

3

3. Vergleich des HRSC- und des FALCON II- Oberflächenmodells

HRSC-AX- und Toposys FALCON II-Daten werden in diesem Kapitel verglichen, um entscheiden zu können, welches der Modelle die höhere Zuverlässigkeit besitzt und sich daher besser zur Klassifizierung eignet. Die Untersuchung gibt Aufschluss über Unterschiede zwischen den verschiedenartig generierten Oberflächenmodellen und benennt deren Ursachen. Hierzu werden die Daten qualitativ und quantitativ analysiert. Untersucht wurde ein Testgebiet im Innenstadtbereich von Berlin entsprechend den Kartenblättern 423C und 423D der K 5.

3.1. Daten und Untersuchungsgebiet

Für den Vergleich der Oberflächenmodelle standen zwei Datensätze aus dem Jahr 2005 im Bereich der Kartenblätter 423C und 423D (K5, M 1:5000) zur Verfügung. Aufgrund der hohen geometrischen Auflösung von einem Meter im LIDAR- und 20 cm im HRSC-Datensatz bot sich ein Vergleich

zwischen den Oberflächenmodellen an. Die Ausgabeauflösung des HRSC-AX-Datensatzes beträgt zwar 20 cm, jedoch reduziert sich die tatsächliche Auflösung durch das Zusammenfassen der Pixel in acht von neun Kanälen auf 40 cm.

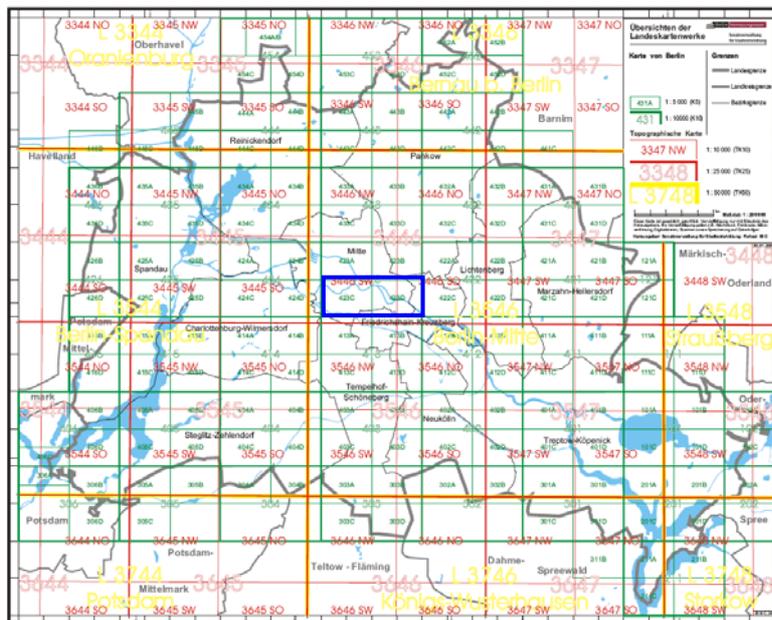


Abb. 23 Übersicht Blattschnitt Berlin, Untersuchungsgebiet blau markiert ⁴⁶

3.2. Qualitative Genauigkeit

Ziel war es, die Genauigkeiten absolut zu terrestrisch vermessenen 3D-Referenzpunkten zu bestimmen und sowohl statistisch wie visuell Unterschiede zwischen den beiden Modellen zu identifizieren. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung soll dann abgeleitet werden, welches

Oberflächenmodell sich am besten für Klassifizierungen eignet. Die hierbei zum Tragen kommenden Überlegungen werden wiederum in den Segmentierungs- und Klassifizierungsalgorithmen berücksichtigt.

⁴⁶ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin (2007a): <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/veroeffentlichungen/de/karten/>

3.2.1. Methode

Die genau vermessenen Referenzpunkte wurden von der Senatsverwaltung bezogen. Höhenfestpunkte werden nach erster, zweiter und dritter Ordnung unterschieden. Hier wurden Punkte aller dreier Ordnungen verwandt; Bezugssystem ist DHHN92 mit der Dimension NHN. Die genäherte Standardabweichung S_h der Normalhöhe eines Punktes aus der Ausgleichung beträgt weniger als 2 bzw. 5 mm.⁴⁷ Die Genauigkeit der Punkte lag damit über dem Zwanzigfachen der Auflösung der Daten.

Es wurden nur Punkte ausgewählt, deren Position auch aus der Luft erkennbar ist. Die Vermarkung der Punkte selbst ist bei einer geometrischen Auflösung von 20 cm nicht zu erkennen. Um zu gewährleisten, dass nicht zufällig ein grober Fehler mit dem Referenzpunkt verglichen wird, wurde ein Pufferbereich von einem Pixel um die Messpunkte gelegt und das beste Pixel zum Vergleich ausgewählt. Bei einer Auflösung von 20 cm/pxl ergibt sich damit in Bezug auf die Lage eine Unsicherheit von ± 40 cm. Insgesamt wurden 125 Punkte auf einer Fläche von 15,29 km² untersucht.

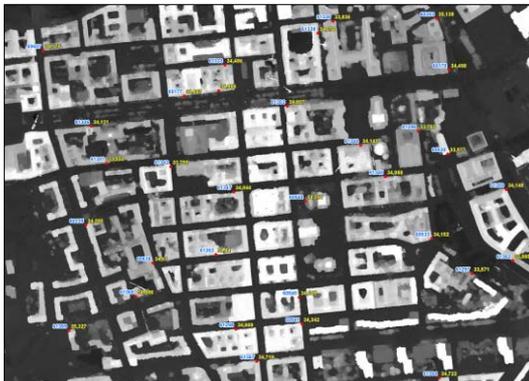


Abb. 24 Ausschnitt Verteilung der Punkte, Detail DOM überlagert mit ALK und Festpunkt

⁴⁷Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Berlin, (2007b):
http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/bezugssysteme/lage_hoehennetz.shtml

3.2.2. Ergebnisse der qualitativen Analyse

Um die Einschätzung zu erleichtern, welche Modelle sich für welchen Zweck eignen, wurde eine qualitative Analyse durchgeführt. Hierzu wurden Differenzbild, Profile und Streuungsdiagramm erstellt.

Im Untersuchungsgebiet zeigt der HRSC-Datensatz eine höhere Abweichung von den Referenzpunkten als der LIDAR-Datensatz. Die mittlere Abweichung des HRSC-Datensatzes zu den Referenzpunkten beträgt 0,453 m, die des LIDAR-Datensatzes 0,143 m. Die Standardabweichung liegt bei

0,575 m bzw. 0,221 m. Eine vollständige Übersicht über alle Einzelpunkte findet sich im Anhang.

Trotz der hohen Korrelation, die auch durch das Streuungsdiagramm bestätigt wird, zeigen sich deutlich mehr grobe Fehler im HRSC-Modell mit bis zu 1,564 m Abweichung. Zwar ist auch das LIDAR-Modell nicht fehlerfrei, aber die Abweichungen erreichen mit höchstens 81,6 cm nur etwa die Hälfte des Wertes des HRSC-Modells.

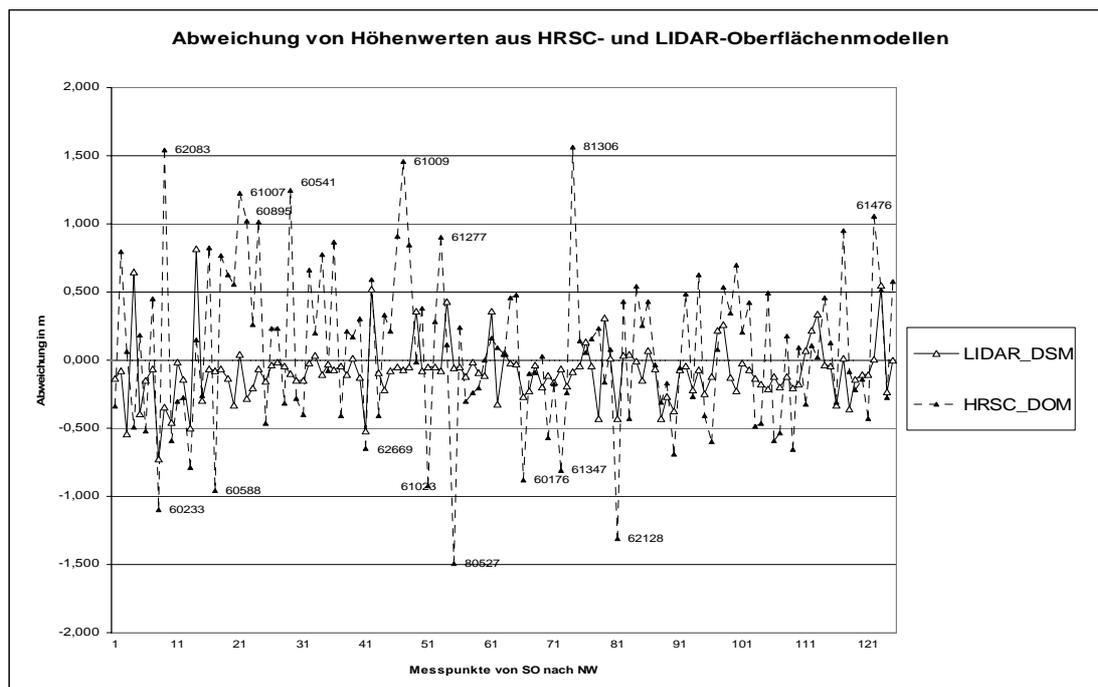


Abb. 25 Unterschiede im Oberflächenmodell an den Referenzpunkten

Mittlere Höhe Referenz	Mittlere Höhe LIDAR	LIDAR (m)		Mittlere Höhe HRSC	HRSC (m)	
34,692m	34,610m	0,082	Differenz	34,772	0,081	Differenz
		0,816	max. Abweichung		1,564	max. Abweichung
		0,143	mittl. Abweichung		0,453	mittl. Abweichung
		0,221	Standardabweichung		0,575	Standardabweichung
		-0,082	Mittelwert		0,081	Mittelwert

Tab. 8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Unterschiede wurden anhand einer Profillinie weiter überprüft. Dabei wurde deutlich, dass im HRSC-Modell immer dann Fehler auftraten, wenn der Objektabstand unter 8 m lag. In diesen Fällen wurden beispielsweise Straßen und Höfe nicht mehr sauber von den Gebäuden getrennt, sondern fälschlicherweise zu einer Objekthöhe zusammengefasst. Beim hier

verwendeten LIDAR-Oberflächenmodell konnte dieses Problem nicht beobachtet werden.

Die beschriebene Problematik ist im Profil mit den Ziffern (1), (2) und (3) gekennzeichnet. Bei (1) handelt es sich um einen nicht begrünten Innenhof, der teilweise nicht erfasst wurde, bei (2) und (3) um eine schmale Straße und

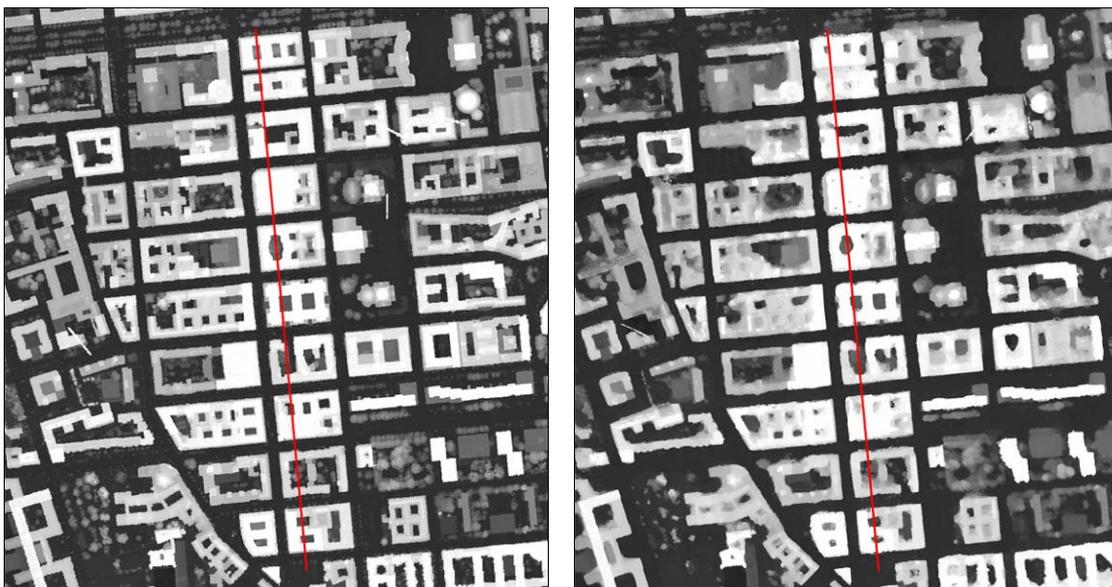


Abb. 26 Oberflächenmodell LIDAR, HRSC mit Profillinie, Gendarmenmarkt

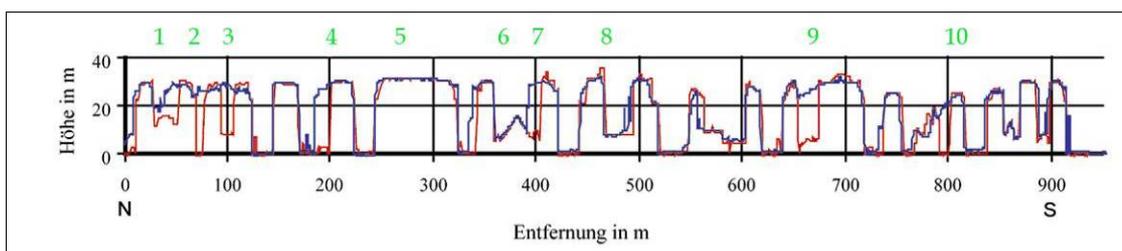


Abb. 27 Profillinie LIDAR rot, HRSC blau markiert

einen Innenhof, die nicht aufgelöst wurden. Die Ursache für das etwa 2 m zu breit dargestellte Gebäude im HRSC-Modell konnte nicht bestimmt werden; in Frage kämen Schatten, geringer Kontrast oder nicht ausreichende Schnittgenauigkeiten in mindestens drei Kanälen und eine damit verbundene falsche Zuordnung von Punkten oder das Verwerfen von Punkten (4). Bei (5) zeigt sich, dass im *LIDAR*-Modell eine deutlich höhere Detailtreue zu beobachten ist; hier wird das *Berliner Dach* in seiner charakteristischen Ausprägung wiedergegeben. Im HRSC-Modell wirkt dieser Bereich wie ein einfacher Kasten.

Das Oberlicht in einem Innenhof, das der Beleuchtung von Tiefgeschossen dient, ist in beiden Modellen genau erfasst, obwohl es aus einer leichten Stahl-Glas Konstruktion besteht (6). Die Erklärung für die gute Wiedergabe dieses Details ist der gute Kontrast im HRSC-Bildmaterial und die hohe Punktdichte in den *LIDAR*-Daten. Bei (7) handelt es sich wieder um den im

Schatten liegenden Bereich des oben genannten Innenhofs, der im HRSC-Modell nicht korrekt abgebildet wird.

Bei (8) kann erneut eine größere Detailtreue im *LIDAR*-Modell beobachtet werden; der Schornstein wird genau wiedergegeben, während im HRSC-Modell diese Einzelheit vollständig fehlt.

(9) und (10) sind teilweise begrünte Innenhöfe. Bei (9) wird im *LIDAR*-Modell die dort vorzufindende niedrige Vegetation relativ genau dargestellt, im HRSC Modell ist dieser Hof praktisch nicht vorhanden. Bei (10) ist im Hof ein mittig gepflanzter Einzelbaum zu erkennen. Dieser wird akkurat von *LIDAR* erfasst, hingegen im HRSC-Modell nur zur Hälfte. Der Abstand zum nächsten Gebäude scheint wie in (1) und (2) zu gering zu sein. Als Ursache sind hier nicht ausreichende Anzahl der Schnitte oder eine falsche Zuordnung von Punkten als Ursache anzunehmen.



Abb. 28 Direkter Vergleich zwischen RGB, DOM-LIDAR (rot), DOM-HRSC (blau), generierter Kontur und ALK

3.3. Quantitative Genauigkeit

Um die Einschätzung zu erleichtern, welches Modell sich für Klassifizierungen eher eignet, wurde das Untersuchungsgebiet außerdem einer quantitativen Analyse unterzogen. Hierzu wurden Differenzbild und Streuungsdiagramme erstellt. Innerhalb des Untersuchungsgebietes wurden zwei Referenzgebiete exemplarisch analysiert. Dabei handelte es sich zum einen um einen typisch urban geprägten Bereich und zum anderen um einen Ausschnitt aus dem Tiergarten, der hier einen Park mit dichter Vegetation repräsentiert.

An der x-Achse des Streuungsdiagramms sind die Werte des HRSC-Oberflächenmodells, an der y-Achse die des *LIDAR-DOMs* abgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, dass es eine starke Übereinstimmung zwischen *LIDAR-* und HRSC-Höhendaten gibt. Im Diagramm ist dieser Datenbereich

braun dargestellt. 71,1 % der Höhenangaben in beiden Modellen weisen eine Abweichung von unter 1,5 m auf. Dieser Korrelationsbereich findet sich bei Straßen und in den Kernzonen von Vegetation und Gebäuden. Die roten Bereiche im Diagramm markieren Punkte, die im HRSC-DOM höhere Werte als im *LIDAR-DOM* haben. Hiervon sind 6,2 % der Daten betroffen; sie beschreiben überwiegend Hauskanten und Innenhöfe.

Gelb eingetragen sind Punkte, die im HRSC-DOM tiefer liegen als im *LIDAR-DOM*, was bei 4,5 % der Punkte der Fall ist. Diese Punkte befinden sich an den Kanten von Gebäuden, an den Rändern der Straßenbäume und zu einem sehr geringen Teil an Objekten, die zum Zeitpunkt der HRSC-Aufnahme nicht mehr vorhanden waren. Ein typisches Beispiel hierfür sind Baukräne.

Urban geprägter Raum und Park mit dichtem Baumbestand

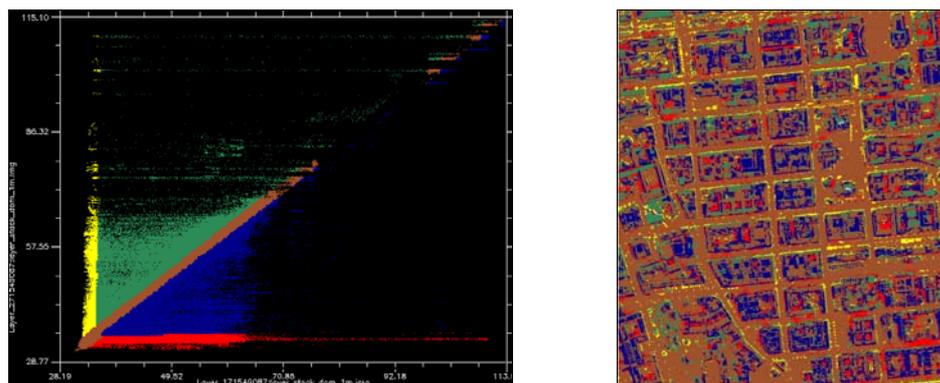


Abb. 29 Streuungsdiagramm, Analyse des Streuungsdiagramms farblich markiert

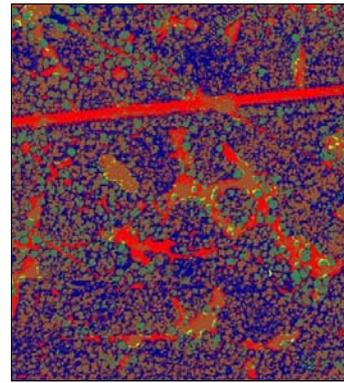
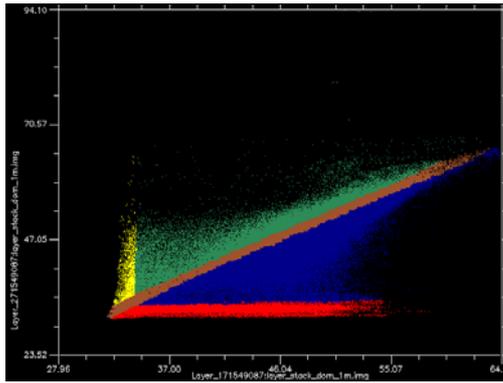


Abb. 30 Streuungsdiagramm, Analyse des Streuungsdiagramms farblich kodiert

Die Unterschiede fallen in Bereichen, die von Vegetation dominiert werden, gravierend aus. Die Korrelation zwischen beiden Datensätzen innerhalb einer Toleranz von 1,5 m sinkt auf 44,1 %. Die betreffenden Bereiche sind braun markiert.

Höhere Werte im LIDAR-DOM sind im Streuungsdiagramm gelb markiert. Dieser Bereich entspricht 0,2 % der Daten und befindet sich überwiegend in den Randzonen der Bäume. Niedrigere Werte im LIDAR-DOM sind rot markiert und machen 9,9 % der Daten aus.

Markierung	Flächenanteil urban (%)	Abweichung (m)	Flächenanteil Vegetation (%)	Abweichung (m)
Rot (HRSC>LIDAR)	6,2	1,6-76	9,9	1,6-26
Gelb (HRSC<LIDAR)	4,5	1,6-75	0,2	1,6-20
Grün (HRSC>LIDAR)	10,6	1,6-72	7,8	1,6-28
Braun (HRSC≈LIDAR)	71,1	1,5	44,1	1,5
Blau (HRSC<LIDAR)	7,6	1,6-67	38	1,6-25

Tab. 9 Übersicht: Unterschiede im HRSC und LIDAR-DOM

3.4. Ursachen für Unterschiede in den Modellen

Ursachen für die signifikanten Unterschiede in den Modellen sind sehr schwierig zu identifizieren. Im Fall der LIDAR-Daten wurde hierfür auf Literatur zurückgegriffen; im Fall der HRSC-Daten werden die Gründe vor allem in der Art der

Datenaufnahme und -verarbeitung vermutet.

Obwohl die rechnerische geometrische Auflösung der HRSC-Daten bei 20 cm liegt, liegt die reale Auflösung bei ca. 40 cm. Die Ursache hierfür ist schon bei der Datenaufnahme zu finden, da

nur der Nadir-Kanal mit voller Auflösung aufgezeichnet wird. Photometrie und Stereo werden schon in der Kamera zu 2x2 Pixel zusammengefasst. Abb. 28 zeigt deutlich eine bessere Kantenschärfe im *LIDAR*-Datensatz. Hierfür gibt es mehrere Erklärungen. Während die Punkte mit dem *LIDAR* direkt gemessen werden, handelt es sich beim HRSC-Oberflächenmodell um aus Bilddaten abgeleitete, indirekt ermittelte Höhen.

Dies führt speziell in Bereichen mit „sich wiederholenden Mustern“, im englischen als *repetitive pattern* bezeichnet, oder in Bereichen mit niedrigem Kontrast und in Schattenbereichen mit mangelnder Dynamik zu Problemen bei der Bildzuordnung und der automatisierten Zuordnung von homologen Punkten. Eine falsche Zuordnung von vermeintlich homologen Punkten führt immer zu einem falschen Wert im Oberflächenmodell. Ein zusätzliches Problem ist, dass an großen Höhengsprüngen möglicherweise nicht genügend Sichtstrahlen am Fußpunkt eines Gebäudes gefunden werden können. Punkte, die in weniger als drei Kanälen identifiziert werden, werden zurückgewiesen und nicht für die Generierung des DOM berücksichtigt. Dies lässt sich sowohl an einigen Kanten der Gebäude als auch in den Innenhöfen beobachten. Im vorliegenden Beispiel war die radiometrische Auflösung der Kamera nicht voll ausgenutzt worden, so dass

in den stark verschatteten Bereichen kaum Bildinformationen erhalten blieben. Dies führt zu Problemen beim Finden homologer Punkte und damit im DOM. Weite Ungenauigkeiten im DOM werden durch Winkelfehler bei der Bestimmung der Flugbahn und Rauschen der Daten verursacht. Die Gebäudeausdehnung wird in den HRSC-Daten sehr gut wiedergegeben. Dies bestätigen Vergleiche mit der ALK. Ausgenommen hiervon sind die oben genannten Bereiche im Modell.

Es handelt sich bei den beobachteten Unterschieden wohl auch um Ungenauigkeiten im *LIDAR-DOM*. Die Messpunktverteilung beim Laser-scanning ist recht unregelmäßig und mehr oder weniger zufällig über den Streifen verteilt.⁴⁸ Beim Falcon ergibt sich durch seine spezielle Optik vor allem in Flugrichtung eine Variation der Messpunktdichte.⁴⁹ Die Ursachen für die starke Abweichung der Modelle in Bereichen mit dichter Vegetation konnten wegen mangelnder Detailinformation zur Aufnahme der *LIDAR* Daten nicht genau ermittelt werden; es wird aber angenommen, dass die nicht sehr weit fortgeschrittene Entwicklung der Vegetation im Mai und die Datenprozessierung zwei mögliche Gründe sind.

⁴⁸ Katzenbeisser, R. u. Kurz, S. (2004): Airborne Laserscanning. Ein Vergleich mit terrestrischer Vermessung und Photogrammetrie. In: PFG, Nr. 3, S. 184.

⁴⁹ Steinle, E. (2005): Gebäudemodellierung und -änderungserkennung aus multitemporalen Laserscanningdaten. Diss., Univ. München, S. 78.

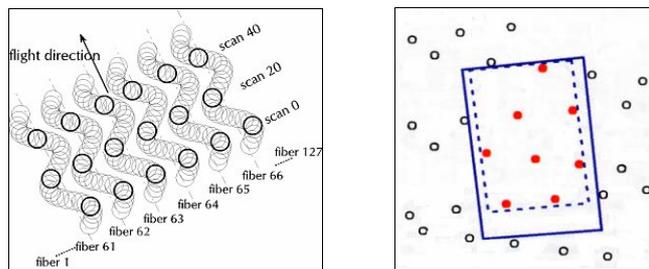


Abb. 31 Scanmuster Falcon, Verteilung der Messpunkte und Erfassung von Gebäudekanten⁵⁰

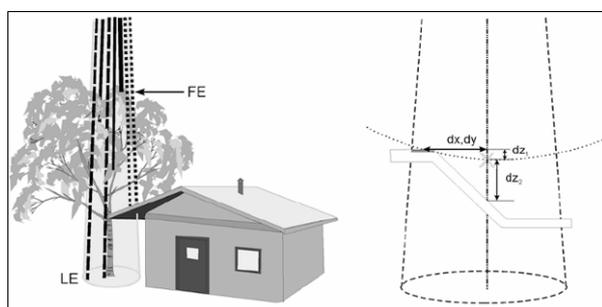


Abb. 32 Zusammenhang Footprint, Lage- und Höhenfehler⁵¹

Die Unregelmäßigkeit der Scanmuster ist in homogenen Landschaftsbereichen kaum von Bedeutung, spielt aber in städtischen Gebieten eine große Rolle. Aus der unregelmäßigen Verteilung resultiert eine ungenaue Erfassung der Dachkanten.⁵² „Ein nachteiliger Effekt der *footprint* Ausweitung ist, dass

eingehende Echos von ganz unterschiedlichen Objekten und Orten innerhalb des Messkegels stammen... Dadurch kann es zu signifikanten Lage- und Höhenfehlern kommen.“⁵³ Die Auswirkungen werden in Abb. 31 und Abb. 32 illustriert.

⁵⁰ Aus: Katzenbeisser, R. u. Kurz, S. (2004)

⁵¹ Steinle, E. (2005), S. 18

⁵² Ebd., S. 184.

⁵³ Steinle, E. (2005), S. 17.