

Techniken zur automatisierten Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
„doctor rerum naturalium”
(Dr. rer. nat.)
in der Wissenschaftsdisziplin Informatik

eingereicht an der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

von
Dipl.-Inform. Stefan Maaß

Potsdam, den 7. Januar 2009

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während meiner Promotionszeit unterstützt und damit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. So danke ich Prof. Dr. Jürgen Döllner (Universität Potsdam) recht herzlich für die Schaffung der Rahmenbedingungen, welche mir die Vorstellung meiner Arbeiten auf internationalen Konferenzen ermöglichten, für die Betreuung dieser Arbeit, für seine fachlichen Anregungen sowie für die Übernahme des Gutachtens.

Weiterhin bedanke ich mich bei Prof. Dr. Thomas H. Kolbe (Technische Universität Berlin), Prof. Dr. Hartmut Asche (Universität Potsdam) und Prof. Dr. Konrad Polthier (Freie Universität Berlin) für Ihre Bereitschaft zur Übernahme eines Gutachtens.

Besonderer Dank gilt meinen Kollegen im Fachgebiet *Computergraphische Systeme* am HPI. Danke für die gute Zusammenarbeit und den reichhaltigen Austausch von Erfahrungen, auch über fachlichen Themen hinaus. Im Speziellen möchte ich mich bei Johannes Bohnet für den intensiven Gedankenaustausch, die Diskussionen über neue Ideen, die stets konstruktive Kritik und die schöne Zeit miteinander bedanken.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Carina Maaß, für ihre Liebe, Ihr Verständnis für die manchmal etwas zu kurz gekommene gemeinsame Zeit, Ihre Aufmunterungen und Ihre Unterstützung in allen Phasen meiner Forschungstätigkeit. Ohne das alles, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Danke!

Kurzfassung

Beschriftungen bieten in kartographischen und illustrativen Darstellungen Zugang zu Informationen, welche sich nur schwer bildlich kommunizieren lassen. Auch die Anreicherung von Darstellungen mit Ziffern, Diagrammen oder Symbolen unterstützt die Gewinnung neuer Einsichten in komplexe räumliche Zusammenhänge. Allgemein werden diese Metainformationen mit dem Begriff Annotationen bezeichnet. Für interaktive Visualisierungsumgebungen besteht, aufgrund der sich dynamisch ändernden Sichtverhältnisse, ein Bedarf an Verfahren, welche Annotationen automatisiert den Darstellungen hinzufügen. Während in den letzten Jahren eine Reihe von Techniken für interaktive 2D-Karten oder 3D-Illustrationen entwickelt wurden, blieben interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen weitestgehend unberücksichtigt.

Die vorliegende Arbeit behandelt Konzepte und Verfahren zur automatisierten Anreicherung interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen mit Annotationen. Die Bestimmung sichtbarer, überlagerungsfreier, fehlerfrei zuordenbarer und ästhetisch ansprechender Positionen stellt dabei die größte Herausforderung dar. Zudem steht in interaktiven Umgebungen nur ein sehr begrenzter Zeitraum für die dafür notwendigen Berechnungen zur Verfügung. Basierend auf einer Analyse der bestehenden Techniken aus den Bereichen Kartographie, 3D-Illustration und 3D-Geovisualisierung werden vier neue Verfahren vorgestellt.

Das erste Verfahren arbeitet bildbasiert und nutzt eine spezielle Datenstruktur zur Verwaltung des verfügbaren Bildraums. Diese unterstützt, neben effizienten Operationen zur Markierung und Abfrage freier Bereiche, auch das schnelle Auffinden alternativer Positionen im Falle auftretender Überlagerungskonflikte. Zusammen mit einer Heuristik, welche die speziellen Eigenschaften interaktiver geovirtueller Umgebungen berücksichtigt, ermöglicht sie eine dynamische Platzierung externer Annotationen für lokale Objekte.

Die drei weiteren Verfahren verfolgen einen neuen Ansatz und betten Annotationen in den 3D-Objektraum ein. Dieses Vorgehen ermöglicht eine nahtlose Integration der Metainformationen in die bildliche Darstellung. Eines dieser Verfahren eignet sich für die Bezeichnung linearer Objekte, bspw. Straßen. Die beiden anderen Objektraum-Verfahren zielen auf die Annotation von dreidimensionalen Objekten. Am Beispiel von Gebäudekörpern wird gezeigt, wie Annotationen an Dach- und Fassadenflächen positioniert und ausgerichtet werden können.

Für die im 3D-Objektraum operierenden Techniken zeigen sich eine Reihe von Vorteilen. Verglichen mit einer einfachen bildlichen Überlagerung, unterstützen einge-

bettete Annotationen sehr viel direkter ihre Zuordnung zum referenzierten Objekt. Mit Hilfe einer dynamischen Platzierung lässt sich dadurch sehr viel präziser kommunizieren, ob das gesamte 3D-Objekt, ein Teilobjekt oder nur eine Teilfläche, bspw. eine Fassade, bezeichnet wird. Weiterhin nutzen eingebettete Annotationen den in der Darstellung zur Verfügung stehenden Informationsraum sehr gut aus. Dieser Aspekt ist für die Nutzung auf mobilen Endgeräten mit kleinen Displays von Bedeutung. Die nahtlose Integration vermeidet zudem Irritationen des Nutzers, welche auftreten können, wenn eine Navigationsoperation in der 3D-Szene zusätzlich zu 2D-Änderungen bei der Neupositionierung der Annotationen führt.

Ein eigenes Kapitel ist den allen Techniken gemeinsamen Konzepten zur Integration von Annotationsverfahren in Visualisierungsumgebungen gewidmet. Da sich Objektraum-Verfahren grundlegend von bildbasierten Verfahren unterscheiden, beleuchtet ein abschließendes Kapitel die für die Wahrnehmung wichtigen Aspekte.

Mit den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren ist es nun möglich, auch interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen adäquat mit Annotationen anzureichern. Aufgrund der besonderen Eigenschaften eingebetteter Annotationen bietet sich zukünftig auch ein Einsatz der vorgestellten Techniken in immersiven interaktiven 3D-Umgebungen, bspw. in Augmented-Reality Umgebungen, an.

Abstract

The integration of short textual information provides an efficient way for cartographic maps and illustrations to communicate pieces of information which are otherwise difficult to depict. Moreover, the enhancement of depictions with numbers, diagrams, or symbols supports the process of gaining new insights into complex spatial contexts. In general, this type of additional data is referred to as an annotation. Interactive visualization environments, where the view to the model changes continuously, necessitate automated annotation placement techniques. Even if a number of methods for interactive 2D maps or 3D illustrations has been developed over the last years, there is still a lack of techniques supporting geovirtual 3D environments.

This thesis addresses concepts and techniques for the automated annotation of interactive geovirtual 3D environments. Here, the visible, non-overlapping, unambiguous and aesthetic positioning of annotations poses the main challenge. Additionally, these techniques have to compute solutions within a limited time interval. Based on a review of existing techniques from cartography, 3D illustration, and 3D geovisualization, this thesis introduces four new annotation techniques.

The first technique operates in screen-space. It uses a dedicated data structure to manage the available space. Besides efficient operations to mark occupied and query for free areas, it supports the computation of alternative positions in the case of overlay conflicts. Combined with a heuristic, that makes use of the characteristic properties of interactive geovirtual 3D environments, it enables a dynamic placement of external labels referencing point features.

The three other techniques presented take a new approach by embedding annotations directly into the 3D scene. This results in a seamless integration of annotations into the depiction. One of the techniques is suitable for labeling linear features, such as streets. The objective of the two remaining techniques is the annotation of 3D objects. Using the example of 3D building models, it is shown how annotations can be integrated into roof and facade areas.

For object-space techniques, a number of advantages could be shown. Compared to screen-space annotations, embedded annotations communicate their reference more precisely. If dynamically placed, users are able to distinguish between cases, where the whole object, only an object part, or a surface part, e.g. a facade, is referenced by the annotation. Another benefit of embedded annotations is the high utilization of the available screen space which is an important aspect for mobile devices with their small displays.

Moreover, seamless integrated annotations avoid irritating situations, caused if a user navigation request for a 3D environment, additionally, results in 2D repositioning responses from the annotations. In an own chapter, common concepts for integrating annotation techniques into existing visualization environments are discussed. Since object-space techniques differ fundamentally from screen-space approaches, related perceptual issues are examined.

The annotation techniques presented enable an adequate enhancement of interactive geovirtual 3D environments with annotations. Due to the specific properties of embedded annotations, the presented techniques can offer future solutions to the annotation of immersive interactive 3D environments, such as augmented reality applications.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen	1
1.2	Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen	2
1.3	Motivation und Ziele der Arbeit	4
1.4	Aufbau der Arbeit	5
2	Annotationstechniken aus Kartographie und Illustration	7
2.1	Allgemeine Grundsätze für die Gestaltung von Annotationen	7
2.1.1	Typen von Annotationen	7
2.1.2	Problemstellungen bei der automatisierten Platzierung von Annotationen	8
2.2	Annotation zweidimensionaler kartographischer Darstellungen	9
2.2.1	Beschriftungstechniken für lokale Objekte	10
2.2.2	Beschriftungstechniken für lineare Objekte	13
2.2.3	Beschriftungstechniken für flächenhafte Objekte	14
2.2.4	Beschriftungstechniken für interaktive Kartendarstellungen	15
2.3	Annotation interaktiver virtueller 3D-Umgebungen	15
2.3.1	Annotation interaktiver virtueller 3D-Illustrationen	16
2.3.2	Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen	19
2.4	Zusammenfassung	21
3	Einbindung von Annotationstechniken in interaktive Visualisierungsumgebungen	23
3.1	Der Annotationsprozess in der Visualisierungspipeline	23
3.1.1	Selektion der darzustellenden Annotationen	24
3.1.2	Darstellung von Annotationen	25
3.1.3	Animation und Interaktion	26
3.2	Bildsynthese	27
3.2.1	Die programmierbare Rendering-Pipeline	27
3.2.2	Das G-Buffer Konzept	28
3.3	Zusammenfassung	30
4	Bildraumbasierte Platzierung von Annotationen in geovirtuellen 3D-Umgebungen	31
4.1	Problemstellung	31
4.2	Platzierungsstrategie	32

4.3	Verwaltung des Bildraums	34
4.4	Auflösung von durch die 3D-Szene hervorgerufenen Verdeckungen . . .	38
4.5	Ergebnisse und Diskussion	39
5	Beschriftung von Gebäuden mit dynamisch platzierten Schildern	43
5.1	Überblick und Datenstrukturen	43
5.2	Berechnung des Befestigungspunktes	45
5.3	Ausrichtung der Annotation	45
5.4	Auflösung der Kollisionen mit Gebäuden	47
5.4.1	Auflösung der Kollisionen im Bildraum	47
5.4.2	Auflösung der Kollisionen im Szenenraum	48
5.5	Zusätzliche Randbedingungen zur Beeinflussung der Platzierungsposi- tionen	48
5.5.1	Fixierung auf Höhe des Betrachters	48
5.5.2	Fixierung auf einer definierten Höhe des Gebäudes	49
5.6	Ergebnisse und Diskussion	49
6	Eingebettete Beschriftung linearer Objekte	51
6.1	Problemstellung	51
6.2	Approximation der Sichtbarkeit	53
6.3	Bestimmung von Position und Orientierung	55
6.4	Platzierungsstrategie	56
6.5	Ergebnisse und Diskussion	58
7	Eingebettete Beschriftung dreidimensionaler Objekte	61
7.1	Parametrisierte Hüllkörper	61
7.1.1	Rechteckshülle	62
7.1.2	Zylinderhülle	62
7.1.3	Grundrissshülle	63
7.2	Überblick über das Verfahren	64
7.3	Bestimmung der Platzierungspositionen	65
7.3.1	Bestimmung des Qualitätspotenzials	65
7.3.2	Bestimmung der Einbettungsposition	67
7.4	Ergebnisse und Diskussion	70
8	Perzeptorische Betrachtungen	73
8.1	Tiefenhinweise in perspektivischen Abbildungen	73
8.2	Mögliche Konflikte zwischen Annotationen und den Tiefenhinweisen der Darstellung	75
8.3	Nutzerstudie	78
8.3.1	Testaufbau und Thesen	78
8.3.2	Durchführung	80
8.3.3	Teilnehmer	81
8.3.4	Ergebnisse	81
8.3.5	Auswertung und Diskussion	82

8.4 Zusammenfassung	83
9 Zusammenfassung und Ausblick	85
9.1 Zusammenfassung	85
9.2 Ausblick	90
Literaturverzeichnis	93
A Für die Nutzerstudie verwendete Abbildungen	107

KAPITEL 1

Einleitung

Wenn Du ein Schiff bauen willst,
so trommle nicht Männer
zusammen, um Holz zu
beschaffen, Werkzeuge
vorzubereiten, die Arbeit
einzuteilen und Aufgaben zu
vergeben, sondern lehre die
Männer die Sehnsucht nach
dem endlosen weiten Meer!

(Antoine de Saint-Exupery)

1.1 Interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Geovisualisierung wurden in den letzten Jahren maßgeblich von zwei Trends bestimmt: der Erweiterung bestehender Algorithmen, Techniken und Anwendungen in die dritte Dimension und der vermehrten Nutzung interaktiver Konzepte. Dazu trug in entscheidendem Maße die kontinuierliche Weiterentwicklung der Hardwaretechnologie bei. Sie führte, selbst in Standardausstattungen von Bürorechnern, zu einer kontinuierlichen Steigerung der zur Verfügung stehenden Rechenleistung. Dadurch war es erstmalig für eine breite Nutzerschicht möglich, größere Mengen raumbezogener dreidimensionaler Daten interaktiv zu visualisieren. Als Folge etablierte sich eine neue Klasse von Anwendungen.

Die Entstehung eines weiterhin wachsenden 3D-Geodaten Marktes, der sich über die Bereiche Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datendienste erstreckt, unterstützte die Entfaltung dieser Trends. Die Verfügbarkeit moderner Technologien zur Datenerfassung, wie z.B. Laser Scanner oder photogrammetrische Verfahren, erlaubt es heutzutage 3D-Geodaten aktuell, hoch-detailliert und kosteneffizient bereitzustellen. Die zum Teil automatisierte Ableitung und Klassifikation raumbezogener Informationen, wie z.B. von Geländetopologien, Landnutzungsinformationen [42, 43, 86] oder 3D-Stadtmodellen [14, 15], erschließt, über die erfassten Basisdaten hinaus, weitere

Anwendungsfelder. Um einen verlustfreien Austausch dieser Daten zwischen verschiedenen Anwendungen zu ermöglichen, sind daher auch Bemühungen zur Etablierung neuer Standards, wie z.B. CityGML [58], zu beobachten.

Der Bedarf an flächendeckend verfügbaren 3D-Geodaten wächst wiederum durch die steigende Anzahl von Anwendungen, welche von der dritten Dimension der Daten Gebrauch machen. Zu diesen Anwendungen zählen z.B. Werkzeuge zur virtuellen Stadt- und Landschaftsplanung [22, 76], Lärmausbreitungssimulationen [18], Visualisierungen für das Immobilien- und Standortmarketing sowie Sichtbarkeitsanalysen für die Werbe-, Sicherheits- oder Solarwirtschaft [90]. Neben der Verwendung der Daten in Expertensystemen nimmt auch die Nutzung von 3D-Geodaten in persönlichen Lebensbereichen immer stärker zu. Die Routenplanung mit Navigationsgeräten, die Vorabinformation über die Umgebung von Urlaubszielen mit Hilfe von Satellitenkarten im Internet, die Erfassung eigener Wanderrouten mit Hilfe von GPS-Empfängern und deren Verknüpfung mit Karten oder Fotos sind nur einige Beispiele, die veranschaulichen, wie Geodaten den Alltag mehr und mehr durchdringen.

Die Bedeutung virtueller Umgebungen für die Visualisierung raumbezogener Daten wurde schon sehr frühzeitig von MacEachren et al. [71] erkannt. Die Autoren hoben dabei Immersion, Interaktivität, Informationsintensität und die Intelligenz (das Verhalten) der virtuellen Objekte als charakteristische Eigenschaften dieser Umgebungen hervor und prägten dafür den Begriff der *geovirtuellen Umgebung*.

Die vorliegende Arbeit bezieht sich vornehmlich auf Systeme zur Visualisierung *dreidimensionaler* raumbezogener Daten, welche in der Lage sind, auf Nutzerinteraktionen so schnell zu reagieren, dass dieser den Bilderzeugungsprozess nicht explizit wahrnimmt. Dafür muss das System in der Lage sein, mit einer Frequenz von mehr als 15 Bildern pro Sekunde die bildliche Darstellung zu erneuern [3]. Um diese beiden Aspekte zu unterstreichen, spricht man von *interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen*. Die folgende Definition fasst diese Aspekte noch einmal zusammen.

Definition 1 (Interaktive geovirtuelle 3D-Umgebung) System zur bildlichen Visualisierung raumbezogener, in mindestens drei Dimensionen ausgeprägter Informationen, das einem menschlichen Nutzer die Exploration ohne wahrnehmbare Verzögerungen ermöglicht.

1.2 Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen

Interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen gewannen in den letzten Jahren stark an Bedeutung, so dass aus universitären Forschungsprojekten erste wirtschaftlich nutzbare Anwendungen entstanden. Dieser Wissenstransfer in die Anwendungsdomäne warf wiederum neue, meist fach- und anwendungsspezifische Fragestellungen für die Forschung auf. Eine dieser Fragestellungen betrifft die Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen. Der Begriff Annotation wird selbst in der Domäne der Informationstechnologie auf unterschiedliche Weise verwendet (z.B. Java Annotationen [78], semantische Annotation von Bildern [51]). Allgemein bezeichnet er:

„einen zusätzlichen kommentierenden oder erläuternden Vermerk bzw. den Prozess des Hinzufügens dieses Vermerkes“ [74]. Für virtuelle 3D-Umgebungen lässt sich die Definition wie folgt präzisieren:

Definition 2 (Annotation in virtuellen 3D-Umgebungen) Im Kontext von virtuellen 3D-Umgebungen bezeichnet der Begriff Annotation: 1. Metainformationen in Form von Texten, Ziffern oder Symbolen mit der Funktion, zusätzliche, nicht der bildlichen Darstellung zu entnehmende, Informationen zu kommunizieren oder auf diese hinzuweisen; 2. den Prozess des Hinzufügens dieser Elemente zur Darstellung.

Aus den Bereichen Kartographie und Illustration sind eine Reihe von Anwendungen für den Einsatz von Annotationen bekannt. So werden kurze Texte meist zur Bezeichnung von Ortschaften, Flüssen, Gebirgen oder zur Beschriftung der Teile eines komplexeren Objektes (bspw. eines Getriebes) verwendet. Mit Zahlenwerten lassen sich Abstandsmaße, Hausnummern oder Verweise auf eine separate Legende repräsentieren. Symbole eignen sich, um Informationen über Kategorien (z.B. Tankstelle, Krankenhaus, Restaurant) oder für die Wegfindung (z.B. durch Pfeile) zu kommunizieren. Da in der Kartographie Annotationen hauptsächlich zur textuellen Bezeichnung geographischer Merkmale verwendet werden, spricht man häufig synonym von Beschriftungen und Beschriftungstechniken (*engl. label, labeling techniques*).

Wie für statisch zweidimensionale kartographische oder illustrative Darstellungen, gibt es auch für interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen den Bedarf, Namen, zugehörige Zahlenwerte oder Kommentare mit Hilfe von Annotationen bildlich zu kommunizieren. Jedoch berücksichtigten bisherige Techniken zur automatisierten Platzierung dieser Metainformationen die speziellen Eigenschaften dieser Umgebungen nicht.

So haben Symbole und Texte in der Regel eine zweidimensionale Ausprägung, was ihre Lesbarkeit auf zweidimensionalen Ausgabemedien erleichtert. Werden diese jedoch für die Annotation von dreidimensionalen Objekten verwendet, stellt sich die Frage neu, wie diese zwei Informationsebenen miteinander kombiniert werden sollten. Dieser Aspekt wird mit steigendem Grad der Immersion (z.B. in Mixed- oder Augmented Reality Umgebungen [75]) wichtiger, da hier die Kombination von 2D-Texten oder Symbolen mit 3D-Szeneninformationen zu Irritationen während der Interaktion führen kann.

Weiterhin kann sich in interaktiven Umgebungen sehr schnell die Sicht auf die 3D-Geodaten und damit auch die Anzahl der zu annotierenden Objekte bzw. die Sichtbarkeit ihrer Bestandteile ändern. Da Nutzer interaktiver Umgebungen nur kurze Reaktionszeiten des Systems akzeptieren, steht Algorithmen zur automatisierten Platzierung von Annotationen nur eine sehr begrenzte Zeitspanne zur Verfügung, bevor sie den Arbeitsablauf des Nutzers durch eine zu lange Reaktionszeit stören. Eher akzeptieren Nutzer interaktiver Umgebungen nicht optimal platzierte Beschriftungen, solange sie intuitiv, z.B. durch erneute Interaktion, die Auswahl oder die Qualität der Information (bspw. deren Lesbarkeit) verbessern können. Die effiziente Berechnung einer Lösung ist eine wesentliche Bedingung für den Einsatz von Annotationstechniken

in interaktiven Umgebungen und steht im Gegensatz zu den Rahmenbedingungen für die Annotation statischer Medien, bspw. bei der Herstellung gedruckter Stadtpläne. Dort kann die Suche nach optimalen Beschriftungspositionen mehrere Minuten oder Stunden in Anspruch nehmen.

1.3 Motivation und Ziele der Arbeit

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die Beobachtung, dass Verfahren zur automatisierten Platzierung von Annotationen, interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen nur unzureichend unterstützen. Abbildung 1.1 zeigt zwei Beispiele, die dies exemplarisch verdeutlichen. Als problematisch stellt sich dabei immer wieder die mangelhafte Zuordnung der Beschriftungen zu den Objekten sowie die Verdeckung von Annotationen oder wichtigen Elementen der 3D-Szene heraus.



Abbildung 1.1: Beispiele für die unzureichende Unterstützung geovirtueller 3D-Umgebungen durch Techniken zur automatisierten Platzierung von Annotationen, links: Schlechte Zuordnung der Bezeichner in Google Earth (Quelle: [34]), rechts: gegenseitige Überlagerung von Texten und Symbolen in Map 24 (Quelle: [72]).

Zu Beginn dieser Arbeit ergaben sich daher die folgenden Aufgaben und Fragestellungen:

- *Sichtung und Analyse:* Zum Thema Annotation existiert eine Fülle von Arbeiten aus unterschiedlichsten Domänen, welche zum Teil auf die Zeit vor der elektronischen Datenverarbeitung zurückreichen. So wurden schon händisch erzeugte Karten oder Illustrationen medizinischer, technischer sowie botanischer Objekte mit zusätzlichen Textelementen und Symbolen angereichert, um ihren Nutzen zu erhöhen. Da die manuelle Platzierung von Beschriftungen in statischen Karten einen Großteil der Herstellungszeit beansprucht, wurden hierfür eine Reihe von Ansätzen zur automatisierten Platzierung entwickelt. Zudem war in den letzten Jahren zu beobachten, dass erste Verfahren sich dieser Problemstellung im Kontext virtueller 3D-Umgebungen annahmen. In einem ersten Schritt werden diese Konzepte, Techniken und Verfahren gesichtet, geordnet und hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen überprüft. Dabei werden die folgende Fragestellungen betrachtet:

- Welche Gestaltungsgrundsätze für die Annotation zweidimensionaler Umgebungen können auf interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen übertragen werden?
 - Warum eignen sich die für zweidimensionale Visualisierungen bestehenden Annotationsverfahren bisher nur unzureichend für die perspektivische Ansicht dreidimensionaler Szenen? Welche speziellen Anforderungen stellen interaktive Umgebungen an Annotationstechniken?
 - Welche Techniken scheiden aufgrund ihrer Berechnungskomplexität für einen Einsatz in interaktiven Visualisierungsumgebungen aus? Welche Ansätze eignen sich hingegen besonders?
- *Entwicklung neuer Verfahren:* Eignen sich die bestehenden Techniken nicht zur Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen oder lassen sich diese nicht auf einfache Art und Weise erweitern, so ist nach neuen Ansätzen zu suchen. Neben dem Entwurf solcher Techniken, ist zur Überprüfung ihrer Eignung für interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen eine softwaretechnische Umsetzung notwendig.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in folgende Teile gegliedert:

- Kapitel 2 gibt einen Überblick über bestehende Konzepte und Verfahren zur Annotation von kartographischen Abbildungen, Illustrationen und Informationsvisualisierungen. Dabei wird auf generell gültige Gestaltungsgrundsätze für Annotationstechniken ebenso eingegangen, wie auf die spezifischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Anwendungsbereichen. Spezielles Augenmerk liegt zudem auf der Tauglichkeit der Verfahren für einen Einsatz in interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen.
- Kapitel 3 beschreibt, wie sich Verfahren zur automatisierten Platzierung von Annotationen in bestehende Visualisierungsumgebungen integrieren lassen. Ausgehend vom Modell der Visualisierungspipeline, wird der Einfluss der Annotationstechniken auf die verschiedenen Stufen dieser Pipeline erläutert. Dem schließt sich eine Beschreibung verschiedener Möglichkeiten zur Darstellung von Annotationen in interaktiven Umgebungen an. Darüber hinaus werden die technischen Grundlagen besprochen, die zum Verständnis der in dieser Arbeit vorgestellten Annotationstechniken notwendig sind.
- In den darauf folgenden Kapiteln wird auf die im Rahmen dieser Arbeit speziell für den Einsatz in interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen entwickelten Annotationstechniken eingegangen.
 - Kapitel 4 beschreibt ein im Bildraum arbeitendes Verfahren. Es basiert auf einer Datenstruktur, welche den auf dem Bildschirm zur Verfügung

- stehenden Platz auf effiziente Art und Weise verwaltet. Unter Ausnutzung der speziellen Eigenschaften interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen ist damit die Erkennung und Auflösung von Überlagerungen, sowohl zwischen den zu platzierenden Annotationen, als auch von wichtigen Bereichen der Darstellung möglich.
- Vorbild für das im Kapitel 5 vorgestellte Verfahren sind die in der realen Welt vorhandenen Schilder, die verschiedenste Arten von Informationen präsentieren (z.B. Straßennamen, Gewerbeschilder, Hinweise auf Bus- und U-Bahn-Haltestellen). Im Gegensatz zu traditionellen Annotationstechniken werden hierbei Annotationen nicht im Bildraum angeordnet, sondern in Form virtueller Schilder als eigenständige Elemente in die 3D-Szene integriert. Diese Schilder werden dynamisch an Gebäudefassaden möglichst so angebracht, dass sie sich nahe am Betrachter befinden und zu diesem ausgerichtet erscheinen.
 - Das im Kapitel 6 vorgestellte Verfahren wurde entwickelt, um Beschriftungen für lineare Objekte, in diesem Fall Straßen, in perspektivische Ansichten dreidimensionaler Stadtmodelle einzubetten. Dabei erfolgt eine explizite Bewertung der Sichtbarkeit der Beschriftungen, mit dem Ziel, deren Verdeckung durch die Szene möglichst zu minimieren. Weiterhin stellt das Verfahren verschiedene Platzierungsstile bereit, welche auf die Auswahl einer spezifischen Position Einfluss nehmen, falls mehr als eine konfliktfreie Position zur Einbettung der Beschriftung mit maximaler Sichtbarkeit existiert.
 - Die in Kapitel 7 vorgestellte Technik erweitert die zur Annotation linearer Objekte genutzten Konzepte, um Beschriftungen in Oberflächen von 3D-Objekten einzubetten. Da sich dabei die Anzahl möglicher Positionen für eine Einbettung wesentlich vergrößert, werden diese in Gruppen nach ihrem Potenzial sortiert und in einer dem gewählten Platzierungsstil entsprechenden Ordnung effizient evaluiert.
- Ergänzend geht das Kapitel 8 auf einige Aspekte der Wahrnehmung von automatisch platzierten Annotationen in interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen ein. So wird anhand von Beispielen gezeigt, wie nachträglich einer perspektivischen Abbildung hinzugefügte Annotationen mit den in einer Darstellung inhärent kodierten Tiefenhinweisen in Konflikt treten können. Zudem befasst sich eine eigens konzipierte Nutzerstudie mit dem Nachweis der Wahrnehmung eines solchen Konfliktes.
 - Abschließend fasst Kapitel 9 die Ergebnisse der Arbeit zusammen, stellt einige Anwendungen der entwickelten Annotationstechniken vor und gibt einen Ausblick auf offene Fragestellungen und Forschungsthemen.

KAPITEL 2

Annotationstechniken aus Kartographie und Illustration

„Man muss viel gelernt haben,
um über das, was man nicht
weiß, fragen zu können.“

(Jean-Jacques Rousseau)

2.1 Allgemeine Grundsätze für die Gestaltung von Annotationen

2.1.1 Typen von Annotationen

In einer Vielzahl von Arbeiten [4, 37, 48] werden zwei Typen von Annotationen unterschieden: interne und externe Annotationen (Abb. 2.1 a), b)). *Interne Annotationen* überlagern in der bildlichen Darstellung das referenzierte Objekt, wohingegen *externe Annotationen* in dessen Nähe positioniert werden und durch ihre Lage oder zusätzliche graphische Elemente, bspw. Verbindungslinien, ihre Zugehörigkeit kommunizieren. Beide besitzen unterschiedliche Vor- und Nachteile, so dass ihre Verwendung, je nach Anwendung, abgewogen werden muss.

So sind interne Annotationen den Objekten meist eindeutig zuordenbar, verdecken diese jedoch teilweise. Die Verwendung einer internen Annotation ist in manchen Fällen von vornherein ausgeschlossen, bspw. wenn die Größe einer Annotation den zur Verfügung stehenden Bildbereich wesentlich übersteigt.

Externe Annotationen sollten in Bereichen platziert werden, in denen keine für das Verständnis der Darstellung relevanten Informationen abgebildet werden. Im Vergleich zu internen Annotationen, wird eine eindeutige Zuordnung für den Nutzer durch die räumliche Trennung von Annotation und Objekt allerdings erschwert.

Für die Annotation perspektivischer Ansichten von 3D-Objekten wird in dieser Arbeit eine spezielle Form interner Annotationen verwendet, welche im Folgenden mit dem Term *eingebettete Annotationen* bezeichnet werden. Diese überlagern nicht nur das Objekt in der 2D-Darstellung, sondern werden in die 3D-Szene integriert und unterliegen zusammen mit dieser der perspektivischen Abbildung (Abb. 2.1 c)).

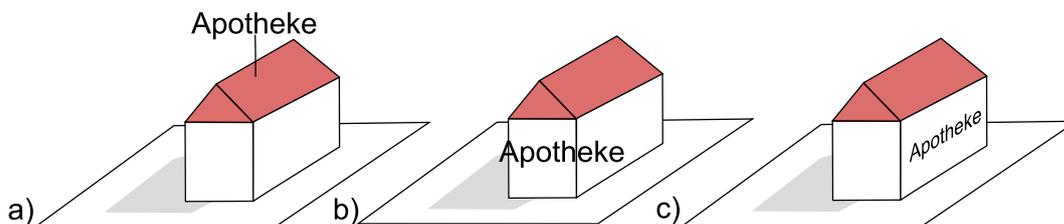


Abbildung 2.1: Verschiedene Typen von Annotationen: a) externe Annotation, b) interne Annotation, c) eingebettete Annotation.

2.1.2 Problemstellungen bei der automatisierten Platzierung von Annotationen

Für die Beschriftung von Karten, Illustrationen, Graphen oder Diagrammen existieren eine Reihe unterschiedlicher algorithmischer Optimierungsprobleme. Ist die Menge der Beschriftungen sehr viel größer, als die zur sinnvollen Platzierung verfügbare Fläche des Bildraums, so wird meist die Maximierung der Anzahl der verdeckungsfrei darstellbaren Annotationen angestrebt. Ein typischer Anwendungsfall hierfür ist die Erstellung von Karten, bei der nach und nach immer detailliertere Beschriftungen hinzugefügt werden, bis die Übersichtlichkeit darunter leidet. Ist ausreichend Platz für eine von vornherein limitierte Menge von Annotationen vorhanden, so ist die Maximierung der zur Darstellung verwendeten Größe der Annotationen in einigen Anwendungen wünschenswert [29, 54].

Neben Anzahl und Größe von Annotationen sind auch qualitative Attribute zu berücksichtigen. Dazu gehören sowohl perzeptorische und kognitive Aspekte, um die Aufnahme und Verarbeitung der Informationen zu unterstützen, als auch ästhetische Kriterien, um der annotierten Darstellung ein ansprechendes Erscheinungsbild zu verleihen. Schon in der klassischen Kartographie wurde das Erstellen einer Karte nicht nur als technisches Verfahren, sondern auch als handwerkliche Kunst angesehen [97]. Die am häufigsten genannten Qualitätsmerkmale (siehe u.a. [27, 48]) beinhalten die folgenden Kriterien:

- *Sichtbarkeit:* Die für die Annotationen gewählten Positionen entscheiden über deren Sichtbarkeit sowie die Sichtbarkeit der dargestellten Szenenobjekte. Annotationen sollten also möglichst so angeordnet werden, dass sie sich vollständig im Sichtbereich befinden und eine gegenseitige Überlagerung und Verdeckung wichtiger Bereiche der Darstellung minimiert wird.
- *Zuordnung:* Zudem beeinflusst die Position einer Annotation, wie einfach und fehlerfrei sich diese zum referenzierten Objekt zuordnen lässt. Interne Annotationen sollten dabei nur Verwendung finden, wenn die Dimensionen der Annotation und die Größe des Objektes in der Darstellung in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. In den meisten Fällen unterstützt hier eine zentrierte oder an der Form orientierte Positionierung die Zuordnung. Externe Annotationen hingegen sollten möglichst mit kurzen und kreuzungsfreien Linien mit dem Objekt verbunden werden, welche zudem nur sehr wenige Richtungsänderungen aufweisen sollten.

- *Lesbarkeit*: Die von der Annotation zu kommunizierende Information sollte für den Nutzer einfach und vollständig zu dekodieren sein. Für Beschriftungen gehört dazu eine entsprechende Wahl der Schriftart, des Schriftstils, der Größe und der Darstellungsfarbe, welche einen möglichst guten Kontrast zum Hintergrund aufweisen sollte [46, S. 137ff], [31, 49]. Des Weiteren wird die Lesbarkeit einer Annotation sehr stark durch deren Orientierung beeinflusst. Aus diesem Grund sollte eine einheitliche Schreibrichtung gewählt werden. Folgt eine Beschriftung einem gebogenen Pfad, so bieten sich Positionen an, welche die Krümmung und Anzahl der Wendepunkte des Textes minimieren. Für Beschriftungen, die in 3D-Objekte eingebettet werden, sind möglichst Flächen zu verwenden, die zum Betrachter orientiert sind, um eine gute Lesbarkeit auch nach der perspektivischen Projektion zu gewährleisten.
- *Ästhetischer Eindruck*: Neben den bisherigen Kriterien existieren noch eine Reihe von ästhetischen Attributen. So ist bei der Annotation von Illustrationen eine gewisse Ausgewogenheit und Symmetrie der Verteilung der Annotationen wünschenswert. Bei der Positionierung externer Annotationen können diese z.B. gleichmäßig entlang der Objektsilhouette oder mit konstantem Abstand zum Rand angeordnet werden.
- *Bild-zu-Bild Kohärenz*: In interaktiven Umgebungen ändert sich die Sicht und damit auch die zu annotierende Menge von Objekten dynamisch. In dreidimensionalen Darstellungen kann zusätzlich eine kleine Änderung der Position des Beobachters eine größere Änderung der verdeckten Szenenobjekte bewirken. Dies kann dazu führen, dass während einer Interaktion Annotationen sporadisch in der Darstellung erscheinen oder neue, weit entfernte Positionen auf dem Bildschirm einnehmen. Da dieses irritierende Verhalten die Kommunikation wesentlicher Informationen der Darstellung behindern kann, sollten Platzierungstechniken Sichtbarkeit und Position von Annotationen innerhalb aufeinanderfolgender Bildsequenzen nicht abrupt ändern.

In vielen Fällen beeinflussen sich diese Kriterien gegenseitig, so dass sie nicht unabhängig voneinander optimierbar sind. Ästhetische Kriterien werden zudem von subjektiven Vorlieben der Nutzer oder Anforderungen aus der Anwendung beeinflusst. Um diesem Punkt Rechnung zu tragen, stehen in interaktiven Umgebungen meist eine Reihe von konfigurierbaren Stilen zur Verfügung [4, 66].

2.2 Annotation zweidimensionaler kartographischer Darstellungen

Viele Techniken zur automatisierten Platzierung von Beschriftungen haben ihren Ursprung in der Kartographie. Einen guten Überblick über die Entwicklung und Vielfalt der Verfahren gibt die Bibliographie von Wolff und Strijk [101]. Treibende Kraft dieser Entwicklung war die Verbreitung der elektronischen Datenverarbeitung. Dies vereinfachte die Erstellung von Karten in aktueller Auflage, da ein nicht unerheblicher Anteil des Aufwandes bei der Erstellung, er wird auf bis zu 50 Prozent

geschätzt [100, 103], durch die manuelle Platzierung der Beschriftungen und Symbole verursacht wird. Der Bedarf an Techniken zur automatisierten Beschriftung ergab sich aus dem Wunsch, diesen Aufwand zu reduzieren.

Schon in der klassischen Kartographie wurden, entsprechend dem Kriterium der Dimensionalität, drei verschiedene Kategorien von Beschriftungen unterschieden (s. u.a. [52]):

- *Beschriftungen für lokale Objekte* werden zur Bezeichnung von, aufgrund der Ausdehnung oder des für die Darstellung gewählten Maßstabes, punktuellen Objekten verwendet. Typische Beispiele sind Städtenamen, Höhenangaben an Berggipfeln oder Namen von Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrsnetzes.
- *Beschriftungen für lineare Objekte* eignen sich zur Bezeichnung von Flüssen, Straßen, Gebirgszügen oder Bahnstrecken. Das referenzierte Objekt kann dabei aus einer einfachen Linie, mehreren Liniensegmenten, gebogenen Segmenten oder komplexen Netzen (z.B. bei Flüssen) bestehen.
- *Beschriftungen für flächenhafte Objekte* eignen sich zur Bezeichnung von Arealen, wie Kontinenten, Staatsgebieten, Flurstücken oder Wasserflächen. Ist keine explizite Begrenzung des Areals vorhanden, so wird dessen Ausdehnung häufig durch einen geschwungenen Schriftzug angedeutet.

Für jeden dieser Kategorien existieren unterschiedliche Verfahren zur automatisierten Beschriftung, wobei die Anzahl der Verfahren zur Platzierung von Beschriftungen für lokale Objekte deutlich überwiegt. Die Gründe dafür liegen vermutlich in der steigenden Komplexität des zu lösenden Problems sowie dem Aspekt, dass sich lineare Objekte und Flächen sehr einfach auf lokale Objekte (z.B. über den Mittel- oder Schwerpunkt) reduzieren lassen.

2.2.1 Beschriftungstechniken für lokale Objekte

Für die Beschriftung lokaler Objekte arbeiten viele Verfahren mit einer festen Kandidatenmenge von Positionen. Dabei werden meist vier oder acht Kandidaten gleichmäßig um einen Punkt gruppiert. Die Qualität eines Kandidaten wird mit Hilfe zusätzlicher Gewichte oder durch eine vordefinierte Reihenfolge der Kandidaten (Abb. 2.2 a), b)) definiert.

Statt einer Auswahl aus diskreten Positionskandidaten, ermöglichen einige Verfahren auch die Nutzung des gesamten Raums um einen Punkt. Weitere mögliche Positionen ergeben sich entweder durch horizontale oder vertikale Verschiebung zwischen den bisher definierten Positionen [60] oder durch eine Parametrisierung, welche die Beschriftung um den Punkt rotiert [82] (Abb. 2.2 c)).

Die Auswahl einer spezifischen Position aus der Menge der Kandidaten erfolgt möglichst so, dass eine Verdeckung anderer Punkte und Beschriftungen minimiert und die Qualität der Positionen maximiert wird. Sowohl für die Maximierung der Anzahl als auch der Größe der Beschriftungen wurde nachgewiesen, dass diese Probleme NP-vollständig sind [29, 53, 73]. Für eine effiziente Lösung in der Praxis existieren

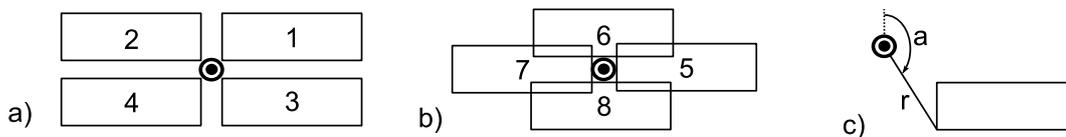


Abbildung 2.2: Möglichkeiten für die Positionierung von Beschriftungen lokaler Objekte in kartographischen Darstellungen: a) für die Platzierung zu favorisierende Positionen 1-4, b) von einigen Verfahren zusätzlich angebotene Platzierungspositionen 5-8, c) freie Parametrisierung des Platzierungsraums über Winkel und Abstand zum Punkt.

daher eine Reihe verschiedener Herangehensweisen. Der folgende Überblick basiert auf den Arbeiten von Christensen et al. [16] und Raidl [85].

- *Erschöpfende Suchalgorithmen* explorieren, bspw. mittels Backtracking, systematisch den Raum aller möglichen Lösungen und enden, sobald sie das Optimum oder ein ausreichend gutes Ergebnis gefunden haben. Mit steigender Anzahl von Beschriftungen und möglichen Positionen pro Beschriftung wächst der Lösungsraum exponentiell. Daher eignet sich die Anwendung von Verfahren dieser Kategorie nur für Problemstellungen mit einer geringen Anzahl von Annotationen, auch wenn durch eine geschickte Wahl der Suchreihenfolge oder eine Beschneidung des Suchraums potenziell Verbesserungen in der Laufzeit zu erreichen sind. Zu dieser Gruppe gehören die Arbeiten von Ahn und Freeman [1] sowie von Doerschler und Freeman [21].
- *Heuristiken* verzichten auf den Anspruch, eine optimale Lösung zu finden und lassen meist ein Vorwissen in die Suche nach einer akzeptablen Lösung einfließen. Ein typisches Beispiel sind Greedy-Strategien, die versuchen, zuerst eine Lösung für mit einer hohen Priorität versehene oder schwierig zu platzierende Beschriftungen zu finden. Bei der Platzierung von Beschriftungen lokaler Objekte könnte dies bspw. bedeuten, mit Beschriftungen zu beginnen, welche die meisten möglichen Konflikte aufweisen.
- Verfahren, die auf einer *Gradienten Optimierung* basieren, starten mit einem Vorschlag zur Platzierung der Beschriftungen, der im einfachsten Fall zufällig erzeugt wird. Zusätzlich wird eine Funktion definiert, mit der sich die Qualität der momentanen Lösung bewerten lässt. Dazu eignet sich bspw. die Anzahl der überlappenden Beschriftungen oder die Summe über die Qualitätswerte der gewählten Positionen. Iterativ wird dann versucht, die Platzierung qualitativ zu verbessern. Dazu wird zufällig eine Beschriftung aus der Gesamtmenge ausgewählt und überprüft, ob eine alternative Positionierung dieser Beschriftung zu einer qualitativ besseren Bewertung der Lösung führt. Ist dies der Fall, so ändert sich die Position der Beschriftung. Diese Iteration wird so lange fortgeführt, bis über eine vordefinierte Anzahl von Schritten keine Verbesserung mehr zu erzielen ist.

Dieser Ansatz führt bei einer ausreichenden Anzahl von Iterationen und damit

verbundenen längeren Laufzeiten zu guten Ergebnissen. Allerdings ist anzumerken, dass der iterative Prozess lokale Extrema der Bewertungsfunktion nicht überwinden kann, so dass eine optimale Lösung nicht immer erreicht wird.

Hirsch [50] stellt in seiner Arbeit eine anspruchsvollere Variante dieses Ansatzes vor. Dabei werden die Positionen für jede Beschriftung nicht aus einer festen Kandidatenmenge ausgewählt, sondern können frei um den zugehörigen Punkt bewegt werden. Bei einem Überlagerungskonflikt erfolgt für die betroffenen Beschriftungen eine Berechnung von Richtungsvektoren zur Neupositionierung. In [16] wurde jedoch gezeigt, dass auch hier Situationen vorkommen können, in denen die Überwindung lokaler Extrema nicht gelingt.

- *Simulated Annealing*, was mit „Simulierter Abkühlungsprozess“ übersetzt werden kann, ist eine Erweiterung der Gradienten Optimierung, die es erlaubt, lokale Extrema zu überwinden. Dazu wird ein zusätzlicher „Temperatur“-Wert eingeführt, welcher während des Iterationsprozesses abkühlt, also stetig sinkt. Dieser Wert repräsentiert eine Wahrscheinlichkeit mit der, sollte eine Neupositionierung zu einer schlechteren Bewertung der Qualität der Platzierung führen, auch diese akzeptiert wird. Dies ermöglicht es dem Verfahren, zu Beginn der Iteration aus lokalen Extrema auszubrechen. Eine detaillierte Beschreibung mit einem ausführlichen Vergleich zu anderen Verfahren findet sich in [16].
- *Kraftausgleichs-Verfahren* definieren eine Menge von anziehenden und abstoßenden Kräften zwischen initial platzierten Elementen. Durch einen iterativen Entspannungsprozess wird versucht, die Elemente in neue Positionen zu bewegen, so dass sich die Kräfte im gesamten System ausgleichen. Ebner et al. [27] stellen in ihrer Arbeit ein Verfahren zur Platzierung von Beschriftungen vor, welches diesen Ansatz mit Simulated Annealing kombiniert. Dabei werden abstoßende Kräfte zwischen konfliktbehafteten Beschriftungen definiert, um diese in neue konfliktfreie Positionen zu bewegen. Gelingt es dadurch nicht, den Konflikt zu lösen, werden neue Startpositionen für die Beschriftungen gewählt oder bei nicht auflösbaren Konflikten Beschriftungen von der Platzierung ausgeschlossen. Inwieweit bei einer Replatzierung auch qualitativ schlechtere Lösungen akzeptiert werden, wird mittels Simulated Annealing entschieden. Die Autoren berichten von qualitativ sehr guten Ergebnisse und Laufzeiten von wenigen Sekunden (z.B. Platzierung von 750 Beschriftungen in weniger als 5 s).
- *Genetische Algorithmen* bilden den Prozess der Evolution nach und besitzen den Vorteil, dass sie, statt einen Wert schrittweise zu optimieren, eine ganze Population von Lösungskandidaten gleichzeitig verfolgen. Sie sind damit unanfälliger für lokale Optima. Dabei werden aus einer bspw. zufällig erzeugten Menge von Lösungskandidaten, anhand einer Bewertungsfunktion die besten Lösungen ausgewählt (Auslese). Die Elemente dieser Teilmenge werden danach miteinander kombiniert (Rekombination) und die so entstandenen Nachfahren leicht verändert (Mutation). Dieser Prozess erfolgt über mehrere Iterationen, solange bis keine signifikante Verbesserung mehr beobachtbar ist. Raidl [85] nutzte das Konzept der genetischen Algorithmen zur Platzierung von Beschriftungen

lokaler Objekte. Um die Berechnungen zu beschleunigen, wurden mögliche Konflikte zwischen Beschriftungen vorberechnet, die Ausgangspopulation mit einem heuristischen Verfahren initialisiert und die neu entstandenen Lösungskandidaten vor einer Bewertung lokal optimiert. Um qualitativ ähnlich gute Ergebnisse, wie mit den Simulated Annealing Ansatz, zu erhalten, sind jedoch längere Berechnungszeiten notwendig.

- Verfahren der *linearen Programmierung* versuchen eine lineare Funktion zu optimieren, welche durch eine Reihe von Randbedingungen in Form von Gleichungen oder Ungleichungen beschränkt ist. Verfahren der ganzzahligen linearen Optimierung stellen eine Verallgemeinerung dar, wobei die Berechnung einer Lösung für diese Gruppe selbst NP-vollständig ist.

Zoraster [104, 105] formulierte die Frage der automatisierten Platzierung von Beschriftungen als 0-1 Integer Problem. Dabei wird eine $N \times M$ Matrix definiert, wobei N für die Anzahl der Beschriftungen und M für die Anzahl der möglichen Positionen einer Beschriftung steht. Jeder Wert in dieser Matrix kann den Wert 0 oder 1 annehmen. Als Randbedingung muss dabei gelten, dass eine Beschriftung nur an einer Position definiert werden darf. Gleichzeitig sollen die Kombinationen so gewählt werden, dass die Qualität über alle Positionen maximiert und die Menge der Überlagerungen minimiert wird. Die Verbesserung der Lösung erfolgt dabei iterativ, mit Hilfe der Lagrange-Relaxierung. Für Problemstellungen aus der Praxis sind jedoch auch hier Laufzeiten von mehreren Sekunden notwendig [16].

Auch externe Beschriftungen für Punktreferenzen finden sich in kartographischen Darstellungen wieder. So beschreiben Bekos et al. [8] ein Verfahren, das die Beschriftungen am Rand eines rechteckigen Kartenausschnittes positioniert (Abb. 2.3). Dabei wird eine Kreuzung von Verbindungslinien vermieden und je nach Variante die Länge der Linien oder die Anzahl der Winkel einer Linie minimiert.

2.2.2 Beschriftungstechniken für lineare Objekte

Der regelbasierte Ansatz von Doerschler und Freeman [21] beinhaltet u.a. vier Regeln für die Platzierung von Beschriftungen linearer Objekte. Die einfachsten davon positionieren die Beschriftungen mittig, parallel zur Linie bzw. verschieben diese entlang der Linie, bis eine Position ohne Überlappungen gefunden wurde. Zwei weitere Regeln dienen speziell der Bezeichnung von Schnellstraßen. Die entsprechenden Symbole werden dabei entweder mit einem festen Abstand wiederholt oder dabei etwas verschoben, so dass Überlagerungen mit anderen Beschriftungen ausbleiben, die Platzierung vollständig innerhalb der Karte liegt und Positionen nahe sich kreuzender Straßen vermieden werden.

Auch das Verfahren von Barrault und Lecordix [6] beschäftigt sich mit der Platzierung von Bezeichnern für Schnellstraßen. Um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten, werden diese an Kreuzungen und Verzweigungen in Segmente unterteilt und die Beschriftungen in regelmäßigen Abständen wiederholt. Um diese Segmente

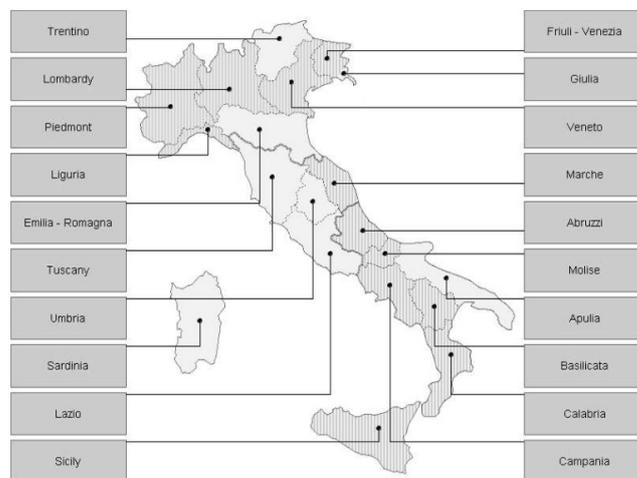


Abbildung 2.3: Beispiel eines Verfahrens für die externe Beschriftung kartographischer Darstellungen (Quelle: [8]).

geometrisch weiter zu vereinfachen, werden Hauptachsen aus benachbarten Punkten abgeleitet und für die Platzierung verwendet. Die Verteilung der Bezeichner über die Menge seiner Segmente erfolgt mittels Simulated Annealing unter Berücksichtigung weiterer Qualitätskriterien. Die Beschriftung aller Straßen erfolgt in sequentieller Reihenfolge.

Ziel der Arbeit von Wolf et al. [100] ist eine hoch-qualitative Platzierung von Beschriftungen entlang der generalisierten Form einer Polylinie. Dazu werden eine Reihe von strikten und optionalen Kriterien definiert. Zu den strikten Kriterien zählen die Einhaltung eines minimalen Abstandes zur Linie und einer maximalen Krümmung der Beschriftung sowie die Überschneidungsfreiheit der einzelnen Buchstaben mit der Linie. Zusätzlich sollte die Beschriftung möglichst nahe an der Polylinie, mit wenigen Wendepunkten, einer geringen Krümmung und horizontal ausgerichtet platziert werden. Um dies zu erreichen wird ähnlich wie beim Verfahren von Douglas und Peucker [25] zur Vereinfachung eines Linienzugs vorgegangen. Ausgehend von einem einfachen Kreisbogen ohne Wendepunkte, wird dieser rekursiv der Polylinie angenähert. Im Anschluss werden entlang dieses so der Polylinie angenäherten Pfades mögliche Positionen entsprechend der genannten Qualitätskriterien evaluiert.

2.2.3 Beschriftungstechniken für flächenhafte Objekte

Das Verfahren von Roessel [88] operiert auf einer vektoriellen Beschreibung der Fläche. Diese wird durch horizontal verlaufende Linien, welche jeweils einen der Randpunkte durchlaufen, in Segmente unterteilt. Links und rechts werden diese Segmente durch den Rand der Fläche begrenzt. Mit Hilfe dieser Struktur wird nun mittels eines Line-Sweep Algorithmus die Menge der einpassbaren Rechtecke ermittelt. Als Kriterien für die Auswahl eines spezifischen Rechtecks für die Platzierung der Beschriftung werden die Größe der Fläche und deren Seitenverhältnis verwendet.

Der regelbasierte Ansatz von Doerschler und Freeman [21] beinhaltet auch Ver-

fahren zur Beschriftung flächenhafter Objekte. Eine einfache Variante platziert die Beschriftungen in der Mitte der Fläche und verschiebt diese, wenn notwendig, in horizontaler oder vertikaler Richtung. Eine andere Möglichkeit ist die Platzierung der Beschriftung entlang eines Skelettpfades, erzeugt mit Hilfe einer rasterisierten Darstellung der Fläche, die schrittweise von den Rändern her abgetragen wird.

Der Ansatz von Dörschlag et al. [24] erlaubt es, Objekte in zusammenhängenden Flächen zu platzieren, welche topologisch keine Löcher enthalten dürfen. Das zu platzierende Objekt wird dabei durch ein Rechteck approximiert, dessen Skalierung und Rotation durch das Verfahren nicht beeinflussbar ist. Dieses Rechteck wird zuerst mit seinem Mittelpunkt entlang des Flächenrandes bewegt. Die dabei überlagerten Teile der Fläche werden von dieser abgezogen. Innerhalb der verbleibenden Fläche ist eine vollständige Einbettung des zu platzierenden Elementes möglich. Um eine guten zuordenbare Position zu finden, wird entsprechend einer Bewertungsfunktion ein Punkt auf dem inneren Skelett-Pfad dieser Teilfläche ausgewählt.

2.2.4 Beschriftungstechniken für interaktive Kartendarstellungen

Petzold et al. [82] präsentieren als Erste einen Ansatz zur Beschriftung von lokalen, linearen und flächenhaften Elementen in interaktiven 2D-Karten. Durch Skalierungs- und Verschiebeoperationen ist es dem Nutzer dabei möglich, Darstellungsmaßstab und Ausschnitt der Karte dynamisch zu ändern. Dabei werden die zur automatisierten Platzierung notwendigen Berechnungen soweit möglich in einen Vorverarbeitungsschritt verlagert. Ergebnis dieser Vorberechnungen ist ein reaktiver Konfliktgraph, der für jede der möglichen diskreten Platzierungspositionen einer Beschriftung Informationen über mögliche Überlappungskonflikte und die zugehörigen Maßstabsintervalle speichert. Dieser Graph findet während der Interaktionsphase Verwendung und ermöglicht eine effiziente Auswahl spezifischer Platzierungspositionen.

Der Ansatz von Been et al. [19] ist eine Variante des vorherigen Verfahrens, fokussiert allerdings auf die strikte Einhaltung konsistenter Beschriftungen unter interaktiven Bedingungen. Dies bedeutet bspw., dass beim Vergrößern des dargestellten Kartenausschnitts die bislang dargestellten Beschriftungen weiter erhalten bleiben sollten. Zu diesem Zweck werden die Beschriftungen zunächst ohne Berücksichtigung der gegenseitigen Überlagerung in einem Vorverarbeitungsschritt platziert. Während der Interaktion mit der Karte werden dann entsprechend vorher vergebener Prioritäten nur die Beschriftungen verwendet, die keinen Konflikt aufweisen. Somit erhöht sich beim Verkleinern des Maßstabes der Karte die Anzahl der Beschriftungen kontinuierlich. Nachteilig bei diesem Ansatz ist allerdings, dass die Positionen der Beschriftungen nicht variieren, so dass sie beim Verschieben des sichtbaren Kartenausschnittes ggf. nicht oder nur teilweise sichtbar sind.

2.3 Annotation interaktiver virtueller 3D-Umgebungen

Interaktive Umgebungen stellen Verfahren zur dynamischen Platzierung vor zwei generelle Herausforderungen: Sie müssen in der Lage sein, eine Lösung in sehr kurzer Zeit

zu berechnen und für aufeinander folgende Bildsequenzen eine kohärente Positionierung der Annotationen vorzunehmen. Für Darstellungen virtueller dreidimensionaler Objekte stellt sich darüber hinaus die Frage, auf welche Art und Weise Annotationen, typischerweise durch zweidimensionale Texte oder Symbole repräsentiert, mit der dargestellten dreidimensionalen Szene kombiniert werden sollten. Verglichen mit der Anzahl der Verfahren für zweidimensionale kartographische Anwendungen, gab es zu Beginn der hier vorliegenden Forschungsarbeit nur wenige Arbeiten, die sich der Annotation interaktiver virtueller 3D-Umgebungen widmeten. Dabei lassen sich zwei Anwendungsbereiche mit unterschiedlichen Vorbedingungen für die automatisierte Annotation unterscheiden: interaktive virtuelle 3D-Illustrationen und interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen.

In illustrativen Darstellungen wird das Objekt meist im Zentrum der Bildfläche abgebildet. Zwischen Objekt und Bildrand ergibt sich dadurch auf natürliche Weise ein Freiraum, der für die Platzierung der Annotationen zur Verfügung steht. Dieser Aspekt spiegelt sich auch in den für Illustrationen zu Verfügung stehenden Layout-Stilen wieder, welche z.B. Annotationen ringförmig um das Objekt platzieren [4]. Für geovirtuelle 3D-Umgebungen, bspw. in virtuellen Stadtmodellen, existiert dieser, nicht für die Darstellung genutzte, Freiraum nur sehr begrenzt. Am ehesten eignen sich, soweit vorhanden, Bereiche, die für die Darstellung der Atmosphäre (z.B. Himmel, Wolken) verwendet werden. Eine explizite Reservierung von separaten Bereichen am Rand der Bildebene zur Platzierung von Annotationen reduziert den für die Darstellung der 3D-Szene verfügbaren Bildraum und schränkt ein immersives Erleben der virtuellen Umgebung ein. Die Alternative, Bildbereiche mit geringem Informationsgehalt für den Nutzer automatisiert zu detektieren, setzt das Vorhandensein entsprechender semantischer Informationen voraus.

2.3.1 Annotation interaktiver virtueller 3D-Illustrationen

Ein erster Ansatz für die Annotation illustrativer 3D-Darstellungen wurde von Preim et al. [84] mit dem ZOOM ILLUSTRATOR vorgestellt. Hierbei wird ein Teil der Bildfläche an den Rändern für die Platzierung der Annotationen reserviert (Abb. 2.4 l.). Diese stellen mit Hilfe zusätzlicher Linien den Bezug zum referenzierten Objekt her und ändern bei der Fokussierung auf ein einzelnes Element, mit Hilfe einer Fish-Eye-Technik [30], ihre Größe, um die Darstellung detaillierter Informationen zu ermöglichen. Der Nutzer kann dabei sowohl mit dem Objekt, als auch mit den Annotationen interagieren, um den kombinierten bildlichen und textuellen Informationsraum zu explorieren.

Ritter et al. [87] stellen in ihrer Arbeit das Konzept der illustrativen Schatten vor. Dabei wird der auf eine zusätzliche Ebene projizierte Schatten des Modells genutzt, um Ankerpunkte für externe Annotationen zu platzieren (Abb. 2.4 r.). Dies vergrößert die Anzahl der für die Platzierung der Annotation in Frage kommenden Positionen und ermöglicht auch die Beschriftung von nicht sichtbaren, da abgewandten oder verdeckten Objektteilen. Alternativ zu einem projizierten Schatten kann für diese Technik auch die Spiegelung an einer Ebene verwendet werden.

Die Arbeit von Sonnet et al. [95] beschreibt, wie komplexere Modelle interaktiv

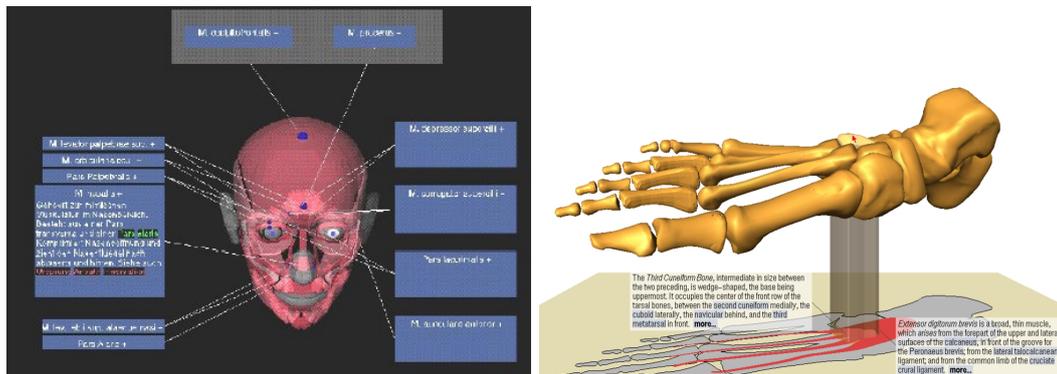


Abbildung 2.4: Beispiele von Annotationstechniken für interaktive 3D-Illustrationen, links: Platzierung von Annotationen in separat ausgewiesenen Bereichen der Bildebene (Quelle: [84]), rechts: Platzierung von Annotationen unter Verwendung eines projizierten Schattens (Quelle: [87]).

durch eine virtuelle Sonde in Explosions-Darstellungen überführt und anschließend mit Annotationen angereichert werden können. Dabei kann der für die Darstellung der Annotation verwendete Detaillierungsgrad, also der Umfang des dargestellten Textes, interaktiv durch den Nutzer beeinflusst werden. Zusätzlich zeigt die Arbeit, wie die Beziehung zwischen den Objekten und den, hier zum Teil aus mehrzeiligen Texten bestehenden, Annotationen statt mit Linien durch komplexere graphische Elemente kommuniziert werden kann (Abb. 2.5 l.).

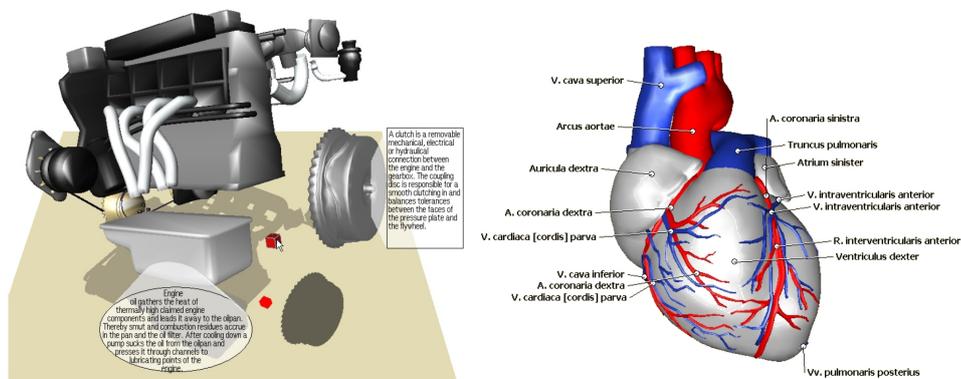


Abbildung 2.5: Beispiele von Annotationstechniken für interaktive 3D-Illustrationen, links: Selektion der darzustellenden Annotationen mit Hilfe einer virtuellen Sonde (Quelle: [95]), rechts: Ergebnis einer, mit Hilfe eines Potenzialausgleichsverfahrens ausgeführten Optimierung des Layouts (Quelle: [47]).

Der schon für zweidimensionale kartographische Darstellungen verfolgte Ansatz [27], die Positionierung der Annotationen mittels eines Kräfteausgleichsverfahrens zu optimieren, wurde in der Arbeit von Hartmann et al. [47] erneut aufgegriffen (Abb. 2.5 r.). Zur Bestimmung initialer Positionen für die Ankerpunkte der Annotationen wird zuerst eine farbkodierte Darstellung erzeugt. Die auf diese Weise für jedes Teilobjekt ermittelten Bildbereiche werden anschließend iterativ von außen nach innen zusam-

mengezogen. Der bei diesem Schritt zum Schluss verbleibende Bildpunkt, hat den größten Abstand zur Silhouette des Teilobjektes und wird daher als Ankerpunkt verwendet. Zwischen Annotationen und den zugehörigen Ankerpunkten werden anziehende Kräfte definiert. Abstoßende Kräfte wirken zwischen einer Annotation und dem Rand des zugehörigen Objektes, den Bildrändern, den Ankerpunkten und Geometrien anderer Annotationen. In dem dadurch definierten Potenzialfeld werden Annotationen anschließend schrittweise in Richtungen bewegt, welche zu einem globalen Ausgleich des Kräftepotenzials führen. Da sich dabei die Lage der Annotationen zueinander ändert, muss ein Anteil des Potenzialfeldes bei jedem Iterationsschritt neu berechnet werden, was bei komplexeren Objekten zu Berechnungszeiten von mehreren Sekunden führen kann.

Ali et al. [4] erweiterten das Verfahren auf vielfältige Weise. Zum Einen wurde die Verteilung der Ankerpunkte derart angepasst, dass eine Häufung in einzelnen Gebieten vermieden wird. Erreicht wurde dies, durch eine interaktive Platzierung der Punkte, wobei diese die Distanzfelder anderer zu annotierender Bildbereiche in ihrer Nachbarschaft abschwächen. Weiterhin wurden in statischen Illustrationen vorkommende Layout-Stile analysiert, kategorisiert und softwaretechnisch umgesetzt (Abb. 2.6). Zusätzliche Erweiterungen zielen auf eine kompaktere Darstellung der Beschriftungen, die Auflösung von sich überschneidenden Verbindungslinien und die Berücksichtigung der Bild-zu-Bild-Kohärenz bei der interaktiven Platzierung ab. Die Kategorisierung der Layout-Stile wird in einer späteren Arbeit [48] um interne Beschriftungen und Qualitätsmetriken für eine funktionale und ästhetische Positionierung ergänzt.

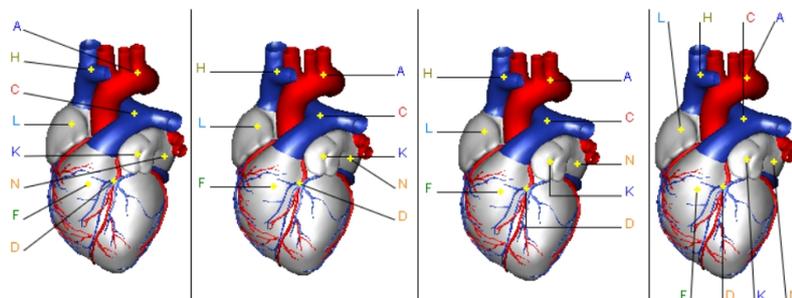


Abbildung 2.6: Beispiele für unterschiedliche Layoutstile bei der automatisierten Platzierung von Annotationen illustrativer 3D-Darstellungen (Quelle: [4]).

Darauf aufbauend untersuchen die Arbeiten von Götzelmann et al. eine Reihe weiterer Aspekte. So werden in [37] Skelettpfade aus den farbkodierten Darstellungen extrahiert, geglättet und für die Platzierung der Ankerpunkte und interner Beschriftungen verwendet. Neben der Größe der für die Darstellung verwendeten Fläche eines Bildbereiches, werden hierbei nun weitere Qualitätsmerkmale, wie die Länge oder Krümmung des Pfades, ausgewertet, um über eine interne oder eine externe Platzierung der Annotation zu entscheiden.

Ein Agenten-basierter Ansatz wird in [38] vorgestellt, welcher bei einer Interaktion des Nutzers mit der Szene eine gleichmäßige und kohärente Neupositionierung von Annotationen unterstützt. Dazu werden zwei Typen von Agenten verwendet. Der

erste Typ sucht in der Pixelnachbarschaft nach Möglichkeiten, eine initiale Position inkrementell zu verbessern. Der zweite Typ von Agenten evaluiert den Abstand zu Beschriftungen in der Nachbarschaft, um für diese eine möglichst gleichmäßige Verteilung zu erreichen.

Die gruppenweise Platzierung von thematisch zusammengehörigen externen Beschriftungen wird in [39] behandelt. Diese Erweiterung vereinfacht die Exploration des annotierten Modells, da durch die Selektion einer Gruppe von Beschriftungen zugehörige Bestandteile interaktiv hervorgehoben oder durch die Auswahl eines Teilobjektes alle zugehörigen Beschriftungsgruppen ermittelt werden können (Abb. 2.7 l.).

Zwei Konzepte zur Beschriftung animierter Objekte werden in [40] beschrieben (Abb. 2.7 r.). Der erste Ansatz ermittelt für jedes animierte Teilobjekt die verwendeten Bereiche des Bildraums über den gesamten Zeitraum. Existiert ein über die gesamte Zeit stabiler Teilbereich, so eignet sich dieser zur Einbettung einer Annotation. Der zweite Ansatz versucht, einen Bewegungspfad für animierte Objekte zu extrahieren. Dafür werden die sich bewegenden Teile durch Punkte approximiert, bspw. durch den Mittelpunkt der Silhouette oder das Zentrum des umschreibenden Rechtecks. Über das Zeitintervall der Animation lässt sich dadurch eine Sequenz von Punkten generieren, die, zu einem Pfad verbunden, als Träger einer internen Beschriftung oder eines Ankerpunktes für eine externe Beschriftung verwendet werden können.

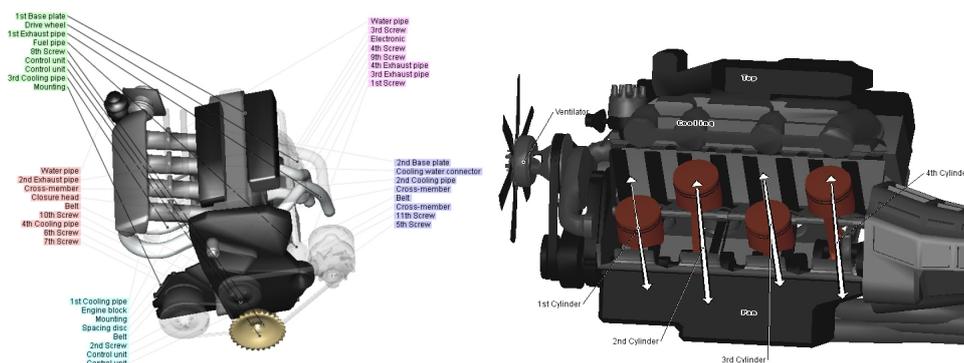


Abbildung 2.7: Beispiele von Annotationstechniken für interaktive 3D-Illustrationen, links: in Gruppen angeordnete Beschriftungen (Quelle: [39]), rechts: Annotation der animierten Zylinder eines Motorblocks (Quelle: [40]).

2.3.2 Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen

Im Vergleich zu interaktiven virtuellen 3D-Illustrationen, existieren nur sehr wenige Verfahren zur Annotation von geovirtuellen 3D-Umgebungen. Ein erster Ansatz wurde von Bell et al. [10] vorgestellt und ermöglichte es, die Gebäude eines Campus-Modells mit Beschriftungen anzureichern (Abb. 2.8 l.). Das Verfahren basiert auf einer ursprünglich für die überlagerungsfreie Platzierung von Dialogfenstern in graphischen Benutzeroberflächen entwickelten Datenstruktur [9], die eine effiziente Verwaltung des zur Verfügung stehenden Bildraums ermöglicht. Diese erlaubt es, achsenparallele rechteckige Bereiche als belegt zu markieren und repräsentiert den noch zur Verfügung stehenden Bildraum als Menge möglichst großer zusammenhängender Rechtecke. Für

die Annotation der 3D-Szene werden die umschreibenden Rechtecke der in den Bildraum projizierten Gebäudegeometrien verwendet. Nach einer Sortierung der Gebäude entsprechend der Entfernung zum Betrachter, werden in dieser Reihenfolge für jedes Gebäude die sichtbaren Teile ermittelt. Ist einer davon groß genug, eine interne Beschriftung aufzunehmen, so wird diese an entsprechender Stelle in die Bildebene eingefügt und der zugehörige Bereich als belegt markiert. Ist dies nicht möglich, werden die noch zur Verfügung stehenden rechteckigen Bereiche auf die Möglichkeit hin untersucht, eine externe Beschriftung in der Nähe des Objektes zu positionieren. Die Autoren berichten, dass ihr in Java umgesetzter Prototyp einen Einsatz in interaktiven Umgebungen ermöglicht.

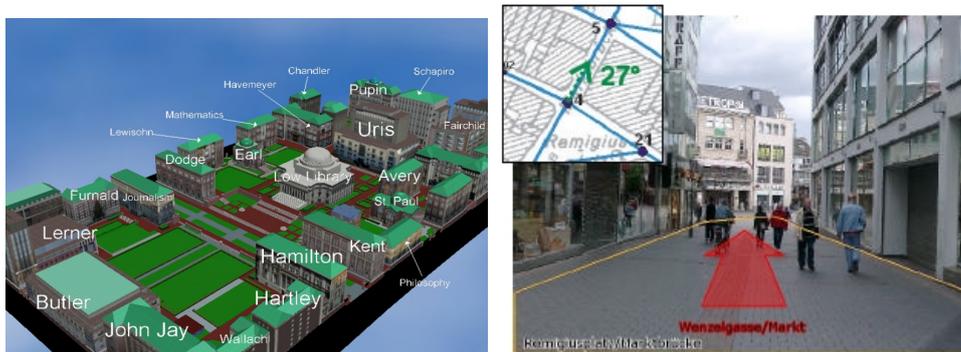


Abbildung 2.8: Beispiele für die Annotation geovirtueller Umgebungen, links: Bildraum-basierte Platzierung eines Campus-Modells (Quelle: [10]), rechts: Objektraum-basierte Annotation von Wegvideos (Quelle: [57]).

Die Arbeit von Kolbe [57] beschäftigt sich mit der Annotation von aus Fußgängerperspektive aufgenommene Panoramen und Wegvideos zur Orientierung und Wegfindung in Städten. Den Wegvideos werden für spezifische Zeitintervalle Beschriftungen im Bildraum hinzugefügt und deren Bewegung mit der im Video dargestellten bildlichen Information synchronisiert, so dass sie bspw. an einem Gebäude angeheftet erscheinen.

Zur Unterstützung der Wegfindung an Kreuzungspunkten lassen sich zudem Symbole in Panoramen integrieren, welche dem Nutzer einen Rundum-Blick ermöglichen. Um einen Pfeil im Bereich des Bodens zu positionieren, ist zunächst für die gewünschte Zielrichtung die Breite des Weges zu ermitteln. Analog zu den Gegebenheiten in der Realität wird anschließend im virtuellen 3D-Raum ein Rechteck konstruiert, welches ein Stück des Weges approximiert. Dieses dient als Trägergeometrie für die bildliche Darstellung des Pfeils. Nach der Projektion in den Bildraum wird diese mit der Darstellung kombiniert, so dass der Pfeil in die Szene eingebettet erscheint (Abb. 2.8 r.). Ist die gewünschte Straße nicht im Blickfeld des Nutzers, so weisen stattdessen im Bildraum positionierte Pfeile den Weg dorthin.

Die Idee der Objektraum-Integration von Annotationen zur Anreicherung von Wegvideos wird in den Arbeiten von Schulz [93] und Kolbe et al. [59] weiterverfolgt. Zur Platzierung der Beschriftungen im Objektraum kommt dabei ein virtuelles 3D-Stadtmodell zum Einsatz. Die in den Videoaufzeichnungen abgelaufenen Pfade werden mit Hilfe einer kommerziellen Software möglichst exakt in das virtuelle

3D-Stadtmodell übertragen. Dies ermöglicht es, eine virtuelle Kamera analog zu den Videoaufnahmen im virtuellen Raum zu bewegen. Während dieses Vorgangs lassen sich für vorher definierte Bildsequenzen Darstellungen von manuell im Objektraum positionierten und orientierten Beschriftungen erzeugen, welche nachträglich mit dem Originalvideo verblendet werden.

2.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über verschiedene Annotationstypen, mögliche Optimierungsprobleme, allgemeine Gestaltungsgrundsätze und Techniken zur Annotation von 2D-Karten, 3D-Illustrationen und geovirtuellen 3D-Umgebungen. Bedingt durch die lange Geschichte der Kartographie existieren dabei für statische 2D-Karten die meisten Konzepte und Verfahren. Da eine vollständige Auflistung aller Verfahren den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, konnte in diesem Kapitel nur eine Auswahl vorgestellt werden. Aufgrund der Komplexität der Problemstellung ist eine Häufung von Platzierungstechniken für lokale Objekte zu beobachten. Mit der stärkeren Verbreitung interaktiver zweidimensionaler Kartendarstellungen wurden auch Lösungen für diese Gruppe von Anwendungen aufgezeigt. Da Verfahren zur hochqualitativen Positionierung von Beschriftungen in statischen 2D-Karten noch immer eine zu große Berechnungszeit aufweisen, setzen Techniken für interaktive Anwendungen auf die Vorberechnung möglicher Überlagerungskonflikte und Platzierungspositionen oder verwenden Heuristiken.

Betrachtet man den Bereich der interaktiven 3D-Darstellungen, so ergibt sich ein differenziertes Bild. Während in den letzten Jahren für interaktive 3D-Illustrationen eine Reihe von Verfahren entwickelt wurden, existieren für geovirtuelle 3D-Umgebungen nur sehr wenige Techniken. Eine einfache Übertragung der Techniken scheint an der unterschiedlichen Art der Darstellung und Navigation zu scheitern.

Weiterhin ist auffällig, dass die aus der Kartographie bekannte Klassifikation der annotierten Objekte nach ihrer Dimension (lokal, linear, flächenhaft) bei illustrativen 3D-Darstellungen meist keine explizite Beachtung finden. Stattdessen erfolgt eine Unterscheidung in interne und externe Annotationen. Die Annotation im Bildraum flächenhafter Objekte erfolgt dabei meist durch eine Reduktion auf Linien oder Punkte. Eine eigentlich naheliegende Erweiterung um die Klasse der volumetrisch ausgeprägten 3D-Objekte erfolgte auch für geovirtuelle Umgebungen bisher nicht in expliziter Form.

Techniken zur automatisierten Platzierung von Annotationen, welche im Objektraum operieren, existieren bisher nur in Ansätzen. Über die schon genannten Beispiele hinaus unterstützt beispielsweise eine von Ropinski et al. [89] vorgestellte Technik die manuelle Einbettung von Beschriftungen in medizinischen 3D-Illustrationen (Abb. 2.9 l.). Auch die Arbeit von Petroviz et al. [81] zeigt Beschriftungen im 3D-Objektraum (Abb. 2.9 r.). Die dort für die Visualisierung verwendeten zylinderförmigen Röhren eignen sich aufgrund ihrer Parametrisierbarkeit sehr gut für eine Einbettung von Texten. Die Festlegung der Textpositionen erfolgt dabei jedoch nicht dynamisch, sondern im Vorfeld. Die Beschriftungen werden zudem in regelmäßigen

Abständen wiederholt, so dass sich die Wahrscheinlichkeit der Sichtbarkeit während der interaktiven Visualisierung vergrößert.



Abbildung 2.9: Beispiele für im Objektraum eingebettete Beschriftungen, links: Unterstützung der manuellen Beschriftung medizinischer 3D-Illustrationen (Quelle: [89]), rechts: an festen Positionen wiederholt eingebettete Beschriftungen in einer 3D-Visualisierung von Gehirnstrukturen (Quelle: [81]).

Nach Sichtung der bestehenden Verfahren und Rahmenbedingungen zeigt sich ein Bedarf an Verfahren für die automatisierte Platzierung von Annotationen speziell für interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen. Analog zu den Verfahren für interaktive 2D-Kartendarstellungen ist dazu voraussichtlich der Einsatz von Heuristiken oder die Auslagerung von Berechnungen in einen Vorverarbeitungsschritt erforderlich, um das Kriterium der Interaktivität aufrecht erhalten zu können. Auch das Konzept der Integration von Metainformationen in die Oberflächen der 3D-Objekte erscheint vielversprechend, da es die Zuordnung der Annotation zum referenzierten Objekt sehr gut unterstützt.

KAPITEL 3

Einbindung von Annotationstechniken in interaktive Visualisierungsumgebungen

„Doch Forschung strebt und
ringt, ermüdend nie,
Nach dem Gesetz, dem Grund,
Warum und Wie.“

(Johann Wolfgang von Goethe)

3.1 Der Annotationsprozess in der Visualisierungspipeline

Der Begriff Visualisierung wird in der Fachliteratur auf vielfältige Weise verwendet. Allgemein beschreibt er die kognitive Aktivität eines Menschen, der die von ihm wahrgenommenen Informationen interpretiert, mit seinem bisherigen Wissen verknüpft und damit ein internes mentales Modell aufbaut [96]. Dies erlaubt es, das Verständnis über bisherige Zusammenhänge zu festigen, neue Einsichten zu gewinnen sowie neue Hypothesen zu formulieren und zu überprüfen. Auf der anderen Seite wird mit dem Begriff Visualisierung auch der Prozess der Erzeugung bildlicher Darstellungen von Modellen, Konzepten und Daten zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen beschrieben (vgl. [44],[99]). Für diese eher technische Sichtweise wird synonym auch der Begriff Informationsvisualisierung verwendet.

Die Bestandteile bildgebender Prozesse, welche aus Daten für einen menschlichen Betrachter interpretierbare Informationen generieren, können durch das Modell der Visualisierungspipeline (Abb. 3.1) veranschaulicht werden (vgl. u.a. [44], [94]). Dieses Modell unterscheidet drei Stufen. In der ersten Stufe, der Filterstufe, erfolgt eine Aufbereitung der Rohdaten. Hier werden bspw. für die Darstellung relevante Teilmengen extrahiert oder notwendige Zwischenwerte interpoliert. In der zweiten Stufe, dem Mapping, wird den so aufbereiteten Daten eine Repräsentation zugeordnet. Die dafür zur Verfügung stehenden graphischen Variablen (Form, Größe, Orientierung, Position, Farbe, Helligkeitswert, Muster) und ihre spezifische Eignung zur Kommunikation bestimmter Sachverhalte wurden von Bertin [11] systematisiert. Die letzte Stufe ist der bildgebende Prozess (engl. Rendering), welcher aus den geometrischen Repräsentationen und graphischen Attributen die visuelle Darstellung erzeugt. Bei statischen

Medien, z.B. auf Papier gedruckten Karten, sind Autor und Nutzer der Darstellung unterschiedliche Personen. Der Autor der Karte, wählt die Parameter für die einzelnen Stufen also vor deren Nutzung. In interaktiven Visualisierungsumgebungen ist es dem Nutzer hingegen selbst möglich, Einfluss auf alle drei Stufen und damit auch auf die Darstellung zu nehmen.

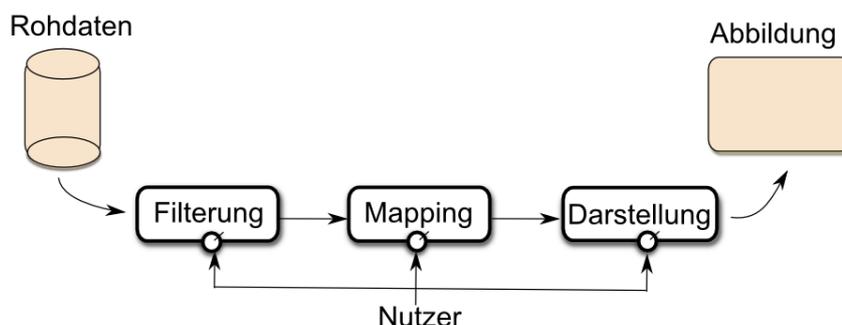


Abbildung 3.1: Die Stufen der Visualisierungspipeline für interaktive Umgebungen. Zur Erzeugung der Darstellung kann der Nutzer hierbei Einfluss auf alle Stufen nehmen.

Im Rahmen dieser Arbeit geht es primär um die Visualisierung dreidimensionaler Geodaten. Techniken zur automatisierten Platzierung von Annotationen gliedern sich dabei meist nachrangig in die dafür verwendeten Softwaresysteme ein. Die folgenden Abschnitte beschreiben konzeptionell einige gemeinsame Bestandteile dieser Techniken und ihren Einfluss auf die verschiedenen Stufen der Visualisierungspipeline.

3.1.1 Selektion der darzustellenden Annotationen

In interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen ist die Anzahl der Annotationen meist größer, als die in einer spezifischen Sicht des Betrachters sinnvoll darstellbare Teilmenge. Um eine schnelle Berechnung der Platzierung durchführen zu können, ist eine effiziente Filterung dieser Daten in einem ersten Schritt notwendig. Wie die folgenden Beispiele zeigen, kann dies auf unterschiedlichste Weise erfolgen:

- *Thematische Filterung:* Hierbei spezifiziert der Nutzer die zur Auswahl verwendeten Attribute, um die zu platzierenden Annotationen u.a. auf eine bestimmte Kategorie (z.B. alle Tankstellen), eine spezifische Datenquelle oder ein zeitliches Intervall (z.B. „nicht älter als 1 Jahr“) zu beschränken.
- *Sichtabhängige Filterung:* Objekte der Szene, welche sich außerhalb des Sichtfeldes des Betrachters befinden, benötigen in der Regel keinen zusätzlichen Hinweis in Form einer Annotation. Formal ausgedrückt besitzen diese Objekte keinen gemeinsamen Schnitt, mit dem durch die Kameraparameter definierten Sichtvolumen. Durch einen Test dieses Schnittes (engl. View-Frustum Culling [3, S.363 ff]) kann die zu annotierende Teilmenge von Objekten bestimmt werden. Mit Hilfe regulärer oder hierarchischer Raumunterteilungen lassen sich dabei

ganze Gruppen von Objekten auf einmal ausschließen und damit die für diesen Test notwendigen Berechnungszeiten reduzieren.

- *Filterung verdeckter Objekte*: Je nach Anwendung ist es zum Teil nicht notwendig oder erwünscht, Annotationen für Objekte zur Verfügung zu stellen, welche sich zwar im Sichtvolumen befinden, allerdings von näher zum Betrachter liegenden Objekten verdeckt werden. Auch hier kann auf vorhandene Techniken aus der Computergraphik (Occlusion-Culling [3, S.368 ff]) zurückgegriffen werden, um die entsprechenden Objekte zu identifizieren und von der weiteren Betrachtung auszuschließen.
- *Entfernungsabhängige Filterung*: Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, kann die Anzahl der darzustellenden Annotationen zusätzlich über ein Entfernungsintervall begrenzt werden. Dies ist z.B. sinnvoll, wenn die Größe der Annotationen entsprechend der Nähe zum Betrachter skaliert wird. Eine entfernungsabhängige Filterung vermeidet in diesem Fall die Darstellung von sehr nahen Annotationen, welche einen Großteil des Bildraums einnehmen, oder sehr weit entfernten Annotationen, welche zu klein und damit nicht mehr lesbar sind.
- *Level of Detail (LOD)*: Alternativ kann auch eine entfernungsabhängige Auswahl aus verschiedenen Repräsentationen für jede Annotation getroffen werden. So wird bspw. ein ausführlicher Text, eine Abkürzung oder ein Symbol für die Darstellung verwendet, je nachdem ob sich das zu annotierende Objekt im Fokus, in der Nähe oder weit entfernt vom Betrachter befindet.

3.1.2 Darstellung von Annotationen

Die Stufen Mapping und Darstellung nehmen Einfluss auf die Gestalt der Annotationen. Wie in Abschnitt 2.1.1 schon angedeutet, werden dabei zwei grundlegende Herangehensweisen unterschieden. Annotationen können nach der perspektivischen Abbildung der Szene dem Bild hinzugefügt oder in die Szene als eigenständige 3D-Objekte integriert und zusammen mit dieser abgebildet werden (Abb. 3.2). Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Arbeitsweise der Techniken, so dass eine Unterteilung in Bildraum- und Objektraumtechniken naheliegend ist.

Anschaulich betrachtet, platzieren Bildraumtechniken die Annotationen auf einer separaten transparenten Bildebene, welche das Bild der Szene überlagert. Dies hat zwei Vorteile. Zum Einen kann die gegenseitige Überlagerung von Annotationen oder die Verdeckung wichtiger Szenenelemente in zwei Dimensionen leichter erkannt und behoben werden. Zum Anderen sind diese Techniken unabhängig von der spezifischen Ausprägung der 3D-Daten einsetzbar, da ein einfaches Rasterbild als Eingabeparameter genügt. Dies vereinfacht die Implementierung bildraumbasierter Annotationstechniken und erlaubt ihren Einsatz unabhängig vom konkreten Bilderzeugungsprozess.

Objektraumtechniken sind hingegen von Vorteil, wenn der Zusammenhang zwischen Objekt und Annotation besonders hervorgehoben werden soll. Dies betrifft z.B. interaktive virtuelle oder augmentierte Umgebungen, in denen die Nutzer ein starkes

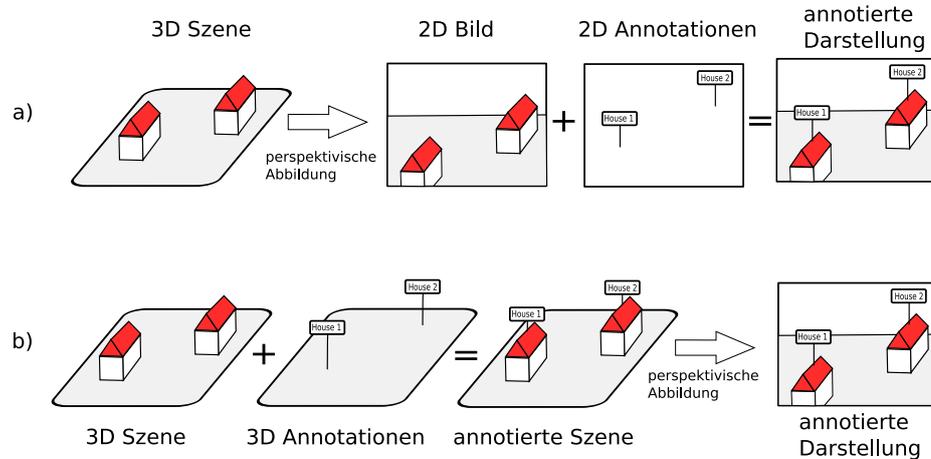


Abbildung 3.2: Bildraum- und Objektraumtechniken: a) Im Bildraum operierende Techniken fügen die Annotationen nach der perspektivischen Abbildung der Darstellung hinzu, b) Objektraumtechniken integrieren hingegen die Annotationen vor der perspektivischen Abbildung in die 3D-Szene.

Gefühl von Immersion und Präsenz haben. Durch die perspektivische Abbildung der Annotationen mit der Szene werden die in der Darstellung inhärent kodierten Tiefenhinweise (z.B. perspektivische Verkleinerung oder eine teilweise Verdeckung während der Navigation) korrekt abgebildet. Dies kombiniert die beiden Informationsebenen auf natürliche Weise, so dass die Darstellung vom Nutzer wie gewohnt interpretiert werden kann (s. Kap. 8).

3.1.3 Animation und Interaktion

In interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen wählen die Nutzer durch Navigation automatisch die Sicht auf die Szene und definieren damit zugleich, welche Annotationen sichtbar sind und im Fokus der Darstellung liegen. Dabei können kleine Änderungen des Beobachterstandpunktes große Änderungen in der Verdeckung von Objekten zur Folge haben, wodurch sich auch die optimalen Positionen zur Platzierung der Annotationen häufig ändern. Werden die Positionen der Annotationen für jedes Bild stetig neu berechnet, so können diese sehr schnell weit entfernte Positionen einnehmen (siehe Abschnitt 2.1.2). Um diese, den Nutzer irritierende, Art der Darstellung zu minimieren bzw. zu vermeiden, ist der Einsatz verschiedener Strategien denkbar:

- Bei einer *trägen Platzierung der Annotationen* wird vor der Berechnung einer neuen, optimalen Position die Qualität der bisherigen überprüft. Solange die Qualitätskriterien an der momentanen Position weiterhin in ausreichendem Maße erfüllt werden (z.B. Sichtbarkeit und Lesbarkeit), wird diese beibehalten und auf eine Berechnung der optimalen aber ggf. entfernten Position verzichtet.
- *Vorausschauende Platzierung der Annotationen:* Wird für die Platzierung nur eine beschränkte Menge möglicher Positionen verwendet, können Annotations-

techniken die Navigationsbewegung extrapolieren und eine mögliche Zielposition zu ermitteln. Wird diese Zielposition im Laufe des Navigationsprozesses direkt ausgewählt, so lässt sich ein mehrfaches Wechseln der Annotation zwischen zwei entfernten Positionen vermeiden.

- *Entkopplung der Platzierung der Annotationen von der Navigation:* Hierbei wird eine Annotation nur neu platziert, wenn der Nutzer die Interaktion mit der Szene unterbricht (z.B. nach 0,5 Sekunden ohne Kamerabewegung). Startet die Navigation erneut, so können die Annotationen ausgeblendet werden oder während der Navigation an ihrer momentanen Position verharren. Ein visuell ausgewogener Übergang hin zu einer aktualisierten Darstellung kann mit Hilfe von Überblendung oder einer animierten Bewegung zwischen der momentanen und der aktuellen Annotationsposition realisiert werden.

Für den schnellen und fehlerfreien Informationstransfer zum Nutzer müssen Annotationstechniken eine Lösung für das Problem der Bild-zu-Bild Kohärenz anbieten. Dabei sollten Sichtbarkeits- und Positionsänderungen der Annotationen minimiert werden und zusätzliche Animationen so gestaltet werden, dass sie nicht die Aufmerksamkeit des Nutzers auf sich ziehen.

3.2 Bildsynthese

3.2.1 Die programmierbare Rendering-Pipeline

Auf technischer Ebene bilden Szenengraphsysteme den Ausgangspunkt für die Erstellung interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen. Typischerweise definieren diese die 3D-Geometrien der Szene, deren visuelle Eigenschaften sowie Auswertungsstrategien für komplexere visuelle Effekte. Die in dieser Arbeit vorgestellten Techniken verwendeten VRS, das Virtual Rendering System [23, 56], ein in C++ geschriebenes Szenengraphsystem, welches die Schnittstelle zur Graphikhardware mittels OpenGL [102] realisiert.

OpenGL ermöglicht die hardware-nahe Programmierung von Graphikprozessoren. Deren Architektur liegt das Modell der Rendering-Pipeline zugrunde. Abb. 3.3 zeigt eine vereinfachte Darstellung dieses Modells, wobei die zu prozessierenden Daten die Pipeline von links nach rechts durchlaufen. Die Anwendung übernimmt dabei die Aufgaben, die Pipeline zu initialisieren, zu konfigurieren und mit Eingabedaten in Form attributierter 3D-Primitive (z.B. Punkte, Linien, Dreiecke, Polygone) zu versorgen. Die Eckpunkte dieser Primitive (engl. Vertex) werden, entsprechend ihrer Lage, in das durch die Kamera definierte Sichtvolumen transformiert. Je nach Konfiguration wird für jeden Vertex zusätzlich eine Beleuchtungsgleichung ausgewertet. Danach werden die Primitive daraufhin überprüft, ob sie sich zum Teil oder gänzlich außerhalb des Sichtvolumens befinden oder eine vom Betrachter abgewandte Fläche repräsentieren, die von der weiteren Darstellung ausgeschlossen wird (Clipping und Culling). Die nächste Stufe überführt die verbleibenden Primitive in eine rasterisierte Darstellung. Für die dabei entstehenden Fragmente werden die pro Vertex definierten

oder berechneten Attribute interpoliert. Dies sind in der Regel Farbwerte, Tiefenwerte und Texturkoordinaten. Der Farbwert jedes Fragmentes kann daraufhin mit einer ggf. vorhandenen Textur verrechnet werden. Die Farb- und Tiefenwerte der Fragmente werden, je nach Konfiguration, anschließend in den Framebuffer übernommen und tragen so ihren Anteil zum Aufbau des für den Nutzer sichtbaren Bildes bei.

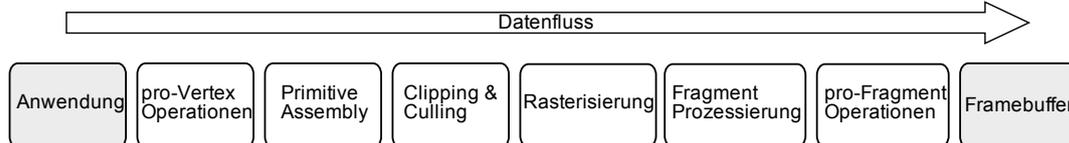


Abbildung 3.3: Modell der Rendering Pipeline.

In ersten Versionen von OpenGL war der Einfluss, den Softwareentwickler auf die Operationen der Pipeline nehmen konnten, sehr begrenzt. Heutzutage sind die pro Vertex und pro Fragment Operationen frei programmierbar. Die zu diesem Zweck entwickelte OpenGL Shading Language [91] ist eine an C angelehnte Sprache und ermöglicht die Berechnung komplexer graphischer Effekte sowie die Nutzung der Rechenleistung des Graphikprozessors für allgemeinere Rechenaufgaben.

3.2.2 Das G-Buffer Konzept

Statt einer bildlichen Darstellung der Szene können auch andere Informationen im Framebuffer abgelegt werden. Diese Verallgemeinerung der Nutzung des Framebuffers (Bild-Puffer, Abb. 3.4 a)) wurde von Saito und Takahashi unter dem Begriff G-Buffer vorgestellt [92]. Folgende G-Buffer werden häufig genutzt.

- Der *ID-Puffer* (engl. *ID buffer*) kodiert in jedem Fragment das dort sichtbare Objekt mit einer eindeutigen Farbe und eignet sich damit zur Unterscheidung und Identifizierung verschiedener Szenenelemente (Abb. 3.4 b)).
- Der *Tiefen-Puffer* (engl. *depth buffer*) dient standardmäßig der Berechnung der Verdeckungsinformation. Ausgehend vom Kamerazentrum speichert er die Distanz zum ersten sichtbaren Objekt. Um die Genauigkeit steuern zu können, wird diese Distanz innerhalb zweier zur Sichtebene paralleler Ebenen (engl. *near* und *far plane*) begrenzt. Abb. 3.4 c) zeigt das Bild eines Tiefen-Puffers, wobei die Entfernung durch einen Helligkeitswert repräsentiert wird.
- Ein *Normalen-Puffer* (engl. *normal buffer*) speichert pro Fragment die Richtung der Oberflächennormalen des an diesem Punkt sichtbaren Objektes. Abb. 3.4 d) veranschaulicht dies durch eine farbkodierte Darstellung dieser Richtung.

Mit Hilfe der verschiedenen G-Buffer können komplexere Rendering-Effekte umgesetzt werden. Dazu gehören bspw. nicht-photorealistische Rendering (NPR) Techniken und Verfahren zur nachgelagerten Beleuchtungs- und Schattierungsberechnung (engl. *deferred shading*) [83].

Die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Techniken zur Platzierung von Annotationen benötigen zum Teil die Information, welches Szenenobjekt an der Stelle eines

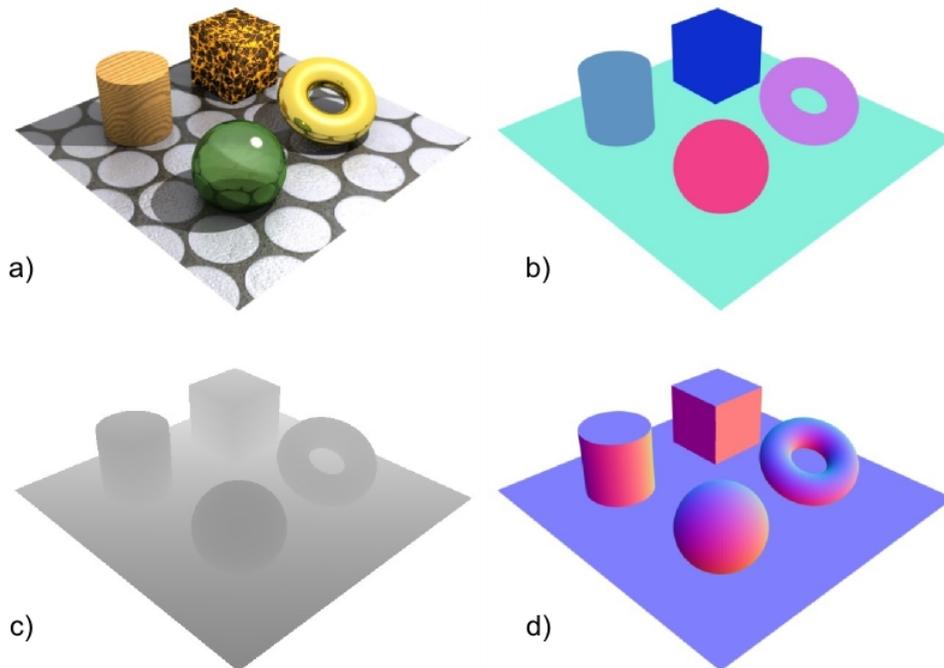


Abbildung 3.4: Illustration verschiedener G-Buffer für eine 3D-Szene: a) Framebuffer, b) ID-Buffer, c) Tiefen-Buffer, d) Normalen-Buffer.

Bildpunktes sichtbar ist. Dies kann sehr einfach mit Hilfe eines ID-Puffers realisiert werden. Geovirtuelle 3D-Umgebungen bestehen jedoch häufig aus einer Vielzahl kleiner Objekte, bspw. Gebäudekörpern. Dies macht während der Erstellung des ID-Puffers sehr oft die Änderung des momentan gültigen Farbattributes notwendig und kann dadurch die Berechnungszeit negativ beeinflussen.

Alternativ ist auch der Tiefen-Buffer für diesen Zweck verwendbar. Um zu überprüfen, ob ein Objekt an einem Punkt des Bildes sichtbar ist, wird der analytisch berechnete Tiefenwert des Objektes mit dem Wert des Puffers verglichen. Zur Erstellung dieses Puffers dienen die folgenden Vertex- und Fragmentshader, welche einen linearen Tiefenwert zwischen der vorderen und hinteren Ebene des Sichtvolumens berechnen und sich sehr einfach in den sonst zur bildlichen Darstellung der Szene verwendeten Szenengraph integrieren lassen. Sie reduzieren die Berechnungen auf der Graphikkarte auf diesen linearisierten Tiefenwert (s. [61]), so dass aufwendige Beleuchtungsberechnungen oder Texturzugriffe entfallen. Eine kurze Einführung in die Syntax der OpenGL Shading findet sich in [79]. Für eine ausführliche Beschreibung sei hier auf [91] verwiesen.

```
// Vertex-Shader
uniform float near;
uniform float far;
varying float linearDepth;

void main(void)
{
    vec4 position = gl_ModelViewMatrix * gl_Vertex;
    linearDepth   = (position.z - near) / (far - near);

    gl_FrontColor = gl_Color;
    gl_Position   = ftransform ();
}

// Fragment-Shader
varying float linearDepth;

void main (void)
{
    gl_FragColor = gl_Color;
    gl_FragDepth = linearDepth;
}
```

Programm 3.1: Minimaler Vertex- und Fragmentshader zur Berechnung linearer Tiefenwerte einer 3D-Szene.

3.3 Zusammenfassung

Dieses Kapitel beleuchtete eine Reihe von Aspekten, welche für die Integration von Annotationstechniken in bestehende Visualisierungsumgebungen von Bedeutung sind. Ausgehend vom Modell der Visualisierungs-Pipeline wurden mögliche Alternativen zur Auswahl der darzustellenden Annotationen, der Art ihrer Integration in die bildliche Darstellung und ihres dynamischen Verhaltens in interaktiven Umgebungen aufgezeigt. Der darauf folgende Abschnitt erläuterte die Rendering-Pipeline und das Konzept der G-Buffer. Diese bilden die Basis für die im folgenden vorgestellten Annotationstechniken.

KAPITEL 4

Bildraumbasierte Platzierung von Annotationen in geovirtuellen 3D-Umgebungen

„Das Schwerste an einer Idee ist nicht, sie zu haben, sondern zu erkennen, ob sie gut ist.“

(Chris Howland)

Die in diesem Kapitel vorgestellte Technik dient der Platzierung externer Annotationen für eine Menge gegebener Referenzpunkte und wurde speziell für die Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen, wie z.B. 3D-Kartendarstellungen, 3D-Landschafts- oder 3D-Stadtmodelle entworfen. Sie nutzt die charakteristischen Eigenschaften dieser Umgebungen, um Annotationen mit Hilfe einer dafür optimierten Datenstruktur kreuzungsfrei und ohne gegenseitige Verdeckung zu positionieren.

4.1 Problemstellung

Für Darstellungen zweidimensionaler raumbezogener Daten, wie Stadtpläne, Lagekarten oder Grundrisszeichnungen, werden naheliegenderweise Bildraumtechniken zur Platzierung von Annotationen verwendet. Wie auf einer separaten transparenten Ebene über dem Bild, werden Annotationen dabei so angeordnet und orientiert, dass weder andere Annotationen noch wichtige Bereiche der Darstellung überdeckt werden. Dieser Ansatz kann auch zur Annotation virtueller 3D-Umgebungen verwendet werden. Konzeptionell betrachtet wird dabei weiterhin ein Bild der 3D-Umgebung annotiert.

Der Term *Bildraum-Management* (*engl. view management*) bezeichnet Verfahren, die den auf der 2D-Bildebene verfügbaren Raum verwalten. Zur Vereinfachung werden dabei Annotationen durch ihre umschreibenden, achsenparallelen Rechtecke mit den Koordinaten (x_0, y_0, x_1, y_1) repräsentiert. Für deren Platzierung in interaktiven Umgebungen sollte das Bildraum-Management folgende Operationen effizient unterstützen:

1. *Markierung eines rechteckigen Bereiches:* Wird eine Annotation platziert, so muss das zugehörige Rechteck im Bildraum-Management als belegt markiert werden.
2. *Test auf Verfügbarkeit eines Bildbereiches:* Für eine neu zu platzierende Annotation ist zu überprüfen, ob der dafür notwendige Bildbereich noch vollständig zur Verfügung steht, also ob das umschreibende Rechteck einen schon als belegt markierten Bereich überlagert.
3. *Suche nach unbelegten Bereichen:* Wird mit dem vorherigen Test eine Überlagerung festgestellt, so sollte das Bildraum-Management die Platzierungstechnik bei der Suche nach einer alternativen Position unterstützen. Optimalerweise bestimmt es einen in der Nähe liegenden noch unbelegten Bereich für das Rechteck der Anfrage.

Klassische Raumunterteilungen, wie z.B. reguläre Gitter oder auf Baumstrukturen basierende Aufteilungen, lassen sich sehr einfach anpassen, so dass sie die ersten beiden Operationen effizient ausführen. Die Suche nach einer nahe liegenden unbelegten Region passender Größe wird von Ihnen jedoch nur sehr unzureichend unterstützt.

Eine Verbesserung stellt das von Bell et al. [10] vorgestellte Bildraum-Management dar. Es erlaubt den Zugriff auf die noch zur Verfügung stehenden Bereiche der Bildebene über eine Liste von Rechtecken maximaler Größe. Dies vereinfacht die Suche nach möglichen, in der Nähe liegenden Positionen. Die Ableitung einer neuen Position im Fall eines Überlagerungskonfliktes wird dadurch jedoch nicht direkt unterstützt. Die Einbeziehung weiterer Qualitätskriterien über die Sichtbarkeit hinaus, z.B. die Minimierung der Anzahl der sich kreuzenden Verbindungslinien, macht auch hier den Einsatz komplexerer Suchstrategien notwendig.

Aus diesem Grund wurde ein für die Annotation geovirtueller 3D-Umgebungen angepasstes Bildraum-Management entworfen [64], welches den drei genannten Anforderungen genügt. Zusammen mit einer Platzierungsstrategie, welche die charakteristischen Eigenschaften dieser Umgebungen nutzt, ermöglicht es die Platzierung von Annotationen unter interaktiven Bedingungen.

4.2 Platzierungsstrategie

Die Strategie zur Platzierung geht von den zwei folgenden Annahmen aus, welche für die Navigation in virtuellen 3D-Umgebungen einsichtig sind, wenn diese auf einem Geländemodell basieren:

1. Nutzer dieser Umgebungen schauen für gewöhnlich von einer Position auf der oberen Hemisphäre hinunter auf einen Punkt des Geländes oder dort befindliche Objekte. Daher werden die Referenzpunkte lokaler Objekte in der Szene, die sich näher am Betrachter befinden, im Bildraum eher unter Referenzpunkten abgebildet, welche sich in größerer Entfernung zum Betrachter befinden.

2. Annotationen in der Nähe des Betrachters sind meist von höherem Interesse, als weiter vom Betrachter entfernte Annotationen.

Da Anzahl und Größe der Annotationen für jede mögliche Sicht auf eine 3D-Szene vorab unbekannt sind, kann aufgrund der beschränkten Bildraumgröße nicht garantiert werden, dass in jedem Fall alle Annotationen ohne Überlagerung platziert werden. Mit Blick auf Annahme 2 ist es daher sinnvoll, Annotationen in der Nähe des Betrachters zu bevorzugen. Aus diesem Grund werden zu Beginn alle Referenzpunkte entsprechend ihrer Entfernung zum Betrachter sortiert. Die Platzierung erfolgt anschließend von vorn nach hinten, wodurch Annotationen nahe dem Betrachter schon sehr früh die Möglichkeit haben ihren Platz auf der Bildebene zu reservieren.

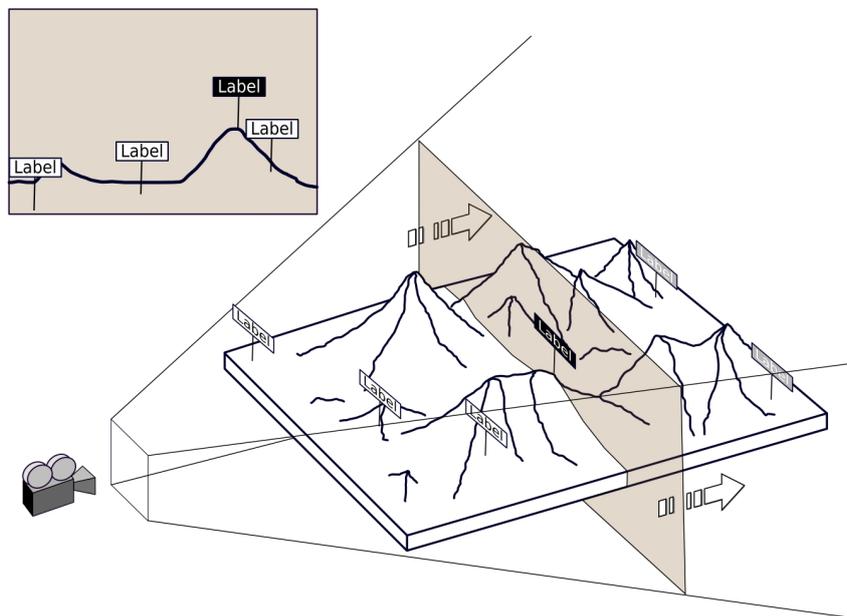


Abbildung 4.1: Illustration der Platzierungsstrategie: Für eine spezifische Betrachterposition werden die Annotationen iterativ mit steigender Entfernung zum Betrachter platziert, wobei mit Hilfe des Bildraum-Managements mögliche Verdeckungen aufgelöst werden.

Abbildung 4.1 illustriert diese Vorgehensweise. Die Annotationen vor der vertikalen Ebene wurden dabei bereits im Bild platziert. Das Einfügen einer weiteren Annotation (schwarz dargestellt) kann auf der Bildebene einen Konflikt mit bereits platzierten Annotationen verursachen, so dass nach einer alternativen Position gesucht werden muss. Die Höhe der Annotation über dem Referenzpunkt ist dabei der Freiheitsgrad, für den der Algorithmus eine neue, möglicherweise kollisionsfreie, Position bestimmen kann. Wie Abbildung 4.2 zeigt, findet sich diese Art Annotationen zu platzieren, auch in händisch erzeugten kartographischen Darstellungen.

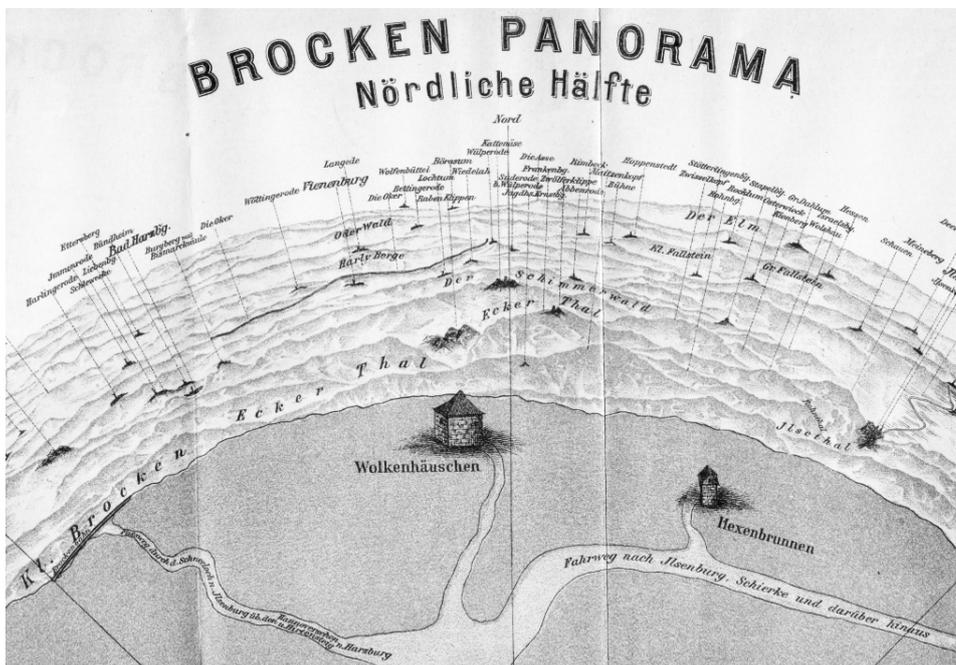


Abbildung 4.2: Eine dem hier vorgestellten Verfahren ähnliche, aber händisch erzeugte Darstellung mit externen Beschriftungen für Gipfel einer Panoramaansicht des Brockens (Quelle: [20]).

4.3 Verwaltung des Bildraums

Da die Suche nach einem freien Bereich für die Platzierung in vertikaler Richtung erfolgt, wird der Bildraum zunächst horizontal in Bänder gleicher Breite unterteilt. Dies ermöglicht es, die Such- und Markierungsoperationen auf das Segment aufeinanderfolgender Bänder zu beschränken, welche von der Annotation überlagert werden. Eine zusätzliche gleichmäßige Unterteilung der Bänder in vertikaler Richtung würde zu einer Rasterstruktur führen. Für eine Platzierung mit hoher Präzision in dieser Dimension (z.B. pixelgenau) wäre damit allerdings auch eine große Anzahl an Rasterelementen notwendig, welche für die Anfrage- und Markierungsoperationen durchlaufen werden müssten. Da die vertikale Ausdehnung der Annotationen im Bildraum meist größer ist als die angestrebte Genauigkeit, werden stattdessen pro Band die freien Bereiche mit einem einzelnen Intervall oder einer verketteten Liste von Intervallen repräsentiert.

Um die weiteren Erläuterungen des Bildraum-Managements zu vereinfachen, wird im Folgenden von einem normalisierten Koordinatensystem ausgegangen. Dieses begrenzt den Bildraum durch die Punkte $(0,0,0,0)$ an der unteren linken und $(1,0,1,0)$ an der oberen rechten Ecke. Zu Beginn jeder Platzierung wird der komplette Bildraum als unbelegt markiert. Die Technik kann somit rechteckige Bereiche der Form $(x_0, y_0, x_1, y_1), x_i, y_i \in [0 \dots 1]$ auf eine Überlagerung hin überprüfen oder als belegt markieren. Es wurden zwei Bildraum-Management Varianten untersucht.

Bildraum-Management Variante A: Ansteigende Horizontlinie

Die erste Variante speichert in nur einem Intervall pro Band den noch zur Verfügung stehenden Bereich bis zur oberen Begrenzung des Bildraums. Initial enthält dieses Intervall das Wertepaar $y_{min} = 0, y_{max} = 1$, um den gesamten Bereich als frei zu kennzeichnen. Um ein Rechteck (x_0, y_0, x_1, y_1) als belegt zu markieren, werden alle von der Annotation überlagerten Bänder aktualisiert. Für jedes Band wird der dortige Wert y_{min} durch das y_1 ersetzt, falls $y_1 > y_{min}$ (s. Programm 4.1).

```
function markRectangle (x0, y0, x1, y1) {
  forall (i : Bandindex(x0) ≤ i ≤ Bandindex(x1))
    band[i].ymin := maximum(y1, band[i].ymin);
}
```

Programm 4.1: Markierung eines rechteckigen Bereiches der Bildebene für die Bildraum-Management Variante A.

Der Test, ob ein definiertes Rechteck zur Platzierung einer Annotation zur Verfügung steht, erfolgt in ähnlicher Weise. Bei der Iteration über die relevanten Bänder wird überprüft, ob der dort spezifizierte Wert y_{min} größer ist als der Wert y_0 des Anfragerechtecks. Ist dies der Fall, so kann die Iteration abgebrochen werden, da ein Überlagerungskonflikt vorliegt (s. Programm 4.2).

```
function queryRectangle (x0, y0, x1, y1) {
  bool collisionFound = false;

  forall (i : Bandindex(x0) ≤ i ≤ Bandindex(x1))
    if (y0 ≤ band[i].ymin) {
      collisionFound = true;
      break;
    }

  return collisionFound;
}
```

Programm 4.2: Test, ob ein rechteckiger Bereich der Bildebene verfügbar ist für die Bildraum-Management Variante A.

Diese Anfrage kann einfach modifiziert werden, um beim Auftreten eines Konfliktes eine alternative Position zu bestimmen. In diesem Fall wird die Iteration auch bis zum letzten Band durchgeführt. Der dabei gefundene maximale y_{min} Wert kann dann als neue Höhe für die Platzierung verwendet werden. Um zu vermeiden, dass die Annotation aus dem Bild ragt, wird dieser Wert durch eine maximal zulässige Höhe $(1 - (y_1 - y_0))$ beschränkt. Dies kann Überlagerungen von Annotationen nahe der oberen Begrenzung des Bildraums zur Folge haben, welche sich in den meisten Fällen durch eine Annäherung im virtuellen Raum auflösen lassen. Ist dieses Verhalten nicht erwünscht, so können die Annotation alternativ von der Platzierung ausgeschlossen werden. Abbildung 4.3 veranschaulicht die Platzierung von vier Annotationen (A-D) unter Verwendung dieser Bildraum-Management Variante. Da auch die Bereiche unterhalb platzierter Annotationen als belegt markiert werden,

ergibt sich dadurch eine durchgehende Horizontlinie (rot). Diese verschiebt sich mit jeder weiteren Annotation in einigen Bändern nach oben, was dieser Bildraum-Management Variante den Namen verlieh.

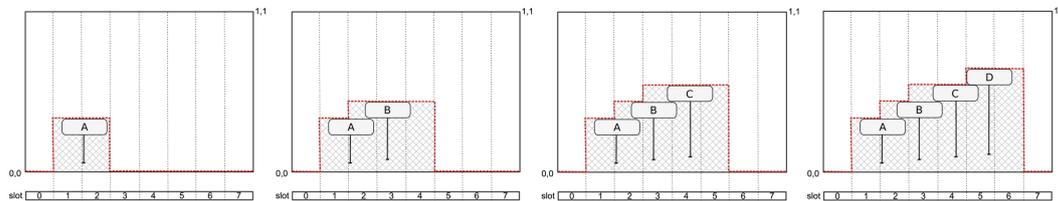


Abbildung 4.3: Platzierung der Annotationen A-D mit der Bildraum-Management Variante A. Die als belegt gekennzeichnete Fläche ist grau schraffiert dargestellt.

Bildraum-Management Variante B: Intervall-Listen

Das Bildraum-Management mit ansteigender Horizontlinie schichtet die Annotationen im Bildraum übereinander auf, wodurch unnötig große Bereiche als belegt markiert werden. Zur besseren Nutzung des verfügbaren Bereiches wurde daher eine zweite Variante entwickelt. Diese speichert in jedem Band eine aufsteigend sortierte Liste der unbelegten Intervalle $(y_{min}, y_{max}) : y_{min} < y_{max}$. Zu Beginn enthält jedes Band wiederum ein Intervall mit den Werten $(y_{min} = 0, y_{max} = 1)$, womit es als komplett unbelegt markiert wird.

Um einen rechteckigen Bereich zu belegen, werden erneut alle von der Annotation überdeckten Bänder durchlaufen. In jedem Band werden dabei alle vertikalen Intervalle ermittelt, die einen gemeinsamen Schnitt mit den Höhenwerten des Rechteckes $[y_0, y_1]$ besitzen. Eine Markierungsoperation innerhalb eines Bandes kann dazu führen, dass ein freies Intervall komplett verworfen, einseitig verkürzt oder in zwei neue Intervalle aufgeteilt wird. Die Intervalle, die einen Schnitt aufweisen, werden je nach Situation entsprechend angepasst bzw. ersetzt (s. Programm 4.3).

```
function markRectangle (x0, y0, x1, y1) {
  forall (i : Bandindex(x0) ≤ i ≤ Bandindex(x1))
    forall (j : band[i].interval[j] ∩ [y0, y1] ≠ ∅) {

      float y_min = band[i].interval[j].y_min;
      float y_max = band[i].interval[j].y_max;

      if (y_min ≥ y0 && y_max ≤ y1)
        // das leere Intervall wird komplett überdeckt
        remove band[i].interval[j];
      else if (y_min ≥ y0 && y_max > y1)
        // das leere Intervall wird im unteren Bereich überdeckt
        band[i].interval[j] = [y1, y_max];
      else if (y_max > y0 && y_max ≤ y1)
        // das leere Intervall wird im oberen Bereich überdeckt
        band[i].interval[j] = [y_min, y0];
      else if (y_min < y0 && y_min < y1 && y_max > y0 && y_max > y1)
```

```

        // das Rechteck liegt inmitten des Intervalls
        split band[i].interval[j] into [ymin,y0] and [y1,ymax];
    }
}

```

Programm 4.3: Markierung eines rechteckigen Bereiches der Bildebene für die Bildraum-Management Variante B.

Der Test auf einen möglichen Platzierungskonflikt erfolgt ähnlich wie bei Variante A. Während der Iteration über alle relevanten Bänder wird nun zusätzlich die Liste der freien Intervalle in jedem Band auf einen Schnitt mit den y-Werten des Rechtecks $[y_0, y_1]$ überprüft. Sobald dieser Test positiv ausfällt, kann die Iteration abgebrochen werden. Weiterhin können Intervalle unterhalb des Rechtecks übersprungen und oberhalb des Rechtecks gänzlich von diesem Test ausgeschlossen werden. Zur Veranschaulichung dient Programm 4.3.

```

function queryRectangle (x0, y0, x1, y1) {
    bool collisionFound = false;

    int i = Bandindex(x0);
    while (!collisionFound && i <= Bandindex (x1)) {

        bool freePositionFound = false;
        forall(j : 0 < j < band[i].interval.size ()) {

            float ymin = band[i].interval[j].ymin;
            float ymax = band[i].interval[j].ymax;

            if (ymax ≤ y0)
                // das Intervall liegt unter dem Rechteck
                continue;
            else if (ymin ≤ y0 && ymax ≥ y1)
                // das Intervall ermöglicht eine Einbettung
                freePositionFound = true;
                break;
            else if (ymin ≥ y1)
                // kein freies Intervall mehr oberhalb verfügbar
                break;
        }

        if (!freePositionFound)
            collisionFound = true;
        i++;
    }

    return collisionFound;
}

```

Programm 4.4: Test zur Überprüfung ob ein rechteckiger Bereich der Bildebene verfügbar ist für die Bildraum-Management Variante B.

Analog zur Bildraum-Management Variante A, lässt sich auch hier die Funktion zur Abfrage einer Kollision erweitern, um direkt die Höhe für das nächste freie Rechteck zu bestimmen. Während der Iteration über die Bänder wird dabei die nächste obere Beschränkung des momentan untersuchten Freiraums mitverfolgt. Beim Auftreten einer Kollision wird überprüft, ob ein weiteres Verschieben der Annotation in die Höhe weiterhin eine Platzierung innerhalb dieses freien Bereiches erlaubt. In diesem Fall kann mit der Iteration fortgefahren werden. Andernfalls wird die Iteration erneut gestartet, wobei als neue Starthöhe die mitverfolgte Begrenzung des Freiraums verwendet wird. Abbildung 4.4 veranschaulicht die Platzierung von vier Annotationen (A-D) unter Verwendung des auf Intervall-Listen basierenden Bildraum-Managements.

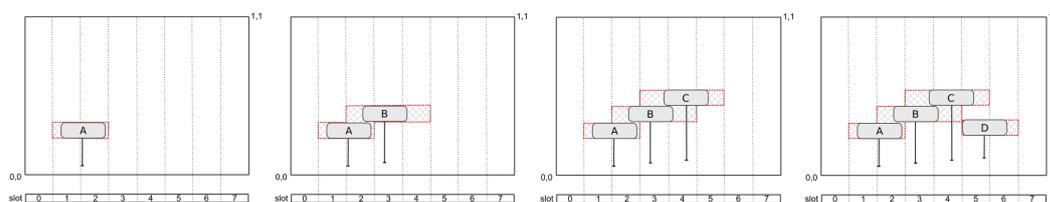


Abbildung 4.4: Platzierung der Annotationen A-D mit Hilfe der Bildraum-Management Variante B. Die als belegt gekennzeichnete Fläche ist grau schraffiert dargestellt.

4.4 Auflösung von durch die 3D-Szene hervorgerufenen Verdeckungen

Für 3D-Szenen, welche ausschließlich eine nahezu planare Geländeoberfläche enthalten, arbeiten die bisher vorgestellten Techniken zuverlässig. Bei der Platzierung in 3D-Geländemodellen mit ausgeprägter Morphologie bzw. zusätzlichen Objekten (z.B. Gebäuden) kann es jedoch zusätzlich zur gegenseitigen Überlagerung von Annotationen auch zu Verdeckungen der Annotationen durch die 3D-Szene kommen. Um diese Fälle zu berücksichtigen, muss die Suche nach einer freien Bildraumposition um einen zusätzlichen Test mit dem Tiefen-Puffer erweitert werden.

Dazu wird vor der Platzierung der Annotationen von der 3D-Szene ein Tiefenbild generiert. Dies kann unter Nutzung der Graphikhardware, ohne Berechnung aufwendiger Material- oder Lichteffekte und mit einer reduzierten Auflösung erfolgen (s. Abschnitt 3.2.2). Da die geometrische Repräsentation der Annotationen zweidimensional ist und parallel zur Sichte Ebene ausgerichtet wird, kann für das gesamte Annotationsrechteck konstant der Tiefenwert des Referenzpunktes angenommen werden. Für eine mit Hilfe des Bildraum-Managements ermittelte Bildraumposition ist nun zusätzlich zu überprüfen, ob im Bereich des Annotationsrechtecks im Tiefenbild Objekte repräsentiert sind, welche sich näher als die Annotation am Betrachter befinden.

Um eine lineare Suche über alle von der Annotation überdeckten Bildpunkte zu vermeiden, kann dieser Test durch Nutzung einer hierarchischen Z-Pyramide beschleunigt werden [41]. Schlägt der Tiefen-Puffer Test fehl, so wird die Annotation weiter

vertikal verschoben, bis keine Verdeckung mehr auftritt. Der so erzeugte neue Positionsvorschlag ist wiederum mit Hilfe der Bildraum-Management Datenstruktur zu überprüfen. Abbildung 4.5 zeigt die Platzierung von Beschriftungen in einer 3D-Szene, unter Berücksichtigung der durch die 3D-Szene hervorgerufenen Verdeckungen.

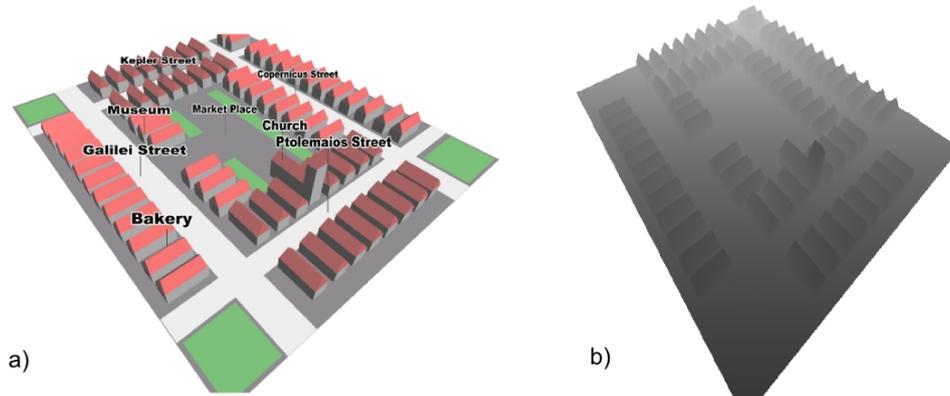


Abbildung 4.5: a) In einer 3D-Umgebung platzierte Annotationen, unter Berücksichtigung möglicher Verdeckungen durch die Szene. b) Zugehöriges Bild des Tiefen-Puffers.

Für 3D-Szenen mit einer wenig komplexen und hauptsächlich konvexen Geometrie, ist es meist ausreichend, den Tiefentest nur für einen Teil der von der Annotation überlagerten Bildpunkte durchzuführen. Um mögliche Artefakte zu minimieren, sollten die Abtastpunkte dabei jedoch gleichmäßig über das Rechteck verteilt werden. Alternativ kann der Test auf mögliche Verdeckungen auch mit Hilfe von expliziten Strahl-Schnitttests durchgeführt werden. Dieser Ansatz ist zu bevorzugen, wenn die Szene nur eine geringe Anzahl von Polygonen enthält oder die Sicht eine hohe Tiefenkomplexität aufweist, so dass die Genauigkeit des diskreten Tiefen-Puffers nicht ausreicht.

4.5 Ergebnisse und Diskussion

Die vorgestellte Platzierungstechnik ist aufgrund der Arbeitsweise und der wenigen, für die effiziente Verwaltung des Bildraums notwendigen, Operationen für einen Einsatz in interaktiven 3D-Umgebungen geeignet. Um dies zu validieren, wurde in C++ mit Hilfe von VRS ein Prototyp umgesetzt. Für den Test wurden 100 Beschriftungen zufällig über die gesamte Geländeoberfläche verteilt, weit mehr als in üblichen Darstellungen sinnvoll zu erfassen sind (Abb. 4.6). Das Testsystem war mit einem Intel Core 2 X6800, 2.93GHz, 3 GB RAM, Windows XP 32Bit und einer Geforce 7950 GTX mit 512 MB Video RAM ausgestattet. Die Bildschirmauflösung betrug 1600x1200, wobei das Bildraum-Management den Bildraum horizontal in 400 Bänder unterteilte. Um ein breites Spektrum der Sichtverhältnisse abzudecken, wurden mehrfach Rotations- und Zoomoperationen ausgeführt, die größere Änderungen in der Platzierung der Annotationen zur Folge hatten. Die Bildwiederholrate bewegte sich im Bereich von 16

bin 43 Bildern pro Sekunde, wobei nicht die Berechnung der Platzierungspositionen, sondern die Darstellung der Szene und der Annotationen limitierend wirkten.

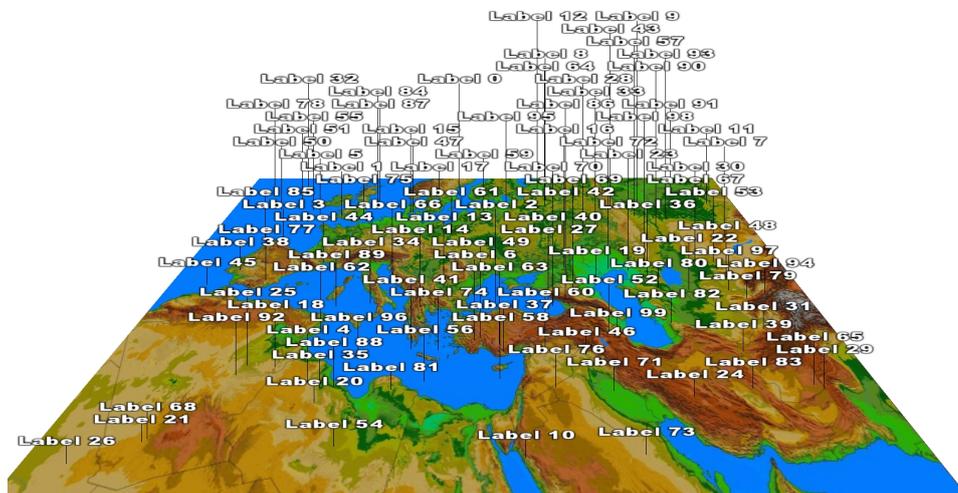


Abbildung 4.6: Szene für den Test des Bildraum-Managements unter interaktiven Bedingungen mit 100 zufällig platzierten Beschriftungen.

Gegenüber einer Platzierung von Annotationen mit konstanter Höhe, zeigt der Einsatz beider Bildraum-Management Varianten durch die Auflösung der Verdeckungen deutliche Verbesserungen der Lesbarkeit (Abb. 4.7). Die Bildraum-Management Variante A (ansteigende Horizontlinie) erzeugt dabei weniger kompakte Darstellungen als die Bildraum-Management Variante B (Intervall-Listen). Dafür haben mit Variante B platzierte Annotationen in der Regel kürzere Verbindungslinien und nutzen den verfügbaren Bildraum besser aus. Für weitergehende Aussagen, bspw. welche der beiden Varianten von den Nutzern favorisiert wird oder von diesen schneller oder mit weniger Fehlern interpretiert werden kann, sind umfangreiche Nutzerstudien notwendig.

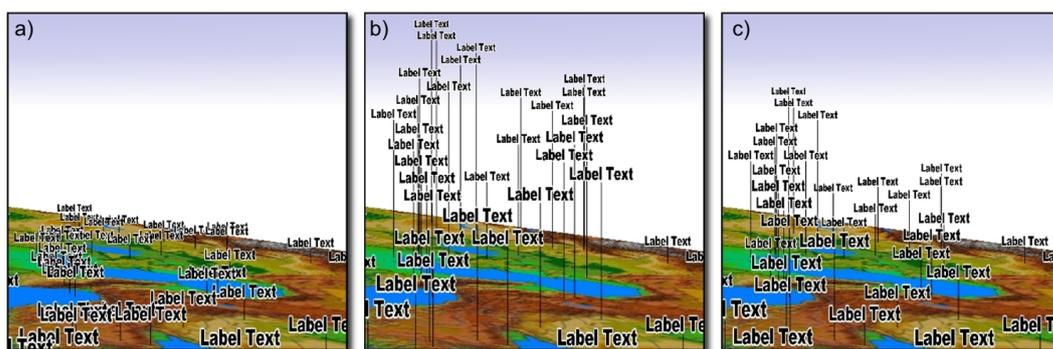


Abbildung 4.7: Vergleich der Platzierung von Beschriftungen mit und ohne Unterstützung des Bildraum-Managements: a) Platzierung mit konstanter Höhe, b) Platzierung mit Hilfe der Bildraum-Management Variante A, c) Platzierung mit Hilfe der Bildraum-Management Variante B.

Über die Anzahl der vertikalen Bänder kann die Genauigkeit der Platzierung kontrolliert werden. Wird der Bildraum nur in einige wenige Bänder unterteilt, so vergrößern sich in horizontaler Richtung die Bereiche, welche einzelne Annotationen belegen. Als Resultat weichen die Annotationen bei der Platzierung in die Höhe aus. Eine obere Schranke für die Anzahl der Bänder ist die Anzahl der Bildschirmpixel des Ausgabemediums. Hier können die Annotationen mit maximaler Genauigkeit platziert werden, allerdings auf Kosten aufwendigerer Test- und Markierungsoperationen für das Bildraum-Management. Mit der Wahl eines Wertes für diesen Parameter sind Nutzer in der Lage, eine für die Anwendung angemessene Balance zwischen Platzierungsgenauigkeit und Berechnungszeit zu spezifizieren.

KAPITEL 5

Beschriftung von Gebäuden mit dynamisch platzierten Schildern

„Die Neugier steht immer an erster Stelle eines Problems, das gelöst werden will.“

(Galileo Galilei)

Um uns die alltägliche Nutzung der Infrastruktur zu erleichtern, ist auch unsere reale Welt mit Zusatzinformationen angereichert. Richtungspfeile auf Fahrbahnen, Verkehrszeichen, Haltestellenschilder für öffentliche Verkehrsmittel, Etagen-Grundrisspläne in größeren Gebäuden sowie an Hausfassaden angebrachte Schilder zur Kennzeichnung von Straßennamen und Gewerbebetrieben sind nur einige Beispiele dafür. Die so bereitgestellten Informationen selektieren und erfassen wir intuitiv durch die Wahl unserer Position und Blickrichtung.

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Verfahren [63, 65] greift die Idee auf, Metainformationen direkt in den 3D-Raum zu integrieren. Annotationen werden dabei in Form von Schildern als 3D-Szenenelemente mittels texturierter Rechtecke repräsentiert und unterliegen gemeinsam mit dem Modell der 3D-Szene der gleichen perspektivischen Abbildung. Das Konzept, in virtuellen Umgebungen Informationstafeln zu platzieren, die sich zusätzlich zum Betrachter ausrichten, ist in der Computergraphik unter dem Begriff *Billboarding* [3] bekannt. Ziel des hier vorgestellten Verfahrens ist jedoch nicht die Kommunikation von Informationen über lokale Objekte. Vielmehr soll die Funktion von Gebäuden und Gebäudeteilen mit Hilfe virtueller Schilder kommuniziert werden. Daher sind die Annotationen nicht nur an einem Fixpunkt auszurichten, sondern zuvor an einer möglichst gut lesbaren Position der Hausfassade anzubringen. Im Vergleich zur realen Welt bewegen sich in der virtuellen Welt die Informationen dynamisch, an für den Nutzer gut sichtbaren Positionen.

5.1 Überblick und Datenstrukturen

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass für jedes 3D-Objekt nur eine Annotation eingebettet wird. Soll eine detailliertere Beschreibung des Objektes erfolgen, so ist entweder das Objekt in seine Bestandteile zu zerlegen, welche unabhängig voneinander

betrachtet werden oder es werden mehrere Metainformationen zusammengefasst und mit Hilfe eines Schildes kommuniziert. Da eingebettete Annotationen das zugehörige Objekt auch nach der perspektivischen Abbildung im 2D-Bildraum überlagern, ist eine gegenseitige Verdeckung von Annotationen ausgeschlossen. Dieser Fall wird daher von der Platzierungstechnik nicht weiter verfolgt. Alle Annotationen, deren Objekte sich ganz oder teilweise innerhalb des Sichtvolumens befinden, werden daher nacheinander in die Szene integriert.

Die Integration einer Annotation in die 3D-Szene erfolgt in drei Schritten. Zuerst wird ein Punkt auf der Oberfläche des Gebäudes bestimmt, an dem das Zentrum der Annotation befestigt werden kann. Dieser sollte möglichst nahe am Betrachter liegen und eine Ausrichtung mit guter Lesbarkeit ermöglichen. Im zweiten Schritt wird die Annotation so orientiert, dass sie in die Oberfläche des Gebäudes integriert scheint. Ist dies nicht möglich, da sich z.B. der zuvor berechnete Positionierungspunkt nahe einer Gebäudekante befindet, so wird die Annotation aus der Fassadenfläche gelöst und entsprechend der Orientierung der benachbarten Flächen ausgerichtet. Im letzten Schritt wird ein möglicher Schnitt der Annotation mit der Hülle aufgelöst, um eine Verdeckung der Annotation durch das Gebäude zu vermeiden.

Das Verfahren verwendet zur Positionsbestimmung und Ausrichtung der Annotation zwei generalisierte Repräsentationen des zu annotierenden Gebäudes: eine Hülle mit geringer geometrischer Komplexität und ein Skelett, welches sich an der Form des Grundrisses orientiert.

Die Hülle hat die Funktion, den Einfluss geometrischer Details (z.B. von Balkonen, Erkern oder komplexen Dachstrukturen) zu verhindern, welche für eine Einbettung der Annotationen ungeeignet sind. Sie gibt die charakteristische Form des Gebäudes mit möglichst wenigen Polygonen wieder und umhüllt dieses, so dass die Flächen der Hülle und des Gebäudes keinen gemeinsamen Schnittpunkt besitzen. Das Beispiel in Abbildung 5.1 zeigt ein Fabrikgebäude, dessen Geometrie durch einen Quader approximiert wird. Verglichen mit einem detailliert ausmodellierten Gebäudemodell, können auf einer generalisierten Hülle die zur Positionierung notwendigen Berechnungen sehr viel effizienter durchgeführt werden.

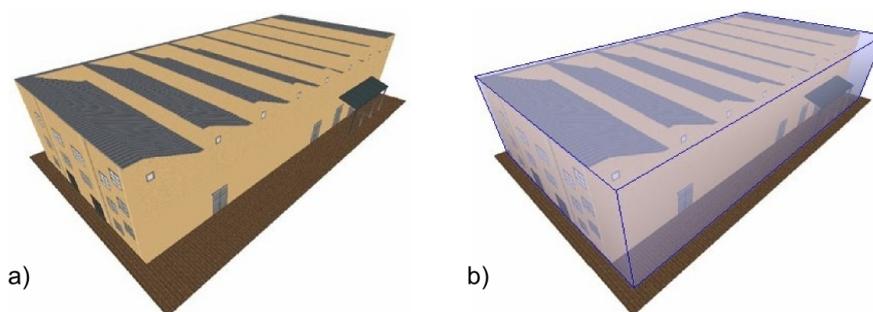


Abbildung 5.1: Statt der Originalgeometrie des Gebäudes wird vom Verfahren ein vereinfachter Hüllkörper verwendet, hier illustriert für ein Fabrikgebäude: a) Gebäude mit komplexer Dachstruktur und Vorbau, b) Gebäude mit umschließender quaderförmiger Hülle.

Das Skelett repräsentiert die Struktur eines Gebäudes mit Hilfe von Punkten und Linienzügen im Inneren. Für eine Kugel oder einen Quader kann das Skelett durch einen Punkt im Zentrum, für einen Zylinder durch eine Linie auf der Mittelachse und für einen Torus durch einen Kreis repräsentiert werden. Für Gebäudekörper mit einer komplexeren Form eignet sich typischerweise ein Skelett, welches aus dem Grundriss abgeleitet und im Inneren zentriert wird (Abb. 5.2).

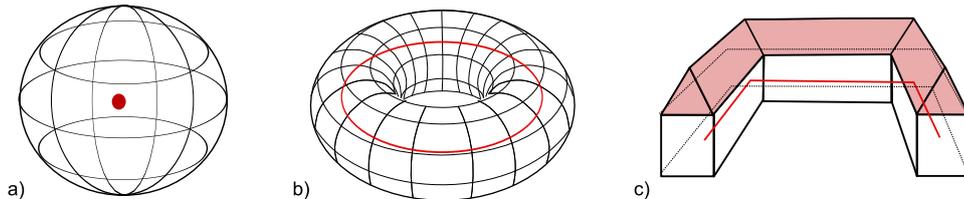


Abbildung 5.2: Illustration verschiedener Skelettformen (in rot), welche die Form des Objektes widerspiegeln: a) Skelettpunkt für eine Kugel, b) ringförmiges Skelett für einen Torus, c) am Grundriss eines Gebäudes orientierter Skelett-Pfad.

Verfahren zur Ableitung von Skeletten aus Gebäudegrundrissen sind aus dem Bereich der automatisierten Erzeugung von Dachgeometrien aus Grundrissen bekannt. Die dort verwendeten Ansätze (siehe z.B. Aicholzer et al. [2], Felkel und Obdrmalek [28]) berechnen ein aus Linienzügen bestehendes Skelett (engl. straight skeleton).

5.2 Berechnung des Befestigungspunktes

Für die Berechnung des Befestigungspunktes der Annotation wird ein Strahl, ausgehend vom Zentrum der Kamera, in die Mitte des Sichtfeldes ausgesandt. Danach wird der Punkt auf dem Skelett ermittelt, welcher die kürzeste Distanz zum ausgesandten Strahl besitzt. Durch einen weiteren Strahlschuss, vom Betrachter hin zu diesem Skelettpunkt, wird nun der Punkt zur Befestigung des Annotationszentrums bestimmt, indem dieser Strahl mit den Polygonen der Hülle auf einen Schnittpunkt getestet wird. Existieren mehrere Schnittpunkte, so wird der mit der geringsten Distanz zum Betrachter verwendet. Für einfache Objekte, welche nur einen Punkt als Skelett besitzen, kann der Strahltest mit der Hülle auf direktem Weg erfolgen.

Alternativ kann als Ziel des zweiten Strahltests auch der Punkt des Skelettes mit der geringsten Distanz zum Betrachter verwendet werden. Für Gebäude mit komplexeren Grundrissen, z.B. L- oder U-Formen, führt dies allerdings in vielen Fällen zu einer ungünstigen Fixierungsposition. Die Verwendung des Abstandes zur mittleren Sichtachse hat sich daher als guter Kompromiss erwiesen.

5.3 Ausrichtung der Annotation

Nachdem die Annotation mit ihrem Zentrum am zuvor berechneten Punkt der Hülle fixiert wurde, erfolgt ihre Ausrichtung, um sie in die Fassade des Gebäudes eingebettet erscheinen zu lassen. Diese Einbettung ist nicht immer vollständig möglich. Befindet sich der Befestigungspunkt in der Nähe einer Kante oder eines Eckpunktes des Gebäu-

des, so kann die Annotation die Einbettungsfläche überragen. In diesem Fall erfolgt die Ausrichtung der Annotation so, dass diese sich während der Navigation stetig um diese Diskontinuitäten orientiert, bis eine vollständige Einbettung erneut möglich ist. Zur Berechnung der Orientierung werden die Punkt- und Flächennormalen in der Umgebung des Fixierungspunktes ausgewertet (Abb. 5.3), wobei drei verschiedene Fälle zu unterscheiden sind.

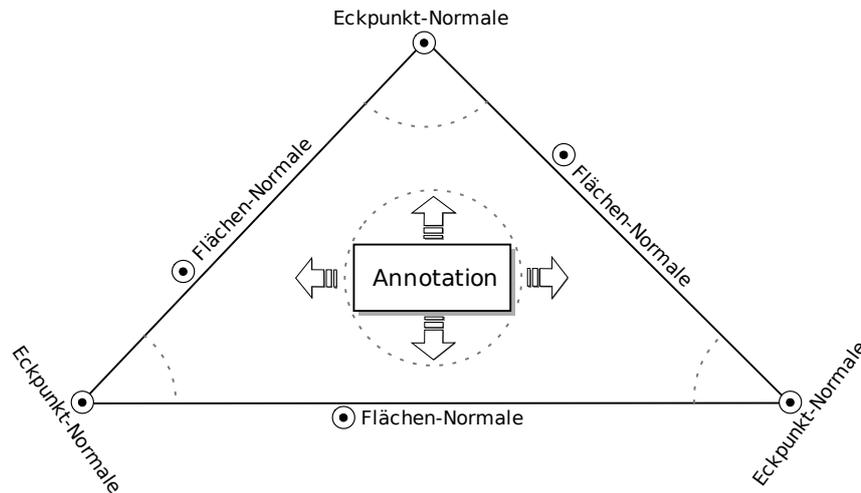


Abbildung 5.3: Die Normalen adjazenten Flächen und Eckpunkte beeinflussen die Ausrichtung der Annotation, wenn eine vollständige Einbettung nicht mehr möglich ist, da diese den Rand des Polygons überragt.

1. Sind alle Punkte und Kanten des Polygons der Hülle weit genug vom Zentrum der Annotation entfernt, so ist eine vollständige Einbettung möglich. Die Distanz zum Befestigungspunkt der Annotation muss dabei deren umschreibenden Radius übersteigen. In diesem Fall ergibt sich die Normale zur Ausrichtung der Annotation aus der Flächennormalen des Polygons.

$$\vec{n}_O := \vec{n}_{affixation}^{face}$$

2. Unterschreitet die Entfernung zwischen Annotationszentrum und einem Eckpunkt des Polygons d_i den Radius des umschreibenden Kreises der Annotation d_{min} , so nehmen die Normalen der angrenzenden Flächen und die Normale des Eckpunktes Einfluss auf die Orientierung der Annotation. In diesem Fall ergibt sich die Normale zur Ausrichtung der Annotation aus:

$$\vec{n}_O := \sum_{i=0}^{\#vertices} (d_{min} - d_i) \cdot \vec{n}_i^{vertex} + d_i \cdot \vec{n}_m.$$

Der zweite Term \vec{n}_m ist dabei selbst das Resultat einer Interpolation. Der Anteil des Winkels zur einer Kante (w_a) wirkt dabei als Gewichtung für die Normalen der angrenzenden Flächen in und gegen den Uhrzeigersinn (\vec{n}_{cw}^{face} und \vec{n}_{ccw}^{face}).

$$\vec{n}_m := ((1 - w_a) \cdot \vec{n}_{ccw}^{face} + w_a \cdot \vec{n}_{cw}^{face})$$

3. Befindet sich die Annotation nicht in der Nähe eines Eckpunktes, aber in der Nähe einer Kante, wird die Orientierung entsprechend der Distanz zwischen den beiden Flächennormalen interpoliert.

$$\vec{n}_O := (d_{min} - d_i) \cdot \vec{n}_j^{face} + d_i \cdot \vec{n}_{affixation}^{face}$$

Nach der Bestimmung der Normalen wird die Annotation durch Rotation um den Fixierungspunkt so orientiert, dass die Flächennormale der Annotation mit der berechneten Normalen übereinstimmt. Zur Veranschaulichung des Verfahrens wurden für eine komplette Gebäudehülle in diskreten Abständen die Normalen berechnet und visualisiert (Abb. 5.4).

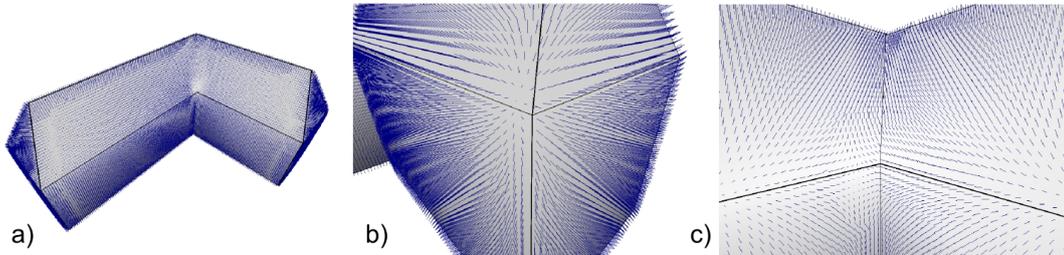


Abbildung 5.4: Visualisierung der für die Ausrichtung der Annotation verwendeten Normalen, a) Überblicksansicht. b) Detailansicht für einen konvexen Bereich. c) Detailansicht für einen konkaven Bereich.

5.4 Auflösung der Kollisionen mit Gebäuden

Nach der Ausrichtung der Annotation an ihrem Befestigungspunkt kann diese einen Schnitt mit dem Gebäude aufweisen und dadurch teilweise verdeckt werden (Abb. 5.5). Um diese Fälle algorithmisch zu erkennen und ggf. zu beheben, wurden zwei Strategien entwickelt, die im Folgenden beschrieben werden.

5.4.1 Auflösung der Kollisionen im Bildraum

Eine einfache Möglichkeit, die Verdeckung von Annotationen durch die zugehörigen Gebäude zu vermeiden besteht darin, diese während des bildgebenden Prozesses zu verhindern. Dazu ist eine Sortierung der annotierten Objekte entsprechend ihrer Entfernung zum Betrachter notwendig. Beginnend mit dem Gebäude, welches die größte Distanz aufweist, werden diese entsprechend ihrer Reihenfolge dargestellt. Existiert eine zum Gebäude gehörende Annotation, so wird zuerst das Gebäude und dann die Annotation dargestellt. Für die Darstellung der Annotation wird jedoch der Tiefentest (z-Buffer) deaktiviert, so dass möglicherweise vorhandene Verdeckungen im Bild ausbleiben.

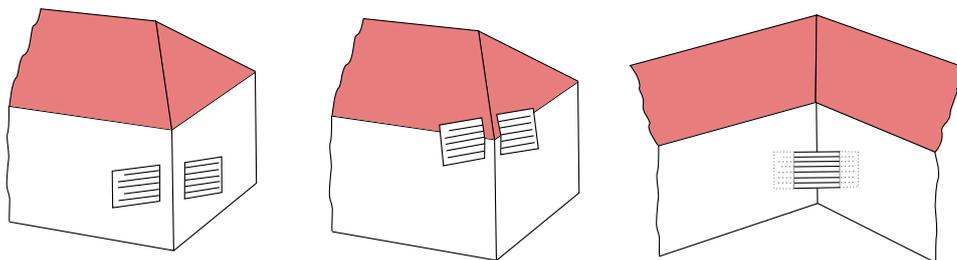


Abbildung 5.5: Illustration verschiedener Varianten von Kollisionen zwischen Annotation und Gebäude.

5.4.2 Auflösung der Kollisionen im Szenenraum

Für Szenen mit komplexen geometrischen Strukturen, z.B. ineinander verschränkten Gebäuden, ist eine solche eindeutige Tiefensortierung nicht immer möglich. Aus diesem Grund wurde eine weitere Strategie entwickelt, welche die Kollisionen zwischen Annotation und Objekt im Szenenraum erkennt und ggf. auflöst. Dabei wird eine Ebene aufgespannt, welche die ausgerichtete Annotation enthält. Diese Ebene wird algorithmisch auf mögliche Schnitte mit der Hülle getestet. Liegen diese innerhalb des durch die Annotation abgedeckten Bereiches, so wird die Annotation soweit in Richtung ihrer Normalen verschoben, bis alle Kollisionen behoben sind.

Auch wenn für den Test auf mögliche Schnitte nur die Polygone der Hülle verwendet werden, so können diese Berechnungen für Gebäude mit komplexer Geometrie aufwendig sein. Zur Beschleunigung sollte die Teilmenge der nicht relevanten Polygone möglichst effizient erkannt und von diesen Tests ausgeschlossen werden. Dies kann mit Hilfe vorberechneter Raumunterteilungen, wie regulären Gittern oder Hüllkörper-Hierarchien [36] geschehen, welche auch standardmäßig zur Bildsynthese mittels Raytracing eingesetzt werden [77].

5.5 Zusätzliche Randbedingungen zur Beeinflussung der Platzierungspositionen

In der Realität eignen sich gewisse Bereiche einer Gebäudefassade besonders für das Anbringen von Schildern. Durch die Einführung zusätzlicher Randbedingungen lässt sich die Platzierung der Annotationen in virtuellen Umgebungen so beeinflussen, dass bestimmte Positionen an den Gebäuden favorisiert oder die Platzierung nur in spezifischen Regionen ermöglicht wird. Damit kann bspw. die Verdeckung von Türen oder Fenstern vermieden oder die Einbettung auf Bereiche zwischen den Stockwerken des Gebäudes beschränkt werden.

5.5.1 Fixierung auf Höhe des Betrachters

Um die Fixierungspunkte der Annotation für alle Sichten gleichmäßig zu verteilen, wird das Skelett typischerweise in einer mittleren Höhe der Hülle positioniert. Wird die Höhe des Skeletts über dem Grundriss allerdings dynamisch so angepasst, dass

es sich innerhalb des Gebäudes und auf Augenhöhe des Betrachters befindet, so hat dies zur Folge, dass die Annotationen eher im Sichtfeld positioniert werden. Diese Randbedingung verbessert die Platzierung z.B. in Szenarien, in welchen der Nutzer die Rolle eines virtueller Fußgängers einnimmt. Sie ist zudem technisch sehr einfach in das bisherige Verfahren integrierbar.

5.5.2 Fixierung auf einer definierten Höhe des Gebäudes

Alternativ kann die Platzierung der Annotation auf eine bestimmte Höhe des Gebäudes beschränkt werden. Zu diesem Zweck wird zusätzlich eine parallel zum Geländegrundriss verlaufende Ebene definiert. Der Schnitt dieser Ebene mit der Gebäudehülle definiert die Menge aller zulässigen Fixierungspunkte. Zur Berechnung eines spezifischen Fixierungspunktes werden im Vorfeld sowohl alle Punkte des Skeletts als auch die Position des Betrachters auf diese Ebene projiziert. Anschließend kann die Positionsberechnung wie gewohnt erfolgen.

Dieser Ansatz lässt sich sehr einfach erweitern, um die Platzierung der Annotation nicht nur auf einer fixen Höhe, sondern innerhalb eines Höhenintervalls zu ermöglichen. Die Definition der minimalen und maximalen Höhe erfolgt dabei durch zwei zueinander parallele Ebenen. Befindet sich der Betrachter über oder unter diesen Ebenen, so wird seine Position und das Skelett wie zuvor auf die nächstgelegene Ebene projiziert. Befindet sich der Beobachter hingegen zwischen den Ebenen, werden die Punkte des Skeletts auf Höhe des Betrachters mitgeführt.

5.6 Ergebnisse und Diskussion

Das Verfahren wurde am Modell eines Universitätscampus getestet, wobei die Annotationen die Funktion der einzelnen Gebäude (z.B. Hörsaal, Bibliothek, Fachbereich, S-Bahnhof) bezeichnen (Abb. 5.6, 5.7). Die Darstellung der Szene und die Platzierung der Annotationen erfolgte auf dem Testsystem (Intel Core 2 X6800, 2.93GHz, 3 GB RAM, Windows XP 32Bit, Geforce 7950 GTX 512 MB, Auflösung 1024x768) mit mehr als 17 Bildern pro Sekunde. Die dafür notwendigen Hüllgeometrien und Skelette wurden manuell erzeugt. Für zukünftige Anwendungen ist eine automatisierte Ableitung der Hüllkörper und generalisierten Geometrien notwendig.

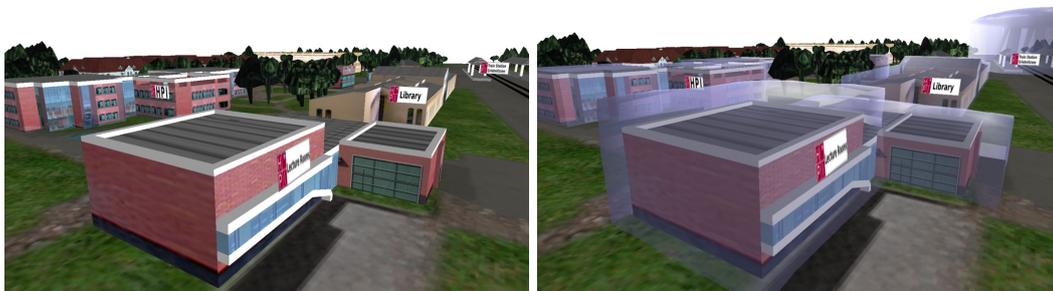


Abbildung 5.6: Mit der vorgestellten Technik eingebettete Beschriftungen im Campus-Modell, ohne und mit Darstellung der dazu verwendeten Hüllkörper.

Im Vergleich zu im 2D-Bildraum positionierten oder parallel zur Bildebene ausgerichteten Annotationen, kann die Einbettung der Annotationen deren Lesbarkeit verringern. Interaktive 3D-Umgebungen ermöglichen jedoch eine schnelle Änderung der Sicht auf die Szene. So ist es dem Nutzer auf einfache und intuitive Weise möglich, durch Navigation eine neue Position mit verbesserter Lesbarkeit einzunehmen, so dass sich die Bedeutung dieses Aspektes reduziert.

Eine Stärke der Einbettung zeigt sich in der Kommunikation des annotierten Objektes. Verglichen mit im Bildraum überlagerten oder an einem Punkt fixierten externen Annotationen, können eingebettete Annotationen durch ihre dynamische Platzierung dem Nutzer genauer veranschaulichen, ob sie das gesamte Gebäude, einen Gebäudeteil oder nur einen Teil der Fassade referenzieren. Ein weiterer Vorteil der Einbettung ist die Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Bildraums. Dies ist vor allen für Anwendungen auf kleinen Displays, wie z.B. Mobiltelefonen oder Navigationsgeräten, wichtig.

Die vorgestellte Technik eignet sich besonders für Umgebungen, in denen der Nutzer in der Rolle eines virtuellen Fußgängers oder Autofahrers agiert. Hier werden die Annotationen dynamisch an Positionen platziert, wie sie auch im realen Umfeld vorkommen.

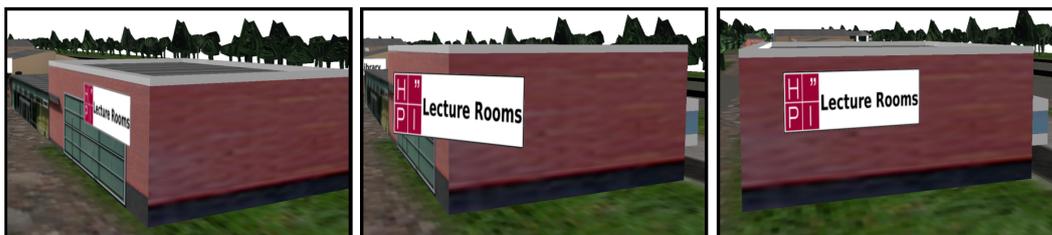


Abbildung 5.7: Visualisierung des dynamisches Verhaltens: Bewegt sich der Beobachter um ein Gebäude herum, so nähert sich die Annotation der Kante, löst sich aus der Fassadenfläche und folgt der Rotationsbewegung des Betrachters, bis eine erneute Einbettung ermöglicht wird (v.l.n.r).

Um die Verdeckung der Szenenobjekte durch die Annotationen abzuschwächen, kann für deren Darstellung ein semi-transparenter Hintergrund verwendet werden. Obwohl keine explizite Bewertung der Sichtbarkeit der einzelnen Annotationen vom Verfahren vorgenommen wird, liefert die vorgestellte Platzierungsstrategie in immersiven Darstellungsszenarien für die umliegenden Gebäude meist gute Ergebnisse. Durch die Berücksichtigung der Sichtbarkeit bei der Bestimmung des Fixierungspunktes ließen sich diese weiter verbessern.

KAPITEL 6

Eingebettete Beschriftung linearer Objekte

„Phantasie ist wichtiger als
Wissen, denn Wissen ist
begrenzt.“

(Albert Einstein)

In diesem Kapitel wird ein Verfahren zur Annotation linearer Objekte in perspektivischen Ansichten interaktiver virtueller 3D-Umgebungen vorgestellt [66]. Für die Einbettung der Annotationen werden dabei Positionen favorisiert, die keine oder nur eine geringe Verdeckung der Annotationen durch näher zum Betrachter liegende Elemente der 3D-Szene zur Folge haben. Gegenseitige Überlagerungen von Annotationen werden mit Hilfe eines vorberechneten Konfliktgraphen aufgelöst. Für den Fall, dass mehr als eine sichtbare und überlagerungsfreie Position für die Einbettung existiert, erfolgt die Auswahl entsprechend eines vom Nutzer gewählten Platzierungsstils.

6.1 Problemstellung

Aufgrund der abgewandelten Problemstellung bilden Techniken zur automatisierten Annotation linearer Objekte, wie z.B. Straßen, Flüsse oder Zugtrassen, eine eigene Klasse von Verfahren in der 2D-Kartographie. Dies zeigen auch die in Abschnitt 2.2.2 vorgestellten Arbeiten. Neben den allgemein zu beachtenden Gestaltungsgrundsätzen, wie Sichtbarkeit, Lesbarkeit und einer einfachen Zuordnung, existieren für die Beschriftung linearer Objekte noch eine Reihe spezifischer Kriterien. Die Arbeit von Wolf et al. [100], welche auf eine hoch-qualitative Platzierung von Beschriftungen in 2D-Karten zielt, benennt die folgenden zusätzlichen Kriterien:

- Die Beschriftung sollte einen minimalen Abstand zum linearen Objekt aufweisen, um die Zuordnung zu verbessern.
- Um die Lesbarkeit nicht zu stark zu beeinträchtigen, sollte die Beschriftung nur bis zu einem gewissen Krümmungsgrad einem gebogenen linearen Objekt folgen.

- Die Beschriftung sollte weder das lineare Objekt noch sich selbst (z.B. einzelne Buchstaben) überdecken.
- Folgt die Beschriftung einer gebogenen Linie, so sollte für diese eine Position gewählt werden, welche eine geringe Anzahl von Wendepunkten aufweist.
- Die Beschriftung sollte so gerade und horizontal wie möglich platziert werden, um eine gute Lesbarkeit zu gewährleisten.

Das hier vorgestellte Verfahren zielt auf eine Platzierung in interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen ab, wobei die Beschriftungen in den 3D-Raum eingebettet werden. Daher ist eine Anpassung dieser Kriterien notwendig. So werden die Buchstaben der Beschriftungen nicht in der Nähe des durch die Linie definierten Objektes platziert, sondern in dessen Zentrum eingebettet. Auf diese Weise wird die Zugehörigkeit dieser Elemente eindeutig kommuniziert. Im Folgenden wird weiterhin von linearen Objekten ohne Krümmungen ausgegangen, so dass diesbezügliche Kriterien zunächst keine Berücksichtigung finden. Entsprechende Erweiterungen werden am Ende des Kapitels diskutiert. Eine Einbettung der Beschriftung kann an jeder Position entlang der Linie erfolgen. Für eine dynamische Platzierung in interaktiven Umgebungen ist daher auf effiziente Weise für folgenden Punkte eine Lösung zu finden:

- Für jede Beschriftung sind Positionen entlang des linearen Objektes zu bestimmen, welche für die momentane Sicht eine unverdeckte Einbettung ermöglichen (Abb. 6.1 a). Existiert keine solche Position, so sind die Positionen mit maximaler Sichtbarkeit zu bestimmen.
- Für jede Beschriftung ist eine Auswahl aus den ermittelten Positionskandidaten zu treffen. Diese sollte die Überlappung aller Annotationen untereinander minimieren (Abb. 6.1 b), die Anzahl der dargestellten Annotationen maximieren und den gewählten Platzierungsstil berücksichtigen.

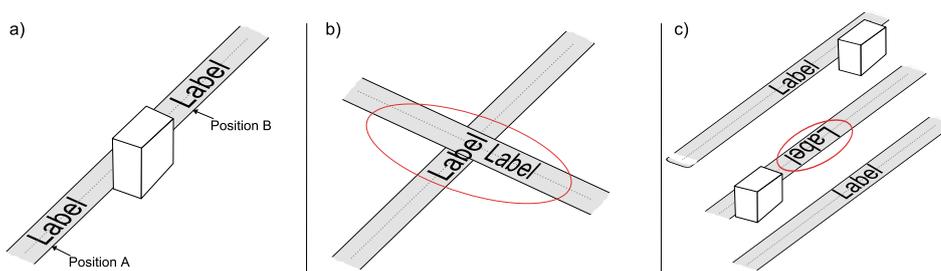


Abbildung 6.1: Zu lösende Probleme bei der automatisierten Beschriftung linearer Objekte in perspektivischen Ansichten: a) Auffinden nicht verdeckter Bereiche, b) Vermeidung von gegenseitigen Überdeckungen, c) Vermeidung nicht lesbarer Orientierungen.

Weiterhin sollten Beschriftungen so in den Raum eingebettet werden, dass sie nach der perspektivischen Abbildung lesbar bleiben. Ähnlich wie bei statischen 2D-Karten,

welche meist für die Ausrichtung nach Norden lesbar sind, sollten auch in perspektivischen Abbildungen die Beschriftungen für die momentane Sicht einheitlich und gut lesbar ausgerichtet werden (Abb. 6.1 c). Für jede Einbettungsposition existieren dabei zwei Möglichkeiten zur Orientierung eines horizontal lesbaren Textes. Aufgabe der Platzierungstechnik ist es, für jede Beschriftung eine korrekte Wahl zu treffen.

6.2 Approximation der Sichtbarkeit

Die Fläche A_T , die ein eingebetteter Beschriftungstext überdeckt, kann formal durch das folgende Integral beschrieben werden:

$$A_T = \int_{x_0}^{x_1} \int_{y_0}^{y_1} k(x,y) dy dx, \quad x,y \in \mathcal{R}$$

Die Funktion $k(x,y)$ definiert dabei den Rückgabewert 1 oder 0, je nachdem ob das Flächenelement Teil eines Buchstaben ist oder nicht. Zur besseren Erläuterung, aber ohne Beschränkung der Allgemeinheit, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass die x-Achse parallel zur Schreibrichtung in der Mitte des Textes positioniert wurde. Die y-Achse liegt orthogonal zur x-Achse und zeigt in Richtung der oberen begrenzenden Kante des Textes.

Konzeptionell betrachtet definiert das lineare Objekt die x-Achse der Beschriftung, auf der diese sich hin und her bewegen können. Der für die Einbettung verwendete Fixierungspunkt kann daher durch einen normalisierten Parameter $t \in [0..1] \subset \mathcal{R}$ beschrieben werden. Für $t = 0$ wird die Beschriftung am Beginn, für $t = 1$ am Ende des linearen Objektes platziert.

Für eine spezifische Position t kann nun die relative Sichtbarkeit $v_{rel}(t)$ des an dieser Stelle eingebetteten Beschriftungstextes durch Integration über dessen Fläche bestimmt werden.

$$v_{rel}(t) = \frac{1}{A_T} \int_{x_0}^{x_1} \int_{y_0}^{y_1} g(x+t,y) \cdot k(x,y) dy dx$$

Die Sichtbarkeit für die momentane Kameraposition wird dabei durch die Funktion $g(x,y)$ beschrieben. Ist das Flächenelement im Bild sichtbar, so gibt diese als Ergebnis den Wert 1, ansonsten den Wert 0 zurück. Um zu einem relativen Maß ($v_{rel} \in [0..1]$) zu gelangen, wird der berechnete Wert über die gesamte Flächengröße normiert. Eine exakte Berechnung der Sichtbarkeit ist für eine Platzierung unter interaktiven Bedingungen zu aufwändig und in der Praxis auch meist nicht notwendig. Daher wird eine approximierte Sichtbarkeit des Textes $\hat{v}_{rel}(t)$ verwendet, angenähert durch die Berechnung der Sichtbarkeit an gleichmäßig verteilten Abtastpunkten innerhalb der für die Einbettung vorgesehenen Rechtecksfläche.

$$\hat{v}_{rel}(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} g(f(t,i))$$

Hierbei bezeichnet m die Anzahl der Abtastpunkte und die Funktion $f(t,i)$ die Sichtbarkeit des i -ten Abtastpunktes, beginnend mit dem Punkt nahe der Position t .

Für die Verteilung der Abtastpunkte wurde mit drei verschiedenen Mustern experimentiert (Abbildung 6.2). Die erste Variante, das Mittellinien-Muster, verteilt die Abtastpunkte mittig, mit gleichem Abstand entlang des linearen Objektes, wodurch die Berechnung der Sichtbarkeit auf die Mitte der Beschriftung beschränkt wird.

Die zweite Variante, das Sägezahn-Muster, berücksichtigt abwechselnd auch Positionen über und unter der Mittellinie zur Approximation der Sichtbarkeit. Die zusätzliche Variation in Richtung der Höhe der Buchstaben gab Anlass zu der Vermutung, dass damit die Genauigkeit der approximierten Sichtbarkeit erhöht werden kann.

Für die dritte Variante werden die Punkte des Sägezahn-Musters auf die obere Hälfte des Textes beschränkt. Dieses Vorgehen wurde durch den Report von Bachfischer [5] motiviert. Die dort aufgezeigten Referenzen zeigen, dass sich Texte, die das lateinische Alphabet verwenden, leichter mental rekonstruieren lassen, wenn der untere anstatt der obere Teil verdeckt ist (Fig. 6.3). Für die eingebettete Platzierung könnte sich somit diese Art der Fokussierung der Abtastpunkte als vorteilhaft erweisen.



Abbildung 6.2: Drei verschiedene Abtastmuster zur Approximation der Sichtbarkeit: a) Mittellinien-Muster, b) Sägezahn-Muster, c) auf die obere Texthälfte beschränktes Sägezahnmuster.

Уаппу уууу тгаву уппуэв

Сам вам read thie?

Abbildung 6.3: Texte, welche das lateinische Alphabet verwenden, lassen sich leichter rekonstruieren, wenn der untere statt der obere Teil verdeckt ist.

Die Bestimmung der Sichtbarkeit erfolgt vor der Platzierung der Beschriftung für alle Abtastpunkte, die sich innerhalb des Sichtvolumens befinden. Dafür wird ein Tiefenbild der Szene mit Hilfe der in Abschnitt 3.2.2 vorgestellten Vertex- und Fragmentshader erstellt. Dies kann ohne aufwendige Textur- und Beleuchtungsoperationen

und ggf. auch mit geringerer Auflösung erfolgen. Danach werden die vorab entlang der Referenzlinien verteilten Abtastpunkte unter Verwendung der momentanen Kamera-parameter in den Bildraum projiziert. Der Vergleich, der auf diese Weise berechneten Tiefenwerte mit den Werten im Tiefenbild gibt Aufschluss über die Sichtbarkeit der Abtastpunkte. Das Ergebnis wird für jeden Abtastpunkt gespeichert, um im folgenden Schritt eine effiziente Bestimmung von Positionen mit hoher Sichtbarkeit zu ermöglichen.

6.3 Bestimmung von Position und Orientierung

Die Positionen der Abtastpunkte werden zusammen mit der Information über ihre Sichtbarkeit in der Reihenfolge ihrer Entfernung zu einem Startpunkt des linearen Objektes gespeichert. Um zusammenhängende Bereiche zu identifizieren, die für eine vollständige Einbettung der Beschriftung die notwendige Länge besitzen, wird für jeden Abtastpunkt die Anzahl der folgenden, ununterbrochen sichtbaren Abtastpunkte berechnet. Aus der Länge des einzubettenden Beschriftungstextes und den Abständen der Abtastpunkte ergibt sich die dafür notwendige minimale Anzahl von aufeinanderfolgenden Punkten. Wird dieser Wert an mehreren Positionen der Linie erreicht, so kann die Entscheidung für eine spezifische Position mit Hilfe verschiedener Platzierungsstile beeinflusst werden. Die folgenden drei Stile wurden implementiert:

- *Positionierung in der Nähe des Betrachters:* Bei diesem Stil wird der Positionskandidat mit der geringsten Objektraum-Distanz zum Betrachter favorisiert. Dadurch werden Beschriftungen eher in Regionen eingebettet, die im Vergleich größere Flächen im Bildraum einnehmen und sich näher am Fokus des Betrachters befinden.
- *Zentriert im sichtbaren Teil der Linie:* Bei diesem Stil wird der mittlere Abtastpunkt, der eine Einbettung mit vollständiger Sichtbarkeit ermöglicht, für die Platzierung gewählt. Existiert nur ein durchgängig sichtbares Segment von Abtastpunkten, so wird die Beschriftung innerhalb dieses Segments zentriert.
- *Positionierung in der Nähe des Zentrums der Linie:* Dieser Stil wählt den Positionskandidaten mit der höchsten Sichtbarkeit und geringsten Distanz zum Zentrum der Linie. Dadurch werden Einbettungen in Randpositionen der linearen Objekte vermieden. Dieser Stil ist vor allem für Positionen des Beobachters von Vorteil, welche eine Überblicksansicht auf die 3D-Szene bieten. Durch Verwendung dieses Stils kann zudem eine ständige Änderung der Beschriftungsposition während der Interaktion mit der 3D-Szene vermieden werden.

Wurde eine Position zur Einbettung der Beschriftung bestimmt, so ist als weiterer Freiheitsgrad ihre Orientierung zu spezifizieren. Die Ausrichtung eines Textes entscheidet darüber, ob er nach der perspektivischen Projektion korrekt oder kopfüber und damit schwer lesbar dargestellt wird. Um eine korrekte Wahl zu treffen, werden

Start- und Endpunkt der Linie in den Bildraum projiziert und ihre relative Lage in horizontaler Richtung zueinander verglichen. Die durch die Sprache vorgegebene Leserichtung muss dabei auch nach der Projektion erhalten bleiben. Um Artefakte zu vermeiden, welche durch die mathematische Abbildung von Punkten außerhalb des Sichtvolumens hervorgerufen werden, empfiehlt es sich, zuvor die Linie für den Test auf deren sichtbaren Teil zu beschränken.

6.4 Platzierungsstrategie

Konstruktion des Konfliktgraphen

Neben der Optimierung der Sichtbarkeit für jede einzelne Beschriftung, müssen auch mögliche Überlagerungen mit anderen Beschriftungen erkannt und ggf. aufgelöst werden. Zu diesem Zweck wurde die Idee des Konfliktgraphen aufgegriffen, welcher von Petzold [82] erfolgreich für die Platzierung von Beschriftungen in interaktiven 2D-Karten eingesetzt wurde. Der Konfliktgraph repräsentiert alle theoretisch möglichen Überlagerungskonflikte. Seine Konstruktion kann in einem Vorverarbeitungsschritt erfolgen. Während der Platzierung unter interaktiven Bedingungen wird dann der momentan relevante Teilgraph extrahiert und schrittweise ausgedünnt, so dass sich die Anzahl der noch möglichen Konflikte stetig reduziert. Jeder Knoten des Graphen entspricht einem linearen Objekt, jede Kante einem möglichen Konflikt. Jedes lineare Objekt repräsentiert seine möglichen Konflikte mit einer Liste der folgenden Daten:

- Kennung des linearen Objektes (z.B. eindeutige ID), welches den Konflikt auslösen kann.
- Indizes der Abtastpunkte, die das Intervall des möglichen Konfliktes definieren.

Die Kennungen der linearen Objekte, welche in der Lage sind, einen Konflikt zu verursachen, werden durch paarweise Überprüfung auf einen geometrischen Schnitt ermittelt. Die Berechnung des Konfliktintervalls ist in Abbildung 6.4 illustriert. Dabei markieren die grauen Bereiche den kompletten Konfliktraum für eine Beschriftung. Befindet sich bspw. die Beschriftung A im Intervall $[t_s, t_e]$, so provoziert sie einen Konflikt mit Beschriftung B. Die Grenzen dieses Intervalls lassen sich wie folgt bestimmen:

$$\begin{aligned} t_s &= t_c - d_1 - d_2 - l_1, \\ t_e &= t_c + d_1 + d_2, \\ d_1 &= \frac{h_1}{\tan\alpha}, \quad d_2 = \frac{h_2}{\sin\alpha} \end{aligned}$$

Nach der analytischen Berechnung der Intervallgrenzen werden die zugehörigen diskreten Indizes der Abtastpunkte ermittelt und für die Auswertung während der dynamischen Platzierung gespeichert.

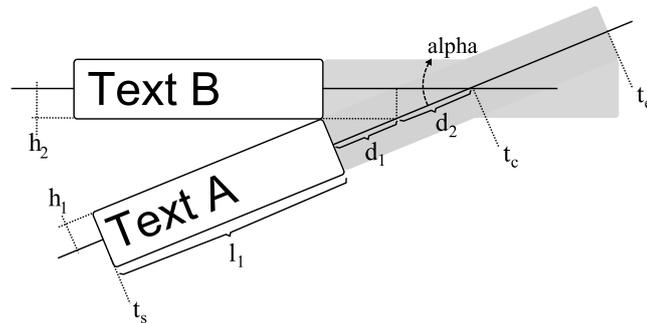


Abbildung 6.4: Illustration des Konfliktraums für die Platzierung von Beschriftungen auf zwei sich kreuzenden linearen Objekten.

Globale Platzierungsstrategie

Die Platzierung der Beschriftungen erfolgt unter Berücksichtigung des vorberechneten Konfliktgraphen mit Hilfe einer Heuristik. Dabei werden zu Beginn die linearen Objekte ermittelt, welche sich ganz oder teilweise innerhalb des Sichtvolumens der Kamera befinden. Die Abtastpunkte jeder Linie werden zugleich als mögliche Positionskandidaten für die Einbettung der Beschriftung betrachtet. Um die Auswahl einer spezifischen Position zu ermöglichen, werden diese zunächst entsprechend ihres kumulierten Sichtbarkeitswertes (Anzahl der aufeinanderfolgenden sichtbaren Abtastpunkte) sortiert. Kandidaten mit dem gleichen Sichtbarkeitswert werden nachrangig geordnet, entsprechend ihrer Qualität bezüglich des gewählten Platzierungsstils (s. Abs. 6.3). Die Festlegung der Einbettungspositionen erfolgt mit Hilfe der folgenden Schritte:

1. Entfernung aller Konflikte aus dem Konfliktgraphen, welche durch nicht sichtbare und damit nicht zu beschriftende lineare Objekte hervorgerufen werden.
2. Platzierung der Beschriftungen, deren bester Platzierungskandidat (bzgl. Sichtbarkeit und Platzierungsstil) eine Einbettung in einer konfliktfreien Region ermöglicht. Alle Konflikte, welche dieses lineare Objekt möglicherweise zuvor verursachen konnte, werden aus dem Konfliktgraphen entfernt.
3. Platzierung der Beschriftungen, welche einen konfliktfreien Positionskandidaten mit maximaler Sichtbarkeit aufweisen. Existieren mehrere solcher Kandidaten, so wird die Auswahl anhand des Platzierungsstils getroffen. Hierbei wird dem Punkt Rechnung getragen, dass die Sichtbarkeit der Beschriftung höher einzustufen ist, als die Qualität der Position hinsichtlich des gewählten Stils. Nicht mehr relevante Konflikte werden aus dem Konfliktgraphen entfernt.

Nach jeder Positionierung einer Beschriftung durch Schritt 3 wird geprüft, ob eine Platzierung von Beschriftungen mit Hilfe von Schritt 2 erneut möglich ist. Dies wird solange fortgeführt, bis alle direkten Konflikte aufgelöst sind. Bis dahin noch nicht platzierte Beschriftungen werden anschließend durch eine weitere Iteration so weit möglich eingebettet. Um Beschriftungen im Fokus des Nutzers zu bevorzugen, werden

diese bezüglich ihrer Entfernung zum Betrachter sortiert und die Platzierungen in dieser Reihenfolge an den bestmöglichen Positionen vorgenommen. Sobald eine Beschriftung auf diese Art platziert wurde, erfolgt eine erneute Überprüfung, ob mit Hilfe der Schritte 2 und 3 eine weitere Platzierung möglich ist.

Diese Heuristik garantiert keine optimale Lösung für das Beschriftungsproblem. Für interaktive Umgebungen liefert sie jedoch sehr schnell, meist ausreichend gute Ergebnisse. Nutzer können hierbei zudem auf einfache Art und Weise eine neue Position einnehmen, um die Positionen nicht lesbarer oder nicht sichtbarer Beschriftungen zu verbessern. Situationen, die nicht auflösbare Konflikte enthalten, können sowohl theoretisch konstruiert werden, als auch in Datensätzen aus der Praxis auftreten, so dass jedes Verfahren eine Strategie vorhalten muss, um auf diese Fälle reagieren zu können.

6.5 Ergebnisse und Diskussion

Das Verfahren wurde mit einem virtuellen 3D-Stadtmodell getestet, das 43 Straßen mit Beschriftungen enthält (Abb. 6.5). Die für die Platzierung der Beschriftungen aufgewandte Zeit ist dabei abhängig von der Anzahl der sichtbaren Straßen und der Dichte der Abtastpunkte. Die im Modell gewählte Dichte ergab für alle Straßen insgesamt 14.055 Abtastpunkte, wobei die Technik nur die jeweils im Sichtvolumen befindlichen Punkte zur Auswertung heranzieht. Auf dem Testsystem (Intel Core 2 X6800, 2.93GHz, 2 GB RAM, Windows XP 32Bit, Geforce 7950 GTX 512 MB, Auflösung 1600x1200) wurden bei einer dynamischen Platzierung Bildwiederholraten zwischen 17 und 22 Bildern/s erreicht. Die Implementierung lässt dabei noch genug Raum für weitere Optimierungen, wie die Nutzung von Raumunterteilungen, adaptiver Abtaststrategien oder mehrerer Prozessorkerne.

Die verschiedenen Abtastmuster hatten dabei nur geringen Einfluss auf die Positionen der Beschriftungen. Nur in wenigen Fällen konnten gegenüber dem Mittellinien-Muster Verbesserungen mit Hilfe der Sägezahnmuster erzielt werden. Der Grund dafür liegt in der Einbettung der Texte im Straßenraum. Bei korrekter Orientierung der Texte werden diese nach der perspektivischen Abbildung eher in unteren Bereichen verdeckt. Verringert sich der Betrachtungswinkel des Beobachters hin zu einer Fußgängerperspektive, so vergrößert sich diese Verdeckung durch näher liegende Objekte stetig. Erst wenn sie die Mittellinie erreicht hat, zeigt sich der Vorteil der Sägezahnmuster bei der Sichtbarkeitsbestimmung.

Die Einbettung entsprechend der Sichtbarkeit und des gewählten Platzierungsstils ergibt eine nahtlose Integration der Texte in die Darstellung. Ein generell zu bevorzugender Platzierungsstil konnte nicht festgestellt werden. Die Auswahl hängt vielmehr von den Vorlieben der Nutzer und der Sicht auf die 3D-Szene ab. Abbildung 6.6 zeigt eine vergleichende Übersicht, wobei diesmal eine 3D-Informationslandschaft beschriftet wurde. Die Beschriftung bei einer Positionierung nahe am Betrachter gibt der Darstellung einen eher technisch wirkenden Charakter. Die mit diesem Stil platzierten Texte werden durch ihre Nähe zur virtuellen Kamera auf vergleichsweise größere Bereiche des Bildraums abgebildet, was ihre Lesbarkeit erhöht. Die zentrierte



Abbildung 6.5: Test des Verfahrens mit einem virtuellem 3D-Stadtmodell, bei dem bis zu 43 Straßen dynamisch zu beschriften sind.

Positionierung im sichtbaren Teil des linearen Objektes wirkt dagegen harmonischer und ermöglicht ein schnelles Auffinden der Beschriftung. Sie eignet sich vor allem für Sichten, in denen der Nutzer von oben herab auf die 3D-Szene blickt. Die Positionierung nahe des Zentrums minimiert die Positionsänderungen während der Navigation mit der Szene. Dies kann z.B. bei der Darstellung animierter Sequenzen von Vorteil sein.

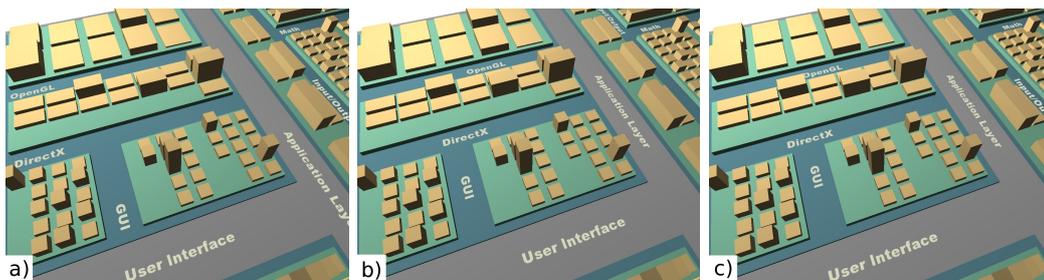


Abbildung 6.6: Vergleich der vorgestellten Platzierungsstile: a) Positionierung nahe am Betrachter, b) Positionierung zentriert im sichtbaren Teil, c) Positionierung nahe des Zentrums des linearen Objektes.

Die vorgestellte Technik kann auf verschiedene Weise erweitert werden. So ist die Beschriftung komplexerer linearer Objekte denkbar, bspw. von Flüssen mit Verzweigungen. Eine einfache und für viele Anwendungen auch sinnvolle Lösung hierfür stellt die mehrfache Beschriftung einzelner Segmente dieser Netze dar. Alternativ kann mit Hilfe zusätzlicher Metriken, z.B. der Größe, Sichtbarkeit oder Entfernung vom

Zentrum des Netzes, das für die momentane Sicht geeignetste Segment ermittelt und die Einbettung des Textes dort vorgenommen werden.

Um den Einsatz der Technik auch für lineare Objekte mit Krümmungen zu ermöglichen, sind an zwei Stellen des Verfahrens Erweiterungen notwendig. Einerseits ist für die Konstruktion des Konfliktgraphen der Test auf mögliche Überlagerungen um die Varianten „gebogener Text überlagert geraden Text“ und „gebogener Text überlagert gebogenen Text“ zu ergänzen. Zum Anderen sind während der interaktiven Platzierung gebogene oder mit mehreren Wendepunkten versehene Einbettungspositionen zu vermeiden. Eine diesbezügliche Bewertung kann pro Abtastpunkt vorberechnet, zusammen mit diesen gespeichert und bei der Platzierung als weiteres Qualitätsmerkmal zusätzlich ausgewertet werden.

KAPITEL 7

Eingebettete Beschriftung dreidimensionaler Objekte

„Eine Investition in Wissen bringt
immer noch die besten Zinsen.“

(Benjamin Franklin)

Das in diesem Kapitel vorgestellte Verfahren [67] dient der Annotation dreidimensionaler Objekte in interaktiven geovirtuellen 3D-Umgebungen und zielt auf eine Einbettung von Beschriftungen in die Oberflächen von Gebäuden oder entlang der Gebäudekonturen ab. Dazu werden verschiedene Konzepte der zuvor beschriebenen Techniken kombiniert. So werden, wie in Kapitel 6 für lineare Objekte vorgestellt, erneut in diskreten Abständen verteilte Abtastpunkte zur Ermittlung der Sichtbarkeit und als Positionskandidaten verwendet. Die dort vorgestellten Ansätze zur Ermittlung sichtbarer Bereiche sowie die verschiedenen Stile zur Steuerung der Auswahl einer spezifischen Position wurden für die Anwendung auf 3D-Oberflächen angepasst. Ähnlich wie bei dem in Kapitel 5 beschriebenen Verfahren, operiert die hier vorgestellte Technik nicht auf der Originalgeometrie eines Gebäudes, sondern auf einer generalisierten und zusätzlich parametrisierten Hülle. Um eine möglichst große Formenvielfalt der Gebäude widerzuspiegeln, werden drei verschiedene Arten von Hüllkörpern vorgestellt.

7.1 Parametrisierte Hüllkörper

Die Einbettung der Annotationen in die Szene erfolgt mit Hilfe von Hüllkörpern, welche die Originalgeometrie des Objektes in generalisierter Form wiedergeben. Eine für das Verfahren geeignete Hülle muss dabei den folgenden Kriterien genügen:

- *Abdeckung des Objektes:* Die Hülle sollte alle Flächen des Originalobjektes abdecken, die sich für eine Einbettung der Annotation eignen. Die Form der Hülle sollte, mit Hilfe möglichst weniger, großflächiger Teilflächen, die Gestalt des Objektes bewahren und kleinmaßstäbige geometrische Details verwerfen. Da

die Annotationen auf der Hülle positioniert werden, darf kein Teil der Hülle einen Teil des Objektes schneiden. Jedoch sollten die Abweichungen zwischen Hüll- und Originalgeometrie möglichst gering ausfallen, um uneindeutige Zuordnungen, z.B. zu benachbarten Objekten, zu vermeiden.

- *Parametrisierbarkeit der Hülle:* Die Hülle sollte parametrisierbar, d.h. eindeutig durch ein zweidimensionales Koordinatensystem beschreibbar, sein. Weiterhin sollte die Art der Parametrisierung die Definition optimaler Positionen, z.B. das Zentrum einer kontinuierlichen Oberfläche, unterstützen. Stetige Änderungen im Parameterraum sollten auch stetige Änderungen auf der Hülle zur Folge haben, damit bei einer Verdeckung der optimalen Position auf einfache Weise nach Alternativen in deren Nähe gesucht werden kann.

Im Folgenden werden die beispielhaft implementierten Hüllentypen beschrieben. Mit diesen lassen sich die typischen Gebäudeformen in einem virtuellen 3D-Stadtmodell repräsentieren. Sie sind jedoch auch für andere Objekte in virtuellen 3D-Umgebungen einsetzbar.

7.1.1 Rechteckshülle

Ein Großteil realer und damit auch virtuell rekonstruierter Gebäude besteht aus quaderförmigen Strukturen. Eine einfache Möglichkeit, eine generalisierte Hülle für diese Art von Gebäuden zu erzeugen, besteht darin, jede für die Form prägnante Fassaden- und Dachfläche durch ein Rechteck zu repräsentieren. Abbildung 7.1 zeigt die Hüllen zweier Gebäude und die zugehörigen eingebetteten Beschriftungen. Bei einer Einbettung auf den Fassaden ist dabei eine vertikale oder horizontale Ausrichtung des Textes möglich, wobei Letztere, aufgrund der besseren Lesbarkeit, durch das Verfahren bevorzugt wird. Jedes der Rechtecke kann sehr einfach durch zwei orthogonale Achsen entlang der Kanten parametrisiert werden. Diese Art der Parametrisierung erlaubt es auch, die für die Ermittlung der Sichtbarkeit notwendigen Abtastpunkte in Form eines regelmäßigen Gitters auf den Rechtecken zu verteilen. Ein Abstand, der im Durchschnitt zwei Abtastpunkte pro Buchstabe vorsieht, bietet dabei einen guten Kompromiss aus Genauigkeit und Berechnungsaufwand.

7.1.2 Zylinderhülle

Als zweiten Hüllentyp unterstützt das Verfahren zylindrische Hüllkörper, deren Achse senkrecht zur Geländeoberfläche ausgerichtet ist (Abb. 7.2). Auf der Seitenfläche des Zylinders können Beschriftungen erneut horizontal oder vertikal integriert werden. Für Sichten von oben kann ein horizontal orientierter Text an der oberen Kante des Zylinders eingebettet werden. Um die Abtastpunkte erneut in gleichmäßigen Abständen zu verteilen, wird der Zylinder mit Hilfe der Parameter Höhe und Rotationswinkel parametrisiert.

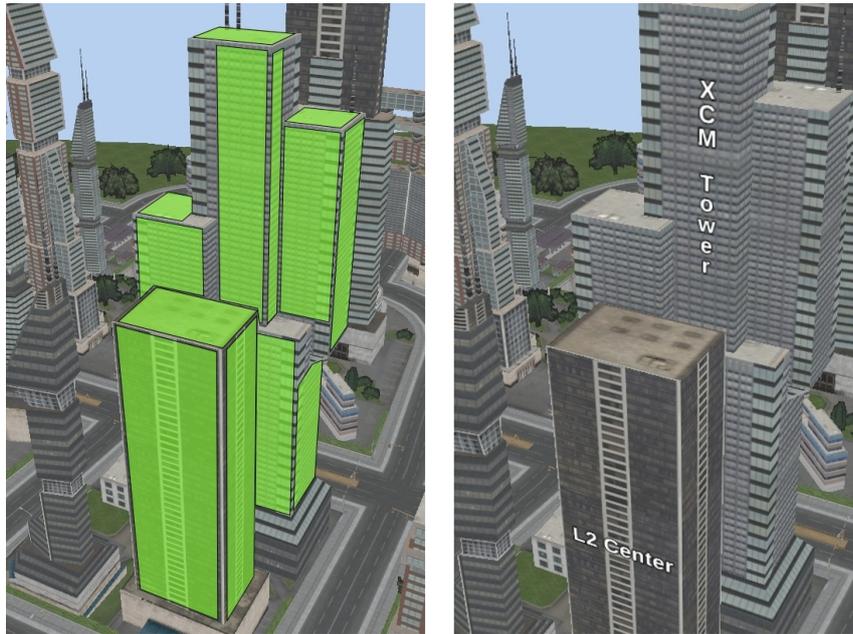


Abbildung 7.1: Generalisierung von zwei Gebäuden durch eine Menge von Rechtecken und ihre Verwendung zur Einbettung horizontal oder vertikal ausgerichteter Beschriftungen.



Abbildung 7.2: Generalisierung eines Gebäudes durch eine Zylinderhülle und mögliche Varianten zur Einbettung einer Beschriftung.

7.1.3 Grundrisshülle

Für Gebäude mit komplexeren Formen eignet sich die Verwendung einer Grundriss-hülle (Abb. 7.3). Sie wird durch Extrusion des, ggf. vorher vereinfachten, Gebäudegrundrisses auf die Gebäudehöhe erzeugt. Benachbarte Flächen, die nur geringfügig in ihrer Orientierung abweichen, werden zu Segmenten zusammengefasst. Diese werden entlang der Grundrisslinien und der Höhe parametrisiert. Analog zu den Rechtecks-

hüllen werden die Abtastpunkte regulär über diese zusammenhängenden Segmente verteilt. Um bei einer Einbettung einen kontinuierlichen Übergang an den inneren Segmentkanten zu gewährleisten, werden für den Bereich nahe einer Kante die Normalen der benachbarten Flächen interpoliert. Eine oder mehrere zusätzlich auf der Dachfläche definierte Kurven ermöglichen eine Annotation für Aufsichten. Für eine derartige Platzierung kommt das in Kapitel 6 vorgestellte Verfahren zum Einsatz.

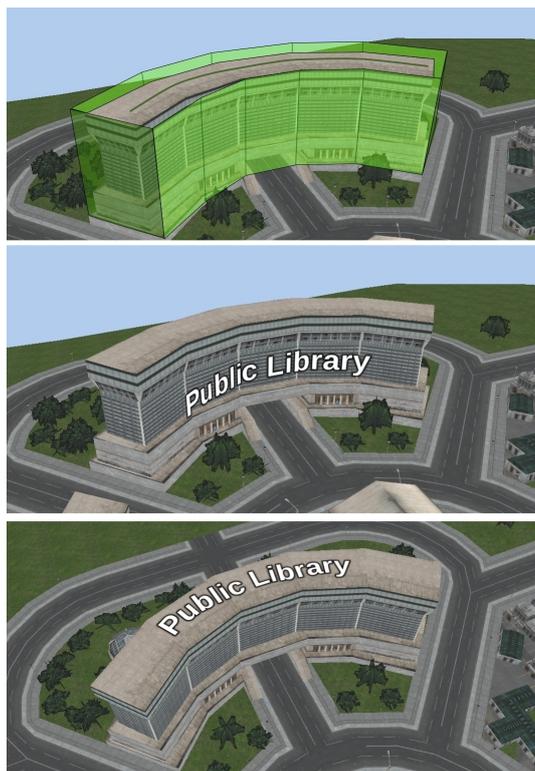


Abbildung 7.3: Generalisierung eines Gebäudes durch eine Grundrisshülle und mögliche Einbettungen einer Beschriftung auf der Seiten- oder Dachfläche.

7.2 Überblick über das Verfahren

Im Vergleich zur Einbettung von Annotationen in linearen Objekten, steigt die Anzahl der Abtastpunkte (und damit auch der Positionskandidaten) bei der Verteilung über die Oberflächen von 3D-Objekten beträchtlich. Eine besondere Herausforderung für das Verfahren besteht daher darin, für jede Annotation eine gute Einbettungsposition zu ermitteln, ohne alle in Frage kommenden Kandidaten komplett hinsichtlich ihrer Qualität zu evaluieren. Wie in Kapitel 3 erläutert, wird zunächst eine Filterung der Daten vorgenommen. Dabei werden die für die gesamte Szene definierten Hüllen auf eine für die momentane Sicht relevante Teilmenge reduziert. Kandidaten, die außerhalb des Sichtfeldes, zu weit entfernt oder nach der Projektion zu klein für eine lesbare Einbettung sind, werden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Für eine effiziente Bestimmung dieser Teilmenge sind die Tests entsprechend ihrer Berechnungskomplexität durchzuführen. Auf diese Weise werden zuerst komplette Hüllen und dann deren Teilelemente (z.B. einzelne Rechtecke) überprüft.

Um frühzeitig abgewandte oder verdeckte Teile aus der Menge der Kandidaten zu entfernen, werden die Teilelemente der Hüllen zusätzlich auf ihre Orientierung und Sichtbarkeit bzgl. der momentanen Beobachterposition getestet. Die Sichtbarkeit wird, analog zu Kapitel 6.2, mit Hilfe der regelmäßig verteilten Abtastpunkte und eines Tiefenbildes der Szene approximativ berechnet.

Danach wird für die verbleibenden Hüllen ein spezifischer Bestandteil der Hülle, eine darauf befindliche Position und die Orientierung des Textes für die Einbettung bestimmt. Für diese Auswahl werden die Ausrichtung der Fläche zum Betrachter, deren relative Größe, die Sichtbarkeit der Annotation an der Einbettungsposition sowie der gewählte Platzierungsstil als Auswahlkriterien herangezogen.

Im Anschluss werden für alle zu platzierenden Beschriftungen geometrische Repräsentationen erzeugt und an den ermittelten Positionen im 3D-Szenenraum eingebettet. Eine erneute Darstellung mit Hilfe des bildgebenden Verfahrens ergibt dann eine perspektivisch korrekte Abbildung der 3D-Szene mit den darin befindlichen Beschriftungen.

7.3 Bestimmung der Platzierungspositionen

Zum besseren Verständnis wird zuerst das Vorgehen zur Bestimmung der Platzierungspositionen für Rechteckshüllen detailliert erläutert. Auf die für die Zylinder- und Grundrisshüllen notwendigen Erweiterungen wird anschließend eingegangen.

Alle Elemente einer Rechteckshülle werden auf gleiche Art und Weise vom Verfahren behandelt. Einzig für Dachflächen wird eine Einbettung auf horizontal orientierte Texte beschränkt. Die auf der Oberfläche gleichmäßig verteilten Abtastpunkte haben zwei Funktionen. Sie definieren die möglichen Positionskandidaten, an denen Annotationen eingebettet werden können und dienen zur approximativen Bestimmung der Sichtbarkeit der Rechtecke. Zur Bestimmung des optimalen Positionskandidaten, wäre eine Evaluierung der Qualitätskriterien für alle Positionskandidaten auf allen Rechtecken der Hülle zu aufwendig. Aus diesem Grund werden für jede Rechteckshülle alle Rechtecke zunächst nach ihrem Potenzial, den Besten aller Positionskandidaten zu beinhalten, sortiert und in dieser Reihenfolge ausgewertet. Die Positionskandidaten der einzelnen Rechtecke werden zusätzlich entsprechend des gewählten Platzierungsstils evaluiert, so dass Kandidaten nahe einer optimalen Position zuerst getestet werden. Dadurch kann im Fall der erfolgreichen Bestimmung einer Einbettungsposition die Suche frühzeitig beendet werden.

7.3.1 Bestimmung des Qualitätspotenzials

Bei perspektivischen Ansichten dreidimensionaler Szenen, denen händisch Beschriftungen hinzugefügt wurden, lässt sich beobachten, dass meist große und zum Betrachter orientierte Flächen zur Beschriftung genutzt werden. In gleicher Weise wird das

Potenzial eines Rechtecks, einen sichtbaren, lesbaren und ästhetischen Positionskandidaten für die Einbettung der Beschriftung zu beinhalten, von dessen relativer Bildschirmgröße und Orientierung bestimmt. Statt einer gewichteten Linearkombination dieser beiden Kriterien, verwendet das hier vorgestellte Verfahren ein diskretes Punktesystem für die Orientierungs- und Größenwerte. Für jedes Kriterium werden die Rechtecke in vier Qualitätskategorien (perfekt (3), gut(2), akzeptierbar(1), schlecht(0)) eingeteilt. Das Qualitätspotenzial eines Rechtecks ergibt sich aus der Summe der separat vergebenen Punkte. Diese Herangehensweise berücksichtigt, dass eine ausgewogene Kombination beider Kriterien der wichtigste Punkt bei der qualitativen Bewertung ist. Zudem erwies sie sich als praxistauglich, da eine Anpassung der zur Punktevergabe verwendeten Parameter intuitiv möglich ist und sich damit das Verfahren in vorhersehbarer Weise konfigurieren lässt.

Für alle nach der Filterung noch relevanten Rechtecke i einer Rechteckshülle wird die Qualität der Orientierung ($score_O$) mit Hilfe des Winkels α_i bestimmt. Dieser Winkel ist zwischen den folgenden zwei Vektoren definiert: der Flächennormalen des Rechtecks und dem von der virtuellen Kamera zum Zentrum des Rechtecks verlaufenden Vektor. Der diskrete Wert für die Zuordnung zu einer Kategorie ergibt sich dann wie folgt:

$$score_O(i) := \begin{cases} 3 & \text{für } 0^\circ \leq \alpha_i \leq 15^\circ, \\ 2 & \text{für } 15^\circ < \alpha_i \leq 30^\circ, \\ 1 & \text{für } 30^\circ < \alpha_i \leq 50^\circ, \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

Besteht eine Hülle aus Rechtecken mit signifikant unterschiedlichen Größen, so sollten diese in ca. gleichgroße Kacheln unterteilt werden, um die Aussagekraft dieses Bewertungsmaßes zu erhalten. In einem solchen Fall berechnet sich $score_O$ aus dem minimalen Winkel zwischen Richtungsvektor und Normalen aller Kacheln.

Das zweite Qualitätskriterium spiegelt die Größe der sichtbaren Fläche eines Rechtecks im Bildraum wider. Große Flächen sollten für eine Einbettung favorisiert werden, da dies die Zuordnung der Beschriftung zum Objekt erleichtert und die Wahrscheinlichkeit erhöht, eine Position für eine vollständig sichtbare Einbettung zu finden. Zur Bestimmung der projizierten Größe eines Rechtecks werden dessen Eckpunkte in den Bildraum transformiert. Die Größe des so entstandenen Polygons lässt sich dann analytisch berechnen. Da die *sichtbare* projizierte Fläche als Entscheidungskriterium herangezogen werden soll, wird dieser Wert mit der relativen Sichtbarkeit des Rechtecks multipliziert. Dieser wird durch das Verhältnis der sichtbaren Abtastpunkte zur gesamten Anzahl der Abtastpunkte auf diesem Rechteck approximiert. Wie schon bei der Bewertung der Orientierung definiert ein diskreter Wert, ob das Rechteck in die perfekte, gute, akzeptable oder schlechte Kategorie aufgenommen wird. Da Hüllen für verschiedene Gebäude unterschiedlich groß sein können, wird als Maßstab

die maximal sichtbare projizierte Fläche für jede Hülle A^{max} herangezogen.

$$score_A(i) := \begin{cases} 3 & \text{für } A_i \geq 0.9 \cdot A^{max}, \\ 2 & \text{für } 0.9 \cdot A^{max} > A_i \geq 0.75 \cdot A^{max}, \\ 1 & \text{für } 0.75 \cdot A^{max} > A_i \geq 0.5 \cdot A^{max}, \\ 0 & \text{sonst.} \end{cases}$$

Alle so bewerteten Rechtecke einer Hülle werden anschließend entsprechend der Summe beider Werte sortiert. Rechtecke mit gleicher Summe werden zu Gruppen zusammengefasst und deren Elemente erneut, entsprechend dem Orientierungswinkel α_i , sortiert. Die zweite Sortierung sorgt zusätzlich dafür, dass stärker zum Betrachter hin orientierte Rechtecke bei der Auswertung bevorzugt werden. Bei der Suche nach der besten Position für die Beschriftung werden diese Listen Gruppe für Gruppe evaluiert. Beginnend mit der Gruppe, welche die größte Summe aufweist, werden deren Elemente zuerst auf eine mögliche Einbettung eines horizontalen Textes überprüft. Ist eine solche Einbettung nicht möglich, da z.B. das Rechteck teilweise verdeckt wird oder in dieser Richtung eine zu kleine Ausdehnung aufweist, wird die gleiche Gruppe auf eine mögliche Einbettung mit einem vertikalen Text hin überprüft. Führt auch dies zu keinem Ergebnis, werden nach und nach die Rechtecke der folgenden Gruppen auf die Möglichkeit einer Einbettung hin untersucht und soweit möglich platziert.

Erweiterungen für Zylinder- und Grundrisshüllen

Für Zylinderhüllen existieren zwei Gruppen möglicher Positionskandidaten. Die Erste wird durch die Abtastpunkte auf der Seitenfläche definiert, die eine dem Betrachter zugeneigte Normale aufweisen. Die zweite Gruppe besteht aus den Abtastpunkten am oberen Rand des Zylindermantels. Wird von einem höheren Standpunkt aus auf das Gebäude hinab geschaut, so ist eine entlang dieser Punkte gebogene Einbettung der Beschriftung zu favorisieren. Welche der beiden Gruppen zuerst auf eine Einbettungsposition hin untersucht werden soll, wird über die diskreten Orientierungswerte von Mantel- und Deckfläche entschieden. Auch für die Grundrisshülle wird auf diese Art und Weise entschieden, ob ein Segment der Seitenflächen oder die Pfade auf der Dachfläche das höhere Qualitätspotenzial für eine Einbettung aufweist.

Die Seitenfläche der Grundrisshülle besteht aus kontinuierlichen Segmenten, deren Flächennormalen nur geringfügig abweichen. Wie zuvor für Rechtecke, wird zunächst die Orientierung überprüft, um abgewandte Segmentteile auszusortieren. Dadurch können Segmente in ihrer Breite verkürzt oder in mehrere Teilsegmente aufgeteilt werden. Jedes weiterhin zusammenhängende Teilsegment wird im Folgenden wie ein Rechteck der Rechteckshülle behandelt. Für alle Berechnungen bzgl. der Orientierung werden dabei die gemittelten Normalen verwendet.

7.3.2 Bestimmung der Einbettungsposition

Geordnet nach ihrem Qualitätspotenzial werden die Elemente einer Hülle auf mögliche Positionen zur Einbettung der Beschriftung hin untersucht. Um effizient den Grad

der Sichtbarkeit der Beschriftungen an einer spezifischen Position zu bestimmen, wird zuvor für jedes Rechteck ein Distanzfeld in vier Richtungen berechnet. Dabei werden für jeden Abtastpunkt auf einem Rechteck die Anzahl der kontinuierlich sichtbaren Nachbarpunkte links, rechts, oberhalb und unterhalb ermittelt (Abb. 7.4). Die Größe der Beschriftung und der Abstand der Abtastpunkte definieren dabei die Anzahl unverteckter Nachbarpunkte, welche für eine vollständig sichtbare Einbettung notwendig sind.

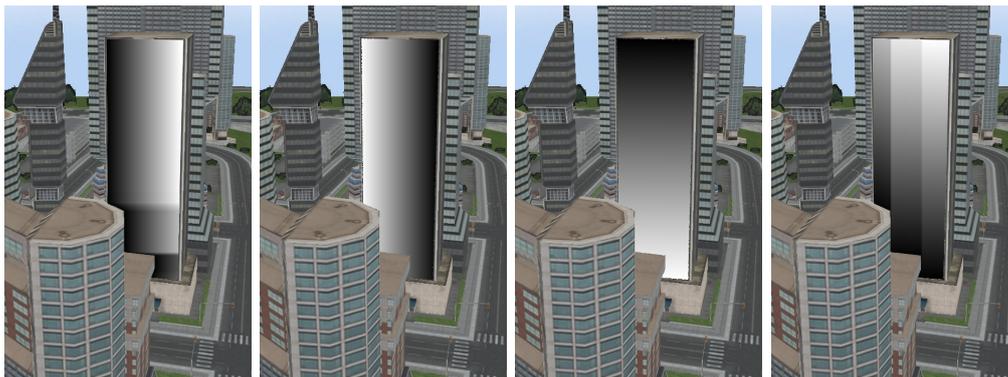


Abbildung 7.4: Illustration der Distanzfelder in linker, rechter, oberer und unterer Richtung, die zur Bewertung der Sichtbarkeit einer Einbettungsposition verwendet werden. Je heller der Farbwert, desto größer ist die Anzahl unverteckter zusammenhängender Abtastpunkte in dieser Richtung.

Eignen sich mehrere Punkte für eine vollständig sichtbare Einbettung, so wird die Auswahl durch den gewählten Platzierungsstil beeinflusst. Dazu wurden die für die Einbettung entlang von Referenzlinien entwickelten Stile (s. Abschnitt 6.3) für die Einbettung in Flächen angepasst und erweitert. Insgesamt stehen vier Stile zur Auswahl.

- Der erste Stil favorisiert Positionen *nahe dem Zentrum des Hüllenelementes*. Statt alle Abtastpunkte iterativ auf ihre Sichtbarkeit zu überprüfen, ihre Distanz zum Zentrum zu berechnen und dann eine Auswahl zu treffen, wird die Evaluierungsreihenfolge der Positionskandidaten dem Stil angepasst, d.h. ausgehend vom Zentrum werden alle Punkte spiralförmig durchlaufen (Abb. 7.5). Dies erlaubt einen schnellen Abbruch der Iteration im Fall, dass eine vollständig sichtbare Position gefunden wurde.
- Der zweite Platzierungsstil versucht Beschriftungen an einer Position einzubetten, die sich *möglichst nahe am Betrachter* befindet. Dazu wird zuerst der Eckpunkt oder die Kante des Hüllenelementes ermittelt, welche(r) die geringste Distanz zum Betrachter aufweist. Ist der Betrachter nahe eines Eckpunktes, so wird das Spiralmuster in diesem Punkt zentriert und für die Iteration aller Abtastpunkte verwendet. Andernfalls wird die Iteration mit einem oszillierenden Muster vorgenommen, wie es Abbildung 7.5 a) illustriert. Beginnend mit dem mittleren Punkt der Kante (7.5 b)), werden hier die Punkte zunächst mit größer werdender Distanz über und unter dem Startpunkt durchlaufen. Nachdem der

obere und untere Abtastpunkt überprüft wurde, wird die Iteration nach und nach parallel zur Startkante weitergeführt.

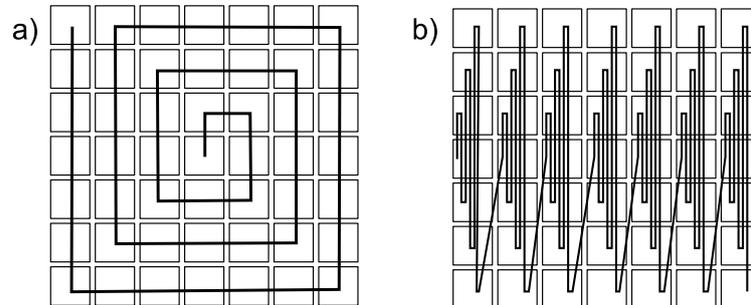


Abbildung 7.5: Illustration der zur Iteration über die Abtastpunkte verwendeten Muster: a) Spiral-Muster (Startpunkt im Zentrum), b) oszillierendes Muster (Startpunkt links).

- Der dritte Stil versucht die Beschriftung *innerhalb des größten sichtbaren Teils der Fläche zu zentrieren*. Da eine exakte Berechnung dieser Teilfläche zu komplex für den Einsatz in interaktiven Umgebungen ist, wird eine Heuristik verwendet, die das vorberechnete Distanzfeld benutzt und nur eine Iteration über alle Positionen benötigt. Während dieser Iteration werden bis zu fünf einfache Terme ausgewertet und mit den Termen der bisher besten Position verglichen. Dabei handelt es sich um die absolute Differenz zwischen dem linken und rechten ($diff_s$) sowie dem oberen und unteren ($diff_t$) Distanzwert, der Summe des linken und rechten (sum_s) sowie des oberen und unteren (sum_t) Distanzwertes und der Summe der Differenzen ($diff_{st} := diff_s + diff_t$).

Die Werte des momentan untersuchten Abtastpunktes werden mit den Werten der bisher besten Position in der folgenden Reihenfolge verglichen: $diff_{st}$, $diff_s$, $diff_t$, sum_s , und sum_t . Für die ersten drei Terme nimmt im Fall eines kleineren Wertes der momentane Abtastpunkt die bisher beste Position ein. Bei den letzten zwei Termen ermöglicht dies ein höherer Wert. Nur wenn die Werte gleich sind, werden die nachfolgenden Terme berechnet und ausgewertet (siehe Programm 7.1). Um visuelle Artefakte, bedingt durch gerade und ungerade Zahl von Abtastpunkten, zu beseitigen, wird eine Epsilon-Abweichung von einem Punkt für diese Tests zugelassen.

- Für die Einbettung horizontal orientierter Texte in gekrümmten Oberflächen (z.B. der Seitenfläche des Zylinders) wurde mit einem vierten Stil experimentiert. Dieser bevorzugt Positionen, welche die Beschriftung an der Reihe von Abtastpunkten zentriert, deren Normale *dem Betrachter zugeneigt* ist. Damit erhöht sich die Lesbarkeit der Beschriftungen, da die Orientierung der einzelnen Buchstaben sich nahe einer optimalen Ausrichtung bewegt. Für diesen Stil wird eine modifizierte Variante des oszillierenden Abtastmusters verwendet. Es startet mit dem mittleren Punkt der Reihe mit der besten Normalen, überprüft in vertikaler Richtung alle Abtastpunkte mit steigender Distanz zum Startpunkt und setzt die Suche abwechselnd in den Reihen links und rechts davon fort.

```

if (    ( $diff_{st}^i < diff_{st}^j$ )
        || (( $diff_{st}^i = diff_{st}^j$ ) && ( $diff_s^i < diff_s^j$ ))
        || (( $diff_{st}^i = diff_{st}^j$ ) && ( $diff_s^i = diff_s^j$ ) && ( $diff_t^i < diff_t^j$ ))
        || (( $diff_{st}^i = diff_{st}^j$ ) && ( $diff_s^i = diff_s^j$ ) && ( $diff_t^i = diff_t^j$ )
            && ( $sum_s^i > sum_s^j$ ))
        || (( $diff_{st}^i = diff_{st}^j$ ) && ( $diff_s^i = diff_s^j$ ) && ( $diff_t^i = diff_t^j$ )
            && ( $sum_s^i = sum_s^j$ ) && ( $sum_t^i > sum_t^j$ )))
    {
        // Abtastpunkt mit Index i ist bester Positionskandidat
    }
else
    {
        // Abtastpunkt mit Index j ist bester Positionskandidat
    }

```

Programm 7.1: Pseudocode zur Veranschaulichung der Heuristik, welche eine möglichst zentrierte Platzierung in einem großen sichtbaren Bereich der Hülle anstrebt.

7.4 Ergebnisse und Diskussion

Um die Eignung des Verfahrens für interaktive 3D-Umgebungen zu testen, wurden für 38 Gebäude eines virtuellen 3D-Stadtmodells Hüllen erzeugt und automatisiert beschriftet (Abb. 7.6). Das Testsystem war mit einem Intel Core2Duo (2.4 GHz), 2 GB Speicher und einer GeForce 8600 GTM Graphikkarte mit 512 MB RAM ausgerüstet. Die für die Platzierung notwendige Berechnungszeit hängt von einer Vielzahl von Parametern ab. Dazu gehören bspw. die Anzahl der momentan sichtbaren Hüllen, die Anzahl der Hüllenelemente sowie die Dichte der Abtastpunkte. Auch bei umfangreichen Navigationsänderungen fiel die Bildwiederholfrequenz während der Tests nie unter 16 Bilder/s. Dieser Wert beinhaltet die zur Darstellung des Modells und die für die Platzierung der Beschriftungen aufgewendete Zeit, wobei die Positionen für jeden Bildaufbau neu berechnet wurden. Die vorgenommene Implementierung lässt genug Freiraum für weitere Optimierungen, wie der Verwendung mehrerer Prozessoren oder eines für die Darstellung des Modells optimierten Szenengraphen. In Umgebungen, in denen die Platzierung von der Szeneninteraktion entkoppelt wurde, ist daher auch ein Einsatz für umfangreichere Modelle möglich.

Die visuell ansprechendsten Ergebnisse wurden fast durchgängig mit Hilfe des Platzierungsstils erreicht, der die Beschriftung innerhalb der größten sichtbaren Teilfläche zentriert. Die einzige Ausnahme bilden horizontal ausgerichtete Texte, welche in den Seitenflächen der Zylinderhüllen eingebettet werden. Hier ergab die Zentrierung des Textes an der Reihe der Abtastpunkte mit der zum Beobachter hin gerichteten Normalen besser lesbare und visuell ansprechendere Ergebnisse.

Durch den Stil, der versucht die Beschriftungen möglichst nahe am Betrachter einzubetten, kann in einigen Fällen die Lesbarkeit des Textes bei einer Einbettung

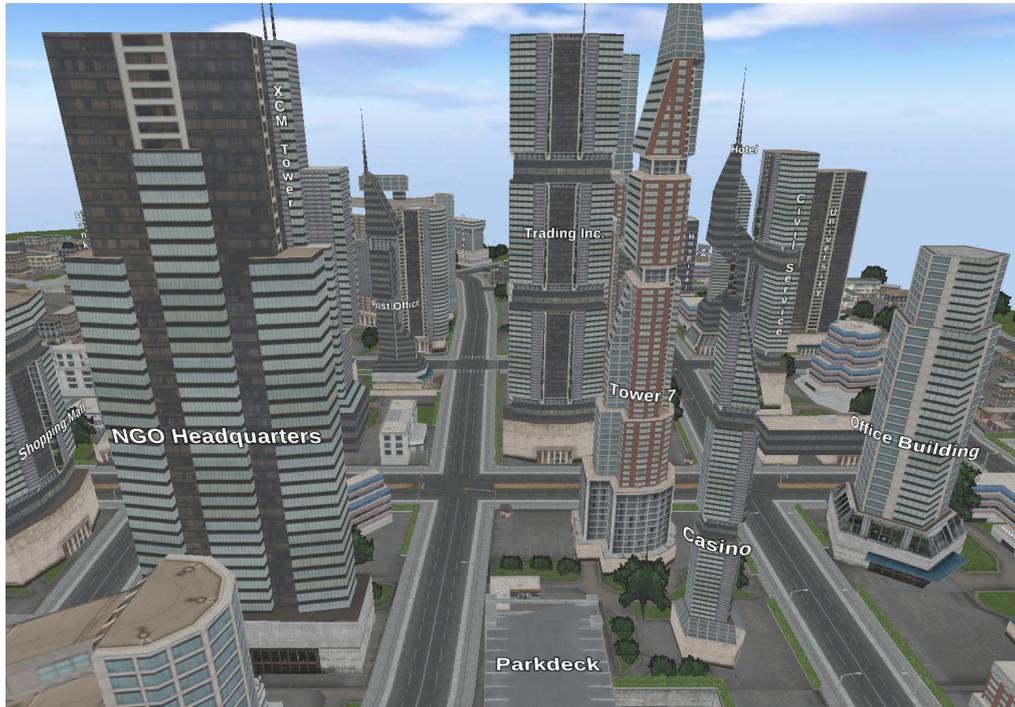


Abbildung 7.6: Anwendung der Technik zur eingebetteten Beschriftung von Gebäuden in einem virtuellen 3D-Stadtmodell.

an planaren Flächen leicht erhöht werden. Aus ästhetischer Sicht ist eine solche Einbettung jedoch wenig ansprechend. Wird dieser Stil zur Einbettung von Texten an gekrümmten Oberflächen verwendet, so kann dies die Lesbarkeit erheblich einschränken. Die Nutzung des Stils, welcher den Text immer möglichst nahe am Zentrum des Hüllenelements (z.B. des Rechtecks) einbettet, minimiert die Änderungen der Textpositionen während der Interaktion. Bei einer dynamischen Platzierung der Texte kann der Darstellung dadurch eine ruhigeres Erscheinungsbild verliehen werden.

KAPITEL 8

Perzeptorische Betrachtungen

„Die Endlosigkeit des wissenschaftlichen Ringens sorgt unablässig dafür, dass dem forschenden Menschegeist seine beiden edelsten Antriebe erhalten bleiben und immer wieder von neuem angefacht werden: Die Begeisterung und die Ehrfurcht.“

(Max Planck)

Von den in dieser Arbeit vorgestellten Techniken operiert die Mehrzahl im Objektraum und integriert die Annotationen in geovirtuelle 3D-Umgebungen. Damit unterliegen diese gemeinsam mit der 3D-Szene den Regeln der perspektivischen Abbildung. Dieses Vorgehen scheint für dreidimensionale Modelle naheliegend, dennoch arbeitet ein Großteil der zuvor entwickelten Techniken im 2D-Bildraum. In diesem Kapitel soll daher der Frage nachgegangen werden, wo mögliche Defizite bildraumbasierter Annotationstechniken liegen.

Dazu wird zunächst auf die in perspektivischen Darstellungen vorhandenen Tiefenhinweise eingegangen. Die nachfolgenden Beispiele zeigen, wie Annotationstechniken, die ausschließlich bildbasiert arbeiten, diese Tiefenhinweise beeinträchtigen können. Der anschließend vorgestellte Nutzertest versucht nachzuweisen, dass solche Effekte von menschlichen Betrachtern wahrgenommen werden.

8.1 Tiefenhinweise in perspektivischen Abbildungen

Der Prozess der perspektivischen Abbildung zur Erzeugung eines zweidimensionalen Bildes aus einem 3D-Modell ist mit einem Verlust von Informationen verbunden. Trotzdem ist es dem Menschen möglich, aus einer solchen Abbildung einen Teil der 3D-Szene mental zu rekonstruieren. Neben der Erfahrung über den Aufbau der Welt

nutzen wir dazu die im Bild inhärent kodierten Tiefenhinweise. Für einen ausführlichen Überblick über die Vielzahl der Tiefenhinweise sei auf [17, 26, 80] verwiesen. Hier sollen die für statische 2D-Abbildungen wichtigsten Tiefenhinweise kurz vorgestellt werden. Dies sind:

- *Verdeckung*: Der elementarste Tiefenhinweis wird durch die gegenseitige Verdeckung von Objekten hervorgerufen. Näher zum Betrachter liegende Objekte verdecken dabei weiter entfernte Objekte, so dass deren relative Lage zueinander aus dem Bild rekonstruierbar ist. Ist ein teilweise verdecktes Objekt dem Betrachter bekannt oder besitzt es eine ihm bekannte Form, so wird meist nicht nur der sichtbare Teil, sondern das komplette Objekt mental rekonstruiert.
- *Schatten und Schattierung* geben dem Betrachter Informationen über die Richtung der Lichtquellen, die Form des Objektes und die Distanzen zwischen den Objekten, die einen Schatten werfen und den Objekten, die dadurch verschattet werden. Zusätzlich geben diese Tiefenhinweise Auskunft über die Materialeigenschaften von Oberflächen (z.B. poliert, gebürstet, korrodiert oder eingedellt). Schatten können zudem die Rekonstruktion von Objektteilen unterstützen, welche nicht oder nur zum Teil sichtbar sind.
- Durch die *Lineare Perspektive* erscheinen Objekte konstanten Ausmaßes umso kleiner, je weiter sie sich vom Betrachter entfernt befinden. Die menschliche Wahrnehmung interpretiert diese Größenänderung automatisch als Tiefe. Weiterhin hat die perspektivische Abbildung zur Folge, dass im Objektraum parallel verlaufende Linien in der Abbildung in einem oder mehreren Fluchtpunkten zusammenlaufen. Die damit verbundenen Verzerrungen geben zusätzliche Hinweise für Interpretation der Darstellung.
- *Textur Gradienten* werden durch die Beschaffenheit der abgebildeten Objekt-oberflächen hervorgerufen. Sie können in Form von Größen-, Dichten- und Helligkeitsgradienten auftreten. Blickt man bspw. eine Kopfsteinpflasterstraße entlang, so werden die Steine mit zunehmender Entfernung kleiner aber mit höherer Dichte im Bildraum abgebildet. Wird die Szene durch gerichtete Lichtquellen beleuchtet, so können Helligkeitsverläufe auf Oberflächen als zusätzliche Tiefenhinweise interpretiert werden.
- *Atmosphärische Perspektive*: Dieser Tiefenhinweis äußert sich in Unterschieden der Farbe, des Kontrastes und der Farbsättigung. Er wird durch die mit wachsender Distanz steigende Anzahl von Partikeln in der Atmosphäre und die dadurch verbundene Streuung des Lichtes hervorgerufen. Dieser Effekt kann z.B. auf Fotos von bewaldeten Bergen beobachtet werden. Weiter entfernte Berge weisen dabei einen ins bläuliche gehenden Farbton auf.

Tiefenhinweise spielen eine wichtige Rolle für die Übertragung und Verarbeitung der dargestellten Informationen. Der Einfluss auf die Effektivität dieser Operationen hängt von einzelnen aber auch von der Kombination verschiedener Tiefenhinweise ab. Aus diesem Grund erscheint es notwendig, zu hinterfragen, ob und auf welche Weise einer

Darstellung nachträglich hinzugefügte Annotationen Tiefenhinweise beeinträchtigen und damit die Kommunikation der Informationen stören können.

8.2 Mögliche Konflikte zwischen Annotationen und den Tiefenhinweisen der Darstellung

Die gezielte Störung perspektivischer Attribute ist eine weitverbreitete Technik in Kunst und Design. Bekannt sind bspw. die Bilder von M.C. Escher¹, welche in der Realität nicht zu konstruierende Gebäude zeigen. Auch historische Stadtansichten kommunizieren oft eher die Anzahl, Größe oder reichhaltigen Verzierungen von Gebäuden, als dass sie eine korrekte Sicht auf die Stadt von einem speziellen Ort aus darstellen. Weiterhin wird in der Werbung mit den perspektivischen Abbildungseigenschaften experimentiert, um bei Betrachtern Irritationen hervorzurufen und so deren Aufmerksamkeit zu gewinnen.

Bei der händischen Beschriftung perspektivischer Ansichten dreidimensionaler Modelle vermeiden Designer und Illustratoren meist intuitiv Platzierungen, die den perspektivischen Eindruck stark beeinträchtigen würden. Für die Techniken zur automatisierten Annotation konnte jedoch kein Verfahren gefunden werden, welches diesen Aspekt explizit berücksichtigt. Die folgenden Beispiele illustrieren, wie Annotationen mit den Regeln der perspektivischen Abbildung in Konflikt geraten können [69]. Wird der Betrachter einer solchen Darstellung durch einen derartigen Konflikt irritiert, so ist zu vermuten, dass dies die Qualität und die Geschwindigkeit des Informationstransfers negativ beeinflusst.



Abbildung 8.1: Beispiele für Konflikte zwischen korrekter Verdeckung und Sichtbarkeit: a) automatisiert platzierte Beschriftungen in Google Earth (Quelle: [34]), b) manuell platzierte Beschriftungen für eine Teilansicht des Universitätscampus der TU Berlin (Quelle: [98]).

Abbildung 8.1 zeigt zwei Beispiele, in denen eine korrekte Berücksichtigung der Verdeckungsinformation in Konflikt mit der Darstellung der Annotationen steht.

1 <http://www.mcescher.com/>

Während bei den automatisiert platzierten Beschriftungen im linken Bild die Zuordnung aufgrund der Position zu fehlerhaften Interpretationen führen kann, bleibt diese bei den händisch platzierten Beschriftungen im rechten Beispiel zum großen Teil erhalten. Die Beispiele zeigen, dass bei nicht ausreichendem Platz zur Einbettung ein Kompromiss zwischen Lesbarkeit und perspektivisch korrekter Einbettung zu finden ist. In einigen Situationen kann eine Überlagerung der Szene durch Annotationen eine bessere Alternative darstellen, als den Beschriftungstext zu teilen oder eine Abkürzung zu verwenden. Eine solche Abwägung sollte jedoch bewusst getroffen werden.

In Anwendungen, in denen die Menge der sichtbaren Annotation durch eine thematische Auswahl des Nutzers bestimmt wird, kann das Problem auftreten, dass das von einer Annotation referenzierte Objekt in der momentanen Ansicht verdeckt ist. Abbildung 8.2 illustriert ein solches Beispiel für den Referenzpunkt einer externen Annotation sowie eine Reihe möglicher Lösungen. Die Überlagerung des Objektes durch die Referenzlinie ermöglicht eine eindeutige Zuordnung, stört jedoch den perspektivischen Eindruck. Eine zum Ende hin gestrichelte Referenzlinie lässt sich hingegen ohne Konflikte in eine perspektivische Abbildung integrieren. Die angedeutete Fortsetzung der Linie erlaubt dem Betrachter zumindest eine Abschätzung der nicht sichtbaren Position. Auch durch eine transparente Darstellung des die Referenz verdeckenden Objektes lässt sich dieser Sichtbarkeitskonflikt entschärfen. In interaktiven Umgebungen kann diese Art der Darstellung durch eine explizite Anfrage des Nutzers, z.B. durch einen Mausklick auf die Beschriftung, ausgelöst werden.

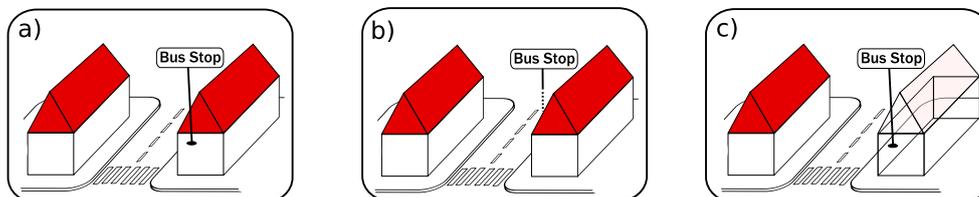


Abbildung 8.2: Mögliche Lösungsansätze für die Annotation eines verdeckten Referenzpunktes: a) bildliche Überlagerung, b) angedeutete Fortsetzung der Linie, c) transparente Darstellung des verdeckenden Objektes.

In der klassischen 2D-Kartographie wird teilweise die Schriftgröße als graphische Variable verwendet, um die Kategorie eines Siedlungsgebietes bzgl. der Einwohnerzahl zu kommunizieren. Wie in Abbildung 8.3 angedeutet, steht die direkte Übertragung dieses Konzeptes auf perspektivische Ansichten dreidimensionaler Modelle im Konflikt mit den Abbildungseigenschaften der linearen Perspektive. Stattdessen wird in interaktiven virtuellen 3D-Umgebungen die Schriftgröße meist konstant auf einer minimalen aber lesbaren Größe belassen, um die Anzahl der platzierbaren Annotationen zu maximieren. Alternativ kann die Schriftgröße auch an die Entfernung zum Betrachter angepasst werden. Dies ermöglicht erneut die gleichzeitige Platzierung einer größeren Anzahl von Annotationen. Auch wenn weit entfernte Annotationen bei einer perspektivisch korrekten Integration ihre Lesbarkeit einbüßen, nehmen sie noch die Funktion wahr, auf Vorhandensein und Ort der Information hinzuweisen.

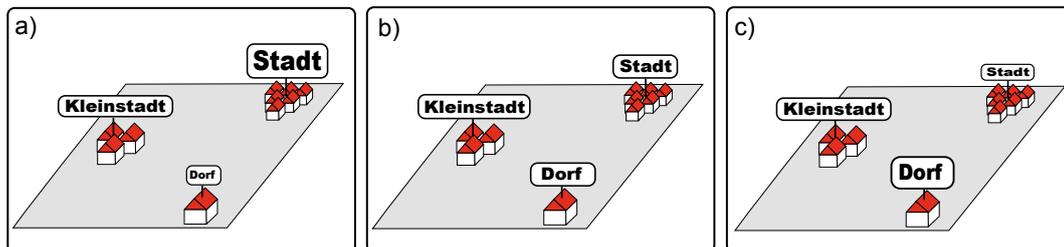


Abbildung 8.3: Illustration möglicher Konflikte zwischen linearer Perspektive und der Nutzung der Schriftgröße als graphische Variable: a) thematische Nutzung der Schriftgröße, b) konstante Schriftgröße, c) Nutzung der Schriftgröße zur Kommunikation der Entfernung.

Abbildung 8.4 illustriert den Unterschied zwischen einer angedeuteten Einbettung, welche die Beschriftung nur im 2D-Bildraum ausrichtet und einer echten Integration der Beschriftung in die 3D-Szene. In der ersten Variante bleibt die Lesbarkeit weitestgehend erhalten, da der Text parallel zur Bildebene orientiert wird. Jedoch verstößt diese Art der Kombination von Text und Bild gegen die Regeln der linearen Perspektive. Die zweite Variante ist zwar durch die perspektivisch korrekte Abbildung etwas schlechter lesbar, kommuniziert dafür jedoch besser den Zusammenhang zwischen Beschriftung und Referenz. Beide Varianten finden je nach Vorliebe des Nutzers Verwendung. Dennoch ist wenig darüber bekannt, ob und auf welche Weise sie jeweils die Perzeption und Kognition bei der Betrachtung beeinflussen. Larson et al. [62] zeigten, dass sich Texte durchaus um eine vertikale Achse im Raum rotieren lassen, bevor die Lesbarkeit darunter signifikant leidet. Für den allgemeinen Fall der perspektivischen Abbildung von Text sind jedoch weitere Nutzerstudien notwendig, um innerhalb eines Annotationsverfahrens die Vor- und Nachteile der beiden aufgezeigten Varianten gegeneinander abwägen zu können.

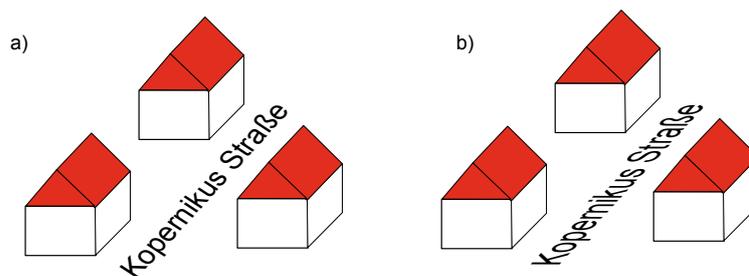


Abbildung 8.4: Zwei Varianten der Kombination von Text und Bild: a) angedeutete Einbettung, b) perspektivisch korrekte Einbettung.

In den meisten Fällen werden Annotationen von der Berechnung der Schattierung und des Schattenwurfes ausgeschlossen. Das Beispiel in Abbildung 8.5 zeigt jedoch den Einsatz eines zusätzlich angedeuteten Schattenwurfes als stilistisches Element. Vermutlich wurde er eingefügt, um die Differenzierung zwischen Annotation und bildlicher Darstellung zu vereinfachen und den von der Annotation referenzierten Punkt eindeutiger zu kommunizieren. Liegt der Schattierung oder dem Schattenwurf

kein physikalisches Beleuchtungsmodell zugrunde, so sollte diese Art von Effekten sehr sorgsam verwendet werden. Führen sie zu einer Störung des perspektivischen Eindrucks oder beeinträchtigen sie das generelle Verständnis der Darstellung, so ist von ihrem Einsatz abzuraten.



Abbildung 8.5: Verwendung eines stilisierten Schattenwurfs zur Hervorhebung einer Annotation. (Quelle: [35])

8.3 Nutzerstudie

8.3.1 Testaufbau und Thesen

Im vorherigen Abschnitt wurde anhand von Beispielen gezeigt, auf welche Art und Weise nachträglich hinzugefügte Annotationen in Konflikt mit den Tiefenhinweisen perspektivischer Abbildungen geraten können. Das Ziel der hier vorgestellten Nutzerstudie [68] war es daher, nachzuweisen, ob ein solcher Konflikt von einem menschlichen Betrachter auch wahrgenommen wird. Dazu wurde angenommen, dass eine Verletzung von Tiefenhinweisen zu einer schlechteren qualitativen Bewertung einer annotierten Darstellung durch Testpersonen führt, unerheblich ob diese sich der Ursache bewusst sind. Sollte ein solcher Einfluss nachweisbar sein, so können folgende Nutzerstudien qualitative und quantitative Aspekte untersuchen.

Der Test fokussiert dabei auf die Verletzung von Verdeckungsinformationen, da dies der elementarste Tiefenhinweis ist. Um den Einfluss anderer Tiefenhinweise so weit wie möglich auszuschließen, wurden Abbildungen eines 3D-Stadtmodells verwendet, welche nur geometrisch einfache Gebäudekörper ohne Textur beinhalten. Für die Ausleuchtung der Szene wurde zudem ein globales Beleuchtungsverfahren eingesetzt.

In ersten Versionen des Nutzertests wurde damit experimentiert, die Testpersonen einzelne Annotationen sowie mit mehreren Annotationen versehene Darstellungen qualitativ bewerten zu lassen. Weitere Varianten waren so konstruiert, dass die Testpersonen für eine einzelne Annotation unterschiedliche Platzierungspositionen gegeneinander abzuwägen hatten oder aber aus einer Menge von Annotationen die n-besten auswählen sollten. Dabei stellte sich heraus, dass dabei immer mehr Attribute als erwartet Einfluss auf die Bewertung der Qualität durch die Testpersonen hatten. So versahen bspw. einige Testpersonen Annotationen automatisch mit einer

erhöhten Priorität, wenn diese ein großes Gebiet der 3D-Szene (z.B. einen Platz) referenzierten und assoziierten mit diesen eine hohe Bildschirmpräsenz. Waren verschiedene Positionen für eine Annotation gegeneinander abzuwägen, so änderte sich damit meist auch die Länge der Verbindungslinie. In Darstellungen mit mehreren Annotationen hatte zudem das gesamte Erscheinungsbild, z.B. die Symmetrie oder die Ausrichtung der Annotationen einen Effekt auf die Wahl oder Bewertung einzelner Annotationspositionen.

Es zeigte sich, dass es sehr schwierig ist, annotierte Darstellungen zu erzeugen, die den zu untersuchenden Effekt isolieren. Um diesen Konflikt zu lösen, wurde der Nutzertest so konstruiert, dass er für den Nachweis des Effektes nutzbar ist, jedoch Situationen zeigt, die normalerweise unüblich für die Platzierung von Annotationen sind. Dazu wurde folgendermaßen vorgegangen: In eine Darstellung der Szene wurden zwei externe Annotationen integriert, welche unterschiedliche Punkte referenzieren. Die Funktion der ersten Annotation ist es, den gewünschten Effekt (inkorrekte Verdeckungsinformation) zu provozieren. Dieser Effekt wird hervorgerufen, indem die Verbindungslinie der Annotation so ausgerichtet wird, dass sie ein Objekt überlagert, welches sich näher am Betrachter befindet als der Referenzpunkt der Annotation. Die zweite externe Annotation hat die Funktion einer Tiefenreferenz. Ihre Verbindungslinie kreuzt die der zuerst platzierten Annotation. Da räumliche Tiefe nur auf einer ordinalen Skala aus Verdeckungsinformationen abgeleitet werden kann [17], wurden die Verbindungslinien auf eine Art und Weise gestaltet, dass die Nutzer entscheiden können, welche die andere überlagert. Beide Varianten wurden den Testpersonen zur Auswahl gestellt. Dieser Testaufbau wurde zusammen mit den folgenden Hypothesen verwendet:

- H1: Gegeben ist eine Situation wie in Abbildung 8.6 a dargestellt. Keine der beiden Annotationen überlagert hier ein Objekt, welches sich näher am Betrachter befindet, als die von den Annotationen referenzierten Punkte. Bei dieser Anordnung wird vermutet, dass die Testpersonen die Kombination favorisieren, in der die Verbindungslinie der Annotation mit dem näheren Referenzpunkt vor der Verbindungslinie der Annotation des weiter entfernten Punktes liegt.
- H2: In Abbildung 8.6 b kreuzt die horizontale Verbindungslinie der Annotation ein Objekt der 3D-Szene, das sich näher am Betrachter befindet, als der zur Linie gehörende Referenzpunkt. Interpretiert man die Tiefeninformation entlang dieser Linie, so scheint sich die Linie dem Betrachter räumlich zu nähern. Dies kann dazu führen, dass, im Gegensatz zu Hypothese H1, auch die Verbindungslinie einer Annotation mit einem weiter entfernten Referenzpunkt als vordere Linie favorisiert wird.
- H3: Gegeben ist eine Ausgangssituation wie für H2, jedoch überlagert die erste Verbindungslinie das näherliegende Objekt der 3D-Szene nicht. Stattdessen wird sie durch dieses teilweise verdeckt (Abb. 8.6 c). Bei einer solchen Situation ist zu vermuten, dass erneut der in Hypothese H1 beschriebene Effekt zum tragen kommt.

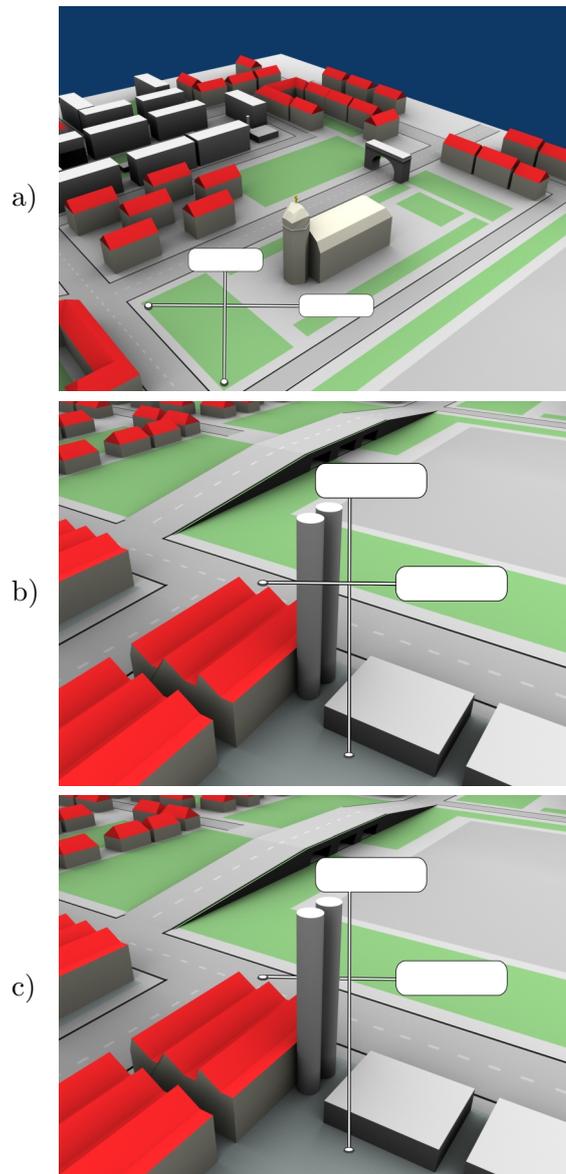


Abbildung 8.6: Beispielabbildungen aus der Nutzerstudie für die Hypothesen H1, H2 und H3 (von oben nach unten).

8.3.2 Durchführung

Für jede annotierte Darstellung wurden zwei Bilder erzeugt, deren einziger Unterschied darin bestand, welche der Verbindungslinien der Annotationen die jeweils andere überlagert. Mit diesen wurde eine Präsentation erstellt, die auf jeder Seite die zwei Varianten nebeneinander darstellt. Bei der Vorführung dieser Präsentation wurden die Testpersonen gefragt, welche der Varianten für sie ansprechender ist. Mögliche Antworten waren *links*, *rechts* oder *unentschieden*.

Für jede Hypothese wurden vier verschiedene Tests mit vier unterschiedlichen Abbildungen durchgeführt (s. Anhang A). Daraus resultieren insgesamt 24 annotierte Darstellungen (drei Hypothesen, je vier Tests, je zwei Varianten). Um den Einfluss von Lerneffekten zu verhindern, wurden die Tests in zufälliger Reihenfolge durchgeführt.

8.3.3 Teilnehmer

Die Gruppe der Testpersonen bestand aus 58 Personen. Davon waren 39 männlich und 19 weiblich. Der Hauptteil bestand aus Studenten oder Mitarbeitern des Instituts. Fast alle schätzten sich im Umgang mit virtuellen Umgebungen, wie wissenschaftlichen 3D-Visualisierungen oder 3D-Computerspielen, als erfahren ein. Ein uneingeschränktes Sehvermögen war für alle Testpersonen von Natur aus vorhanden oder wurde durch Sehhilfen wie Brillen oder Kontaktlinsen gewährleistet.

8.3.4 Ergebnisse

Tabelle 8.1 zeigt die Ergebnisse für die erste Hypothese. Die Zeilen enthalten die Prozentwerte für jeden Testfall und den Mittelwert über alle Tests am Ende. Wie erwartet, stimmte die Mehrheit der Testpersonen mit der Hypothese überein, dass die Verbindungslinie der Annotation mit dem näheren Referenzpunkt auch als vordere Linie zu favorisieren ist.

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Durchschnitt
Zustimmung	56,9%	60,3%	82,8%	67,2%	66,8%
unentschieden	13,8%	6,9%	5,2%	19,0%	11,2%
Ablehnung	29,3%	32,8%	12,0%	13,8%	22,0%

Tabelle 8.1: Ergebnisse der Nutzerstudie für Hypothese H1.

Die folgende Tabelle (Tab. 8.2) zeigt, dass die Testpersonen nicht der Hypothese H2 gefolgt sind. In den meisten Fällen favorisierten sie stattdessen (wie in Hypothese H1) die Verbindungslinie als vordere Linie, deren Referenzpunkt näher am Betrachter liegt. Interessant sind jedoch die Unterschiede zu den vorherigen Ergebnissen. Hypothese H1 lässt sich mit diesen Abbildungen nicht so eindeutig nachweisen, wie mit den Darstellungen, in denen keine Linie ein näherliegendes Objekt überlagert. Zusätzlich erhöhte sich in den Tests für Hypothese H2 die Anzahl der Testpersonen, die sich für keine der Varianten entscheiden konnten. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass der zu überprüfende Effekt zwar vorhanden ist, jedoch einen kleineren Einfluss als erwartet ausübt.

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Durchschnitt
Zustimmung	15,5%	48,3%	20,7%	32,8%	29,3%
unentschieden	24,1%	13,8%	20,7%	27,6%	21,6%
Ablehnung	60,3%	37,9%	58,6%	39,7%	49,1%

Tabelle 8.2: Ergebnisse der Nutzerstudie für Hypothese H2.

Tabelle 8.3 zeigt die Ergebnisse für Hypothese H3. Wie erwartet, wird die Verbindungslinie des weiter entfernten Referenzpunktes als hintere Linie favorisiert. Verglichen mit den Tests für Hypothese H1, hat sich die Anzahl der Testpersonen verringert, welche die Hypothese ablehnen oder unentschieden votieren. Ein Grund dafür kann der stärkere Tiefenhinweis sein, welcher durch die hinter dem Szenenobjekt verlaufende und damit teilweise verdeckte Linie hervorgerufen wird.

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Durchschnitt
Zustimmung	84,5%	75,9%	84,5%	89,7%	83,6%
unentschieden	3,4%	8,6%	10,3%	6,9%	7,3%
Ablehnung	12,1%	15,5%	5,2%	3,4%	9,1%

Tabelle 8.3: Ergebnisse der Nutzerstudie für Hypothese H3.

8.3.5 Auswertung und Diskussion

Die vorgestellte Nutzerstudie gibt nur einen kleinen Hinweis auf den Einfluss inkorrekt verdeckter Informationen auf die qualitative Bewertung einer annotierten Darstellung. Eine mögliche Ursache dafür zeigt Abbildung 8.7 a). Diese demonstriert unsere Fähigkeit, die Interpretation einer konfliktreichen Darstellung so lange zu korrigieren, bis diese im Einklang mit den gewohnten Regeln der Wahrnehmung steht und plausibel erscheint. So sind die meisten Menschen in der Lage, trotz der nach unten und rechts verlaufenden Verbindungslinien, welche Objekte überlagern, die sich näher am Betrachter befinden als der Referenzpunkt, diese Abbildung als dreidimensionale Szene zu interpretieren. Dies wird möglich, indem die Beschriftungsrechtecke mental immer näher an den Betrachter rücken, bis alle Konflikte aufgelöst sind.

Trotzdem erscheint es sinnvoll, Tiefeninformationen bei der Platzierung von Annotationen zu berücksichtigen, um zumindest den ästhetischen Eindruck der Darstellung zu verbessern. Dies illustriert Abbildung 8.7 b). Bei dieser Darstellung würden die meisten Betrachter vermutlich eine alternative Platzierung vorschlagen.

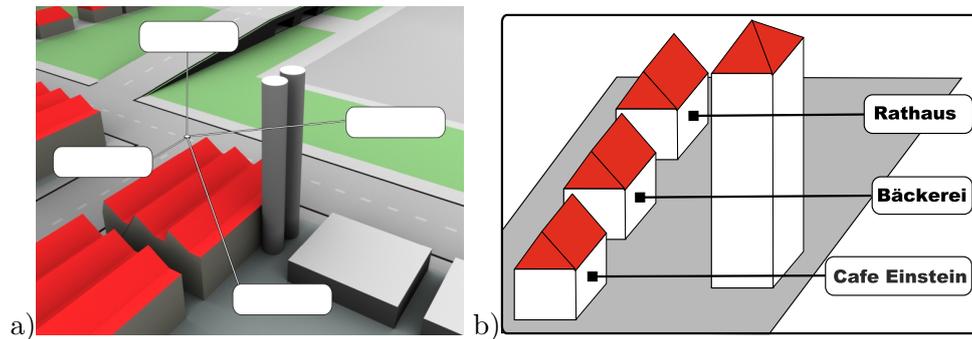


Abbildung 8.7: a) Trotz Überlagerung näher liegender Objekte lässt sich diese Darstellung noch immer als 3D-Szene interpretieren, b) Beispiel für die Störung des perspektivischen und ästhetischen Eindrucks durch externe Annotationen.

8.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel geht der Fragestellung nach, ob und in welcher Form nachträglich der Darstellung hinzugefügte Annotationen den ästhetischen und perspektivischen Gesamteindruck beeinflussen. Dabei wurden verschiedene Arten von Tiefenhinweisen vorgestellt, die für gewöhnlich von Annotationstechniken unberücksichtigt bleiben. Einige Beispiele illustrieren, wie die Platzierung von Annotationen in Konflikt mit diesen Tiefenhinweisen geraten kann.

Mit Hilfe einer Nutzerstudie wurde versucht nachzuweisen, dass diese Konflikte zu einer qualitativen Abwertung der annotierten Darstellungen führen. Jedoch konnte nur ein kleiner Hinweis für einen solchen Einfluss gefunden werden. Um Klarheit darüber zu erlangen, ob die Verletzung von Tiefenhinweisen das ästhetische Empfinden stören oder den Informationstransfer und die Informationsverarbeitung negativ beeinflussen, sind weitere Nutzerstudien notwendig. Die Vielzahl der Fragestellungen würde den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten und bedarf der Zusammenarbeit von Kartographen, Illustratoren, Designern, Psychologen und Computergraphik-Experten. Nur durch die Kombination des Wissens über bisher entwickelte Annotationstechniken, der zugrunde liegenden Design- und Wahrnehmungsprinzipien und den von heutiger Graphikhardware bereitgestellten Möglichkeiten lassen sich mögliche Defizite bisheriger Verfahren aufdecken und überwinden.

Ausgehend von den aufgezeigten Konflikten zwischen Annotationen und perspektivischen Abbildungen erscheint es sinnvoll, zukünftige Verfahren zur Annotation perspektivischer Ansichten um ein Qualitätsmaß zu ergänzen, das den Grad der Störung bildlicher Tiefenhinweise widerspiegelt. Während der Platzierung der Annotationen können die Verfahren diesen Parameter zur Auswahl einer spezifischen Position oder für die Auswahl der darzustellenden Annotationen verwenden. Dadurch lassen sich Situationen, wie in Abb 8.7 dargestellt, vermeiden oder verbessern.

Mit der weiteren Entwicklung im Bereich der Darstellungstechnologien werden interaktive Umgebungen mit einem weit höheren Grad von Immersion und Präsenz verfügbar. So ist zu vermuten, dass mit der Verbreitung von Augmented Reality

Umgebungen Techniken zur Informationsanreicherung, welche den perspektivischen Eindruck nicht beeinträchtigen, stärker an Bedeutung gewinnen [26].

KAPITEL 9

Zusammenfassung und Ausblick

„Ernstzunehmende Forschung erkennt man daran, dass plötzlich zwei Probleme existieren, wo es vorher nur eines gegeben hat.“

(Thorstein Bunde Veblen)

9.1 Zusammenfassung

Diese Arbeit gibt einen Einblick in Konzepte und Verfahren für die automatisierte Annotation interaktiver geovirtueller 3D-Umgebungen. Die Entwicklung derartiger Verfahren ist mit zwei Herausforderungen verbunden. Zum Einen stellt sich die Frage, auf welche Art und Weise Annotationen mit perspektivischen Abbildungen dreidimensionaler Modelle kombiniert werden können. Zum Anderen müssen diese Verfahren in der Lage sein, eine Lösung in kurzer Zeit bereitzustellen, damit sie in interaktiven Umgebungen anwendbar sind. Basierend auf einer Analyse bereits bestehender Techniken aus den Bereichen Kartographie und 3D-Illustration werden vier neue Verfahren entwickelt. Die allen Techniken gemeinsamen Konzepte zur Integration in interaktive Visualisierungsumgebungen werden zu Beginn systematisch erläutert (Kap. 3).

Eines der entwickelten Verfahren (Kap. 4) arbeitet, wie der Großteil der bisher bestehenden Techniken, im Bildraum. Unter Beachtung der speziellen Eigenschaften geovirtueller 3D-Umgebungen wurde eine Datenstruktur zur Verwaltung des zur Verfügung stehenden Bildraums entwickelt. Für die Platzierung externer Annotationen unterstützt diese, neben effizienten Operationen zur Markierung belegter und Abfrage freier Bereiche, auch das schnelle Auffinden einer neuen noch unbelegten Position im Fall eines Überlagerungskonfliktes.

Die drei weiteren entwickelten Verfahren verfolgen einen neuen Ansatz, indem sie die Annotationen in die 3D-Szene integrieren. Damit unterliegen diese den gleichen Regeln der perspektivischen Abbildung und fügen sich nahtlos in die bildliche Darstellung ein. Eines dieser Verfahren befasst sich mit der Annotation linearer Objekte

(Kap. 6). Zur effizienten Erkennung und Auflösung von Überlagerungen wird ein Konfliktgraph verwendet. Diese Datenstruktur hat sich schon bei der Platzierung von Beschriftungen in interaktiven 2D-Karten bewährt und kann in einem Vorverarbeitungsschritt aufgebaut werden. Die beiden anderen Verfahren (Kap. 5 u. 7) widmen sich der Annotation dreidimensionaler Objekte am Beispiel von Gebäudekörpern. Zur effizienten Bestimmung der Einbettungspositionen und Orientierungen kommen generalisierte Repräsentationen der referenzierten Objekte zum Einsatz. Für die entwickelten Techniken wird anhand prototypischer Implementierungen nachgewiesen, dass ihre Anwendung in interaktiven Umgebungen möglich ist.

Für die im 3D-Objektraum operierenden Techniken stellen sich eine Reihe von Vorteilen heraus. Verglichen mit einer einfachen bildlichen Überlagerung von Texten, unterstützen eingebettete Annotationen sehr viel direkter ihre Zuordnung zum referenzierten Objekt. Mit Hilfe einer dynamischen Platzierung lässt sich dadurch sehr viel präziser kommunizieren, ob das gesamte 3D-Objekt, ein Teilobjekt oder nur eine Teilfläche, bspw. eine Fassade, bezeichnet wird. Weiterhin nutzen eingebettete Annotationen den in der Darstellung zur Verfügung stehenden Informationsraum sehr gut aus. Dieser Aspekt kann entscheidend für den Einsatz auf mobilen Endgeräten mit kleinen Displays sein. Die nahtlose Integration vermeidet zudem Irritationen des Nutzers, welche auftreten können, wenn die Navigation in der 3D-Szene zusätzlich zu 2D-Änderungen bei der Neupositionierung der Annotationen führt.

Ein abschließendes Kapitel (Kap. 8) thematisiert die Unterschiede zwischen bildbasierten und objektbasierten Annotationstechniken. Dabei wird auf die Problematik möglicher visueller Konflikte in perspektivischen Abbildungen eingegangen, welche durch nachträglich hinzugefügte Annotationen hervorgerufen werden können. Eine Nutzerstudie befasst sich damit, den Einfluss eines solchen Konfliktes auf die Bewertung der Qualität einer Darstellung nachzuweisen. Dabei stellte sich ein Bedarf an weitergehenden Untersuchungen heraus, um die Effizienz von Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozessen der verschiedenen Ansätze bewerten zu können. Ziel dieses Kapitels ist es, das Bewusstsein für diese Themen zu schärfen, die bisherigen Erfahrungen zusammenzufassen und auch andere Wissenschaftsdisziplinen auf die aufgeworfenen Fragestellungen hinzuweisen.

Mit den im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahren ist es nun möglich, auch interaktive geovirtuelle 3D-Umgebungen adäquat mit Annotationen anzureichern. Aufgrund der besonderen Eigenschaften eingebetteter Annotationen bietet sich zukünftig ein Einsatz der vorgestellten Techniken in immersiven interaktiven 3D-Umgebungen, bspw. in Augmented-Reality Umgebungen, an.

Anwendungsbeispiele

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Annotationsverfahren kamen zum Teil bereits in anderen Projekten zum Einsatz. Dies verdeutlicht den Bedarf automatisierter Annotationstechniken und ermöglichte die Erprobung der Techniken in verschiedenen Anwendungskontexten.

Softwarevisualisierung

Der Call Graph Analyzer (CGA) ist ein im Rahmen der Dissertation von Johannes Bohnet entwickeltes Werkzeug zur Visualisierung dynamischer Aspekte in großen Softwaresystemen [12]. Dies beinhaltet die Extraktion von Programminformationen zur Laufzeit, die Aufbereitung dieser Informationen und deren interaktive Visualisierung.

Die Kombination verschiedener dynamischer und statischer Informationen ermöglicht Programmierern und Softwaredesignern neue Sichten auf ein Softwaresystem. So lassen sich Kommunikationswege (z.B. Aufrufgraphen) veranschaulichen, die für eine spezielle Funktionalität verwendeten Softwaremodule visualisieren sowie Teile der Software, welche besonders häufig Änderungen unterworfen sind, identifizieren.

Abbildung 9.1 zeigt den Einsatz der im Kapitel 4 vorgestellten Technik im CGA System [13]. In einer Darstellung, welche die Landschaftsmetapher zur Informationsvisualisierung nutzt, wird die Annotationstechnik zur verdeckungsfreien Platzierung von Beschriftungen verwendet und ermöglicht so die Identifizierung von Dateien, Modulen, Klassen oder deren Methoden.

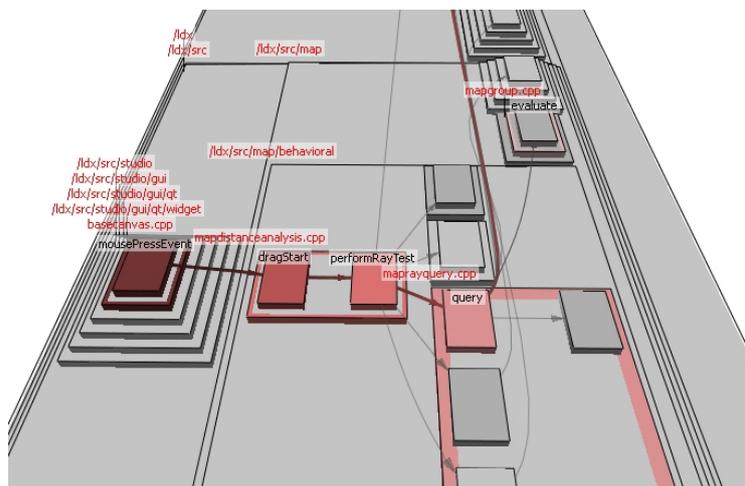


Abbildung 9.1: Screenshot des CGA Systems mit verdeckungsfrei platzierten Beschriftungen (Quelle: [13]).

Das RISO Projekt

Im Wintersemester 2006/07 wurde am Hasso-Plattner-Institut an der Universität Potsdam das zweisemestrige Bachelor-Projekt „Regionales Informationssystem Ost“ (RISO) durchgeführt. Die Kooperation mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung hatte zum Ziel, statistische Daten, die einen Raumbezug aufweisen, zu visualisieren. Dazu gehören bspw. Ab- und Zuwanderungszahlen, Verteilung von Fördermitteln, Anzahl von Existenzgründungen sowie Beschäftigungszahlen. Bisher wurden manuell und mit großem Aufwand Karten und Diagramme erstellt, um Entscheidungsprozesse oder Diskussionen über die Ergebnisse von Maßnahmen zu unterstützen.

Basierend auf einer bestehenden Datenbank entwickelten die Studenten eine Anwendung, welche interaktive 3D-Informationslandschaften automatisiert generiert. Abbildung 9.2 illustriert den Einsatz der in Kapitel 4 vorgestellten Technik zur verdeckungsfreien Beschriftung von Ländern und Landkreisen.

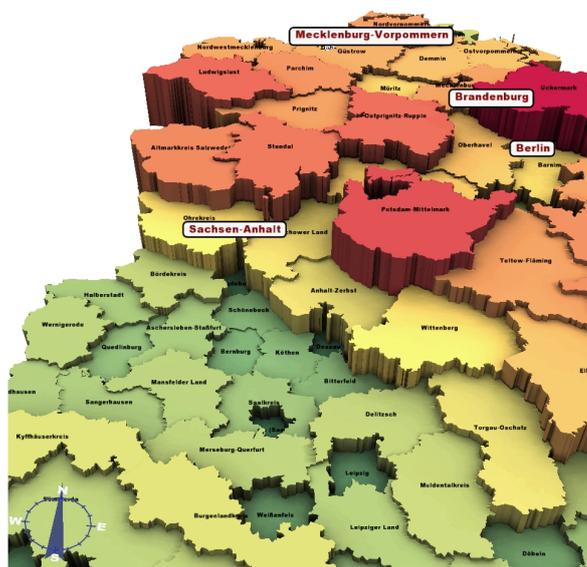


Abbildung 9.2: Anwendung des in Kapitel 4 vorgestellten Verfahrens zur verdeckungsfreien Platzierung von Land- und Kreisnamen im RISO Projekt.

Visualisierung Römisches Köln

Im interdisziplinären Projekt „Visualisierung Römisches Köln“ wird das Fachwissen von Archäologen, Designern und Computergraphikern vereint. Ziel dieser Zusammenarbeit ist die Rekonstruktion und die stetige Weiterentwicklung eines virtuellen 3D-Modells der Stadt Köln zur Zeit der römischen Besiedlung. Diese Kooperation ermöglichte die Entwicklung eines auf wissenschaftlichen Fakten basierenden, umfangreichen, hoch-detaillierten und interaktiv begehbaren 3D-Modells [7, 70].

Neben der interaktiven Darstellung der römischen Stadt wurde in diesem Projekt auch der Einsatz erweiterter Visualisierungstechniken erprobt. Dazu gehören Techniken zur Veranschaulichung der inneren Struktur, welche durch einen Schnitt der Gebäude mit komplexen volumetrischen Objekten definiert werden. Ein nicht-photorealistisches Rendering (NPR) Verfahren illustrierte, wie wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse von Hypothesen in der bildlichen Darstellung unterscheidbar bleiben. Für die Kommunikation von Metainformationen, bswp. zur Identifikation der Gebäude, wurde den Projektpartnern die Möglichkeit der Einbettung von Beschriftungen vorgestellt. Abbildung 9.3 zeigt einen Prototyp für einen Teil des Stadtmodells, der auf dem in Kapitel 7 erläuterten Verfahren basiert.



Abbildung 9.3: Anwendung des Annotationsverfahrens aus Kapitel 7 im Projekt „Visualisierung Römisches Köln“ (Quelle: [70]).

Webservice Adaption

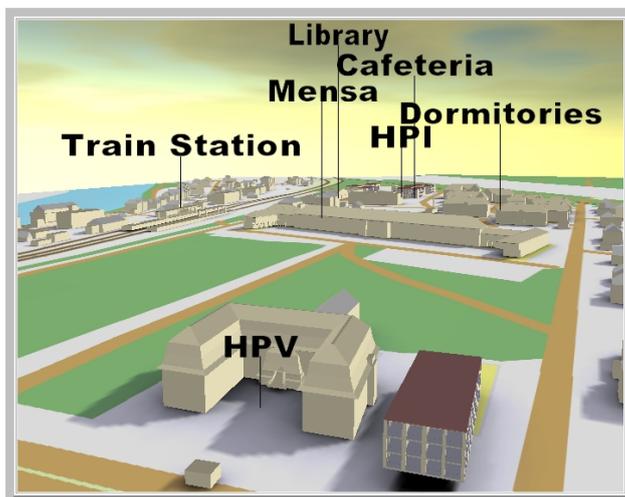
Die Entwicklung Dienste-basierter Architekturen, im speziellen von Webservices, gewann in den letzten Jahren immer stärker an Bedeutung. Ein Vorteil dieser Architekturen liegt in der Spezialisierung der einzelnen Dienste und in der Flexibilität, mit der diese kombiniert werden können. Die Aufgabenteilung erleichtert die Konstruktion, Erweiterung sowie Änderung eines darauf aufbauenden Softwaresystems. Hierfür kann bspw. ein Dienst den Zugriff auf Geodaten für verschiedene geographische Regionen und Anwendungen stets in aktueller Form ermöglichen. Andere Dienste können diese Daten für eine weitere Nutzung aufbereiten, z.B. indem sie thematische Informationen sowie Gelände- und Stadtmodellldaten aus verschiedenen Quellen kombinieren. Die Visualisierung dieser Daten kann anschließend durch einen weiteren Dienst, z.B. einen Web Perspective View Service (WPVS), erfolgen.

In Kooperation mit Benjamin Hagedorn wurde für eine der entwickelten Techniken (Kap. 4) untersucht, welche Änderungen am Softwaredesign notwendig sind, um die Erzeugung einer annotierten perspektivischen Darstellung als Kette von Webservices zu implementieren [45]. Dazu wurde ein Web View Annotation Service (WVAS) entwickelt und mit einem WPVS kombiniert. Der WPVS musste dabei erweitert werden, um neben der bildlichen Information auch das für die Annotationstechnik notwendige Tiefenbild zu erzeugen. Abbildung 9.4 zeigt den Screenshot eines Webclients, der diese Service-Kette nutzt. Mit Hilfe eines Webbrowsers ist der Nutzer damit in der Lage, eine 3D-Szene inklusive Beschriftungen aus verschiedenen Sichten zu betrachten und bei Bedarf weitere Annotationen hinzuzufügen. Die bildbasierte Arbeitsweise der Annotationstechnik erwies sich aufgrund der vorhandenen Standards zur Datenübertragung von Bildern als Vorteil.

WPVS and WVAS Chaining Client

zoom in
 zoom out
 move focus
 insert anno

no annotations
 with annotations



You pointed at , .

Insert Annotation

Annotation text:
 Annotation context:
 Reference point:

Abbildung 9.4: Screenshot der Webservice Adaption des in Kapitel 4 vorgestellten Annotationsverfahrens (Quelle: [45]).

9.2 Ausblick

Die neu entwickelten Verfahren bieten eine Reihe von Konfigurationsparametern, mit denen sich das Erscheinungsbild der annotierten Darstellung beeinflussen lässt. Diese Parameter ermöglichen es den Anwendern, das Verhalten an subjektive Vorlieben, an einen gewünschten Stil oder an eine spezielle Anwendung anzupassen. Eine Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten erfolgte bisher basierend auf praktischen Erfahrungen. Zudem wird in Kapitel 8 auf mögliche Konflikte zwischen Annotationen und den in einer perspektivischen Abbildung vorhandenen Tiefenhinweisen hingewiesen. Die dadurch aufgeworfenen Fragestellungen bilden die Grundlage für weitergehende perzeptorische und kognitive Untersuchungen in Kooperation mit anderen Wissenschaftsdisziplinen. Eine der dabei zu untersuchenden Fragestellungen könnte sein, unter welchen Bedingungen Objektraum-basierte Techniken den bildbasierten Techniken nachweislich vorzuziehen sind.

Für die Einbettung von Annotationen in die 3D-Szene verwenden einige der entwickelten Verfahren generalisierte Repräsentationen von Gebäuden, wie Skelettpfade

oder Hüllkörper. Die Erzeugung dieser Objekte erfolgt für die bisherigen Szenen manuell. Für den zukünftigen Einsatz in großen und sich ständig aktualisierenden Geodatenbeständen sind automatisierte Verfahren zur Ableitung dieser Geometrien notwendig. Deren Entwicklung kann sich an einer Reihe von Techniken mit ähnlicher Problemstellung orientieren. So stellten Aicholzer et al. [2] ein Verfahren zur Berechnung von Skelettlinien aus Grundrissen vor, die zur automatisierten Generierung von Dachflächen verwendet werden. Verfahren zur Entfernung geometrischer Details, bei gleichzeitigem Erhalt der formgebenden Gestalt, wurden für allgemeine Objekte von Garland und Heckbert [32] und speziell für Gebäude von Kader [55] vorgestellt. Mit steigender Entfernung zu einzelnen Gebäuden ist auch eine Beschriftung von Objektgruppen, z.B. von Stadtbezirken, denkbar. Der Ansatz von Glander und Döllner [33] beschäftigt sich mit dieser Art von Generalisierung und orientiert sich bei der Gruppierung von Gebäuden am bestehenden Straßennetz.

Als zukünftiges Forschungsfeld bietet sich zudem die Umsetzung weiterer Annotationstechniken in Service-basierten Architekturen an. Hierbei stellen sich eine Reihe von Herausforderungen. Um eine Nutzung solcher Techniken über einen weiten Kreis von Diensten zu ermöglichen, sind Standards für den Austausch der für die Annotation benötigten Informationen zu entwickeln. Weiterhin ist zu untersuchen, ob diese Art von Diensten besser als eigener Service zu implementieren oder als Erweiterung bestehender Dienste umzusetzen ist. Ein separater Service erlaubt einen flexibleren Einsatz, wohingegen eine Erweiterung die zwischen den Diensten zu übertragende Datenmenge verringert. Die Nutzung von Annotationen zur Navigation in der Szene oder die Möglichkeit, Annotationen interaktiv zu modifizieren, sind mit weiteren Fragestellungen in Service-basierten Architekturen verbunden.

Literaturverzeichnis

- [1] AHN, John ; FREEMAN, Herbert: A Program for Automatic Name Placement. In: *Cartographica* 21 (1984), Nr. 2–3, S. 101–109
- [2] AICHHOLZER, O. ; AURENHAMMER, F. ; ALBERTS, D. ; GÄRTNER, B.: A Novel Type of Skeleton for Polygons. In: *Journal of Universal Computer Science* 1 (1995), Nr. 12, S. 752–761
- [3] AKENINE-MÖLLER, Tomas ; HAINES, Eric: *Real-Time Rendering (2nd Edition)*. A K Peters, Ltd., 2002. – ISBN 1–56881–182–9
- [4] ALI, Kamran ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Label Layout for Interactive 3D Illustrations. In: *WSCG (Journal Papers)*, 2005, S. 1–8
- [5] BACHFISCHER, Gerhard: Legibility and Readability - A Review of Literature and Research to Understand Issues Referring to Typography on Screens and Device Displays / University of Technology Sydney. Version: October 2005. <http://research.it.uts.edu.au/idwop/downloads/>. 2005 (ID-WoP.tech.report.05.01). – Forschungsbericht
- [6] BARRAULT, Mathieu ; LECORDIX, François: An Automated System for Linear Feature Name Placement which Complies with Cartographic Quality Criteria. In: *Proc. Auto-Carto 12*, ACSM/ASPRS, Bethesda, März 1995, S. 321–330
- [7] BÄUERLEIN, Johannes ; POKORSKI, Rafael ; MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Visualization Project of Roman Cologne - How to Make VR Models Available for Scientific Work. In: *Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*. Berlin, Germany, April 2007
- [8] BEKOS, Michael A. ; KAUFMANN, Michael ; SYMVONIS, Antonios ; WOLFF, Alexander: Boundary Labeling: Models and Efficient Algorithms for Rectangular Maps. In: *Computational Geometry: Theory and Applications* 36 (2006), Nr. 3, S. 215–236
- [9] BELL, Blaine ; FEINER, Steven: Dynamic Space Management for User Interfaces. In: *Proceedings of the 13th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)* Bd. 2. San Diego, CA, November 2000 (CHI Letters), S. 239–248

- [10] BELL, Blaine ; FEINER, Steven ; HÖLLERER, Tobias: View Management for Virtual and Augmented Reality. In: *Proceedings of the 14th ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, ACM Press, 2001. – ISBN 1-58113-438-X, S. 101–110
- [11] BERTIN, Jaques: *Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten*. Walter de Gruyter & Co., 1974. – ISBN 3-11-003660-6
- [12] BOHNET, Johannes ; DÖLLNER, Jürgen: Visual Exploration of Function Call Graphs for Feature Location in Complex Software Systems. In: *ACM Symposium on Software Visualization* ACM, ACM Press, September 2006, S. 95–104
- [13] BOHNET, Johannes ; DÖLLNER, Jürgen: Facilitating Exploration of Unfamiliar Source Code by Providing 2-1/2-D Visualizations of Dynamic Call Graphs. In: *4th International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis*, IEEE, June 2007, S. 63–66
- [14] BRENNER, Claus: Towards Fully Automated 3D City Model Generation. In: *Proceedings of the XIXth ISPRS Congress, volume XXXIII-B3 of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam, 2000, S. 85–92
- [15] BRENNER, Claus ; HAALA, Norbert: Fast Production of Virtual Reality City Models. In: FRITSCH, D. (Hrsg.) ; ENGLISH, M. (Hrsg.) ; SESTER, M. (Hrsg.): *ISPRS Commission IV Symposium on GIS - Between Visions and Applications* Bd. 32/4, 1998, S. 77–84
- [16] CHRISTENSEN, Jon ; MARKS, Joe ; SHIEBER, Stuart: An Empirical Study of Algorithms for Point-Feature Label Placement. In: *ACM Transactions on Graphics* 14 (1995), Nr. 3, S. 203–232
- [17] CUTTING, James E.: How the Eye Measures Reality and Virtual Reality. In: *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 1997, S. 27–36
- [18] CZERWINSKI, Angela ; SANDMANN, Stefan ; STÖCKER-MEIER, Elke ; PLÜMER, Lutz: Sustainable SDI for EU Noise Mapping in NRW - Best Practice for INSPIRE. In: *International Journal for Spatial Data Infrastructure Research* (2007), Nr. 1
- [19] DAICHES, Eli: Dynamic Map Labeling. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 12 (2006), Nr. 5, S. 773–780. – ISSN 1077-2626. – Ken Been and Chee Yap
- [20] DAMMANN, W.: *Griebens Reiseführer, Band 2, Der Harz, 29. Auflage*. Berlin W., Albert Goldschmidt, 1904-1905
- [21] DOERSCHLER, Jeffrey S. ; FREEMAN, Herbert: A Rule-based System for Dense-Map Name Placement. In: *Communications of the ACM* 35 (1992), Nr. 1, S. 68–79. – ISSN 0001-0782

- [22] DÖLLNER, Jürgen ; BAUMANN, Konstantin ; BUCHHOLZ, Henrik ; PAAR, Philip: Real-Time Virtual Landscapes in Landscape and Urban Planning. In: *GIS Planet 2005 - International Conference on Geographic Information, Estoril, Portugal, 2005*
- [23] DÖLLNER, Jürgen ; HINRICHS, Klaus: A Generic Rendering System. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 8 (2002), April, Nr. 2, S. 99–118
- [24] DÖRSCHLAG, Dirk ; PETZOLD, Ingo ; PLÜMER, Lutz: Placing Objects Automatically in Areas of Maps. In: *Proc. 23rd Internat. Cartographic Conf. (ICC'03)*. Durban, South Africa, 2003, S. 269–275
- [25] DOUGLAS, D.H. ; PEUCKER, T.K.: Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature. In: *Canadian Cartographer* 10 (1973), Nr. 2, S. 112–122
- [26] DRASCIC, David ; MILGRAM, Paul: Perceptual Issues in Augmented Reality. In: BOLAS, Mark T. (Hrsg.) ; FISHER, Scott S. (Hrsg.) ; MERRITT, John O. (Hrsg.): *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III* Bd. 2653, SPIE, 1996, S. 123–134
- [27] EBNER, Dietmar ; KLAU, Gunnar W. ; WEISKIRCHER, René: Force-Based Label Number Maximization / Institut für Computergraphik und Algorithmen, Technische Universität Wien. 2003 (TR-186-1-03-02). – Forschungsbericht
- [28] FELKEL, P. ; OBDRMALEK, S.: Straight Skeleton Implementation. In: *Proceedings of Spring Conference on Computer Graphics, Budmerice, Slovakia, 1998*, S. 210–218
- [29] FORMANN, Michael ; WAGNER, Frank: A Packing Problem with Applications to Lettering of Maps. In: *SCG '91: Proceedings of the 7th Annual Symposium on Computational Geometry*. New York, NY, USA : ACM, 1991. – ISBN 0-89791-426-0, S. 281–288
- [30] FURNAS, George W.: Generalized Fisheye Views. In: *CHI '86: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 1986. – ISBN 0-89791-180-6, S. 16–23
- [31] GABBARD, Joseph L. ; II, J. Edward S. ; HIX, Deborah ; LUCAS, John ; GUPTA, Divya: An Empirical User-based Study of Text Drawing Styles and Outdoor Background Textures for Augmented Reality. In: *VR '05: Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2005. – ISBN 0-7803-8929-8, S. 11–18, 317
- [32] GARLAND, Michael ; HECKBERT, Paul S.: Surface Simplification using Quadric Error Metrics. In: *SIGGRAPH '97: Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. New York, NY, USA :

- ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997. – ISBN 0–89791–896–7, S. 209–216
- [33] GLANDER, Tassilo ; DÖLLNER, Jürgen: Cell-Based Generalization of 3D Building Groups with Outlier Management. In: *ACM 15th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS)*, ACM Press, November 2007, S. 1–4
- [34] Google Earth, <http://earth.google.com/>, letzter Zugriff: 05.11.2008
- [35] Google Maps, <http://maps.google.com/>, letzter Zugriff: 05.11.2008
- [36] GOTTSCHALK, S. ; LIN, M.C. ; MANOCHA, D.: OBBTree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection. In: *Computer Graphics (Proc. of ACM SIGGRAPH 96)*, 1996, S. 171–180
- [37] GÖTZELMANN, Timo ; ALI, Kamran ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Form Follows Function: Aesthetic Interactive Labels. In: NEUMANN, László (Hrsg.) ; SBERT, Mateu (Hrsg.) ; GOOCH, Bruce (Hrsg.) ; PURGATHOFER, Werner (Hrsg.): *Computational Aesthetics*, Eurographics Association, 2005. – ISBN 3–905673–27–4, S. 193–200
- [38] GÖTZELMANN, Timo ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Agent-Based Annotation of Interactive 3D Visualizations. In: BUTZ, Andreas (Hrsg.) ; FISCHER, Brian (Hrsg.) ; KRÜGER, Antonio (Hrsg.) ; OLIVER, Patrick (Hrsg.): *6th Int. Symposium on Smart Graphics*. Vancouver, Canada : Springer Verlag, July 2006 (Lecture Notes in Computer Science 4073), S. 24–35
- [39] GÖTZELMANN, Timo ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Contextual Grouping of Labels. In: SCHULZE, Thomas (Hrsg.) ; HORTON, Graham (Hrsg.) ; PREIM, Bernhard (Hrsg.) ; SCHLECHTWEG, Stefan (Hrsg.): *SimVis*, SCS Publishing House e.V., 2006. – ISBN 3–936150–46–X, S. 245–258
- [40] GÖTZELMANN, Timo ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Annotation of Animated 3D Objects. In: SCHULZE, Thomas (Hrsg.) ; PREIM, Bernhard (Hrsg.) ; SCHUMANN, Heidrun (Hrsg.): *SimVis*, SCS Publishing House e.V., 2007. – ISBN 3–936150–50–8, S. 209–222
- [41] GREENE, Ned ; KASS, Michael ; MILLER, Gavin: Hierarchical Z-Buffer Visibility. In: *Computer Graphics 27* (1993), Nr. Annual Conference Series, S. 231–238
- [42] HAALA, Norbert ; BRENNER, Claus: Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54 (1999), Nr. 2-3, S. 130–137
- [43] HAALA, Norbert ; WALTER, Volker: Automatic Classification of Urban Environments for Database Revision using Lidar and Color Aerial Imagery. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* Bd. 32, Band 7-4-3W6, S. 76–82

- [44] HABER, Robert B. ; MCNABB, David A.: Visualization Idioms: A Conceptual Model for Scientific Visualization Systems. In: *Visualization in Scientific Computing*. 1990
- [45] HAGEDORN, Benjamin ; MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Chaining Geoinformation Services for the Visualization and Annotation of 3D Geovirtual Environments. In: *4th International Symposium on LBS and Telecartography*, 2007
- [46] HAKE, Günter ; GRÜNREICH, Dietmar ; MENG, Liqiu: *Kartographie: Visualisierung Raum-zeitlicher Informationen*. Walter de Gruyter, 2002. – ISBN 3110164043
- [47] HARTMANN, Knut ; ALI, Kamran ; STROTHOTTE, Thomas: Floating Labels: Applying Dynamic Potential Fields for Label Layout. In: BUTZ, A. (Hrsg.) ; KRÜGER, A. (Hrsg.) ; OLIVIER, P. (Hrsg.): *4th International Symposium on Smart Graphics* Bd. 3031, Springer-Verlag, May 2004 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 3-540-21977-3, 101-113
- [48] HARTMANN, Knut ; GÖTZELMANN, Timo ; ALI, Kamran ; STROTHOTTE, Thomas: Metrics for Functional and Aesthetic Label Layouts. In: BUTZ, Andreas (Hrsg.) ; FISHER, Brian D. (Hrsg.) ; KRÜGER, Antonio (Hrsg.) ; OLIVIER, Patrick (Hrsg.): *Smart Graphics* Bd. 3638, Springer, 2005 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 3-540-28179-7, S. 115-126
- [49] HINRICHS, Henrik: *Entwurf und Implementierung von Text-Rendering-Verfahren für interaktive, virtuelle 3D-Szenen*, Hasso-Plattner Institut, Universität Potsdam, Diplomarbeit, 2007
- [50] HIRSCH, Stephen A.: An Algorithm for Automatic Name Placement Around Point Data. In: *The American Cartographer* 9 (1982), Nr. 1, S. 5-17
- [51] HOLLINK, Laura ; SCHREIBER, Guus ; WIELEMAKER, Jan ; WIELINGA, Bob: Semantic Annotation of Image Collections. In: *In Workshop on Knowledge Markup and Semantic Annotation, KCAP'03*, 2003, S. 0-3
- [52] IMHOF: Positioning Names on Maps. In: *The American Cartographer* 2 (1975), Nr. 2, S. 128-144
- [53] ITURRIAGA, Claudia ; LUBIW, Anna: NP-Hardness of Some Map Labeling Problems / University of Waterloo, Canada. 1997 (CS-97-18). – Forschungsbericht
- [54] JUNG, Joo-Won ; CHWA, Kyung-Yong: Labeling Points with Given Rectangles. In: *Information Processing Letters* 89 (2004), Nr. 3, S. 115-121. – ISSN 0020-0190
- [55] KADA, Martin: 3D Building Generalisation. In: *22nd International Cartographic Conference*. La Coruña, Spain, 2005

- [56] KIRSCH, Florian: Entwurf und Implementierung eines computergraphischen Systems zur Integration komplexer, echtzeitfähiger 3D-Renderingverfahren. (2005)
- [57] KOLBE, T. H.: Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation. In: GARTNER, G. (Hrsg.): *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography*, 2004
- [58] KOLBE, Thomas H. ; GRÖGER, Gerhard ; PLÜMER, Lutz: CityGML - Interoperable Access to 3D City Models. In: OOSTEROM, Peter van (Hrsg.) ; ZLATANOVA, Sisi (Hrsg.) ; FENDEL, E.M. (Hrsg.): *Proceedings of the 1st International Symposium on Geo-Information for Disaster Management*, 2005
- [59] KOLBE, Thomas H. ; SCHULZ, Daniela ; PLÜMER, Lutz: 3D-Beschriftung von Wegevideos für die Fußgängernavigation. In: *Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie*, Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main, 2005. – ISBN 3-89888-794-4
- [60] KREVELD, Marc V. ; STRIJK, Tycho ; WOLFF, Alexander: Point Set Labeling with Sliding Labels. In: *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on Computational Geometry*, ACM, 1998, S. 337–346
- [61] LAPIDOUS, Eugene ; JIAO, Guofang: Optimal Depth Buffer for Low-Cost Graphics Hardware. In: *HWWS '99: Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS Workshop on Graphics Hardware*. New York, NY, USA : ACM Press, 1999. – ISBN 1-58113-170-4, S. 67–73
- [62] LARSON, Kevin ; DANTZICH, Maarten van ; CZERWINSKI, Mary ; ROBERTSON, George: Text in 3D: Some Legibility Results. In: *CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2000. – ISBN 1-58113-248-4, S. 145–146
- [63] MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Dynamic Annotation of Interactive Environments using Object-Integrated Billboards. In: JORGE, Joaquim (Hrsg.) ; SKALA, Vaclav (Hrsg.): *14-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, WSCG'2006*. Plzen, Czech Republic, Jan/Feb 2006, S. 327–334
- [64] MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Efficient View Management for Dynamic Annotation Placement in Virtual Landscapes. In: BUTZ, Andreas (Hrsg.) ; FISCHER, Brian (Hrsg.) ; KRÜGER, Antonio (Hrsg.) ; OLIVER, Patrick (Hrsg.): *6th Int. Symposium on Smart Graphics*. Vancouver, Canada : Springer Verlag, July 2006 (Lecture Notes in Computer Science 4073), S. 1–12
- [65] MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Ein Konzept zur dynamischen Annotation virtueller 3D-Stadtmodelle. In: *Kartographische Schriften - Aktuelle Entwicklungen in Geoinformation und Visualisierung, GeoVis06* Bd. 10. Potsdam, Germany : Kirschbaum Verlag, Bonn, April 2006, S. 19–26

- [66] MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Embedded Labels for Line Features in Interactive 3D Virtual Environments. In: *AFRIGRAPH '07: Proceedings of the 5th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualization, and Interaction in Africa*. New York, NY, USA : ACM, October 2007. – ISBN 978-1-59593-906-7, S. 53–59
- [67] MAASS, Stefan ; DÖLLNER, Jürgen: Seamless Integration of Labels into Interactive Virtual 3D Environments Using Parameterized Hulls. In: BROWN, P. (Hrsg.) ; CUNNINGHAM, D. W. (Hrsg.) ; INTERRANTE, V. (Hrsg.) ; MACCORMACK, J. (Hrsg.): *4th International Symposium on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging*. Lisbon, Portugal : Eurographics Association, June 2008, S. 33–40
- [68] MAASS, Stefan ; JOBST, Markus ; DÖLLNER, Jürgen: Depth Cue of Occlusion Information as Criterion for the Quality of Annotation Placement in Perspective Views. In: FABRIKANT, Sara I. (Hrsg.) ; WACHOWICZ, Monica (Hrsg.): *The European Information Society - Leading the Way with Geo-Information*, Springer, August 2007 (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography). – ISSN 1863-2246, S. 473–486
- [69] MAASS, Stefan ; JOBST, Markus ; DÖLLNER, Jürgen: Use of Depth Cues for the Annotation of 3D Geo-Virtual Environments. In: *XXIII International Cartographic Conference*. Moskau, Russia, August 2007
- [70] MAASS, Stefan ; TRAPP, Matthias ; KYPRIANIDIS, Jan E. ; DÖLLNER, Jürgen ; EICHHORN, M. ; POKORSKI, Rafael ; BÄUERLEIN, Johannes ; HESBERG, H. v.: Techniques For The Interactive Exploration Of High-Detail 3D Building Reconstruction Using The Example Of Roman Cologne. In: IOANNIDES, M. (Hrsg.) ; ADDISON, A. (Hrsg.) ; GEORGOPOULOS, A. (Hrsg.) ; KALISPERIS, L. (Hrsg.): *Proceedings of 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia VSMM 2008*, Archaeolingua, October 2008, S. 223–229
- [71] MACEACHREN, Alan M. ; EDSALL, Robert ; HAUG, Daniel ; BAXTER, Ryan ; OTTO, George ; MASTERS, Raymon ; FUHRMANN, Sven ; QIAN, Liujian: Virtual Environments for Geographic Visualization: Potential and Challenges. In: *Proceedings of the ACM Workshop on New Paradigms in Information Visualization and Manipulation*, 1999, S. 35–40
- [72] Map24 Germany, <http://www.de.map24.com/>, letzter Zugriff: 05.11.2008
- [73] MARKS, Joe ; SHIEBER, Stuart: The Computational Complexity of Cartographic Label Placement / Harvard University. 1991 (TR-05-91). – Forschungsbericht
- [74] MERRIAM-WEBSTER, Inc: *Merriam-Webster Online Dictionary*. <http://www.merriam-webster.com/dictionary/>, 2008
- [75] MILGRAM, Paul ; TAKEMURA, Haruo ; UTSUMI, Akira ; KISHINO, Fumio: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum.

- In: *SPIE Proceedings: Telemanipulator and Telepresence Technologies* Bd. 2351, 1994, S. 282–292
- [76] MÖLLER, Bernd: Could Landscape Intervisibility be a Suitable Criterion for Location of Wind Turbines? In: *10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Aalborg, Denmark, 2007*
- [77] MÜLLER, Gordon ; FELLNER, Dieter: Hybrid Scene Structuring with Application to Ray Tracing. In: *Proceedings of International Conference on Visual Computing*, 1999, S. 19–26
- [78] NIEMEYER, Patrick ; KNUDSEN, Jonathan: *Learning Java (3rd edition)*. O'Reilly, 2005. – ISBN 0–596–00873–2
- [79] NIENHAUS, Marc: *Real-Time Non-Photorealistic Rendering Techniques for Illustrating 3D Scenes and their Dynamics*, HPI, Universität Potsdam, Diss., 2006
- [80] PALMER, Stephen E.: *Vision Science, Photons to Phenomenology*. Cambridge, Massachusetts 02142 : MIT Press, 1999. – ISBN 0–262–16183–4
- [81] PETROVIC, Vid ; FALLON, James ; KUESTER, Falko: Visualizing Whole-Brain DTI Tractography with GPU-based Tuboids and LoD Management. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 13 (2007), Nr. 6, S. 1488–1495. – ISSN 1077–2626
- [82] PETZOLD, Ingo ; GRÖGER, Gerhard ; PLÜMER, Lutz: Fast Screen Map Labeling - Data-Structures and Algorithms. In: *Proc. 23rd International Cartographic Conference (ICC'03)*. Durban, South Africa, 2003, S. 288–298
- [83] *Kapitel 9*. In: PHAR, Matt: *GPU Gems 2*. Addison Wesley, 2005, S. 143–166
- [84] PREIM, Bernhard ; RAAB, Andreas ; STROTHOTTE, Thomas: Coherent Zooming of Illustrations with 3D-Graphics and Text. In: *Proceedings of the Conference on Graphics Interface '97*. Toronto, Ont., Canada : Canadian Information Processing Society, 1997. – ISBN 0–9695338–6–1, S. 105–113
- [85] RAIDL, Günther: A Genetic Algorithm for Labeling Point Features. In: *Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology (CISST'98)*. Las Vegas, NV, 1998, S. 189–196
- [86] REULKE, Ralf ; HAALA, Norbert: Tree Species Recognition with Fuzzy Texture Parameters. In: *LNCS: Combinatorial Image Analysis 3322/2005* (2004), S. 607–620. ISBN 978–3–540–23942–0
- [87] RITTER, Felix ; SONNET, Henry ; HARTMANN, Knut ; STROTHOTTE, Thomas: Illustrative Shadows: Integrating 3D and 2D Information Displays. In: *IUI '03: Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent User Interfaces*, ACM Press, 2003. – ISBN 1–58113–586–6, S. 166–173

- [88] ROESSEL, Jan W.: An Algorithm for Locating Candidate Labeling Boxes within a Polygon. In: *Proc. Auto-Carto 8*, 1987, S. 689–700
- [89] ROPINSKI, Timo ; PRASSNI, Jörg-Stefan ; ROTERS, Jan ; HINRICHS, Klaus: Internal Labels as Shape Cues for Medical Illustration. In: LENSCH, Hendrik P. A. (Hrsg.) ; ROSENHAHN, Bodo (Hrsg.) ; SEIDEL, Hans-Peter (Hrsg.) ; SLUSALLEK, Philipp (Hrsg.) ; WEICKERT, Joachim (Hrsg.): *VMV, Aka GmbH*, 2007. – ISBN 978-3-89838-085-0, S. 203–212
- [90] ROSS, Lutz ; KLEINSCHMIT, Birgit: Virtuelle 3D-Stadtmodelle im kommunalen Einsatz - Entwicklungen, Trends und Perspektiven. In: *Tagungsband zur 28. Jahrestagung der DGPF. 23.-26. April, Oldenburg*, 2008
- [91] ROST, Randi J.: *OpenGL Shading Language (2nd Edition)*. Addison Wesley, 2006. – ISBN 0-321-33489-2
- [92] SAITO, Takafumi ; TAKAHASHI, Tokiichiro: Comprehensible Rendering of 3-D Shapes. In: *SIGGRAPH Computer Graphics* 24 (1990), Nr. 4, S. 197–206. – ISSN 0097-8930
- [93] SCHULZ, Daniela: *3D-Beschriftung im Objektraum für die videobasierte Fußgängeravigation*. Bonn, Rheinische Friedrichs-Wilhelms-Universität, Diplomarbeit, Jul 2004
- [94] SCHUMANN, Heidrun ; MÜLLER, Wolfgang: *Visualisierung : Grundlagen und allgemeine Methoden*. Springer, Berlin, 2000. – ISBN 978-3540649441
- [95] SONNET, Henry ; CARPENDALE, Sheelagh ; STROTHOTTE, Thomas: Integrating Expanding Annotations with a 3D Explosion Probe. In: *AVI '04: Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, ACM Press, 2004. – ISBN 1-58113-867-9, S. 63–70
- [96] SPENCE, Robert: *Information Visualization*. ACM Press, Addison Wesley, 2001. – ISBN 0-201-59626-1
- [97] TRINKO, Christian: *Definitionen von Kartographie und Karte im Wandel der Zeit*. Seminar: Die Kartographie als Wissenschaft, Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien, http://homepage.univie.ac.at/wolfgang.kainz/Lehrveranstaltungen/Seminar/2008SS/Trinko_Text.pdf, letzter Zugriff: 06.11.2008, 2008
- [98] TU Berlin, Abt. IV Gebäude- und Dienstemanagement, <http://www.tu-berlin.de/karten/>, letzter Zugriff: 16.12.2008
- [99] WARE, Colin: *Information Visualization - Perception for Design*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000. – ISBN 1-55860-511-8
- [100] WOLFF, Alexander ; KNIPPING, Lars ; KREVELD, Marc van ; STRIJK, Tycho ; AGARWAL, Pankaj K.: A Simple and Efficient Algorithm for High-Quality

- Line Labeling. In: MARTIN, David (Hrsg.) ; WU, Fulong (Hrsg.): *Proc. GIS Research UK 7th Annual Conference (GISRUK'99)*. Southampton, 14–16 1999, S. 146–150
- [101] WOLFF, Alexander ; STRIJK, Tycho: *The Map Labeling Bibliography*. <http://liinwww.ira.uka.de/bibliography/Theory/map.labeling.html>, 2007
- [102] WOO, Mason ; NEIDER, Jackie ; DAVIS, Tom ; SCHREINER, Dave: *OpenGL Prorgamming Guide (3rd Edition)*. Addison Wesley, 1999. – ISBN 0–201–60458–2
- [103] YOELI, P.: The Logic of Automated Map Lettering. In: *The Cartographic Journal* 9 (1972), Nr. 2, S. 99–108
- [104] ZORASTER, Steven: Integer Programming Applied to the Map Label Placement Problem. In: *Cartographica* 23 (1986), Nr. 3, S. 16–27
- [105] ZORASTER, Steven: The Solution of Large 0–1 Integer Programming Problems Encountered in Automated Cartography. In: *Operations Research* 38 (1990), Nr. 5, S. 752–759. – ISSN 0030–364X

Abbildungsverzeichnis

1.1	Beispiele für die unzureichende Unterstützung geovirtueller 3D-Umgebungen durch Techniken zur automatisierten Platzierung von Annotationen	4
2.1	Illustration externer, interner und eingebetteter Annotationen.	8
2.2	Möglichkeiten der Positionierung von Beschriftungen lokaler Objekte in kartographischen Darstellungen.	11
2.3	Beispiel eines Verfahrens für die externe Beschriftung kartographischer Darstellungen (Quelle: [8]).	14
2.4	Beispiele von Annotationstechniken für interaktive 3D-Illustrationen, links: Platzierung von Annotationen in separat ausgewiesenen Bereichen der Bildebene (Quelle: [84]), rechts: Platzierung von Annotationen unter Verwendung eines projizierten Schattens (Quelle: [87]).	17
2.5	Beispiele von Annotationstechniken für interaktive 3D-Illustrationen, links: Selektion der darzustellenden Annotationen mit Hilfe einer virtuellen Sonde (Quelle: [95]), rechts: Ergebnis einer, mit Hilfe eines Potenzialausgleichverfahrens ausgeführten Optimierung des Layouts (Quelle: [47]).	17
2.6	Beispiele für unterschiedliche Layoutstile bei der automatisierten Platzierung von Annotationen illustrativer 3D-Darstellungen (Quelle: [4]).	18
2.7	Beispiele von Annotationstechniken für interaktive 3D-Illustrationen, links: in Gruppen angeordnete Beschriftungen (Quelle: [39]), rechts: Annotation der animierten Zylinder eines Motorblocks (Quelle: [40]). .	19
2.8	Beispiele für die Annotation geovirtueller Umgebungen, links: Bildraum-basierte Platzierung eines Campus-Modells (Quelle: [10]), rechts: Objektraum-basierte Annotation von Wegvideos (Quelle: [57]).	20
2.9	Beispiele für im Objektraum eingebettete Beschriftungen, links: Unterstützung der manuellen Beschriftung medizinischer 3D-Illustrationen (Quelle: [89]), rechts: an festen Positionen wiederholt eingebettete Beschriftungen in einer 3D-Visualisierung von Gehirnstrukturen (Quelle: [81]).	22
3.1	Illustration der Stufen der Visualisierungspipeline.	24

3.2	Illustration von im Bildraum und im Objektraum arbeitenden Annotationstechniken.	26
3.3	Modell der Rendering Pipeline.	28
3.4	Illustration verschiedener G-Buffer für eine 3D-Szene.	29
4.1	Illustration der vom Verfahren verwendeten Platzierungsstrategie. . . .	33
4.2	Händisch erzeugte Darstellung mit externen Beschriftungen für Gipfel einer Panoramaansicht des Brockens (Quelle: [20])	34
4.3	Platzierung der Annotationen A-D mit Hilfe der Bildraum-Management Variante A.	36
4.4	Platzierung der Annotationen A-D mit Hilfe der Bildraum-Management Variante B.	38
4.5	Beispiel für die Anwendung des Bildraum-Managements mit zusätzlichem Tiefentest.	39
4.6	Illustration der für den Test des Bildraum-Managements verwendeten Szene.	40
4.7	Vergleich der Platzierung von Beschriftungen mit und ohne Unterstützung des Bildraum-Managements.	40
5.1	Illustration eines Hüllkörpers für ein Fabrikgebäude.	44
5.2	Illustration von Skelettformen für verschiedene geometrische Modelle.	45
5.3	Illustration der für die Ausrichtung einer Annotation verwendeten Punkt- und Flächennormalen.	46
5.4	Visualisierung der für die Ausrichtung der Annotation verwendeten Normalen.	47
5.5	Illustration verschiedener Varianten von Kollisionen zwischen Annotation und Gebäude.	48
5.6	Mit Hilfe der vorgestellten Technik eingebettete Beschriftungen im Campus-Modell.	49
5.7	Illustration des dynamisches Verhaltens des vorgestellten Verfahrens.	50
6.1	Illustration der, bei einer eingebetteten Beschriftung linearer Objekte in perspektivischen Ansichten, zu lösenden Probleme.	52
6.2	Verschiedene Möglichkeiten der Verteilung von Abtastpunkten zur Approximation der Sichtbarkeit.	54
6.3	Illustration der Lesbarkeit von teilweise verdecktem Text.	54
6.4	Illustration des Konfliktraums für die Platzierung von Beschriftungen auf zwei sich kreuzenden linearen Objekten.	57
6.5	Anwendung des Verfahrens mit einem virtuellem 3D-Stadtmodell.	59
6.6	Vergleich der vorgestellten Platzierungsstile für die Einbettung entlang linearer Objekte.	59
7.1	Generalisierung von Gebäuden durch eine Rechteckshülle.	63
7.2	Generalisierung eines Gebäudes durch eine Zylinderhülle.	63
7.3	Generalisierung eines Gebäudes durch eine Grundrisshülle.	64

7.4	Illustration der für die Bewertung der Sichtbarkeit einer Einbettungsposition verwendeten Distanzfelder.	68
7.5	Illustration der Iterationsmuster für die Evaluation der Abtastpunkte.	69
7.6	Anwendung der Technik zur eingebetteten Beschriftung von Gebäuden in einem virtuellen 3D-Stadtmodell.	71
8.1	Beispiele für Konflikte zwischen korrekter Verdeckung und Sichtbarkeit.	75
8.2	Mögliche Lösungsansätze für die Annotation eines verdeckten Referenzpunktes.	76
8.3	Illustration möglicher Konflikte zwischen linearer Perspektive und der Nutzung der Schriftgröße als graphische Variable.	77
8.4	Angedeutete und perspektivisch korrekte Einbettung einer Beschriftung.	77
8.5	Verwendung eines stilisierten Schattenwurfs zur Hervorhebung einer Annotation. (Quelle: [35])	78
8.6	Beispielabbildungen aus der Nutzerstudie.	80
8.7	Beispiele für die Störung des perspektivischen und ästhetischen Eindrucks durch externe Annotationen.	83
9.1	Screenshot des CGA Systems mit verdeckungsfrei platzierten Beschriftungen (Quelle: [13]).	87
9.2	Screenshot des im Bachelorprojekt RiSO entwickelten Systems.	88
9.3	Annotation von Gebäuden im Projekt „Visualisierung Römisches Köln“.	89
9.4	Screenshot der Webservice Adaption des in Kapitel 4 vorgestellten Annotationsverfahrens (Quelle: [45]).	90
A.1	Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H1.	107
A.1	Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H1 (Fortsetzung).	108
A.2	Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H2.	108
A.2	Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H2 (Fortsetzung).	109
A.3	Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H3.	110
A.3	Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H3 (Fortsetzung).	111

ANHANG A

Für die Nutzerstudie verwendete Abbildungen

Abbildungen für Hypothese H1

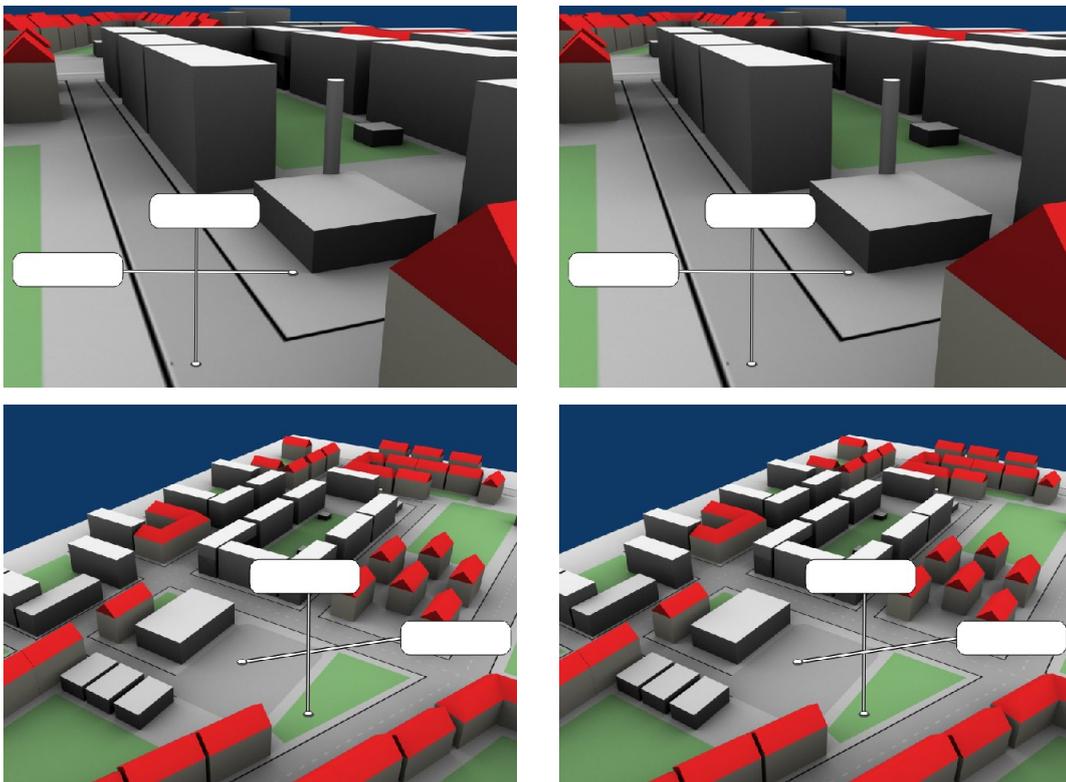


Abbildung A.1: Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H1.

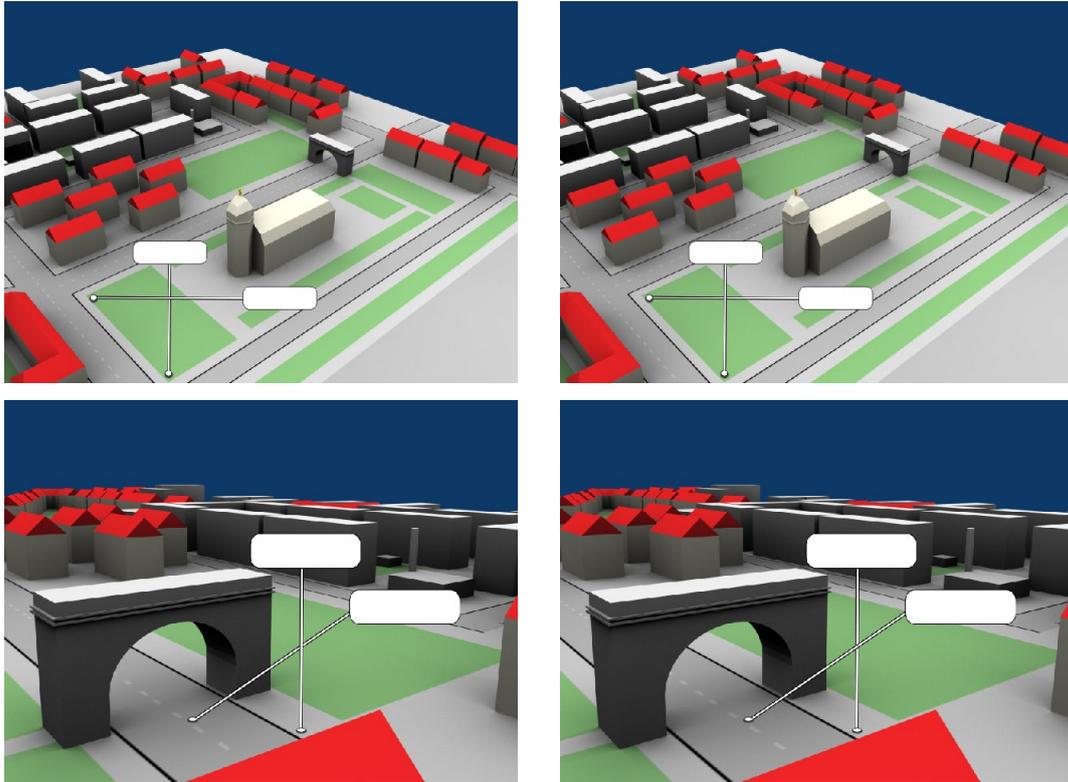


Abbildung A.1: Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H1 (Fortsetzung).

Abbildungen für Hypothese H2

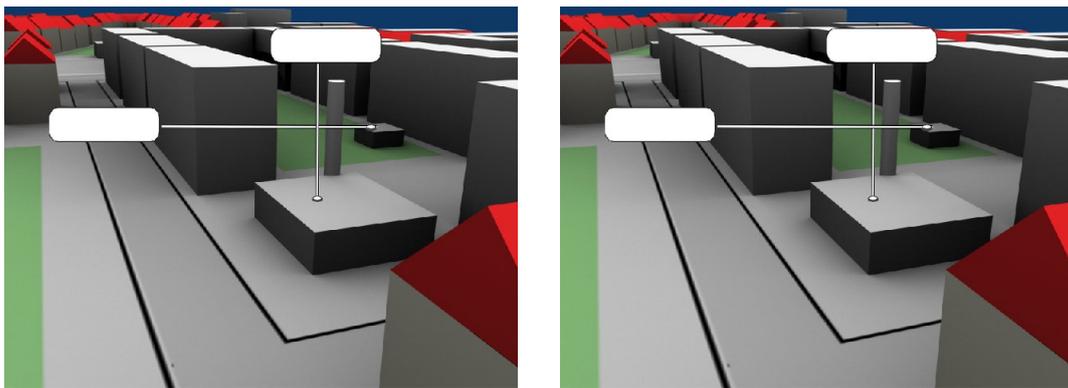


Abbildung A.2: Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H2.

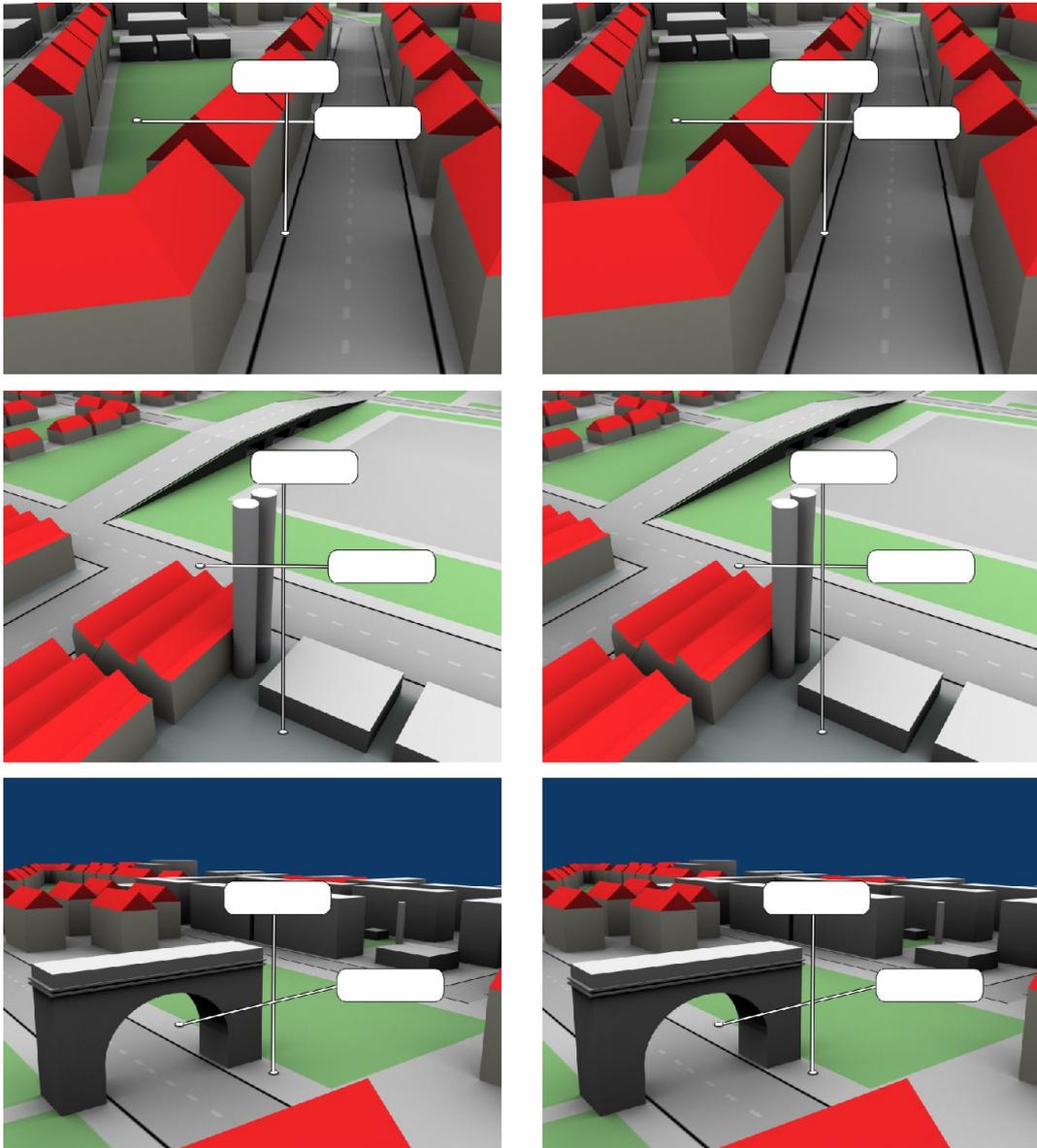


Abbildung A.2: Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H2 (Fortsetzung).

Abbildungen für Hypothese H3

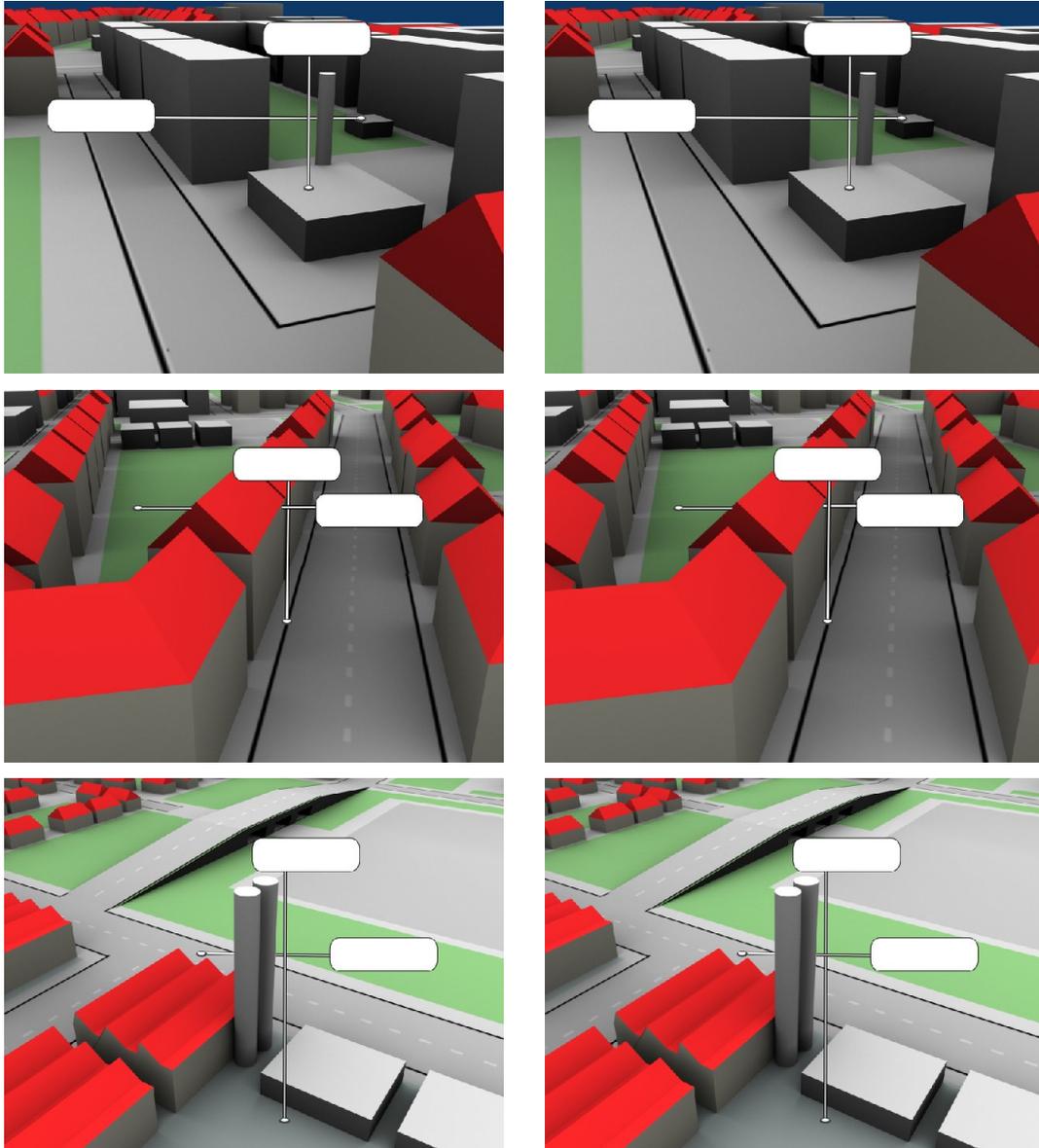


Abbildung A.3: Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H3.

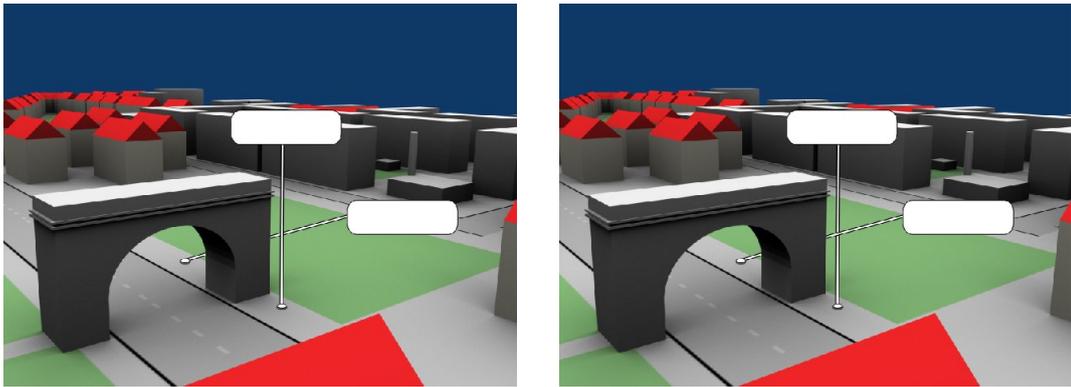


Abbildung A.3: Abbildungen für die Überprüfung der Hypothese H3 (Fortsetzung).

Erklärung der Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie die Zitate deutlich kenntlich gemacht zu haben.

Potsdam, den 7. Januar 2009

Stefan Maaß