarchieebenen *Prognoseräume*, *Bezirksregionen* und *Planungsräume* sind Datenangebote per WMS dokumentiert. Für jede Hierarchieebene wurden die WMS-Layer *Grenzen*, *Bezirksregionen (Flächen)*, *Namen* und *Schlüssel* in das GIS mit dem Baumkataster eingebunden. Mit Hilfe dieser groben Gliederungseinheiten konnte eine Grobstrukturierung des Untersuchungsgebietes erfolgen. Die Gesamtfläche von Berlin beträgt 891,85 km<sup>2</sup>, die Fläche des Planungsraums „Feuerbachstraße“ beträgt 0,6305 km<sup>2</sup>. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, dass die Gesamtfläche des Betrachtungsgebietes mit Hilfe verfügbarer Gliederungshierarchien in gut zu handhabende Teilgebiete untergliedert werden konnte.

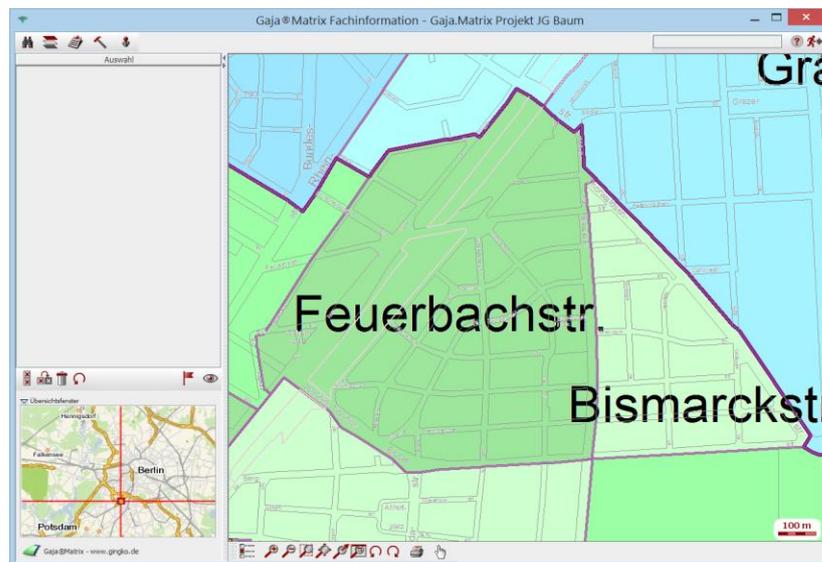


Abbildung 16. Planungsräume Berlin  
(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume).

Zur Etablierung einer feingliedrigeren Strukturierung standen unterhalb der Planungsräume noch weitere Ebenen zur Verfügung. Hier kann zum Beispiel die Ebene der Baublöcke oder darunter die Ebene der Blockseite verwendet werden. Einzelne Baublöcke sind kleine städtebauliche Raumeinheiten, die eine gewisse bauliche Einheit darstellen. Sie ergeben sich durch bauliche Grenzen wie Straßen oder natürliche Grenzen wie Gewässer (Verband Deutscher Städtestatistiker und Deutscher Städtetag 1991, S. 16). Feingliedrigere Daten sind in der Regel mit höheren Datenschutzauflagen versehen und

werden daher vorwiegend für den internen Dienstgebrauch vorgesehen. Auf Grundlage der Blockseite kann im Rahmen einer arbeitsorganisatorischen Betrachtung ein sehr konkreter Ablaufplan für die systematische Erhebung der Baumstandorte erstellt werden. Entsprechende Gebietsgliederungen in Listenform konnten bei der zuständigen statistischen Organisationseinheit bezogen werden.

Ein alternativer Ansatz für eine Erhebungssystematik ist die Heranziehung des Straßennetzes als vollständiges amtliches Straßenverzeichnis. Im Ergebnis würde eine Straßenliste als Organisationsvorgabe entstehen, die mit aufsteigenden Straßennummern abgegangen werden könnte.

Im Rahmen von systematischen Baumschauen ist jedoch eine Reihenfolgenorganisation auf Grundlage von Straßenlisten günstiger, weil so beide Seiten der Straße begutachtet werden können. Beim Begehen auf Grundlage der Blockseite müsste grundsätzlich jede Straße doppelt abgelaufen werden um beide Straßenseiten zu begutachten. Da im vorliegenden Fall nicht effektiv begangen, sondern virtuell auf Grundlage von Panoramaaufnahmen gearbeitet wurde, wurden die beiden Ansätze in dieser Argumentationsrichtung als gleichwertig beurteilt. Welcher Ansatz herangezogen wird, muss im Rahmen der konkreten Arbeitsvorbereitung entschieden werden. Die Entscheidung ist vor allem abhängig von der Verfügbarkeit der erforderlichen Datengrundlage einer Kleinräumigen Gliederung oder eines Straßennetzes. Die LOR waren im Gegensatz zum Straßennetz als geeignetes Datenangebot in der GDI-DE verfügbar. Aus diesem Grund wurden die LOR als Gliederungskriterium herangezogen.

#### *3.2.1.2. Baumstandpunkt / Baumstandfläche*

Baumkataster im öffentlichen Bereich werden besonders mit Blick auf die Verkehrssicherungspflicht und zur Unterstützung von Zielen der Stadtentwicklung geführt. In beiden Fällen muss beim Aufbau des Katasters zunächst unterschieden werden, ob es sich bei den Bäumen im Untersuchungsgebiet um öffentliche oder private Bäume handelt. Die kommunale Verwaltung muss im Rahmen ihrer Zuständigkeit nur öffentliche Bäume im Baumkataster führen. Öffentliche Bäume befinden sich auf Flurstücken, deren Eigentümer die Kommune ist. Private Bäume befinden sich auf Flurstücken, die sich im privaten Eigentum befinden. Die erforderliche Genauigkeit der Koordinaten des Baumstandortes ergibt sich aus den Zielstellungen des Baumkatasters. Die Genauigkeit einer Punktmessung mit dem Testsystem wird vom Hersteller mit ca. 10 cm angegeben (CycloMedia Deutschland GmbH (Website)).

Zur Bestimmung des Baumstandortes musste aus verschiedenen Ansätzen ausgewählt werden. Der Baumstandort kann beispielsweise über den Kronenschwerpunkt, den Schwerpunkt der Baumstandfläche oder durch Schätzung im Baumfußbereich ermittelt

werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass ein Baum ein lebender Organismus ist. Lebende Organismen können sich im Verlauf der Zeit in erheblichem Maß verändern. Kurzfristige Veränderungen sind zum Beispiel Wind oder Trockenheit. Mittel- und langfristige Veränderungen ergeben sich aus dem Baumwachstum entlang des Baumlebenszyklus.

Bei terrestrischen Panoramaaufnahmen konnte der Stammansatz deutlich sichtbar eingestellt werden (siehe Abbildung 19). Terrestrische Aufnahmen boten damit eine Arbeitsgrundlage zur direkten Vermessung der Verbindungsposition eines Baumes mit der Erdoberfläche.

Im kommunalen Bereich werden alternativ dazu die Baumstandorte auch auf Grundlage digitaler Orthofotos (DOP) bestimmt. DOP werden durch kommunale Bedarfsträger regelmäßig von der Landesvermessung bezogen. Die Blickrichtung bei der Auswertung dieser Arbeitsgrundlage ist im Optimalfall vom Zenit zum Nadir. Insbesondere im belaubten Zustand präsentiert sich der Baum von oben durch eine ellipsenartige, unregelmäßige Fläche. Als Baumstandort wird hier der Flächenschwerpunkt herangezogen. In der Praxis erfolgt die Kartierung durch Schätzung des Flächenschwerpunktes durch die/den Sachbearbeiterin/Sachbearbeiter (siehe Abbildung 17). Diese Herangehensweise führt in der Praxis zu einer gewissen Ungenauigkeit, da es sich um ein indirektes Verfahren handelt. Der Stammfuß kann als tatsächlicher Baumstandort auf dem Orthofoto nicht direkt gesehen werden.



*Abbildung 17. Baumkronenflächen mit geschätztem Schwerpunkt auf DOP20CIR (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).*

Im Rahmen der laufenden Zustandskontrollen ist eine Inaugenscheinnahme der Baumkrone zwingend erforderlich. Der rechtlich relevante Baumstandort ergibt sich jedoch nicht aus der Baumkrone, welche regelmäßig keinen Kontakt zur Erdoberfläche hat, sondern aus seiner Position auf der Erdoberfläche (Baumgarten 2010, S. 8). Ein Baum dringt mit dem Stamm an der Erdoberfläche in das Erdreich ein. Der Stamm ist an dieser Position fest mit der Erdoberfläche verbunden. Durch diese Position ist der Baum mit einem Flurstück verbunden. Baumstandpunkt und der Schwerpunkt der Kronenflächen weichen häufig voneinander ab. Abbildung 18 B zeigt einen gerade gewachsenen Baum. Hier ist der Schwerpunkt der Kronenfläche nah an der Position, an welcher der Baum mit

dem Boden verbunden ist. Auf Abbildung 18 A ist ein Straßenbaum mit deutlichem Schiefstand in Richtung Straßenfläche zu sehen. Hier würde auf Grundlage eines Orthofotos ein Baumstandort ermittelt werden, der mehrere Dezimeter näher an der Fahrbahn liegt als sein eigentlicher Verbindungspunkt mit der Erdoberfläche.

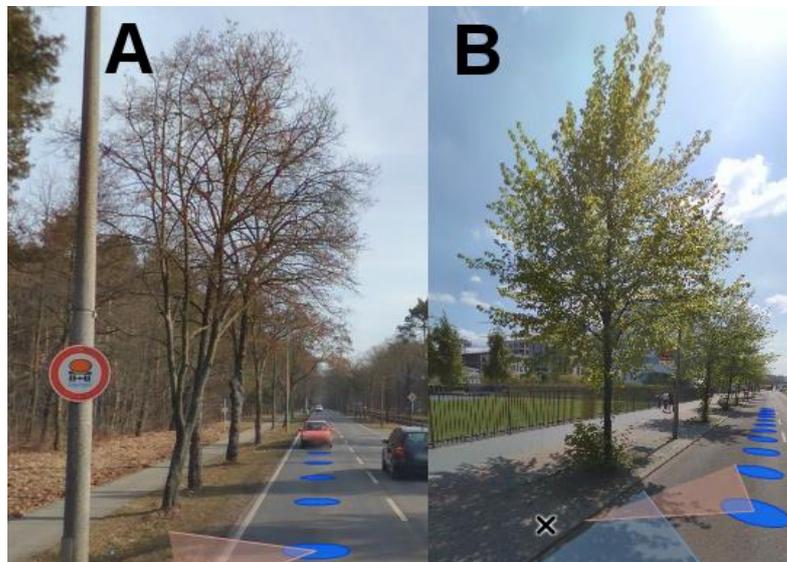


Abbildung 18. A: Baum mit Schiefstand; B: Gerade gewachsener Baum. (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Bei der Ermittlung der Baumposition auf Grundlage der Baumkrone muss auch beachtet werden, dass kurzfristige Umwelteinflüsse sehr starken Einfluss auf das Ergebnis haben können. Dieses Problem soll kurz an einem hundertjährigen Baum mit einer vergleichsweise großen Baumkrone verdeutlicht werden. Im Fall A wird eine Aufnahme des belaubten Baumes bei Windstille erstellt. Im Fall B wird eine Aufnahme des belaubten Baumes bei starkem Wind erstellt. Im Vergleich wird deutlich, dass die ermittelten Flächen, durch die Bewegung der Äste im Wind, voneinander abweichen. Bei der Interpretation von Orthofotos wird die Windgeschwindigkeit in der Regel nicht berücksichtigt. Der daraus resultierende Fehler ist nicht bekannt. Ein weiterer kritischer Umwelteinfluss, der bei Ermittlung des Baumstandortes durch Auswertung der Baumkrone beachtet werden muss, ist die Jahreszeit, in der eine Aufnahme erstellt wurde. So wirkt ein belaubter Baum deutlich flächiger als ein unbelaubter Baum.



Abbildung 19. Baumstandort: Position, an der ein Baum mit dem Erdreich verbunden ist (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Zur konkreten Ermittlung der Koordinaten eines Baumstandortes musste der Baumstammbereich in mindestens zwei Panoramaaufnahmen eingestellt werden (siehe Abbildung 20). Bei der Suche nach einem geeigneten homologen Bildpunktpaar wurde deutlich, dass der Baum nicht an einem Punkt, sondern auf einer Fläche mit der Erdoberfläche verbunden ist. Die Standortfläche entspricht dabei dem Stammquerschnitt auf Höhe der Erdoberfläche.

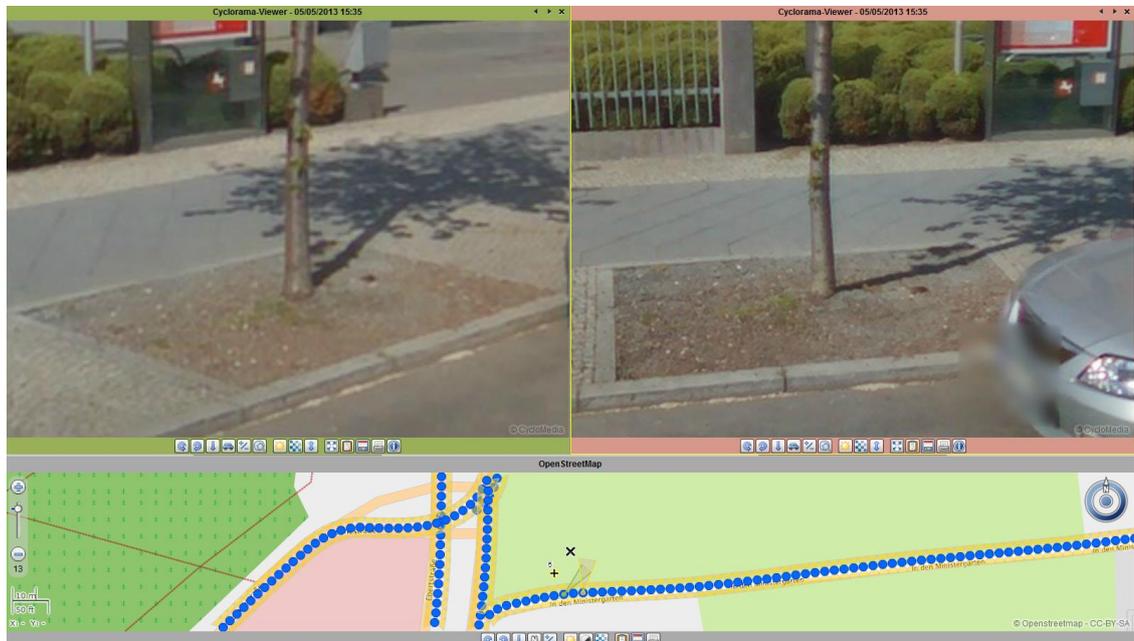


Abbildung 20. Stereobilddarstellung eines Baumstandortes (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Zielstellung war die Kartierung des Baumstandortes als Punkt auf der Erdoberfläche. Für den Baumstandort kam ein Punkt auf der Baumstandfläche in Frage. Hier bot sich der Schwerpunkt der Standortfläche an. Dieser Punkt befindet sich im Inneren des Baumes. Eine direkte Messung durch ein homologes Bildpaar war also nicht möglich. Alternativ kamen indirekte Verfahren in Betracht. Beispielgebend wurden zwei indirekte Verfahren geprüft. Erstens eine mathematische Berechnung auf Grundlage von drei Stützpunkten und zweitens die Ermittlung durch Schätzung.

Zur mathematischen Berechnung des Schwerpunktes der Standortfläche mussten zunächst drei Hilfsmessungen im Sinne von Stützpunkten ermittelt werden. Das beispielhaft eingesetzte Näherungsverfahren stützt sich auf die Formel zur Berechnung des Umkreismittelpunktes auf Grundlage der Mittelsenkrechten eines Dreiecks (siehe Abbildung 21). Das Dreieck befindet sich in einem Kreis, wobei sich jede Ecke auf der Kreislinie befindet. Zur praktischen Anwendung musste hierfür zunächst die Komplexität der tatsächlichen Standortfläche auf eine kreisförmige, zweidimensionale Standfläche reduziert werden. Anschließend mussten drei Punkte auf der gedachten Umkreislinie ermittelt werden. Die Punkte A, B und C konnten durch die Koordinaten der Punkte 8, 9 und 10 (siehe Abbildung 22) beschrieben werden.



Abbildung 21. Standpunktermittlung durch Komplexitätsreduktion  
(Formeln und Tabellen für die Sekundarstufen I und II 2001, S. 30).

Mit Hilfe der Bildauswertungssoftware wurden die Koordinaten der notwendigen drei Punkte auf der hypothetischen Umkreislinie gemessen. Die Z-Koordinate der Höhe blieb unberücksichtigt. Die Unterstützung einer dreidimensionalen Behandlung des Baumstandortes war nicht notwendig. In der Praxis ist eine planare Ergebniskarte der Baumstandorte absolut ausreichend.



Abbildung 22. Messpunkte auf hypothetischer Kreislinie als Standflächenrand  
(CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Die Berechnung der Koordinaten des Schwerpunktes erfolgte im Anschluss im Geographischen Informationssystem. Auf Grundlage der drei erhobenen Punkte A bzw. 8, B bzw. 9 und C bzw. 10 wurden in einem ersten Schritt die Seiten a, b und c des Dreiecks konstruiert (siehe Abbildung 23). Anschließend erfolgte die Konstruktion der Mittelsenkrechten  $m_a$ ,  $m_b$  und  $m_c$  für jede Seite.

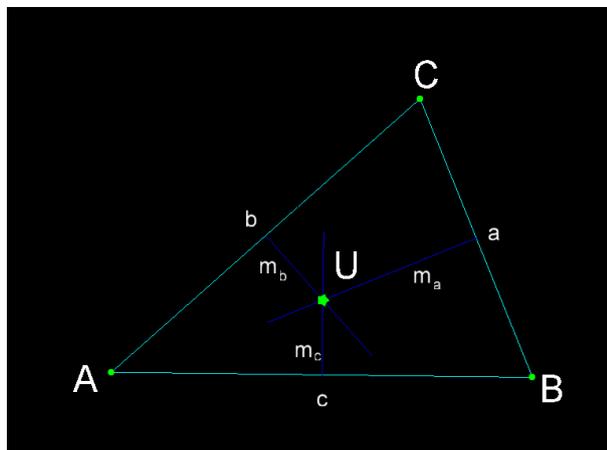


Abbildung 23. Rechnerische Bestimmung des Baumstandpunktes (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).

Die drei Mittelsenkrechten schneiden sich im Punkt U. Dieser Punkt entsprach dem Schwerpunkt des zugrundeliegenden Kreises. Näherungsweise konnte so ein Punkt als Schwerpunkt der Baumstandfläche berechnet werden. Der Punkt U wurde anschließend im Baumkataster als Standpunkt für den betreffenden Baum im Rahmen des Baumkatasteraufbaus verwendet.

Alternativ kam zur Ermittlung des verdeckten Schwerpunktes der Standfläche eine Heuristik, also eine gute Schätzung, zum Einsatz. Gut bedeutete in diesem Zusammenhang, dass beim Finden des homologen Bildpunktpaares eine Faustformel zur Verkürzung der Suchzeit bei Verbesserung der zu erwartenden Genauigkeit eingesetzt wurde. Die Faustformel bezieht sich auf die annähernd kreisförmige Querschnittfläche des Baumstammes auf Erdoberflächenniveau. Ein eben aufliegender Kreis stellt sich für den vorbeilaufenden Betrachter aus Augenhöhe wie eine Ellipse dar. Die Eigenschaften einer Ellipse werden zur Verbesserung der Schätzung ausgenutzt. Abbildung 24 stellt diesen Zusammenhang in der Mitte idealisiert dar. Bei Betrachtung des Kreises der Baumstandfläche von Zenit aus, d.h. der Betrachtungswinkel wird mit  $90^\circ$  zur Erdoberfläche eingestellt, stellt sich die Fläche als Kreisfläche dar (siehe Abbildung 24 rechts).

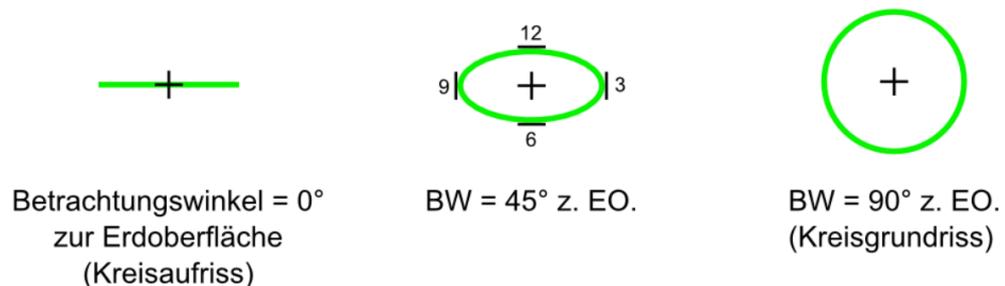


Abbildung 24. Vereinfachte Baumstandfläche in verschiedenen Betrachtungswinkeln.

Bei Betrachtung des Kreises von der Seite, d.h. der Betrachtungswinkel wird auf  $0^\circ$  zur Erdoberfläche eingestellt, entspricht die Darstellung des zweidimensionalen Kreises einer Linie (siehe Abbildung 24 links). Wird der Kreis aus einem Winkel von  $45^\circ$  von der Erdoberfläche aus betrachtet, so stellt er sich als Ellipse dar. Diese Darstellung kommt der Sichtweise aus Augenhöhe vergleichsweise nahe und wird für die weitere Betrachtung angesetzt. Nun wird ein Ziffernblatt auf die Ellipse aufgebracht. Der höchste Punkt der Ellipse liegt auf 12 Uhr, der niedrigste Punkt liegt auf 6 Uhr, der seitlichste Punkt rechts befindet sich auf 3 Uhr und der seitlichste Punkt links befindet sich auf 9 Uhr. Werden die Punkte 12 Uhr und 6 Uhr miteinander verbunden ergibt sich eine vertikale Linie. Werden die Punkte 3 Uhr und 9 Uhr verbunden, ergibt sich eine horizontale Linie. Der Schnittpunkt dieser Linien überlagert sich mit der Position des

Kreisschwerpunktes. Diese charakteristischen Punkte sind durch Abstraktion auf die reellen Gegebenheiten auf den Panoramaaufnahmen im Stammfußbereich zu finden.



Abbildung 25. Heuristische Bestimmung des Baumstandpunktes (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

In der praktischen Umsetzung der Faustregel wurde der betreffende Baum in der photogrammetrischen Software zunächst eingestellt. Der nicht sichtbare Schwerpunkt der Standfläche musste auf mindestens zwei Aufnahmen homolog eingestellt werden. Da der Schwerpunkt verdeckt war, war es erforderlich, sich im Baumfußbereich zu orientieren und entsprechend der aufgezeigten Faustformel zu schätzen. Hierzu wurde die Baumstandfläche vor dem geistigen Auge als Kreisfläche gesehen, die sich entsprechend des Betrachtungswinkels als Ellipse darstellte. Der hintere Teil der Ellipse wurde durch den Baum verdeckt. Der vordere Teil war jedoch vor dem geistigen Auge zu sehen. Auf dieser gedachten Halbellipse musste nun ebenfalls vor dem geistigen Auge die Uhrzeiten 9 Uhr, 6 Uhr und 3 Uhr abgetragen werden.

Im Schritt A (siehe Abbildung 25) der Stereobildmessung wurde das Passkreuz für den ersten Bezugspunkt so eingestellt, dass er sich auf der Höhe von 9 Uhr und 3 Uhr befand. Hierfür eignete sich eine Orientierung mit Hilfe der horizontalen Passkreuzverlängerung. Anschließend musste im Schritt B (siehe Abbildung 25) auf der zweiten Aufnahme ebenfalls der Schwerpunkt der Standfläche geschätzt werden. Hierfür musste ausgehend von Punkt 6 Uhr eine vertikale Linie gedacht werden. Der Schnittpunkt dieser vertikalen Linie mit der ersten Messachse musste als zweiter Bildpunkt definiert werden. Auf Grundlage dieser homologen Bildpunkte wurden nun durch die Software die Koordinaten des Baumstandortes im Sinne des Schwerpunktes der Baumstandfläche ermittelt.

Im Vergleich ist die Genauigkeit der mathematischen Näherungslösung besser zu bewerten als die Genauigkeit der heuristischen Lösung, da durchgängig direkte Messungen herangezogen wurden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass bei der mathematischen Ermittlung im Vergleich zur Heuristik deutlich mehr Prozessschritte erforderlich sind. So erfolgte bei der mathematischen Ermittlung eine eigenständige Berechnung des Schwerpunktes durch Konstruktion der Mittelsenkrechten. Außerdem mussten zur Durchführung des mathematischen Ansatzes drei Messpunkte erhoben

werden. Bei der heuristischen Ermittlung genügte ein Messpunkt. In diesem Zusammenhang musste daher auch berücksichtigt werden, dass aufwändige Prozesse grundsätzlich anfälliger für Fehler sind als schlanke Verfahren.

Die Genauigkeit einer Punktmessung mit dem Testsystem wurde vom Hersteller mit ungefähr 10 cm angegeben. Der Testbaum (siehe Abbildung 21) hat einen Stammdurchmesser von ungefähr 30 Zentimeter. Durch die mathematische Ermittlung des Schwerpunktes entstand der Eindruck einer nicht vorhandenen Genauigkeit. Bäume sind lebende Organismen, die sich entlang ihres Lebenszyklus deutlich verändern. Der Baumstandpunkt wird sich durch das Wachsen des Baumes über die Zeit verschieben da er nicht in alle Richtungen gleichmäßig auswächst. Im Regelfall startet der öffentliche Baum in einer Baumschule. Dieser Keimling hat einen Stammdurchmesser von weniger als einem Zentimeter. Hat der Baum eine geeignete Größe erreicht, die ein gutes Verhältnis von Transportierbarkeit und Belastbarkeit aufweist, wird er in den öffentlichen Bereich verpflanzt. In dieser Phase weist der öffentliche Baum vermutlich in den meisten Fällen einen Stammdurchmesser auf, der maximal 15 bis 20 Zentimeter beträgt. Mit jedem Jahr wächst der öffentliche Baum und kann abhängig von Baumart und Baumgattung, einen Stammdurchmesser von deutlich über einem Meter erreichen. Der Baum wächst keinesfalls gleichmäßig. Die Wuchsrichtung ist von vielen Faktoren abhängig (Mattheck 2007, S. 2, 16). Zu diesen Faktoren gehören z.B. das unterschiedliche Auftreten von Nährstoffen sowie Belastungen, denen der Baum ausgesetzt ist. Weiterhin kommt es im öffentlichen Bereich häufig zu Bodenverdichtungen und dem Auftreten von Schadstoffen, die das Wachstum des Baumes beeinflussen. Somit muss davon ausgegangen werden, dass sich die Lage der Baumstandfläche über die Zeit verändert.

Der Standpunkt wird nach der Erhebung in der Bildauswertungssoftware an das Baumkataster übergeben und dient der/dem Sachbearbeiterin/Sachbearbeiter als räumliches Kriterium zum Einstieg in die Sachdatenarbeit. Die Sachdaten werden häufig durch Anklicken des kartierten Objektes aufgerufen. Eine heuristische Standpunktbestimmung erschien mit Blick auf die Veränderlichkeit der Baumstandfläche über die Zeit als angemessen. Auf jeden Fall ist die Genauigkeit im Bereich von einem Meter oder deutlich besser. Eine mit diesen Ergebnissen erstellte Baumkarte bietet eine akzeptable Genauigkeit, um eine Verwechslung von Bäumen beim graphischen Aufruf zu vermeiden. Die Baumkarte kann mit dieser Genauigkeit eine abstrakte Orientierung im Baumbestand ermöglichen. Dadurch ist ein gezielter Aufruf des Baumes von Interesse möglich. Öffentliche Bäume stehen im Standpunktbereich nur im Ausnahmefall im direkten Kontakt zueinander. In der Regel ist ein Abstand von einigen Metern gegeben. Der Abstand schwankt stark in Abhängigkeit von den konkreten Gegebenheiten des Stadtbereichs. Erst bei einer Erfassungsgenauigkeit von mehreren Metern können sich Diskrepanzen zwischen kartiertem Baumstandort und den tatsächlichen Gegebenheiten

ergeben, so dass es zum Verwecheln des Baumes auf der Karte kommen kann. Eine höhere Genauigkeit als 10 Zentimeter ist in Fällen notwendig, wenn sich der Baumstandort im Grenzbereich oder auf der Grenze von einem privaten und einem öffentlichen Flurstück befindet. In diesen kritischen Fällen ist eine Einzelprüfung durch Begehung und hochgenaue Vermessung vor Ort notwendig.

Die vorgestellten Ansätze unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Anzahl der notwendigen Prozessschritte. Abgesehen von kritischen Fällen dient der Baumstandpunkt der groben Orientierung im Raum. Eine Vermessung des Baumstandpunktes mit einer Genauigkeit von 10 Zentimetern oder weniger ist nicht notwendig. Mit Blick auf ein praxistaugliches Verfahren mit einer ausreichenden Genauigkeit und akzeptablem Aufwand eignet sich die heuristische Herangehensweise besser. Dieses Verfahren wurde im folgenden Versuchsaufbau für alle Standortbestimmungen angewendet.

### *3.2.1.3. Abgrenzung öffentlicher Baum / privater Baum*

Die Abgrenzung des öffentlichen Baumbestandes vom privaten Baumbestand ist mit Blick auf die Verkehrssicherungspflicht, eine wichtige Teilaufgabe beim Aufbau eines Baumkatasters. Private Bäume fallen grundsätzlich nicht in die Zuständigkeit der öffentlichen Verwaltung. Folglich müssen nur öffentliche Bäume im Baumkataster der Kommune berücksichtigt werden. Öffentliche Bäume sind eine Teilmenge der Bäume auf dem Stadtgebiet. Befindet sich der Standort eines Baumes auf einem kommunalen Flurstück, so ist die Kommune für diesen Baum zuständig. Befindet sich der Standort eines Baumes auf einem privaten Flurstück. So muss der private Eigentümer die Verkehrssicherungspflicht für seinen Baum erfüllen.

Auf den vorliegenden terrestrischen Panoramaaufnahmen konnten alle Bäume verortet werden, die vom öffentlichen Verkehrsraum aus zu sehen waren. Für eine rechtssichere Klassifizierung dieser Bäume nach privatem oder öffentlichem Eigentum, musste der Eigentümer des Flurstücks auf dem der jeweilige Baum stand, ermittelt werden. Nur wenn es sich beim Eigentümer um die Kommune handelte, musste der Baum im Baumkataster berücksichtigt werden. Der Eigentümer eines Flurstücks wird im Liegenschaftsbuch der zuständigen Katasterverwaltung geführt. Dieser Datenbestand wird dem kommunalen Bedarfsträger in Form von ALKIS-Daten zur Verfügung gestellt. Die Daten können per NAS-Schnittstelle in das vorhandene GIS eingelesen werden (Bernard et al. 2005, S. 151–155).

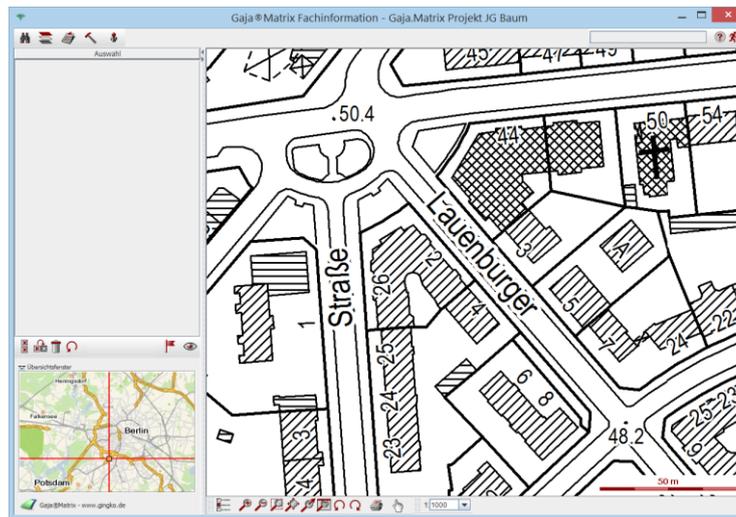


Abbildung 26. Liegenschaftskarte Berlin im GIS (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume [ALK im Datenangebot enthalten]).

Die Liegenschaftskarte war für den Betrachtungsbereich in der GDI-DE per WMS verfügbar. Über die Liegenschaftskarte war eine grobe Orientierung zur Flurstückssituation möglich. Bundesländer wie zum Beispiel Brandenburg veröffentlichen den aktuellen Stand der Liegenschaftskarte (ALKIS) bereits flächendeckend ohne Zugangsbeschränkungen. In anderen Bundesländern wie zum Beispiel Berlin sind Zugangsbeschränkungen etabliert. So ist zur Nutzung der aktuellen Liegenschaftskarte Berlin eine Anmeldung erforderlich. Berlin veröffentlicht die Liegenschaftskarte als Rasterhintergrund für die LOR im Maßstabsbereich 1.000 - 5.000. Die Darstellung orientierte sich an der typischen ALK Darstellung mit schraffierten Häusergrundrissen und erhob keinen Anspruch auf Aktualität. Zur Ansicht der tagaktuellen Liegenschaftskarte nach dem ALKIS-Verfahren ist eine vorherige Anmeldung erforderlich. Hierauf wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet, da mit Blick auf die Auswertung der Aufnahmen im Vergleich zur Hintergrundliegenschaftskarte kein signifikanter Erkenntnisgewinn zu erwarten ist.

Zur Ermittlung des Eigentümers eines Flurstückes kamen in der Prozesskette der Kartierung eines Baumstandortes zwei Herangehensweisen in Frage. Denkbar war eine vorgelagerte oder eine nachgelagerte Eigentumseinschätzung. Bei der vorgelagerten Eigentumseinschätzung wird vor jeder Kartierung die Notwendigkeit der Erhebung geprüft. Bei der nachgelagerten Einschätzung werden zunächst alle Baumstandorte bestimmt. In einem nachgelagerten Schritt erfolgt dann eine Prüfung der Eigentumsverhältnisse. In beiden Fällen muss das entsprechende Liegenschaftsbuch ausgewertet werden. Das Liegenschaftsbuch enthält durch die Eigentümerinformation personenbezogene Daten, die dem Datenschutz unterliegen. Die Bereitschaft zur Bereitstellung von Daten aus dem Liegenschaftsbuch für Studienzwecke durch die Behörde wurde als aussichtslos angenommen. Aus diesem Grund wurde auf die Heranziehung von Daten aus dem Liegenschaftsbuch verzichtet. Zur Verdeutlichung des

Prinzips wurde eine farbcodierte Liegenschaftskarte zur Darstellung beispielhafter Eigentumsverhältnisse erstellt (siehe Abbildung 27).

Bei der Eigentumseinordnung vor der Standortbestimmung hätte das Liegenschaftsbuch in einem ersten Schritt ausgewertet werden müssen. Alle Flurstücke, die sich im kommunalen Eigentum befinden, müssen gekennzeichnet werden. Bedingt durch die Liegenschaftshistorie und durch unterschiedliche Schreibweisen müssten zunächst alle Eigentümerschreibweisen für kommunale Eigentümer bestimmt werden. Für eine fiktive Kommune „Musterbad“ kommen so die Schreibweisen wie z.B. „Musterbad“, „Stadt Musterbad“ oder „Stadtverwaltung Musterbad“ in Betracht. Alle Flurstücke, auf die eine der Schreibweisen für den Eigentümer zutrifft, erhalten das Merkmal „kommunales Eigentum“. Auf Basis dieses Merkmals kann die Liegenschaftskarte mit Hervorhebung des kommunalen Eigentums dargestellt werden (siehe Abbildung 27). Die grün hinterlegten Flurstücke tragen das Merkmal „kommunales Flurstück“.

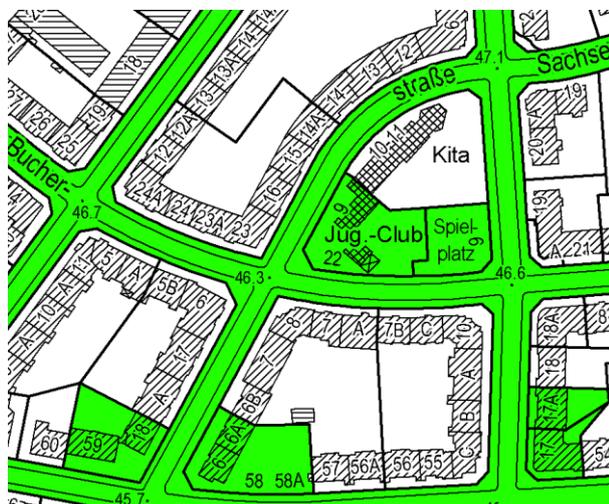


Abbildung 27. Liegenschaftskarte mit grün hervorgehobenen kommunalen Flurstücken (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume [ALK im Datenangebot enthalten]).  
(Anmerkung: Eigentumsverhältnisse fiktiv).

Diese Darstellung der Liegenschaftskarte kann vom GIS des kommunalen Anwenders an die photogrammetrische Auswertungssoftware abgegeben werden. Beispielhaft wurde in Abbildung 28 die nachgestellte Liegenschaftskarte als vereinfachte Vektorgrafik direkt in die Panoramaaufnahme projiziert. Auf diesem Weg war es auch möglich, die Flächen farblich zu differenzieren. Um das Prinzip einer Flächendarstellung zu verdeutlichen, wurde in Abbildung 29 eine Fläche direkt in der Panoramaaufnahme gemessen. Das Ergebnis wurde als geflutete, halbtransparente Fläche dargestellt. Auf diesem Weg konnte die, anhand des kommunalen Eigentums eingefärbte Liegenschaftskarte aus dem GIS per WFS an die photogrammetrische Software abgegeben werden.



Abbildung 28. Projektion Liegenschaftskarte (nur Vektoren) in eine Panoramaaufnahme (CycloMedia Deutschland GmbH (Website)).



Abbildung 29. Projektion einer Fläche in eine Panoramaaufnahme (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

In der kommunalen Praxis wird die Liegenschaftskarte direkt im Zusammenhang mit den Daten des Liegenschaftsbuchs betrachtet. Das Liegenschaftsbuch enthält personenbezogene Daten. Aus diesem Grund steht dieser Datenbestand im Gegensatz zur Liegenschaftskarte, nicht öffentlich in der GDI-DE zur Verfügung. Im Rahmen einer praktischen Anwendung verfügt der kommunale Anwender über diese Daten und kann entsprechende Darstellungsvarianten etablieren. Die relevante Eigentumssituation kann auf diesem Weg direkt in die Panoramaaufnahme projiziert werden. Zum Beispiel können auf diesem Weg kommunale Flurstücke mit einer transparenten, grünen Fläche (siehe beispielgebend Abbildung 29) dargestellt werden. Private Flurstücke können beispielsweise ohne Flächenfüllung (siehe Abbildung 28) dargestellt werden. Unter Einsatz dieser Projektionstechnik könnte noch vor der Koordinatenermittlung für jeden Baum entschieden werden, ob eine Erfassung notwendig ist. Im Ergebnis werden so nur die relevanten Bäume erhoben.

Die Zielstellung bei der vorgelagerten Eigentumseinschätzung ist, unnötige Baumstandortkartierungen zu vermeiden. Im Praktischen treten jedoch Situationen auf, die auch bei visueller Darstellung der relevanten Eigentumsverhältnisse nicht eindeutig sind.



Abbildung 30. Beispiel für eindeutige Eigentumssituation (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Abbildung 30 zeigt eine augenscheinlich eindeutige Eigentumssituation. Die zwei Bäume von rechts befinden sich zwischen der Fahrbahn und dem Gehsteig. Es handelt sich offenkundig um öffentliche Bäume. Der dritte Baum von rechts befindet sich hinter einem Zaun und damit eindeutig auf privatem Grund. Eine visuelle Überlagerung der Liegenschaftskarte mit Darstellung der Eigentumsverhältnisse wird dies vermutlich bestätigen. Von den drei Bäumen im betrachteten Ausschnitt sind folglich nur zwei zu kartieren.



Abbildung 31. Beispiel für unklare Eigentumssituation.

Abbildung 31 B zeigt auf der rechten Seite eine Mülltonne. Der Zaun ist auf der Straßenseite geöffnet. Vermutlich optimiert der Bewohner damit den Weg zum Straßenrand. Mülltonnen sind zur Entleerung im vorgesehenen Turnus am Straßenrand abzustellen. Es ist nicht davon auszugehen, dass der Eigentümer mit der Aussparung im Zaun einen öffentlichen Verkehr auf dem Mülltonnenstellplatz eröffnet. Auf Abbildung 31 A ist ebenfalls ein Zaun mit Öffnung zur Straßenseite zu sehen. In diesem Fall kann es durchaus sein, dass der Eigentümer auf diesem Teil des Flurstücks einen öffentlichen Verkehr eröffnet. Fraglich ist, ob der Eigentümer eine private Person oder die Kommune ist. Es kann auf der Aufnahme nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um einen öffentlichen Baum handelt, da der Zaun von der Straße aus gesehen hinter dem Baum verläuft. Jedoch ist der mit dem Zaunverlauf angedeutete Grenzverlauf untypisch. Die Pflege eines Baumes in Straßennähe verursacht Aufwand. Dies kann sich auf die Interessenlage des Flurstückseigentümers auswirken. Vermutlich ist dieser Baum dem

öffentlichen Baumbestand zuzuordnen. Fraglich ist hier, ob der Zaunverlauf mit dem Verlauf der Flurstücksgrenze übereinstimmt. Bei Überlagerung der Liegenschaftskarte mit Visualisierung des kommunalen Eigentums in die Aufnahme ergeben sich zwei mögliche Szenarien. Erstens, der Grenzverlauf stimmt mit dem Zaunverlauf überein. Dann ist die Situation eindeutig. Stimmt der Grenzverlauf nicht mit dem Zaunverlauf überein, so befindet sich der Baum tatsächlich auf privatem Grund. In beiden Fällen empfiehlt sich eine klärende Einzelfallprüfung vor Ort um unklare Situationen in der Baumpflege zu vermeiden und um eine eindeutige Grundlage zur Bestimmung des Baumstandortes zu schaffen. Beim Auftreten von unklaren Situationen empfiehlt es sich, den fraglichen Baum zu kartieren. Im Nachgang ist das Löschen eines erhobenen Baumstandortes mit weniger Aufwand verbunden als das nachträgliche kartieren.

Bei der nachträglichen Bestimmung der Eigentumsituation wird der Baumstandort aller sichtbaren Bäume kartiert. Die Eigentumsverhältnisse können in einem nachgelagerten Schritt im GIS geklärt werden. Private Bäume werden anschließend aus dem Baumkataster gelöscht. Diese Herangehensweise bietet sich zum Beispiel an, wenn zur Bestimmung der Baumstandorte ein arbeitsteiliger Prozess etabliert werden soll. Ein arbeitsteiliger Prozess kann in diesem Zusammenhang die Erhebung der Baumstandorte durch einen externen Geodatendienstleister sein. Der externe Geodatendienstleister wird die Standorte nach Abschluss der Arbeiten an die Kommune zur weiteren Sachbearbeitung abgeben. In diesem Fall wäre es nicht ratsam, das gesamte Eigentum der Kommune an Flurstücken nach außen abzugeben. Dies entspräche einer umfangreichen Liegenschaftsauskunft. Die nachträgliche Einschätzung der Eigentumsverhältnisse kann durch einen zweckdienlichen, topologischen Verschnitt im GIS erfolgen. Zunächst müssten alle Baumstandorte ins GIS eingelesen werden. Anschließend wären nur die Baumstandorte zu selektieren, die sich auf öffentlichen Flurstücken befinden (siehe Abbildung 32). Diese Selektion wäre in einem abschließenden Schritt im Baumkataster als Menge der öffentlichen Baumstandorte zu behandeln.



Abbildung 32. Bäume auf öffentlichen Flurstücken  
(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume).

### 3.2.1.4. Übergabe der Baumstandorte an das GIS

Nachdem die Standorte der öffentlichen Bäume erhoben wurden, konnte der Aufbau des Baumkatasters im GIS beginnen. Die gemessenen Baumstandpunkte wurden in der photogrammetrischen Auswertungssoftware als Punktmessungen im Raum dargestellt. In der Übersichtskarte konnte eine grobe räumliche Einordnung der Messungen erfolgen (siehe Abbildung 33).

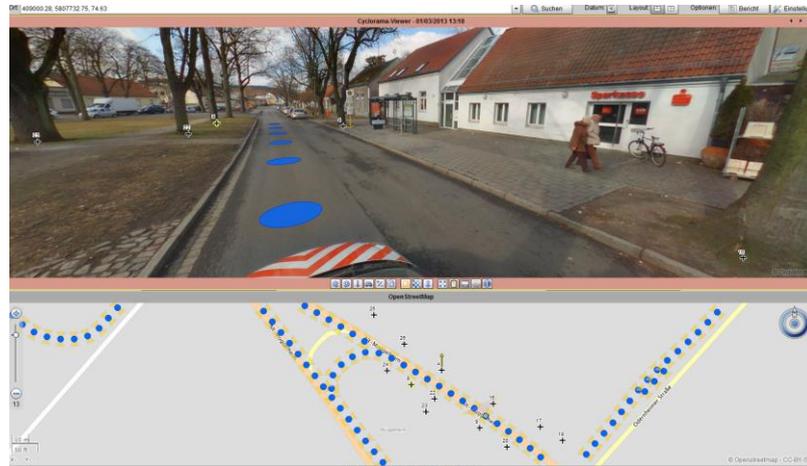


Abbildung 33. Visualisierung von Baumstandorten in der photogrammetrischen Auswertungssoftware (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Die Z-Koordinate der Höhe wurde im GIS nicht berücksichtigt. Die Höhe des Baumstandpunktes ist keine relevante Information. In der Praxis wird eine Visualisierung der Baumstandorte als punkthafte Symbole in der Ebene gefordert. Die Koordinaten der Baumstandorte wurden im GIS eingesetzt, um einen Layer der Baumstandorte zu erstellen (siehe Abbildung 34).

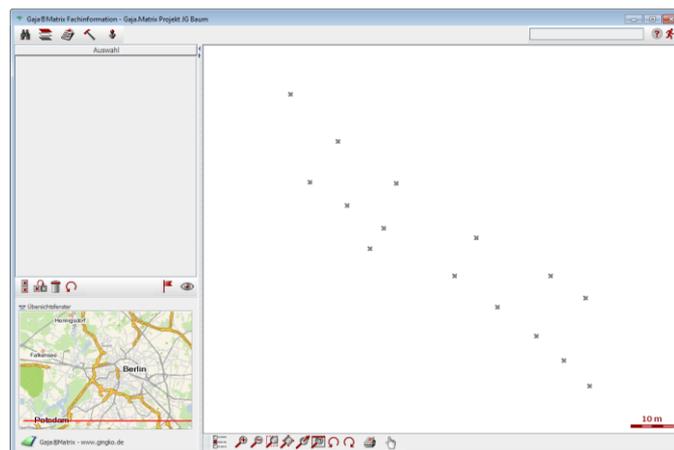
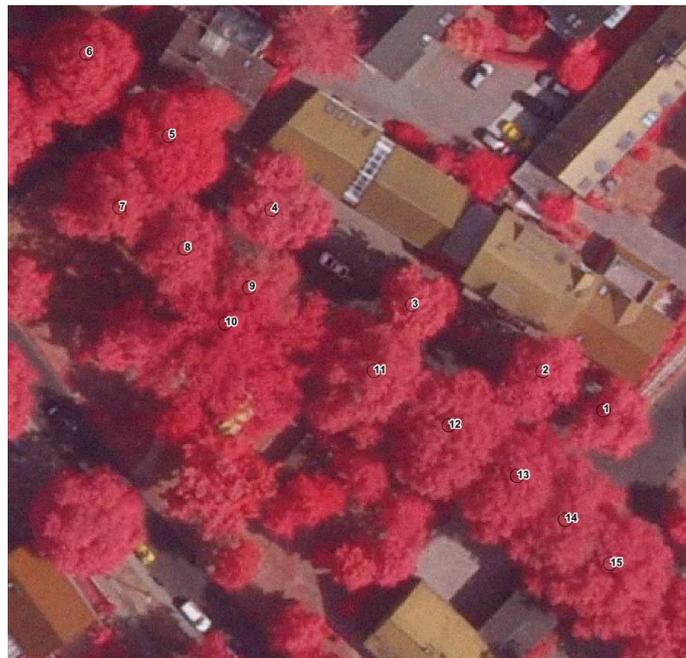


Abbildung 34. Visualisierung der Baumstandorte im GIS (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).

Die auf Basis der terrestrischen Panoramaaufnahmen ermittelten Baumstandorte waren geeignet, um eine Karte der Baumstandorte zu erstellen. Die photogrammetrische Auswertungssoftware wies jeder Messung automatisch eine eindeutige Messnummer zu. Im Rahmen der Erstdatenerhebung wurden neben dem Baumstandpunkt noch weitere

Baummerkmale aufgenommen. Jedem Baum mussten aus diesem Grund mehrere Messungen mit eindeutigen Messnummern zugeordnet werden. Eine Zuordnung mehrerer Messergebnisse wurde durch Vereinbarung einer eindeutigen Baumnummer ermöglicht. Die Vergabe der eindeutigen Baumnummer erfolgte im Rahmen der Datenübernahme direkt im raumbezogenen Baumkataster. Die Baumnummern wurden grafisch in der Karte der Baumstandorte dargestellt. Die Visualisierung der Baumnummer erwies sich als hilfreiches grafisches Orientierungskriterium mit Blick auf die praktische Arbeit mit dem Baumkataster (siehe Abbildung 35).

Zur Einschätzung der Qualität der ermittelten Baumstandorte wurden Luftbilder in den Hintergrund der Baumkarte geblendet.



*Abbildung 35. Baumstandorte mit Orthofoto im Hintergrund  
(Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix); Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).*

Die Landesvermessung Berlin veröffentlichte in der GDI-DE Color Infrarot (CIR) Orthofotos vom Betrachtungsbereich. CIR Orthofotos stellen den Infrarotwellenbereich dar. Vegetation erscheint dort rötlich. Auf diesen Orthofotos zeichnet sich Vegetation entsprechend deutlicher ab als auf Orthofotos, welche den für den Menschen sichtbaren elektromagnetischen Wellenbereich darstellen (Bill und Zehner 2001, S. 42). Die CIR20DOP standen per WMS in der GDI-DE als georeferenziertes Datenangebot im Lagebezugssystem ETRS89 zur Verfügung. Durch die einheitliche Verwendung des Lagebezugssystems ETRS89 konnten beide Layer ohne Koordinatentransformation durch Überlagerung in räumlichen Bezug zueinander gesetzt werden.

Die Sichtprüfung ergab teilweise deutliche Abweichungen zwischen den auf Grundlage der terrestrischen Aufnahmen kartierten Baumstandorte und den geschätzten Schwerpunkten der Baumkronenflächen auf Grundlage der Orthofotos. Wie auf

Abbildung 35 zu sehen ist, betrifft dies die Bäume mit den Baumnummern 1, 6, 7, 11 und 15. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhangs zeigt Abbildung 36 die Bäume mit den Messpunkten 1 und 7 in der Seitenansicht. Die Baumkronen wurden jeweils mit einem Baumkronenschema überlagert, welches die Kronenhöhe und der Kronenbreite als grünes Viereck dargestellt. Der ermittelte Baumstandpunkt wurde als rote Vertikallinie hervorgehoben. Die Abweichung des Baumstandpunktes vom Kronenschwerpunkt ist deutlich zu sehen.

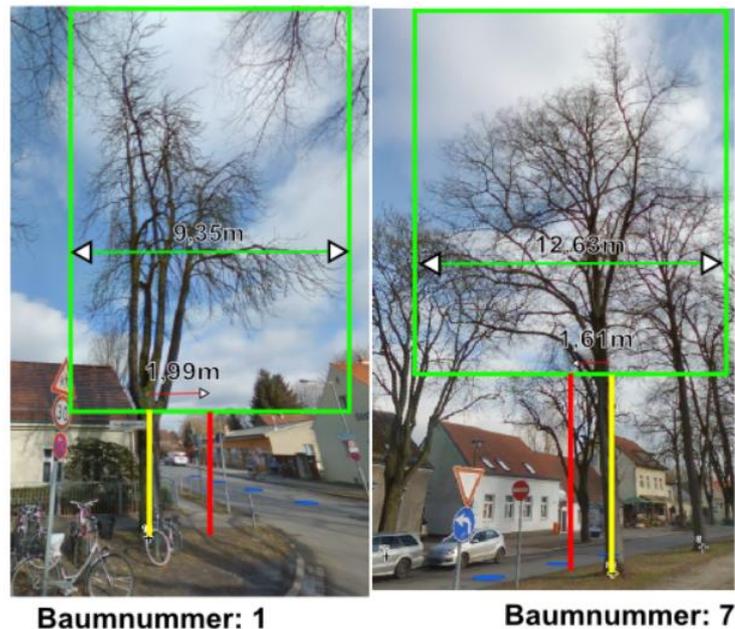


Abbildung 36. Ergebnisvergleich ermittelte Baumstandorte (rot: Baumstandort auf Grundlage des Kronenschwerpunktes; gelb: Baumstandort auf Grundlage des Standflächenschwerpunktes) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

In Abbildung 36 und Abbildung 37 ist der Kronendurchmesser für die Bäume 1 und 7 abgetragen. Die Genauigkeitsverbesserung beträgt für den Baum 1 ungefähr 1,99m bei einem seitlichen Kronendurchmesser von 9,35m. Für den Baum sieben beträgt die Verbesserung ungefähr 1,61m bei einem seitlichen Kronendurchmesser von 12,63m. Auf 10m Kronendurchmesser normiert entspricht dies einer Abweichung von ca. 1,7m.

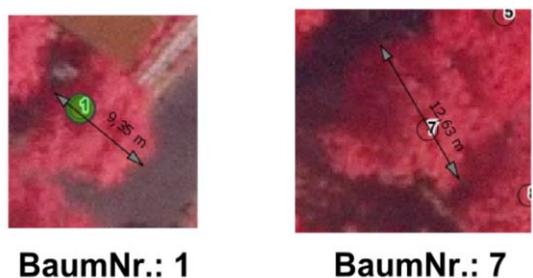


Abbildung 37. Messung Kronendurchmesser auf CIR20DOP (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).

Im Rahmen der Prüfung wurde deutlich, dass die Bäume mit den Baumnummern 9 und 10 sehr dicht standen (siehe Abbildung 35 in Verbindung mit Abbildung 38). Baum 10 (Bildmesspunkt 23) überdeckt Baum 9 (Bildmesspunkt 22). Die Standortbestimmung auf Grundlage von einem Luftbild war bei derartigen Konstellationen deutlich erschwert.



Abbildung 38. Baum 10 (Bildmesspunkt 23) überdeckt Baum 9 (Bildmesspunkt 22)  
(CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Abbildung 38 stellt einen dichten Baumbestand aus terrestrischer Perspektive dar. Die Bestimmung der Baumstandpunkte auf Grundlage der terrestrischen Aufnahmen war unabhängig von der Kronenüberdeckung möglich.

#### 3.2.1.5. *Übergabe der Baumstandorte an photogrammetrische Auswertungssoftware per WFS*

Im GIS erfolgte die Speicherung und Laufendhaltung der Baumdaten im Baumkataster. Die Photogrammetriesoftware wurde zur Erhebung von Baummerkmalen genutzt. Hieraus ergab sich ein Zuordnungsproblem. Die Baumabbildung auf einer terrestrischen Aufnahme musste einem Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden. Nur so können Messungen am Baum einem Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden.

Durch Abgabe und Visualisierung des Baumstandortes mit Baumnummer an die photogrammetrische Auswertungssoftware konnte eine solche Zuordnung etabliert werden. Die Realisierung erfolgte durch Veröffentlichung der im GIS gespeicherten Baumstandort mit Baumnummer per Web Feature Service (WFS) in der GDI-DE und anschließender Einbindung dieses WFS in die photogrammetrische Auswertungssoftware.



Abbildung 39. Darstellung Baumstandpunkt mit Baumnummer per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter); Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).

Durch die Abgabe von Baumstandort und Baumnummer an die photogrammetrische Auswertungssoftware wurde der Workflow von Datenerhebung und Datenspeicherung vervollständigt. Im Rahmen der Erhebung weiterer Baummerkmale stand damit eine Möglichkeit zur Verfügung, Messungen in Panoramaaufnahmen über die Baumnummer einem Baumdatensatz im GIS zuzuordnen.

### 3.2.2. Baumhöhe (H)

Die Baumhöhe ist ein grundlegendes Baummerkmal. Sie wird vom Fachkundigen neben anderen Baummerkmalen als Eingangsgröße zur Begutachtung des Baumzustandes herangezogen (Mattheck 2007, S. 2–3; Büttner 2004, S. 16–17; Siewniak und Kusche 2002, S. 23–24). Eine Erhebung im Rahmen des Baumkatasteraufbaus war angezeigt.

Die Bestimmung der Baumhöhe erfolgte in der Software zur Auswertung der terrestrischen Aufnahmen. Dazu musste der Baum des Interesses zunächst geeignet in der Auswertungssoftware eingestellt werden. Die konkrete Messung erfolgte durch Linienmessung. Hierbei mussten der höchste Baumpunkt und der Baumstandpunkt durch Finden von jeweils zwei homologen Bildpunkten definiert werden (Siewniak und Kusche 2002, S. 23; Göthel 25.03.2014). Die Ermittlung des Baumstandpunktes erfolgte entsprechend der gefundenen Erkenntnisse wie im Kapitel 3.2.1.2 dargestellt. Die Ermittlung des höchsten Baumpunktes ist qualitativ von verschiedenen Faktoren abhängig. Ein wichtiger Faktor ist die Grundform der Baumkrone. Bei Nadelbäumen läuft die Krone spitz zu (siehe Abbildung 40). Bei Laubbäumen läuft die Krone halbellipsoid zu (siehe Abbildung 41). Speziellere Formen, wie die offene oder die geschlossene Form (Siewniak und Kusche 2002, S. 20–24), wurden nicht berücksichtigt.

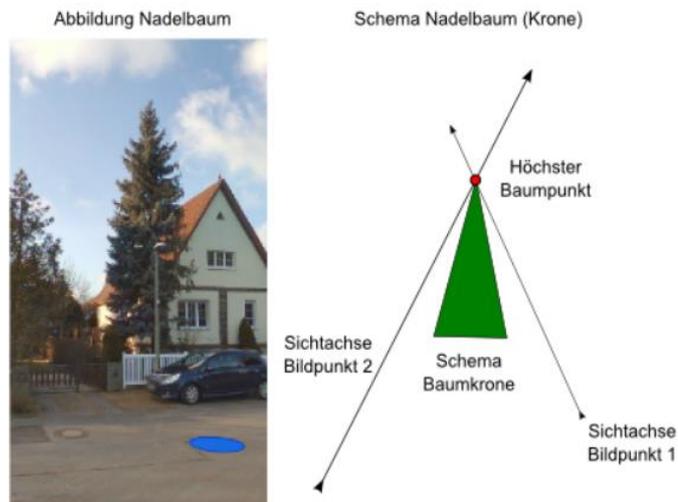


Abbildung 40. Schema einer Baumkrone (Nadelbaum) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Der höchste Punkt eines Nadelbaums ist von verschiedenen Seiten vom erdfesten Standpunkt aus direkt sichtbar. Durch die spitz zulaufende Grundform lagen damit gute Bedingungen zum Finden eines homologen Bildpunktpaars vor (siehe Abbildung 40).

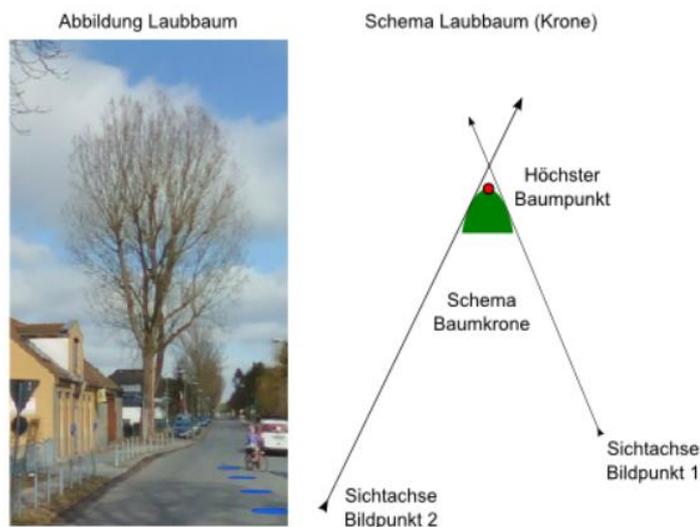


Abbildung 41. Schema einer Baumkrone (Laubbaum) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Der höchste Punkt eines Laubbaums ist nicht von verschiedenen Seiten vom erdfesten Standpunkt aus direkt sichtbar. Durch die Grundform eines Halbellipsoids ist der höchste Punkt für den Beobachter vom erdfesten Standpunkt aus verdeckt (siehe Abbildung 41). Zur Ermittlung des höchsten Punktes kam eine konstruktive Lösung oder eine gute Schätzung in Frage. Da Bäume lebende Wesen sind, die auf keinem Fall absolut ebenmäßig wachsen, erschien eine konstruktive Lösung nicht zweckmäßig. Faktoren wie Schiefstand oder Wind beeinflussen die Hilfsmesspunkte. So würde durch eine aufwändige Konstruktivlösung der Eindruck einer nicht vorhandenen Genauigkeit entstehen. Ein Lösungsweg zur Gewinnung einer Näherungslösung konnte durch Berücksichtigung grundlegender Zusammenhänge etabliert werden. Wichtige

Zusammenhänge sind die Entfernung des Aufnahmezentrums zum Baum und der Belaubungszustand. Im unbelaubten Zustand ist der höchste Laubbaumpunkt nicht durch Laub verdeckt. Die Wahrscheinlichkeit, ein homologes Bildpunktpaar in direkter Messung zu finden, war bei unbelaubten Baumabbildungen im Gegensatz zu belaubten Baumabbildungen möglich. Außerdem musste die Entfernung des Baumes zum Aufnahmezentrum berücksichtigt werden. Bei geringer Entfernung, zum Beispiel bei Einsatz der nächstgelegenen Aufnahme, verstärkte sich der verdeckende Effekt des Blätterdachs. Mit steigender Entfernung des Aufnahmezentrums vom Baumstandort schwächt sich der verdeckende Effekt des Blätterdachs ab. In der studierten, einschlägigen Fachliteratur wurde der Effekt des verdeckten höchsten Baumpunktes vernachlässigt (Mattheck 2007, S. 8). Bei Testmessungen mit verdecktem höchsten Baumpunkt erfolgte eine Näherungsbestimmung durch Schätzpeilung. Abbildung 42 zeigt die homologen Bildpunkte des Baumstandpunktes und des höchsten Baumpunktes. Auf Grundlage der Koordinaten dieser Punkte ermittelte die photogrammetrische Auswertungssoftware die Länge der verbindenden Linie. Das Ergebnis wurde direkt in den Aufnahmeausschnitt projiziert, wie auf Abbildung 42 zu sehen ist.

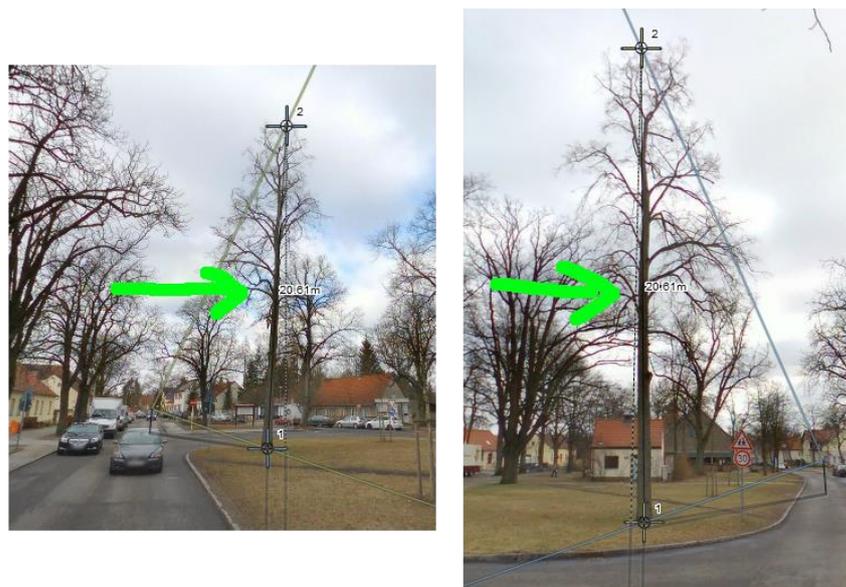


Abbildung 42. Messung der Baumhöhe durch Stereobildauswertung (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Durch die aus dem GIS per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebundene Baumnummer am Baumstandpunkt (siehe Kapitel 3.2.1.5) konnten die Höhenmessungen einem bestehenden Sachdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden. Eingabe und Speicherung der ermittelten Baumhöhe erfolgte dann direkt in die Sachdatenmaske des Baumkatasters.

### 3.2.3. Kronenansatz ( $K_A$ )

Ein weiteres, wichtiges Merkmal zur Beschreibung eines Baumes ist die Höhe des Kronenansatzes. Die Kronenansatzhöhe ist für den Baumsachverständigen ein grundlegendes Merkmal zur Einschätzung eines Baumes aber auch ein wichtiger Hinweis zur Abschätzung des Versagensrisikos eines Baumes. Das Versagensrisiko beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum aufgrund seiner schwachen Statik umstürzt (Siewniak und Kusche 2002, S. 23; Mattheck 2007, S. 4–6).

Der Kronenansatz beschreibt die Höhe am Stamm, an der sich das zusammenhängende Verzweigungsgerüst aus Ästen und Zweigen beginnt aufzuspannen. Einzelne Austriebe unterhalb der Krone bleiben unberücksichtigt (Siewniak und Kusche 2002, S. 20–21; Göthel 25.03.2014). Die Höhe des Kronenansatzes wurde ebenso wie die Baumhöhe in der photogrammetrischen Auswertungssoftware erfasst. Zur praktischen Ermittlung musste eine Linienmessung vom Baumstandpunkt bis zum Kronenansatz durchgeführt werden. Entsprechende homologe Bildpunkte mussten zur Stereobildauswertung gefunden werden. Der Baumstandpunkt wurde entsprechend der Erkenntnisse des Kapitels 3.2.1.2 ermittelt. Der Kronenansatz war auf allen terrestrischen Aufnahmen gut zu erkennen. Einzelaustriebe wurde nicht berücksichtigt. Wie Abbildung 43 zeigt, wurde der Kronenansatz auf zwei Aufnahmen eingestellt. Hierfür wurde auf beiden Aufnahmen der verdeckte Schwerpunkt des Stammquerschnitts näherungsweise angepeilt.



Abbildung 43. Ermittlung der Kronenansatzhöhe durch Stereobildauswertung (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Auf Grundlage der Baumhöhe (siehe Kapitel 3.2.2) und des Kronenansatzes konnte rechnerisch auch die Kronenansatzhöhe ermittelt werden. Die Kronenansatzhöhe ergibt sich aus dem Abstand von Kronenansatz bis zum höchsten Baumpunkt. Die Kronenansatzhöhe kann alternativ auch durch direkte Messung ermittelt werden (Siewniak und Kusche 2002, S. 23).

Durch die aus dem GIS per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebundene Baumnummer am Baumstandpunkt (siehe Kapitel 3.2.1.5) konnten die Messergebnisse einem bestehenden Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden.

Eingabe und Speicherung des ermittelten Kronenansatzes erfolgte nach Aufruf des passenden Baumdatensatzes direkt in die Sachdatenmaske des Baumkatasters.

#### 3.2.4. Stammdurchmesser (D) / Stammumfang

Der Stammdurchmesser ist ein weiteres wichtiges Kriterium zur grundsätzlichen Beschreibung eines Baumes. Im Speziellen ist er ein wichtiger Hinweis für den Baumsachverständigen zur Bewertung der Standfestigkeit eines Baumes. Der Stammdurchmesser wird im kommunalen Bereich typischerweise auf einer Höhe von einem Meter von der Erdoberfläche gemessen (Klug et al. 2000, S. 170). Durch eine Hilfsmessung konnte diese Höhe auf den terrestrischen Aufnahmen eingestellt werden (siehe Abbildung 44). Die Hilfsmessung wurde im Bereich des verdeckten Stammkerns angebracht. Der untere Punkt der Hilfsmessung wurde nach dem Prinzip des Baumstandpunktes, wie unter Kapitel 3.2.1.2 dargestellt, ermittelt. Der obere Punkt musste im verdeckten Schwerpunkt der Querschnittsfläche auf einem Meter Höhe angebracht werden. Bei der Einstellung des oberen Punktes muss auf den beiden Aufnahmen die Baumstammmitte auf einem Meter Höhe geschätzt werden. Lag eine kleine Abweichung von bis zu 3 Zentimetern vor, wurde keine Korrektur der Hilfsmessung vorgenommen. Betrug die Abweichung der Hilfsmessung mehr als 3 cm, so wurde die Messung korrigiert.



Abbildung 44. Darstellung der Höhe von 1 Meter ab Erdoberfläche (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Die Messung des Stammdurchmessers durch Stereobildauswertung auf terrestrischen Aufnahmen gestaltete sich als nicht trivial. Der Stammquerschnitt auf einem Meter Höhe folgt in einer schematischen Darstellung einer Kreisform. Dadurch ist es unmöglich, für zwei gegenüberliegende Objektpunkte am Rand der Querschnittsfläche zwei homologe Bildpunkte zu finden (siehe Abbildung 45). Ein Bildpunkt ist immer verdeckt. Auf der Messachse 2A kann der Objektpunkt 2 nicht direkt eingestellt werden.

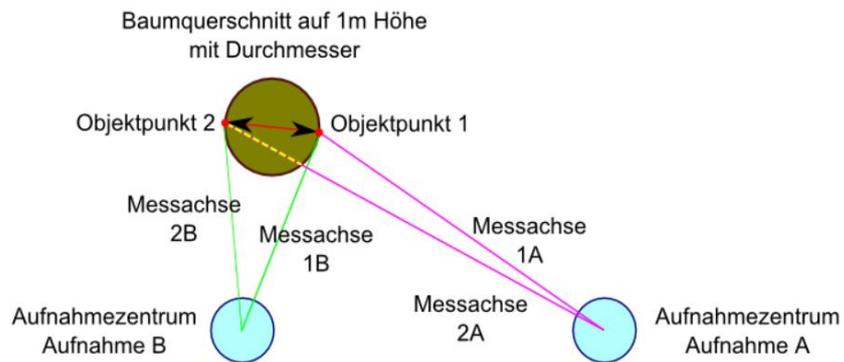


Abbildung 45. Objekt 2 ist vom Aufnahmezentrum A aus verdeckt.

Dieses Problem konnte durch Berücksichtigung folgender Rahmenbedingung näherungsweise gelöst werden. Zunächst mussten Aufnahmen für die Messung ausgewählt werden, deren Aufnahmezentren in einem Winkel von annähernd  $90^\circ$  zum Baumquerschnitt angeordnet waren (siehe Abbildung 46).

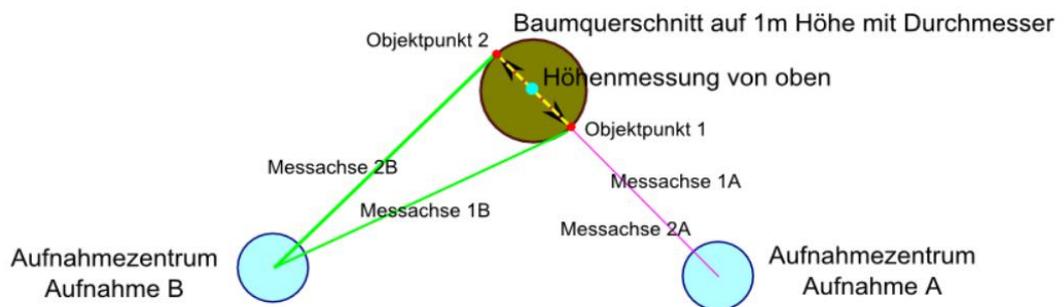


Abbildung 46. Messachse 1A und 2A überlagern sich.

Abbildung 46 verdeutlicht die Hilfsmessung der Höhe (1m) als Punkt im Schwerpunkt des Baumquerschnitts. Dieser Punkt dient als Orientierungshilfe für die Platzierung der Messung. In der praktischen Anwendung musste der fragliche Baum auf zwei Aufnahmen eingestellt werden. Wie Abbildung 47 verdeutlicht, wurden Aufnahmen ausgewählt, deren Aufnahmezentren ausgehend vom Baumstandpunkt annähernd im rechten Winkel zueinander lagen.

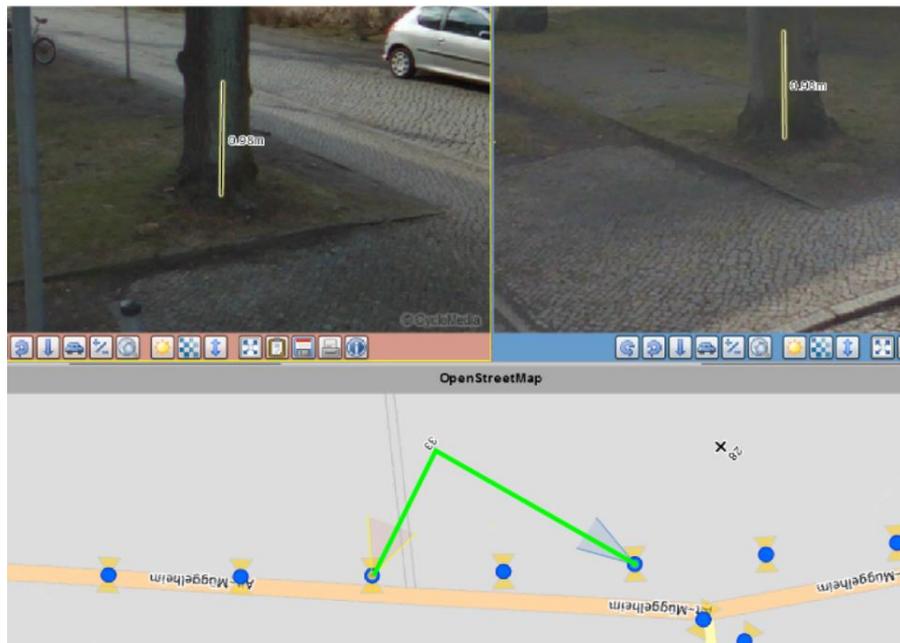


Abbildung 47. Die Aufnahmezentren der herangezogenen Aufnahmen sind annähernd im rechten Winkel zum Baumstandpunkt (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Die Bildmessung erfolgte heuristisch in zwei Schritten. Im ersten Schritt wurde die Baumstammbreite auf einem Meter Höhe angetragen (siehe Abbildung 48). Mit Hilfe des Passkreuzes als Bildplatzierungshilfe konnte die Zielhöhe durch Orientierung an der Hilfsmessung gut eingestellt werden. Im Schritt 2 mussten die in der ersten Aufnahme eingestellten Objektpunkte ebenfalls eingestellt werden. Hier erfolgte erneut eine Orientierung an der Hilfsmessung zur Zielhöhe. Der höchste Punkt der Hilfsmessung musste sich im Schwerpunkt des Baumquerschnitts befinden. Wie Abbildung 46 zeigt, überlagerten sich die Bildpunkte auf der eingestellten Höhe von einem Meter. Diese Überlagerung musste für die vertikale Ausrichtung in der Baumstammmitte eingestellt werden. Die horizontale Lücke ergab sich durch den Höhenunterschied von Aufnahmezentrum und Stammquerschnitt auf einem Meter Höhe. Das Aufnahmezentrum befand sich auf einer Höhe von 2,2m (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Schritt 2



Schritt 1

Abbildung 48. Heuristische Messung des Stammdurchmessers (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Durch die aus dem GIS per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebundene Baumnummer am Baumstandpunkt (siehe Kapitel 3.2.1.5) konnte das Ergebnis der Messung einem bestehenden Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden. Eingabe und Speicherung des ermittelten Stammdurchmessers erfolgte nach Aufruf des passenden Baumdatensatzes direkt in die Sachdatenmaske des Baumkatasters.

### 3.2.5. Kronendurchmesser( $K_D$ )

Der Kronendurchmesser ist für den Baumsachverständigen eine wichtige Information zur grundsätzlichen Einordnung eines Baumes. Auf Grundlage des Kronendurchmessers kann der Baumsachverständige zum Beispiel Rückschluss auf die Baumlebensphase ziehen. Beim Aufbau des Baumkatasters ist die Erhebung des Kronendurchmessers im Sinne eines grundlegenden Baummerkmals angezeigt (Siewniak und Kusche 2002, S. 241). Der Kronendurchmesser eines Baumes beschreibt die horizontal breiteste Stelle des zusammenhängenden Verzweigungsgerüsts aus Ästen und Zweigen (Siewniak und Kusche 2002, S. 23). In der Realität treten diverse ungleichmäßige Kronenformen auf. Die Berücksichtigung von Sonderfällen wird hier nicht vorgenommen. Die von oben betrachtete Grundfläche wird als Ellipse angenommen (siehe Abbildung 49).

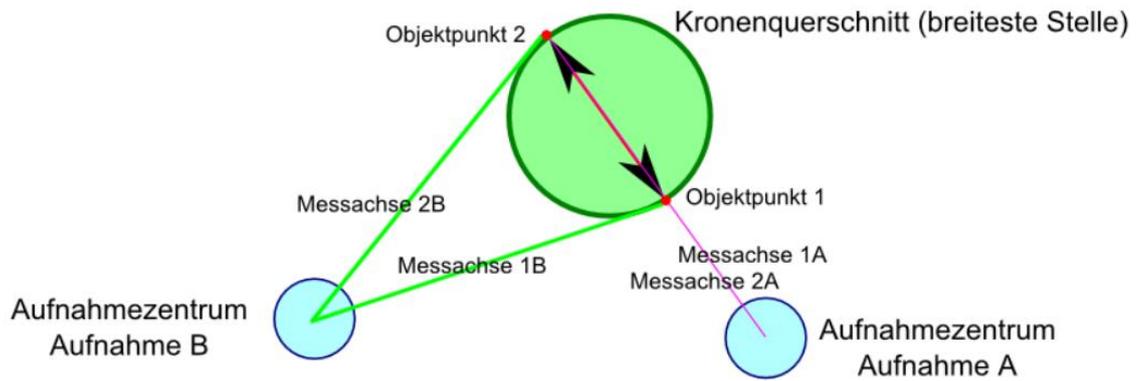


Abbildung 49. Messschema Kronendurchmesser.

Im Vergleich zur Messung des Stammdurchmessers musste keine Höhenrestriktion berücksichtigt werden. Die Messung des Kronendurchmessers erfolgte in einem Zweistufigen Verfahren. Als Voraussetzung mussten die herangezogenen Aufnahmen so ausgewählt werden, dass die Aufnahmezentren näherungsweise im rechten Winkel zum Schwerpunkt des Kronenquerschnitts angeordnet waren (siehe Abbildung 47). Wie Abbildung 49 verdeutlicht, bot sich diese Konstellation an, weil sich hierdurch die Messachsen der seitlichen Aufnahme (hier Aufnahme A) auf einer vertikalen Ebene überlagern. Diese vertikale Ebene konnte in Aufnahme B durch näherungsweise Anpeilen des Kronenschwerpunktes eingestellt werden.

In der praktischen Umsetzung mussten zunächst zwei geeignete Aufnahmen eingestellt werden (siehe Abbildung 50). Hierfür wurde die Raumposition zunächst in der Übersichtskarte eingestellt. Hier wurde näherungsweise der bereits ermittelte Standpunkt zum Einstellen des rechten Winkels verwendet. Seitlich entlang des Baumstandpunktes sind die Aufnahmezentren der Aufnahmen in einem Abstand von jeweils 5 Metern angeordnet. Hier wurden näherungsweise zwei Aufnahmen gewählt um den rechten Winkel wie in Abbildung 50 abgebildet einzustellen.



Abbildung 50. Aufnahmezentren der Aufnahmen befinden sich näherungsweise im rechten Winkel zum Baumstandpunkt (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Im ersten Schritt der Messung wurde eine Aufnahme als Frontalansicht gewählt. Hier musste die seitlichen Begrenzungen der Baumkrone abgetragen werden. Der erste

Bildpunkt legte die Höhenebene der Messung fest (siehe Abbildung 51 Bildpunkt 1). Dieser Bildpunkt musste einen seitlichen Extrempunkt der Kronenbreite beschreiben. Der zweite Messpunkt sollte sich näherungsweise auf der Höhe des ersten Bildpunktes befinden, da der Kronendurchmesser die auf einer horizontalen Achse abgetragene Breite darstellt. Die Orientierung der Höhe konnte mit Hilfe des Passkreuzes erfolgen. Die breiteste Stelle auf der gegenüberliegenden Seite des ersten Bildpunktes konnte nun über die vertikale Orientierungshilfe eingestellt werden (siehe Abbildung 51 auf Bildpunkt 2).



Abbildung 51. Abtragen der Kronenbreite (Frontalansicht)(CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Der zweite Schritt der Messung erfolgte auf der zweiten Aufnahme. Die zweite Aufnahme repräsentierte die Seitenansicht (siehe Abbildung 52). Das Festlegen der Bildpunkte erfolgte heuristisch durch Schätzung der Schnittpunkte von Vertikalachse des Kronenschwerpunktes mit den Sichtachsen aus Schritt eins. Die theoretische Position der Sichtachsen aus Schritt 1 auf der Vertikalachse des Kronenschwerpunktes in Schritt 2 ergab sich durch die annähernd rechtwinklige Anordnung der Aufnahmen zum Baum. Der Höhenversatz der Bildpunkte resultierte aus der Differenz zwischen der Höhe der Aufnahmezentren und der Höhe des betrachteten Kronenquerschnitts.



Abbildung 52. Abtragen der Kronenbreite (Seitenansicht) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter))

Das Ergebnis der Messung wurde von der photogrammetrischen Auswertungssoftware direkt in den Aufnahmeausschnitt projiziert (siehe Abbildung 53).



Abbildung 53. Ergebnisdarstellung (4,66m) der Messung des Kronendurchmessers (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Durch die aus dem GIS per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebundene Baumnummer am Baumstandpunkt (siehe Kapitel 3.2.1.5) konnten die Messergebnisse einem bestehenden Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden. Eingabe und Speicherung des ermittelten Kronendurchmessers erfolgte nach Aufruf des passenden Baumdatensatzes direkt in die Sachdatenmaske des Baumkatasters.

Der Kronendurchmesser bietet sich zur Visualisierung in der Karte mit Hilfe von GIS-Funktionalität an (siehe Abbildung 54). Er vermittelt in der zweidimensionalen Kartenansicht einen vereinfachten, aber gut interpretierbaren Eindruck der tatsächlichen Gegebenheiten des Kronendurchmessers.

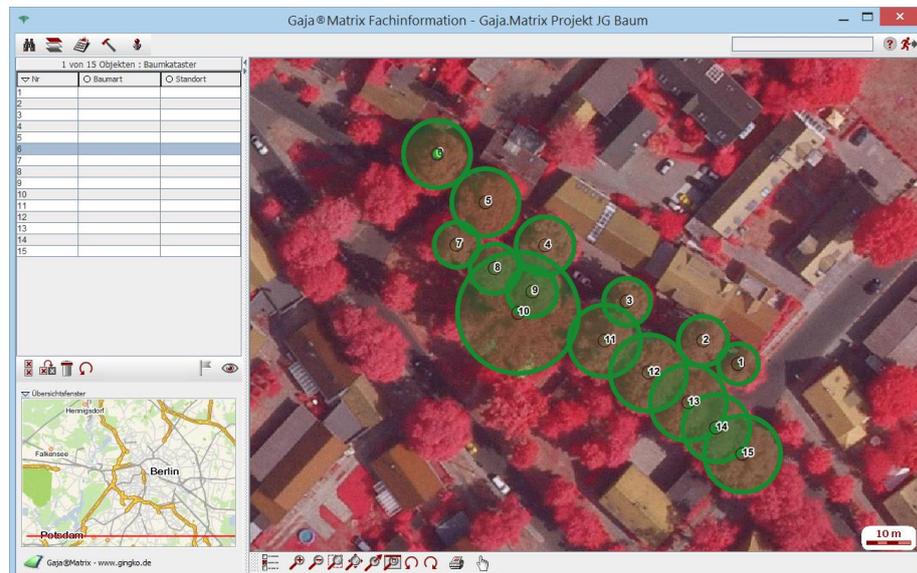


Abbildung 54. Visualisierung des Kronendurchmessers (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).

### 3.2.6. Schlankheit (H/D Wert)

Eine wichtige Kennzahl zur ersten Einschätzung des Versagensrisikos ist die Schlankheit des Baumes. Die Schlankheit beschreibt das Verhältnis von Stammdurchmesser zu Baumhöhe. Das Versagensrisiko beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum umstürzt (Mattheck 2007, S. 3–5). Potenziell umstürzende Bäume sind eine Gefährdung der Verkehrssicherheit. Aus diesem Grund ist die Erhebung der Merkmale zur Berechnung der Schlankheit im Rahmen des Aufbaus eines Baumkatasters sinnvoll.

Der Schlankheitsgrad ergibt sich durch Division der Baumhöhe (H) durch den Stammdurchmesser (D) (Mattheck 2007, S. 4).

$$\text{Schlankheitsgrad} = \frac{H}{D}$$

Baumhöhe und Stammdurchmesser konnten durch Auswertung der terrestrischen Aufnahmen, wie unter Kapitel 3.2.2 und unter Kapitel 3.2.4 nachgewiesen, erhoben werden. Die rechnerische Bestimmung des Schlankheitsgrades erfolgte im GIS unter Heranziehung der genannten Merkmalsausprägungen. Der Schlankheitsgrad eignet sich zur Visualisierung auf der Baumkarte des Baumkatasters. In städtischen Gebieten gelten Bäume als unkritisch, die einen Schlankheitsgrad kleiner als 50 aufweisen und damit kein kritisches Versagensrisiko aufweisen. Bäume mit einem Schlankheitsgrad von größer oder gleich 50 sind bezüglich des Versagensrisikos als kritisch einzustufen und weisen ein hohes Versagensrisiko auf.

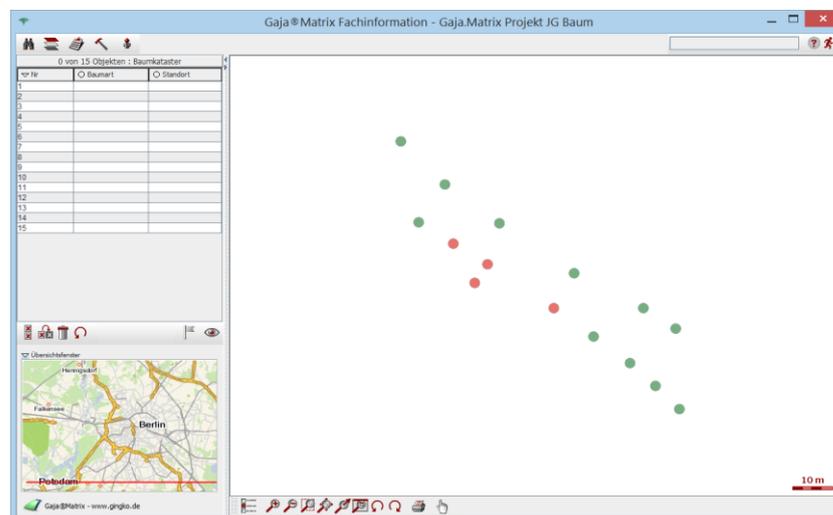


Abbildung 55. Visualisierung des Schlankheitsgrades im GIS (Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix)).

Ein Style zur Visualisierung des Schlankheitsgrades stellte diesen Zusammenhang überblicksartig dar. So bot es sich an, alle Bäume mit einem unkritischen Schlankheitsgrad als grünen Punkt darzustellen. Bäume mit einem kritischen Schlankheitsgrad wurden als roter Punkt dargestellt (siehe Abbildung 55). Diese einfache

Einteilung des Schlankheitsgrades in zwei Klassen unterstützt die grundsätzliche Unterscheidung von kritischen und unkritischen Bäumen.

### 3.2.7. Baumscheibe (Fläche)

Die Baumscheibe ist die Fläche um dem Baum, die frei von Bebauung und damit nicht versiegelt ist (Klug et al. 2000, S. 25 und 40). Da die Bodenbedingungen am Baumstandort einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Verkehrssicherheit des Baumes haben, ist die Größe der Baumscheibe ein wichtiges Kriterium beim Aufbau eines Baumkatasters. Die Bodenversiegelung beschreibt die Wasserdurchlässigkeit der Oberfläche. Eine zu kleine Baumscheibe beeinflusst die Verkehrssicherheit eines Baumes negativ. Für den Baumsachverständigen ist die Größe der Baumscheibe zur Einschätzung der relevanten Bodenversiegelung von großer Bedeutung.

In der praktischen Umsetzung musste die Baumscheibe zunächst in zwei geeigneten Aufnahmen eingestellt werden. In allen Fällen waren mindestens zwei Aufnahmen verfügbar, auf denen die gesamte Baumscheibe zu sehen war. Eine Messung der Baumscheibenfläche wurde durch die Definition geeigneter Stützpunkte realisiert (siehe Abbildung 56). Die Stützpunkte wurden so ausgewählt, dass sie näherungsweise die Fläche der Baumscheibe beschrieben. Alle erforderlichen Stützpunkte konnten direkt durch homologe Bildpaare bestimmt werden.



Abbildung 56. Messung der Fläche der Baumscheibe (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Durch die aus dem GIS per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebundene Baumnummer am Baumstandpunkt (siehe Kapitel 3.2.1.5) konnten die Messungen einem bestehenden Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden. Eingabe und Speicherung der ermittelten Fläche der Baumscheibe erfolgte nach Aufruf des passenden Baumdatensatzes direkt in die Sachdatenmaske des Baumkatasters.

Zur Gewinnung von Vergleichswerten wurden ausgewählte Baumscheiben vor Ort vermessen. Hierfür wurde die Komplexität der Fläche zweckdienlich reduziert, indem eine Vereinfachung oder Zerlegung in geometrische Grundformen wie Kreis, Rechtecke oder Dreiecke erfolgte.

### 3.3. Erhebung weiterer Merkmale

Neben geometrischen Merkmalen können auf den terrestrischen Aufnahmen auch fachspezifische Merkmale erhoben werden. Die Bestimmung der Ausprägung fachspezifischer Baummerkmale erfordert eine fundierte Fachkenntnis. Durch eine Expertenbefragung wurde die Auswertbarkeit der Aufnahmen mit Blick auf derartige Baummerkmale getestet. Hierzu wurden zwei Bildserien erstellt und dem Fachkundigen im Rahmen eines Experteninterviews vorgelegt (Göthel 25.03.2014). Die Bildserien sind im Anhang beigefügt (siehe Bildserie 1 als Grundlage für Expertenbefragung ab Seite X und Bildserie 2 als Grundlage für Expertenbefragung ab Seite XVIII).

#### 3.3.1. Baumart und Baumgattung

Die Kenntnis der Baumgattung und der Baumart ist essenziell für die Beurteilung eines Baumes. Jede Baumart weist charakteristische Eigenschaften und Eigenheiten auf, die mit Blick auf die Verkehrssicherungspflicht berücksichtigt werden müssen (Büttner 2004, S. 16; Mattheck 2007, S. 156–157). Die Bestimmung von Baumgattung und Baumart ist für den Aufbau eines Baumkatasters unerlässlich.

Zur Bestimmung von Baumgattung und Baumart wurden dem Sachverständigen zunächst Gesamtabbildungen der Testbäume zur Beurteilung der Wuchsform präsentiert (siehe Bildserie 1 als Grundlage für Expertenbefragung auf Seite X). Jede Baumart bzw. Baumgattung prägt spezifische Wuchsformen aus. Nach der überblicksartigen Inaugenscheinnahme folgte die Begutachtung auf Grundlage von Detailaufnahmen (siehe Bildserie 2 als Grundlage für Expertenbefragung ab Seite XVIII). Die vorgelegten Detailaufnahmen zeigten einen Ausschnitt des Blätterdachs und einen Ausschnitt des Stammes.

Im Verlauf des Interviews zu den Gesamtabbildungen wurde deutlich, dass es auf Grundlage dieser Datengrundlage nicht möglich war, einen Baum nach Baumgattung und Baumart zu klassifizieren. Ursache für diese Einschätzung war die Baumartenvielfalt auf städtischem Gebiet, die unnatürlichen Wachstumsbedingungen auf städtischem Gebiet und insbesondere die fehlende Möglichkeit zur Begutachtung von Details zum Blatt und zur Rinde. Im Stadtgebiet werden Bäume häufig auf unnatürliche Art in ihrem natürlichen Wuchs beeinflusst. Hierunter fallen zum Beispiel Beschneidungen, die aus dem Gebäudeschutz heraus motiviert sind. Außerdem werden Bäume durch die ungünstigen Rahmenbedingungen wie städtische Bebauung in ihrem Wuchs begrenzt. Im Vergleich

zu Waldgebieten ist im Kommunalbereich die Luft- und Bodenbelastung erhöht. Typische Wuchsformen treten daher deutlich seltener auf als in einem natürlichen Bestand. Eine Klassifizierung wird außerdem erschwert, weil auf städtischem Gebiet die Menge der Bauarten unnatürlich erhöht ist. In natürlichen Baumbeständen ist eine lokaltypische Menge von Baumarten anzutreffen. Auf dem Stadtgebiet ist die Anzahl der Baumarten durch menschliches Handeln auf unnatürliche Art verändert und erhöht. Städtebauliche Zielstellungen und das Streben nach einer Verschönerung des Stadtbildes führen zur Ansiedlung untypischer Baumarten. Die/der Begutachterin/Begutachter muss auf dem Stadtgebiet folglich in einer unnatürlich großen Artenvielfalt auswählen. Schwerwiegend war das Fehlen von Details zum Blatt und zur Rinde. Ein Fachverständiger muss zur Bestimmung einer Baumart ein Blatt und die Rinde eines Baumes im Detail begutachten können. Dies war bei der gegebenen Auflösung nicht möglich (Göthel 25.03.2014; Siewniak und Kusche 2002, S. 23)

Die Detailausschnitte der Bildserie 2 zeigten einen Ausschnitt vom Blätterdach und vom Stamm bei höchst möglicher Auflösung. Auch hier reichten die Details zur Bestimmung von Baumgattung und Baumart nicht (Göthel 25.03.2014).

Im Interview wurde deutlich, dass möglicherweise bei einer deutlich höheren Auflösung eine Bestimmung von Baumart und Baumgattung gelingen kann. Insbesondere das Blatt und die Rinde müssten mit einer deutlich höheren Auflösung vorliegen (Göthel 25.03.2014).

### 3.3.2. Baumlebensphase

Jeder Baum durchläuft vom Keimling bis zum Totbaum charakteristische Lebensphasen. Die Lebensphasen werden in Abhängigkeit vom Baumalter gebildet. Jeder Baum kann in eine der Phasen Jugendphase, Reifephase oder Alterungsphase eingeordnet werden. Bäume in der Jugendphase weisen eine Standzeit von ungefähr bis zu 15 Jahren auf. Bäume, die nicht mehr in der Jugendphase sind und ungefähr bis zu 50 bis 80 Jahren Standzeit aufweisen, werden der Reifephase zugeordnet. Nach der Reifephase treten die Bäume in die Altersphase ein. Für den Baumsachverständigen ist die Kenntnis der Baumlebensphase ein wichtiges Kriterium zur Einschätzung des Risikos, dass von dem Baum Gefährdungen der Verkehrssicherheit ausgehen. Mit zunehmendem Alter weisen Bäume eine höhere Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schäden auf. Ältere Bäume müssen daher häufiger im Rahmen einer Baumkontrolle auf Hinweise zur Einschränkung der Verkehrssicherheit geprüft werden (Büttner 2004, S. 18–19). Die Erhebung der Baumlebensphase ist aus den genannten Gründen im Rahmen des Aufbaus eines Baumkatasters angezeigt.

Eine eindeutige Ermittlung des Baumalters in Jahren ist zur Bestimmung der Baumlebensphase nicht erforderlich. Das fachkundige Auge kann eine grobe Einstufung

eines Baumes in eine der drei Lebensphasen vornehmen. Hierfür wurden im Rahmen eines Experteninterviews Ausschnitte von terrestrischen Panoramaaufnahmen ausgewertet. Die Ausschnitte zeigten jeweils einzeln acht Bäume in einer Gesamtansicht. Nach Aussage des Fachkundigen ist eine Einordnung in die passende Lebensphase auf Grundlage des Bildmaterials (siehe Bildserie 1 als Grundlage für Expertenbefragung ab Seite X) möglich (Göthel 25.03.2014).

Durch die aus dem GIS per WFS in der photogrammetrischen Auswertungssoftware eingebundene Baumnummer am Baumstandpunkt (siehe Kapitel 3.2.1.5) konnten die genannte Baumlebensphase einem bestehenden Baumdatensatz im Baumkataster zugeordnet werden. Eingabe und Speicherung der ermittelten Baumlebensphase erfolgte nach Aufruf des passenden Baumdatensatzes direkt in die Sachdatenmaske des Baumkatasters.

### 3.3.3. Durchführen von Baumkontrollen und Baumuntersuchungen

Zur Einschätzung des Baumzustandes werden turnusmäßig Baumkontrollen durchgeführt. Im Rahmen einer Baumkontrolle wird ein Bündel an Baummerkmalen erhoben. Die Baumkontrolle muss durch Inaugenscheinnahme vom Boden aus und nach Möglichkeit von allen Seiten erfolgen (Baumgarten 2010, S. 48–49). Terrestrische Panoramaaufnahmen werden im Rahmen einer Mobile-Mapping-Kampagne erstellt. Die Aufnahmegерäte werden an Straßenfahrzeuge angebracht, die sich ausschließlich im öffentlichen Verkehrsraum bewegen. Dadurch entsteht ein toter Winkel auf der Objektseite, die von der Fahrbahn abgewandt ist. Aufnahmen von der straßenabgewandten Seite der Bäume liegen nicht vor. Eine visuelle Betrachtung der Bäume von allen Seiten ist daher nicht möglich. Wie die Expertenbefragung zeigte, ist die Objektauflösung zur Gewinnung von Detailinformationen mit den untersuchten Aufnahmen nicht ausreichend. Eine Bestimmung von Baumgattung und Baumart war nicht zweifelsfrei möglich. Auch die Bestimmung von Baumkrankheiten ist bei der gegebenen Auflösung nicht zweifelsfrei möglich. Augenscheinliche Krankheitssymptome, wie große und farblich auffällige Pilzkörper, können auf der Straßenseite nachgewiesen werden. (Göthel 25.03.2014). Auf der straßenabgewandten Seite bleiben auch sehr auffällige Krankheitssymptome unerkannt. Zur Einordnung vieler Baumkrankheiten ist eine Baumuntersuchung durch einen Sachverständigen vor Ort zwingend erforderlich. Hier stößt die Auswertung von terrestrischen Aufnahmen auch an eine rechtliche Grenze. Eine Baumuntersuchung erfordert eine eingehende Begutachtung des Baumzustandes mit Hilfe von Werkzeugen und speziellen Verfahren vor Ort durch einen Sachverständigen (Baumgarten 2010, S. 10; 48–49). Eine Baumuntersuchung auf Grundlage einer Aufnahme ist daher ausgeschlossen.

## 4. Ergebnisse

Im Testgebiet wurden 31 Bäume untersucht. Die Ausprägungen der angeführten Baumattribute wurden auf Grundlage terrestrischer Panoramaaufnahmen erhoben. Um Vergleichswerte zu gewinnen, wurden die gleichen Merkmale auf Grundlage einer alternativen, etablierten Datengrundlage erhoben. So wurde eine zweite Datengrundlage zum Vergleich geschaffen.

### 4.1. Baumstandorte

Die Baumstandorte wurden auf Grundlage von terrestrischen Panoramaaufnahmen ermittelt. Als Vergleichsgrundlage wurden die Baumstandorte ebenfalls auf Grundlage von digitalen Orthofotos ermittelt.



Abbildung 57. Gemessener Baumstandort auf Grundlage unterschiedlicher Datengrundlagen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin).

Tabelle 1 beinhaltet die ermittelten Abweichungen zwischen den 2 Standortmessungen je Baum in Metern.

BNr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abw. (m)	2,53	0,82	0,8	1,65	2,00	2,71	1,97	0,22	2,09	2,62

BNr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Abw. (m)	1,79	1,07	1,26	0,67	1,74	0,81	0,06	0,44	1,65	2,93

BNr.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Abw. (m)	0,46	2,42	0,54	0,39	0,64	0,36	0,50	0,31	1,79	0,77

BNr.	31									
Abw. (m)	0,97									

Tabelle 1. Abweichungen zu den ermittelten Baumstandorten.

Der Mittelwert der Abweichung betrug 1,26 m. Die minimale Abweichung betrug 0,06 m. Die maximale Abweichung betrug 2,93 m.

Bezogen auf die Testbäume war eine durchschnittliche Verbesserung der Lagegenauigkeit von 1,26 m möglich.

Zur Schaffung einer beurteilungsfähigen Kontextsituation wurden die Luftbilder mit der Liegenschaftskarte und den erhobenen Baumstandorten überlagert. Die Baumstandorte wurden mit einem Buffer von zwei Metern umgeben (siehe Abbildung 58 A).

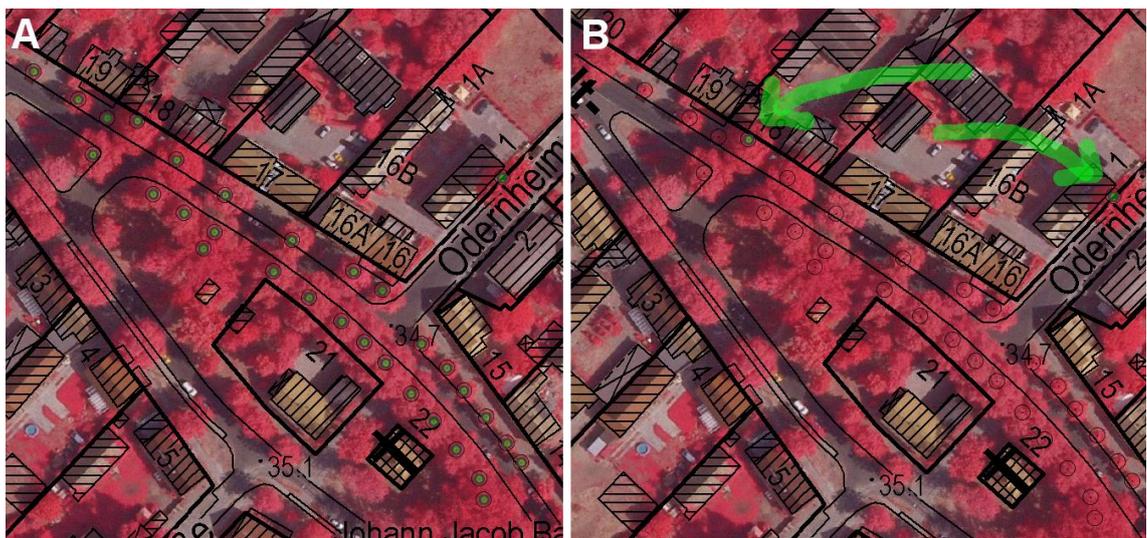


Abbildung 58. Kritische Baumstandorte (Nähe Flurstücksgrenze).

Bei 2 von 31 Testbäumen befanden sich innerhalb eines 2-Meter-Buffers Flurstücksgrenzen (siehe Abbildung 58 B). Topographische Ausgestaltungslinien (bzw. topographische Hilfslinien) wie zum Beispiel die Andeutung von Straßenflächen wurden bei der Identifizierung kritischer Baumstandorte nicht berücksichtigt.

#### 4.2. Baumhöhe

Die Baumhöhe wurde auf Grundlage von terrestrischen Panoramaaufnahmen und durch Stockpeilung vor Ort (Mattheck 2007, S. 8) ermittelt (Ergebnisse siehe Tabelle 2).

Baum Nr.	Baumhöhe in Meter		Abweichung in Meter
	Feldmessung	terr. Aufnahme	
1	25.85	18.42	7.43
2	22.15	19.21	2.94
3	24.16	19.13	5.03
4	19.83	17.90	1.93
5	15.36	16.59	1.23
6	11.41	18.35	6.94
7	33.38	23.18	10.20

8	28.52	26.48	2.04
9	25.21	22.84	2.37
10	38.77	36.20	2.57
11	24.37	28.14	3.77
12	25.74	24.34	1.40
13	21.83	23.96	2.13
14	26.46	23.03	3.43
15	30.15	23.98	6.17
16	9.69	9.27	0.42
17	6.28	5.70	0.58
18	12.46	7.68	4.78
19	15.46	20.94	5.48
20	36.92	29.27	7.65
21	28.46	27.50	0.96
22	33.17	30.97	2.20
23	12.13	9.21	2.92
24	11.78	9.80	1.98
25	9.72	9.88	0.16
26	10.89	9.21	1.68
27	10.36	8.99	1.37
28	9.84	7.09	2.75
29	23.97	25.23	1.26
30	22.53	24.85	2.32
31	23.75	20.38	3.37

*Tabelle 2. Messergebnisse zur Baumhöhe mit Abweichung.*

Der Mittelwert der Abweichung betrug 3,21 m. Die minimale Abweichung betrug 0,16 m. Die maximale Abweichung betrug 10,20 m. Die durchschnittliche Baumhöhe (Durchschnitt aus beiden Messreihen) betrug 20,13 m.

Die durchschnittliche Abweichung von 3,21 m entspricht 15,95 % von der durchschnittlichen Baumhöhe von 20,13 m.

#### 4.3. Kronenansatz

Die Höhe des Kronenansatzes wurde auf Grundlage von terrestrischen Panoramaaufnahmen ermittelt. Zur Gewinnung von Vergleichswerten wurde die Höhe des Kronenansatzes ebenfalls durch Stockpeilung vor Ort (Mattheck 2007, S. 8) ermittelt (Ergebnisse siehe Tabelle 3).

Baum Nr.	Höhe Kronenansatz in Meter		Abweichung in Meter
	Feldmessung	terr. Aufnahme	
1	2.48	3.38	0.90
2	3.10	3.62	0.52

3	8.94	7.60	1.34
4	3.35	2.45	0.90
5	2.91	3.53	0.62
6	2.98	4.32	1.34
7	5.76	6.84	1.08
8	6.81	7.95	1.14
9	3.27	2.87	0.40
10	2.03	2.59	0.56
11	5.52	5.82	0.30
12	5.88	5.17	0.71
13	6.98	5.80	1.18
14	3.78	4.14	0.36
15	2.89	4.42	1.53
16	1.36	1.80	0.44
17	1.63	1.82	0.19
18	1.86	3.05	1.19
19	1.74	4.92	3.18
20	1.98	2.32	0.34
21	3.10	3.79	0.69
22	2.14	3.29	1.15
23	2.76	3.03	0.27
24	2.08	2.22	0.14
25	2.61	2.79	0.18
26	3.49	3.94	0.45
27	1.98	2.18	0.20
28	1.64	1.70	0.06
29	3.54	3.16	0.38
30	6.35	5.64	0.71
31	5.47	5.99	0.52

*Tabelle 3. Messergebnisse zum Kronenansatz mit Abweichung.*

Der Mittelwert der Abweichung betrug 0,74 m. Die minimale Abweichung betrug 0,06 m. Die maximale Abweichung betrug 3,18 m. Der durchschnittliche Kronenansatz befand sich auf einer Höhe von 3,75 m (auf Grundlage beider Messreihen). Die Abweichung entsprach damit 23,27 % vom durchschnittlichen Kronenansatz.

#### 4.4. Stammdurchmesser

Der Stammdurchmesser wurde auf Grundlage von terrestrischen Panoramaaufnahmen gemessen. Der gemessene Stammdurchmesser wurde anschließend in den Stammumfang umgerechnet. Die Umrechnung erfolgte unter Annahme eines kreisförmigen Stammumfangs. Um eine Vergleichsdatengrundlage zu schaffen, wurde der

Stammumfang aller Testbäume außerdem vor Ort mit einem Maßband ermittelt. (Ergebnisse siehe Tabelle 4).

Baum Nr.	Stammumfang in Meter (Feldmessung)	Stammdurchmesser in Meter (terr. Aufnahme)	Stammumfang in Meter (terr. Aufnahme)	Abweichung Stammumfang in Meter
1	2	0.67	2.10	0.10
2	2.02	0.66	2.07	0.05
3	1.98	0.66	2.07	0.09
4	1.72	0.56	1.76	0.04
5	1.6	0.55	1.73	0.13
6	2.4	0.84	2.64	0.24
7	1.88	0.56	1.76	0.12
8	1.79	0.54	1.70	0.09
9	1.48	0.45	1.41	0.07
10	3.66	1.52	4.78	1.12
11	2.35	0.71	2.23	0.12
12	2.37	0.78	2.45	0.08
13	2.69	0.82	2.58	0.11
14	2.22	0.75	2.36	0.14
15	2.2	0.7	2.20	0.00
16	0.54	0.29	0.91	0.37
17	0.56	0.17	0.53	0.03
18	0.815	0.13	0.41	0.41
19	0.91	0.76	2.39	1.48
20	3.65	1.08	3.39	0.26
21	1.6	0.47	1.48	0.12
22	3.02	0.95	2.98	0.04
23	0.91	0.3	0.94	0.03
24	0.81	0.27	0.85	0.04
25	1.16	0.32	1.01	0.15
26	0.73	0.24	0.75	0.02
27	0.71	0.23	0.72	0.01
28	0.63	0.18	0.57	0.06
29	1.74	0.6	1.88	0.14
30	1.45	0.5	1.57	0.12
31	1.42	0.48	1.51	0.09

*Tabelle 4. Messergebnisse zum Stammumfang mit Abweichung.*

Der Mittelwert der Abweichung betrug 0,19 m. Die minimale Abweichung betrug 0,00 m. Die maximale Abweichung betrug 1,48 m. Der durchschnittliche Stammumfang betrug 1,75 m (auf Grundlage beider Messreihen). Die durchschnittliche Abweichung betrug damit 10,86 % vom durchschnittlichen Stammumfang.

Die Bäume 10 und 19 weisen mit einer Abweichung von über einem Meter eine deutlich höhere Abweichung als alle anderen Messergebnisse auf und wurden als Ausreißer eingestuft und ausgeschlossen. Der bereinigte Mittelwert der Abweichung betrug 0,11 Meter bei einer maximalen Abweichung von 0,41 Metern. Die durchschnittliche bereinigte Abweichung betrug damit 6,29 % vom durchschnittlichen Stammumfang.

#### 4.5. Kronendurchmesser

Der Kronendurchmesser wurde auf Grundlage von terrestrischen Panoramaaufnahmen ermittelt. Um eine Vergleichsgrundlage zu schaffen, wurde der Kronendurchmesser ebenfalls auf Grundlage von Orthofotos ermittelt (Ergebnisse siehe Tabelle 5).

Baum Nr.	Kronendurchmesser in Meter		Abweichung in Meter
	Orthofoto	terr. Aufnahme	
1	9.40	10.04	0.64
2	9.72	9.05	0.67
3	9.19	9.15	0.04
4	12.21	10.52	1.69
5	13.12	9.94	3.18
6	13.98	16.61	2.63
7	10.74	12.46	1.72
8	12.81	12.53	0.28
9	9.81	9.49	0.32
10	31.74	41.93	10.19
11	17.65	19.94	2.29
12	17.13	16.47	0.66
13	16.35	15.95	0.40
14	15.05	13.09	1.96
15	14.60	14.42	0.18
16	7.36	7.76	0.40
17	4.19	3.6	0.59
18	3.76	2.45	1.31
19	13.44	14.18	0.74
20	17.15	15.46	1.69
21	11.49	11.17	0.32
22	24.06	27.67	3.61
23	6.51	8.55	2.04
24	5.71	6.5	0.79
25	5.91	6.7	0.79
26	4.81	5.77	0.96
27	5.41	4.55	0.86
28	3.84	5.28	1.44
29	15.1	13.79	1.31

30	15.34	14.85	0.49
31	13.09	13.16	0.07

Tabelle 5. Messergebnisse zum Kronendurchmesser.

Der Mittelwert der Abweichung betrug 1,43 m. Die minimale Abweichung betrug 0,04 m. Die maximale Abweichung betrug 10,19 m.

#### 4.6. Baumscheibe

Die Fläche der Baumscheibe wurde auf Grundlage von terrestrischen Panoramaaufnahmen und durch Flächenmessung vor Ort ermittelt. Zur Gewinnung von Vergleichswerten erfolgte die Flächenermittlung vor Ort durch Messung einer vereinfachten Geometrie der Baumscheibenfläche. Die fehlenden Messwerte sind auf das Fehlen einer abgrenzbaren Baumscheibe zurückzuführen. So weisen beispielsweise Bäume mit Standort auf einer Parkwiese keine eigenständige Baumscheibe auf (Ergebnisse siehe Tabelle 6).

Baum Nr.	Baumscheibe in Quadratmeter		Abweichung in Quadratmeter
	Feldmessung	terr. Aufnahme	
1	25	24.78	0.22
2	40	43.13	3.13
3	20	16.72	3.28
4	25	23.96	1.04
5	40	40.54	0.54
6	45	39.92	5.08
7	75	69.85	5.15
8	60	64.2	4.20
9	30	32.63	2.63
10	-	-	-
11	36	40.53	4.53
12	24	21.04	2.96
13	30	28.8	1.20
14	30	29.17	0.83
15	26	24.05	1.95
16	-	-	-
17	-	-	-
18	-	-	-
19	4	3.68	0.32
20	18	16.64	1.36
21	-	-	-
22	-	-	-
23	56	50.26	5.74
24	16	14.07	1.93
25	-	-	-

26	-	-	-
27	-	-	-
28	-	-	-
29	-	-	-
30	-	-	-
31	-	-	-

Tabelle 6. Messergebnisse zur Baumscheibenfläche.

Der Mittelwert der Abweichung betrug 2,56 m<sup>2</sup>. Die minimale Abweichung betrug 0,22 m<sup>2</sup>. Die maximale Abweichung betrug 5,74 m<sup>2</sup>. Die durchschnittliche Fläche der Baumscheiben betrug 32,89 m<sup>2</sup> (auf Basis beider Messreihen). Die durchschnittliche Abweichung von der durchschnittlichen Baumscheibenfläche betrug 7,78 %.

#### 4.7. Ergebnisüberblick bestimmbarer Baummerkmale

Tabelle 7 zeigt die grundsätzliche Tauglichkeit terrestrischer Panoramaaufnahmen zur Erhebung wichtiger Baummerkmale. Außerdem ist die Auswertbarkeit der etablierten Datenquellen Orthofoto und Vorortmessung aufgeführt.

Datenquelle	Orthofoto	Terrestrische Panoramaaufnahme	Vor Ort durch Sachverständigen
Baumstandort	Ja	Ja	Ja
Baumhöhe	Nein	Ja	Ja
Kronenansatz	Nein	Ja	Ja
Stammdurchmesser	Nein	Ja	Ja
Kronendurchmesser	Ja	Ja	Ja
Schlankheitsgrad	Nein	Ja	Ja
Baumscheibe	Nein	Ja	Ja
Baumlebensphase	Nein	Ja	Ja
Baumgattung/Baumart	Nein	Nein	Ja
Baumkontrolle	Nein	Nein	Ja
Baumuntersuchung	Nein	Nein	Ja

Tabelle 7. Bestimmbarkeit von Merkmalen auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen im Vergleich zu etablierten Verfahren.

#### 4.8. Grenzen der Erhebung von Baummerkmalen

Die Erhebung von Baummerkmalen auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen stieß insbesondere im Bereich der Flächenabdeckung, der Objektauflösung und durch technische Gegebenheiten wie z.B. „tote Winkel“ an Grenzen.

Als terrestrische Trägerplattform des Aufnahmesystems wurden straßenzugelassene Kraftfahrzeuge eingesetzt. Der Aktionsraum beschränkte sich somit systembedingt auf befestigte sowie für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassene Bereiche des

Kommunalgebietes. Im Vergleich zum Orthofoto konnte das Untersuchungsgebiet auf dieser Datengrundlage nicht flächendeckend betrachtet werden. Für Kraftfahrzeuge nicht zugängliche Bereiche mit öffentlichem Baumbestand waren zum Beispiel Fußgängerzonen, Parkanlagen, Friedhöfe sowie Hinterhöfe öffentlicher Gebäudeanlagen.

Die Bildauflösung der Testpanoramaaufnahmen betrug 4800x2400 Pixel. Die Objektauflösung nimmt mit zunehmender Entfernung zum Aufnahmezentrum ab. Alle betrachteten Bäume befanden sich in einem Aktionsraum von 5,5 bis 20 Meter Entfernung vom Aufnahmezentrum. Die Auflösung war zur Ermittlung geometrischer Baummerkmale sehr gut geeignet (siehe Tabelle 7). Eine Ermittlung weiterer Merkmale war nur in engen Grenzen möglich (siehe dazu Kapitel 3.3). So konnte die Baumlebensphase auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen bestimmt werden. Baumgattung und Baumart konnten jedoch nicht zweifelsfrei eingeordnet werden. Insbesondere das Fehlen einer sehr hohen Objektauflösung einzelner Blätter oder von Teilen der Rinde im Stammbereich begrenzte hier die Auswertbarkeit (Göthel 25.03.2014).

Eine weitere Einschränkung der Auswertbarkeit ergab sich aus dem toten Winkel, der sich systembedingt auf der fahrbahnabgelegenen Seite der betrachteten Bäume ergab. Die Aufnahmezentren aller Aufnahmen befanden sich, entsprechend der Position des Trägersystems zum Aufnahmezeitpunkt, über einer Fahrbahn. Um einen Baum von allen Seiten visuell zu begutachten, wäre auch eine Aufnahme von der fahrbahnabgelegenen Seite erforderlich.

Eine weitere Einschränkung bei der Auswertung von terrestrischen Aufnahme ergab sich durch Verdeckung von Objektteilen auf den Aufnahmen (siehe Abbildung 59). Außerdem erschwerten ungünstige Lichtverhältnisse die Auswertung in seltenen Fällen. In allen Fällen konnten Verdeckungen durch Heranziehung alternativer Aufnahmen umgangen werden.

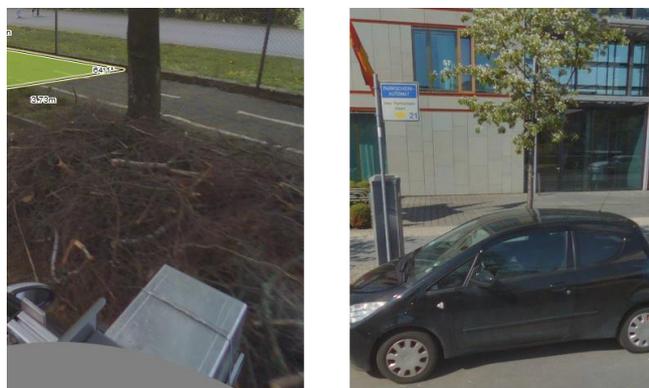


Abbildung 59. Verdeckung des relevanten Baumbereichs (hier Baumstandort)  
(CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

## 5. Diskussion

Eine Bestimmung der **Baumstandorte** ist auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen zuverlässig möglich. Im Vergleich zum Orthofoto ist hier durch direkte Messung des Baumstandortes eine höhere Genauigkeit bei leicht erhöhtem Zeitaufwand durchführbar. Die Lagegenauigkeit der Baumstandorte konnte im Vergleich zum Orthofoto mit durchschnittlich 1,26 m deutlich verbessert werden. Die Genauigkeit kann durch eine Vermessung vor Ort vermutlich nochmals gesteigert werden. Durch den deutlich höheren Zeit- und Organisationsaufwand ist diese Herangehensweise allerdings nur für kritische Fälle interessant, in denen sich ein Baum in direkter Nähe zu einer Flurgrenze befindet. Von den 31 betrachteten Testbäumen befanden sich zwei im kritischen Bereich von 2 m Entfernung von einer Flurstücksgrenze. Die auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen erhobenen Baumstandorte boten in diesen Fällen eine deutlich verbesserte Entscheidungsgrundlage zur Einordnung eines Baumes in öffentliches oder privates Eigentum. Von diesen kritischen 2 Bäumen befand sich nur ein Baum nahezu auf einer Flurstücksgrenze. In diesem Fall ist eine Klärung des Sachverhalts durch Vororttermin angezeigt. Die Genauigkeitsverbesserung von durchschnittlich 1,26 m konnte die Menge der kritischen Baumstandorte von 6,4% der Bäume auf 3,2% der Bäume reduzieren. Damit kann die Anzahl der Fälle, in denen eine aufwändige Vorortvermessung nötig ist, deutlich reduziert werden. Im Ergebnis der vergleichenden Betrachtung bietet die terrestrische Aufnahme eine sehr gut geeignete Datenquelle zur Erhebung von Baumstandorten. Die Anzahl der kritischen Fälle kann im Vergleich zum Orthofoto deutlich gesenkt werden. In den Verbleibenden kritischen Fällen ist eine Vermessung vor Ort jedoch weiterhin unerlässlich.

Die **Baumhöhe** konnte auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen im Vergleich zur Schätzung vor Ort mit deutlich geringerem Zeitaufwand ermittelt werden. Außerdem ist die Genauigkeit der Bildauswertung höher, da ein exaktes photogrammetrisches Verfahren eingesetzt wurde. Die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Messergebnisse je Baumhöhe von 3,21 Metern war bei einer durchschnittlichen Baumhöhe von 20,13 Metern sehr hoch. Diese starke durchschnittliche Abweichung ist vermutlich auf die Ungenauigkeit bei der Schätzung vor Ort durch Stockpeilung zurückzuführen. Eine Erhebung durch einen versierten Baumsachverständigen hätte vermutlich zu einer geringeren Abweichung geführt. Eine direkte Ermittlung der Baumhöhe auf Grundlage von Orthofotos ist durch die Blickrichtung annähernd von Zenit aus nicht möglich (siehe Abbildung 17). Eine indirekte Ermittlung der Baumhöhe über den Schattenwurf ist denkbar, aber von vielen Faktoren, wie zum Beispiel Sonnenstand und Schattensichtbarkeit, abhängig. Die Ermittlung der Baumhöhe wäre dort sehr zeitaufwändig und mit starken Ungenauigkeiten behaftet. Eine Ermittlung der Baumhöhe durch exakte Vermessung vor Ort wird das Messergebnis bei deutlich

höherem Zeit- und Organisationsaufwand vermutlich verbessern. Im Vergleich bietet die terrestrische Panoramaaufnahme die günstigste Datengrundlage bei vergleichsweise geringem Zeit- und Organisationsaufwand.

Der **Kronenansatz** konnte durch Auswertung terrestrischer Aufnahmen im Vergleich zur Schätzung vor Ort mit deutlich geringerem Zeitaufwand ermittelt werden. Da ein exaktes Photogrammetrieverfahren zur Bildauswertung eingesetzt wurde, ist die Genauigkeit als höher einzustufen. Die durchschnittliche Abweichung der einzelnen Messergebnisse je Kronenansatz von 0,74 m war bei einer durchschnittlichen Höhe des Kronenansatzes von 3,75 m sehr hoch. Die starke durchschnittliche Abweichung ist vermutlich auf die Ungenauigkeit bei der Schätzung vor Ort durch Stockpeilung zurückzuführen. Eine Messung des Kronenansatzes ist auf Grundlage von Orthofotos nicht möglich, da der Stammbereich dort nicht sichtbar ist (siehe Abbildung 17). Eine Ermittlung des Kronenansatzes durch Vermessung vor Ort ist möglich, aber zeitlich und organisatorisch mit deutlich höherem Aufwand verbunden. Im Vergleich bietet die terrestrische Aufnahme bei geringem Zeit- und Organisationsaufwand eine sehr gute Datengrundlage zur Erhebung der Höhe des Kronenansatzes.

Der **Stammdurchmesser/Stammumfang** konnte auf terrestrischen Aufnahmen im Vergleich zur Messung vor Ort mit deutlich geringerem Zeitaufwand durch ein vergleichsweise genaues Schätzverfahren aus der Entfernung bestimmt werden. Die durchschnittliche Abweichung der Messergebnisse von 0,11 m war bei einem durchschnittlichen Stammumfang von 1,75 m gering. Die Ermittlung des Stammumfangs auf Grundlage von Orthofotos ist nicht möglich, da der Stamm auf einem Meter Höhe nicht abgebildet wird (siehe Abbildung 17). Eine indirekte Ermittlung des Stammdurchmessers auf dem Orthofoto über den Schattenwurf ist denkbar. Dieser Ansatz ist aber von vielen Faktoren, wie zum Beispiel Sonnenstand und Schattensichtbarkeit, abhängig und aus diesem Grund nicht praxistauglich. Im Vergleich sind terrestrische Aufnahmen eine sehr gut geeignete Datenquelle zur Erhebung des Stammumfangs bei geringem Zeit- und Organisationsaufwand.

Im Vergleich zum Orthofoto führte die Messung des **Kronendurchmessers** auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen zu keinen nennenswerten Vorteilen. Der Kronendurchmesser konnte auf einen Orthofoto sogar mit geringerem Zeitaufwand ermittelt werden. Die Messung des Kronendurchmessers muss an der breitesten Kronenstelle erfolgen. Im Gegensatz zur terrestrischen Aufnahme konnte die breiteste Kronenstelle auf dem Orthofoto sehr gut identifiziert werden. Der Blickwinkel der terrestrischen Aufnahme bietet jedoch bei Überdeckungssituationen (siehe Abbildung 35 in Verbindung mit Abbildung 38) eine gute Zusatzinformation zum Orthofoto. Auf diesem Weg können kleine Bäume, die auf dem Orthofoto durch große Bäume verdeckt sind, vermessen werden. Die Ermittlung des Kronendurchmessers durch

Vermessung/Schätzung vor Ort ist im Rahmen einer Baumkontrolle natürlich ebenfalls möglich. Der zusätzliche Aufwand an Zeit und Organisation ist im Vergleich zur Ermittlung auf Grundlage von Orthofoto oder terrestrischer Aufnahme deutlich höher. Zu einer weiteren Verbesserung dieses Messergebnisses ist kein Anlass gegeben. Die Messung des Kronendurchmessers auf Grundlage von Orthofotos mit punktueller Unterstützung von terrestrischen Aufnahmen ist daher die am besten geeignete Herangehensweise.

Die Messung der **Fläche der Baumscheibe** auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen war im Vergleich zur Vermessung vor Ort mit deutlich geringerem Zeitaufwand verbunden. Beim Einsatz der Bildauswertungssoftware kam, im Gegensatz zur Grobmessung vor Ort, ein exaktes Verfahren zum Einsatz. Die Ermittlung der Baumscheibenfläche auf Grundlage von Orthofotos ist nicht möglich, da diese durch die Baumkronen verdeckt sind. Im Vergleich stellt die terrestrische Aufnahme die am besten geeignete Datengrundlage zur Erhebung der Fläche der Baumscheibe dar.

Die Bestimmung der **Baumlebensphase** auf Grundlage terrestrischer Aufnahme ist im Vergleich zur Expertenbegutachtung (Göthel 25.03.2014) vor Ort mit deutlich weniger Zeit- und Organisationsaufwand möglich. Eine Bestimmung der Baumlebensphase auf Grundlage von Orthofotos wurde in keiner der genutzten Literaturquellen bestätigt. Im Vergleich bieten terrestrische Aufnahmen damit die beste Datengrundlage zur Bestimmung der Baumlebensphase.

Eine Bestimmung von Baumart, Baumgattung sowie die Durchführung einer Baumschau oder Baumuntersuchung bleibt der Begutachtung durch einen Experten vor Ort vorbehalten. Hier bot die untersuchte Methode keine nutzbare Arbeitsgrundlage. Die Auswertbarkeit von terrestrischen Aufnahmen erfuhr hier eine Grenze. In der gesichteten Literatur konnte kein Hinweis darauf gefunden werden, dass Baumgattung und Baumart auf Grundlage von Orthofotos bestimmt werden können. Im Vergleich ist nur die Baumuntersuchung durch einen Sachverständigen vor Ort als Datenquelle zur Bestimmung von Baumgattung und Baumart geeignet.

Terrestrische Panoramaaufnahmen nehmen bezüglich der Möglichkeiten zur Erhebung von Baummerkmalen eine Position zwischen dem Orthofoto und der Schätzung/Messung durch einen Sachverständigen vor Ort ein. Beim Einsatz terrestrischen Panoramaaufnahmen als Datengrundlage konnten im Vergleich zum Orthofoto deutlich mehr Baummerkmale erhoben werden. Im Vergleich zur Datenaufnahme durch einen Sachverständigen vor Ort können auf Grundlage terrestrischen Panoramaaufnahmen deutlich weniger Baummerkmale, jedoch bei deutlicher Zeitersparnis, erhoben werden (siehe Tabelle 7).

Die in Tabelle 7 unter terrestrische Panoramaaufnahmen aufgeführten Baummerkmale eignen sich zum Aufbau eines kommunalen Baumkatasters. Das Baumkataster umfasst die Verortung sowie die grundlegende Beschreibung des Baumbestandes. Ausgenommen sind die Bestimmung von Baumgattung und Baumart.

Terrestrische Panoramaaufnahmen eignen sich nicht zur Durchführung von Baumkontrollen mit Blick auf Sicherstellung der Verkehrssicherheit. Insbesondere die Objektauflösung und die Problematik des toten Winkels auf der fahrbahnabgelegenen Seite verhindern eine rechtskonforme Baumkontrolle. Außerdem eignen sich terrestrische Panoramaaufnahmen nicht zur Durchführung von Baumuntersuchungen. Eine Baumuntersuchung muss durch einen Sachverständigen vor Ort durchgeführt werden.

Terrestrische Panoramaaufnahmen eignen sich somit sehr gut zum Aufbau von Baumkatastern. Die ermittelten Merkmalsausprägungen sind tauglich, um einen Baumbestand erstmalig zu beschreiben. Eine Laufendhaltung dieser Merkmale ist bei turnusmäßiger Auswertung aktueller Panoramaaufnahmen ebenfalls gut möglich.

Eine Laufendhaltung von Baumkatastern auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherungspflicht ist jedoch nicht möglich. In der Erhebung der erforderlichen Baummerkmale einer Baumkontrollen oder gar einer Baumuntersuchungen findet das Verfahren seine Grenzen.

## 6. Ausblick

Die Heranziehung von terrestrischen Panoramaaufnahmen zum Aufbau von Baumkatastern scheint in der Praxis noch nicht weit verbreitet zu sein. Zum einen ist mir keine praktische Anwendung bekannt zum anderen wird diese Datengrundlage im Zusammenhang mit dem Aufbau und der Laufendhaltung von Baumkatastern kaum in der Literatur genannt. Dennoch liegen die Vorteile dieser Datenquelle auf der Hand. Interessante, potenziell untersuchenswürdige Fragenstellungen ergeben sich im Bereich der Faktoren, die eine praktische Anwendung begrenzen. Vermutlich wird es in diesen Bereichen in den kommenden Jahren Bemühungen in Wirtschaft und Wissenschaft geben, um diese Faktoren günstig zu entwickeln. Begrenzende Faktoren ergeben sich in den Bereichen der automatischen Erkennung von Baummerkmalen, der Verwendung höherer Aufnahmeauflösungen, der Verwendung alternativer Trägersysteme für die Aufnahmetechnik und der Integration der photogrammetrischen Auswertungssoftware direkt in GIS-Anwendungen.

Eine automatisierte Erkennung von Baummerkmalen birgt das Potenzial einer immensen Zeitersparnis. Viele der untersuchten Baummerkmale bieten sich für eine automatisierte Erkennung an. Besonders naheliegend ist die automatische Ermittlung des Baumstandortes auf Grundlage des unteren Teils des Baumstammes. Der Baumstamm ist

auf kommunalem Gebiet in der Regel freigestellt und als typische Form erkennbar. Die Form folgt in den meisten Fällen eines aufrecht stehenden, zulaufenden Zylinders. Eine automatische Erkennung dieses Stammbereichs mit Ableitung des Baumstandortes ist durchaus denkbar. Durch den Wegfall des manuellen Erfassungsaufwandes kann möglicherweise eine deutliche Zeitersparnis bewirkt werden. Andere geometrische Baummerkmale wie Baumhöhe, Kronenansatz, Kronendurchmesser, Stammdurchmesser und die Größen der Baumscheibe können möglicherweise ebenfalls automatisch erhoben werden.

Im Verlauf der Untersuchung erwies sich die Höhe der Bildauflösung als begrenzender Faktor. Eine Untersuchung bei deutlich erhöhter Auflösung könnte die Grenzen der Auswertbarkeit deutlich erweitern. Eine deutlich erhöhte Auflösung kann zum Beispiel eine fachkundliche Begutachtung der Baumrinde und einzelne Blätter aus der Entfernung ermöglichen. So könnte eine genaue Bestimmung von Baumart und Baumgattung sowie die Durchführung überblicksartiger Baumkontrollen ermöglicht werden.

Eine weitere wesentliche Grenze der Datengrundlage ergibt sich aus dem Trägersystem und die Beschränkung der Aufnahmezentren auf den öffentlichen Straßenraum. Eine Untersuchung alternativer, bodengebundener Trägersysteme könnte die Abbildung des kommunalen Gebietes deutlich erhöhen. So ist es denkbar, dass ein Quad als Trägersystem auch Fußgängerzonen, Parkanlagen oder Friedhöfe befährt und auswertbares Material zur Verfügung stellen kann.

Ein weiterer interessanter Ansatz für eine vertiefende Untersuchung ergibt sich möglicherweise aus der Integration der photogrammetrischen Auswertungssoftware in das GIS. Im Rahmen der Untersuchung erfolgte der Datenaustausch per WFS über GDI oder per Shapefile. Eine vollständige Integration könnte die gefundene Methode mit Blick auf Fehleranfälligkeit und Zeitersparnis weiter optimieren.

## Literaturverzeichnis

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume. Lebensweltlich orientierte Räume (LOR) - Bezirksregionen. WMS. Online verfügbar unter [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor\\_bez](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor_bez).

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume. Lebensweltlich orientierte Räume (LOR) - Planungsräume. WMS. Online verfügbar unter [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor\\_plan](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor_plan).

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume. Hintergrund 1:5000 - 1:1000 (ALK) Planungsgrundlagen. WMS. Online verfügbar unter [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor\\_prog](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor_prog).

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg - RBS Clearingstelle Lebensweltlich orientierte Räume. Lebensweltlich orientierte Räume (LOR) - Prognoseräume. WMS. Online verfügbar unter [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor\\_prog](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/lor_prog).

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. Digitale Color-Infrarot-Orthophotos 2010 (DOP20CIR). WMS. Online verfügbar unter [http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/k\\_luftbild2010\\_cir](http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/wms/senstadt/k_luftbild2010_cir).

Formeln und Tabellen für die Sekundarstufen I und II (2001). Berlin: Paetec, Ges. für Bildung und Technik (Das elektronische Tafelwerk).

Balder, Hartmut; Ehlebracht, Kerstin; Mahler, Erhard (1997): Strassenbäume. Planen, Pflanzen, Pflegen am Beispiel Berlin. Berlin: Patzer.

Balder, Hartmut; Reuter, Anke; Semmler, Ralf (2003): Handbuch zur Baumkontrolle. Blatt-, Kronen-, Stammprobleme. Berlin: Patzer.

Baumgarten, Heiner (2010): Kommunale Baumkontrolle zur Verkehrssicherheit. Der Leitfaden für den Baumkontrolleur auf der Basis der Hamburger Baumkontrolle. Braunschweig: Haymarket Media.

Bernard, Lars; Fitzke, Jens; Wagner, Roland M.; Bernard-Fitzke-Wagner (Hg.) (2005): Geodateninfrastruktur. Grundlagen und Anwendungen. Heidelberg: Wichmann.

Bill, Ralf; Zehner, Marco Lydo (2001): Lexikon der Geoinformatik. Heidelberg: Wichmann.

Blaschke, Thomas (2002): Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren - innovative Methoden. Heidelberg: Wichmann.

Bömermann, Hartmut; Jahn, Susanne; Nelius, Kurt: Lebensweltlich orientierte Räume im Regionalen Bezugssystem (Teil 1). Werkstattbericht zum Projekt „Vereinheitlichung von Planungsräumen“. In: Berliner Statistik, Monatschrift 8/06, S. 366–372.

Bredenfeld, Thomas (2010): Das Praxisbuch digitale Panoramafotografie. [Schritt für Schritt zu spektakulären Bildergebnissen ; Techniken für Einsteiger und Profis: von der Aufnahme bis zur Ausgabe ; mit zahlreichen Ausrüstungs-Tipps, auch zum Selberbauen]. 1. Aufl. Bonn: Galileo Press (Galileo Design).

Büttner, Tanja (Hg.) (2004): Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen. Baumkontrollrichtlinie. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. 1. Aufl., Ausg. 2004. Bonn: FLL.

CycloMedia Deutschland GmbH (Website): CycloMedia Deutschland GmbH (Website). Online verfügbar unter <http://www.cyclomedia.de>.

CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter): GlobeSpotter. Version 2.8.5: CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter).

Environmental Systems Research Institute, Inc. (1998): ESRI Shapefile Technical Description. Online verfügbar unter <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>, zuletzt geprüft am 20.03.2014.

Gemeindeverwaltung Birkenwerder: Geoportal Gemeinde Birkenwerder. Online verfügbar unter <http://geoportal.birkenwerder.de/portalserver/birkenwerder.portal>, zuletzt geprüft am 06.03.2014.

Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix): GajaMatrix. Version 9.3: Gingko.Systeme GmbH (GajaMatrix).

Gingko.Systeme GmbH (Website): Gingko.Systeme GmbH (Website). Online verfügbar unter <http://www.gingko.de>.

Göthel, Johannes (25.03.2014): Experteninterview "Sind Baumgattung, Baumart und Baulebensphase auf Grundlage terrestrischer Aufnahmen bestimmbar?". Interview mit Wolfgang (Diplom-Forstingenieur) Arenhövel. Legefild.

Klemmer, Wilfried (2004): GIS-Projekte erfolgreich durchführen. Grundlagen, Erfahrungen, Praxishilfen. Karlsruhe: Harzer.

Klug, Peter; Engels, Julia; Klug-Engels-Binder-Kastner (Hg.) (2000): Arbolex. Das Fachwörterbuch der Baumpflege. 1. Aufl. Steinen: Arbus-Verl.

Kraus, Karl (2004): Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7., vollst. bearb. und erw. Aufl. Berlin: de Gruyter (De-Gruyter-Lehrbuch, / Karl Kraus ; Bd. 1).

- Luhmann, Thomas (2010): Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 3., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: Wichmann VDE-Verl.
- Mäcke, Paul Arthur; Ziegler, Hartmut (1987): Bepflanzung von Stellplatzanlagen. Stellflächenoptimierung u. Begrünungsmöglichkeiten. 1. Aufl. Dortmund: Inst. für Landes- u. Stadtentwicklungsforschung d. Landes Nordrhein-Westfalen (ILS-Schriften, 4).
- Marettke, Christian; Dörschell, Andreas; Hellenbrand, Andreas (2004): Kommunales Vermögen richtig bewerten. Haufe-Praxisratgeber zur Erstellung der Eröffnungsbilanz und als Grundlage der erweiterten Kameralistik ; [Leitfaden für effiziente Erfassung und korrekte Bewertung ; mit allen Vorgaben für Baden-Württemberg, Hessen und Nordrhein-Westfalen]. Freiburg [Breisgau], Berlin, München [i.e. ] Planegg, Zürich: Haufe-Mediengruppe (Haufe-Praxisratgeber).
- Mattheck, Claus (2007): Aktualisierte Feldanleitung für Baumkontrollen mit visual tree assessment. 1. Aufl. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe.
- Ramm, Frederik; Topf, Jochen (2011): OpenStreetMap. Using and enhancing the free map of the world. Cambridge: UIT Cambridge.
- Rosenthal, Gerd: Über die Einführung des ETRS 89 im Gesamtkonzept der Modernisierung der Referenzsysteme in Berlin. Senatsverwaltung für Stadtverwaltung, Abt. III - Geoinformation. Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/landesvermessung/etrs89/download/3\\_Einfuehrung.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/landesvermessung/etrs89/download/3_Einfuehrung.pdf).
- Schuster, Falko (2002): Kommunale Kosten- und Leistungsrechnung. Controllingorientierte Einführung. 2., überarb. und erg. Aufl. München, Wien: Oldenbourg (Managementwissen für Studium und Praxis).
- Semmler, Ralf; Wochatz, Anke (1994): Leitfaden zum Aufbau eines Baumkatasters. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik (Umweltberatung für Kommunen).
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt: FIS-Broker. Geoportal Berlin. Unter Mitarbeit von Susanne Walter. Hg. v. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. Online verfügbar unter <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>, zuletzt geprüft am 13.03.2014.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, Referat Freiraumplanung und Stadtgrün: Straßenbäume in Berlin. Bestandsveränderung in Berlin und den Bezirken einschl. Zu- und Abgänge 2012. Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten\\_fakten/downloads/ausw\\_131.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/downloads/ausw_131.pdf).

Siewniak, Marek; Kusche, Dietrich (2002): Baumpflege heute. 4., völlig überarb. Aufl. Berlin: Patzer.

Tao, C. Vincent; Li, Jonathan (2007): Advances in mobile mapping technology. London, New York: Taylor & Francis (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) book series).

Verband Deutscher Städtestatistiker; Deutscher Städtetag (1991): Kommunale Gebietsgliederung. Empfehlungen zur Ordnung des Straßen-/Hausnummernsystems und Gliederung des Gemeindegebiets nach Gemeindeteilen, Blöcken und Blockseiten sowie DV-Organisation. Köln (Deutscher Städtetag, 39).

## Anhang

### Bildserie 1 als Grundlage für Expertenbefragung



Abbildung 60. Bildserie 1 Testbaum 1 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 61. Bildserie 1 Testbaum 2 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 62. Bildserie 1 Testbaum 3 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 63. Bildserie 1 Testbaum 4 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 64. Bildserie 1 Testbaum 5 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 65. Bildserie 1 Testbaum 6 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 66. Bildserie 1 Testbaum 26 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

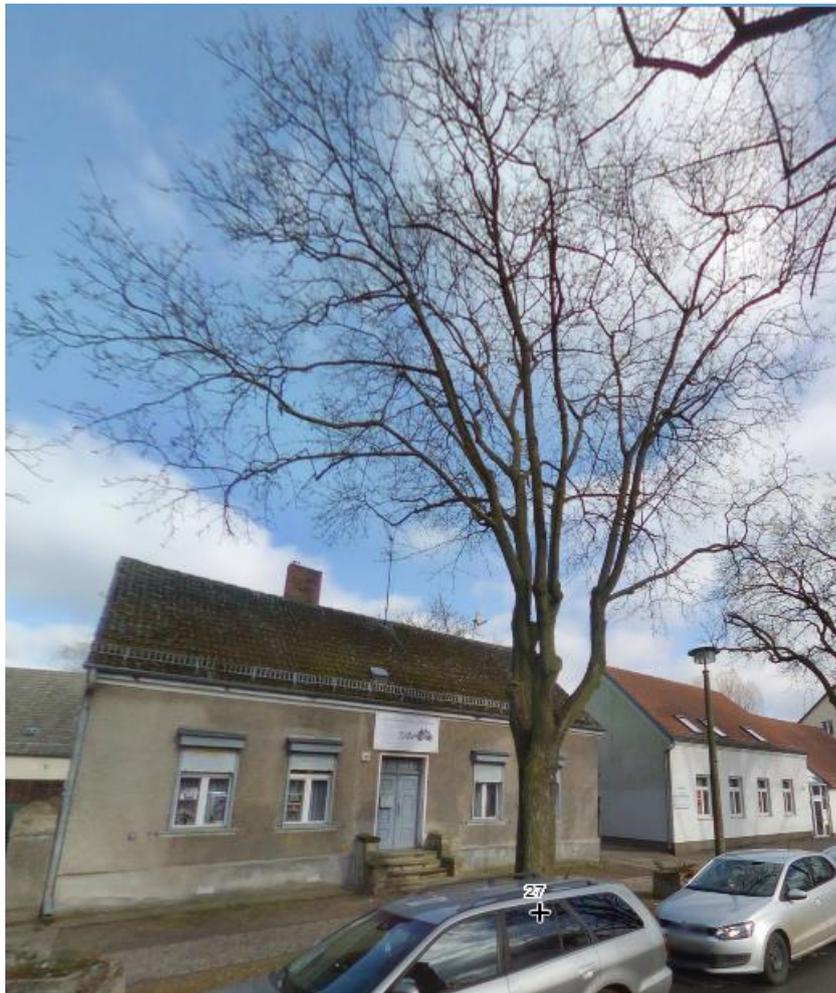


Abbildung 67. Bildserie 1 Testbaum 27 (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).

Bildserie 2 als Grundlage für Expertenbefragung



Abbildung 68. Bildserie 2 Testbaum 1 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



*Abbildung 69. Bildserie 2 Testbaum 1 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



*Abbildung 70. Bildserie 2 Testbaum 1 Detailansicht Blätterdach (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



Abbildung 71. Bildserie 2 Testbaum 2 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



*Abbildung 72. Bildserie 2 Testbaum 2 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



Abbildung 73. Bildserie 2 Testbaum 2 Detailansicht Blätterdach (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



Abbildung 74. Bildserie 2 Testbaum 3 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).



*Abbildung 75. Bildserie 2 Testbaum 3 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



*Abbildung 76. Bildserie 2 Testbaum 3 Detailansicht Blätterdach (Nadeldach) (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



*Abbildung 77. Bildserie 2 Testbaum 4 Gesamtansicht (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



*Abbildung 78. Bildserie 2 Testbaum 4 Detailansicht Stamm (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*



*Abbildung 79. Bildserie 2 Testbaum 4 Detailansicht Blätterdach (CycloMedia Technology B.V. (GlobeSpotter)).*