

Nutzung von Geodaten zur Visualisierung geospezifischer Übungsszenarien in Trainingssimulatoren

FRANK BILDSTEIN¹

Die von der Game-branche forcierte Entwicklung immer leistungsfähigerer Graphikkarten und dazugehöriger Graphik-Engines ermöglicht PC-basierte 3D-Echtzeitdarstellungen, wie sie für die Visualisierung von komplexen Simulationsanwendungen benötigt werden. Dieser Beitrag zeigt auf, welche Trainingsmöglichkeiten sich daraus in Verbindung mit aktuell verfügbaren Geodaten ergeben. Durch geschickte Kombination von Game-Engine-Technologien, 3D-Modellierverfahren, GIS-Daten und simulations-spezifischen Terraingeneratoren lassen sich mit Hilfe von 2D- und 3D-Geodaten in allen Trainingsdisziplinen hochdetaillierte 3D-Landschaftsszenarien erzeugen.



Abb. 1: Geospezifische Fahrsimulator-Datenbasis „Zürich“ (Screenshot vom Sichtsystem DISI¹-Xtreme)

1 Einleitung

Die Nutzung von 3D-Visualisierungen und Simulatoren hat sich in nahezu allen Bereichen der Lehre und in der Aus- und Weiterbildung erfolgreich etabliert. Neben der Frage der technologischen Machbarkeit stellt sich für einen Hersteller simulationsbasierter Trainings- und Ausbildungssysteme auch die Frage nach der Wirtschaftlichkeit und dem tatsächlichen Ausbildungsnutzen durch diese Systeme.

1) Rheinmetall Defence Electronics GmbH, Brüggeweg 54, 28309 Bremen, E-Mail: frank.bildstein@rheinmetall.com

¹ DISI = Digitales Sichtsystem

In diesem Beitrag werden insbesondere Trainingssimulatoren zur Ausbildung von Fahrzeugführern, Piloten und Kapitänen betrachtet. Die Ausbildungsziele, die mit dem Einsatz solcher Trainingssimulatoren erreicht werden sollen, sind vielfältig und erstrecken sich von der Handhabung von Bedienelementen und Fahrzeugausstattungen, dem Erlernen fahrerischer Grundkenntnisse, dem Erwerb von Orts- und Streckenkenntnissen, der frühzeitigen und richtigen Einschätzung schwieriger Verkehrssituationen auch unter Stresssituationen, bis hin zum Trainieren komplexer taktischer Fahr- und Einsatzmanöver im Fahrzeugverbund.

Unabhängig vom jeweiligen Anwendungsbereich – ob zu Wasser, zu Land oder in der Luft – benötigen die Trainees eine Visualisierung ihrer virtuellen Trainingsumgebung, die ihnen eine realistische Einschätzung der Trainingssituation ermöglicht. In den meisten Fällen sind dies realitätsgetreue Nachbildungen real existierender Gelände und Einrichtungen. Es kann sich aber auch um fiktive Trainingsgelände handeln, die aus didaktischen Aspekten mit den Ausbildern neu gestaltet werden. Im Simulations-Fachjargon werden diese virtuellen Trainingsszenarien als „Datenbasis“ bezeichnet.

Zwei wesentliche Entwicklungen beeinflussen aktuell die Erstellung dieser Datenbasen: zum einen die zunehmende Verfügbarkeit hoch präziser, detaillierter, standardisierter und aktueller 2D- und 3D-Geodaten und andererseits die von der Game-Branche forcierte Entwicklung immer leistungsfähigerer PC-Graphikkarten, die es erlaubt, hoch detaillierte Landschaftsszenarien mit immer höheren Realitätsgraden darzustellen. Beide Entwicklungen ermöglichen in zunehmendem Maße die Echtzeitdarstellung geospezifischer Gelände für Trainingssimulatoren.

Dieser Beitrag zeigt anhand aktueller Simulationsvorhaben, mit welchen Tools und Workflows sich solche geospezifische Datenbasen erstellen lassen. Es wird dargestellt, welche simulationsspezifischen Anforderungen sich für aktuelle und zukünftige 3D-Geodatenstandards ergeben. Anhand zahlreicher Beispiele wird verdeutlicht, wie sich Game Engine Middleware erfolgreich in die Welt der Sichtsysteme für interaktive Simulatoren migrieren lässt und welche visuelle Qualität sich dadurch auch bei Echtzeitdarstellungen erzielen lässt.

2 Trainingssimulatoren

Der Geschäftsbereich „Simulation und Ausbildung“ der Rheinmetall Defence Electronics GmbH in Bremen erstellt kundenspezifische Ausbildungssimulatoren für zahlreiche Anwendungsfelder wie Flugsimulatoren, Schiffssimulatoren und Fahrsimulatoren sowie militärische Simulatoren.

Ein Simulator besitzt als Kernbestandteil die Nachbildung einer Fahrerkabine bzw. einer Schiffsbrücke oder eines Flugzeugcockpits. Je nach gewünschtem Realitätsgrad agiert der Trainee entweder am Originalgerät oder an einer generischen Nachbildung. Ein Pilot erwartet beispielsweise ein exaktes Replikat des flugzeugspezifischen Cockpits; für das PKW-Fahrtraining reicht oftmals ein generisches Cockpit mit den wichtigsten Bedienelementen. Die Kabine kann auf ein Bewegungssystem montiert werden, welches realistisch die fahrdynamischen Bewegungen der Kabine nachbildet.

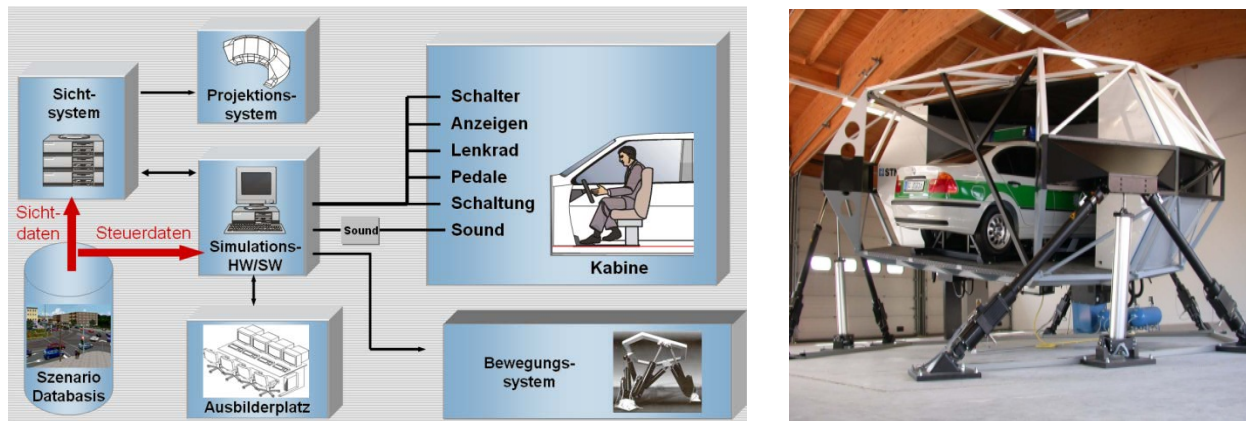


Abb. 2: Wesentliche Module eines Trainingssimulators (links) und Beispiel eines Fahrsimulators (rechts)

Die Kabine ist umgeben von einer Projektionswand, auf der das Szenario dargestellt wird. Der Ausbilder lädt am Ausbilderplatz vordefinierte Übungen, überwacht von dort das Simulatortraining und kann auf das Übungsgeschehen jederzeit Einfluss nehmen, z. B. kann er Umweltparameter wie Tageszeit, Wetter und Verkehrsdichten einstellen. Außerdem kann er bestimmte Ereignisse im Szenario oder Fehlfunktionen des Eigenfahrzeugs auslösen. Die Simulationssoftware koordiniert alle Simulator-Komponenten und schreibt das Übungsszenario abhängig von den Vorgaben des Ausbilders und den Aktionen des Trainees kontinuierlich fort.

Das Sichtsystem erzeugt nach diesen Vorgaben zur Laufzeit des Simulators die visuelle Darstellung der aktuellen Szene. Um eine für den Trainee ruckfreie Darstellung zu gewährleisten, müssen kontinuierlich 60 Bilder pro Sekunde gerechnet dargestellt werden. Alle visuellen Informationen, die das Sichtsystem zur Berechnung der Szenerie benötigt, liegen in einer sogenannten Datenbasis vor, einschließlich aller Meta-Informationen, die von anderen Simulationsmodulen benötigt werden, z. B. für das Schalten von Signalen, die Generierung von Untergrund-abhängigen Fahrgeräuschen, das Berechnen von Verkehrsszenarien usw..

In der Übungsnachbereitung lässt sich eine gefahrene Übung in allen Einzelheiten rekonstruieren; Ausbilder und Trainee können beispielsweise anhand von Orts- und Zeitmarken bestimmte Übungssituationen aufrufen und diese aus verschiedenen Perspektiven betrachten und nachbesprechen.

3 Datenbasis

Größe, Lage und inhaltliche Ausgestaltung einer Datenbasis werden dadurch geprägt, welche Trainingsziele mit dem Einsatz des Trainingssimulators vermittelt werden sollen. Deshalb wird die Datenbasis üblicherweise mit dem Ausbildungspersonal des Kunden zusammen spezifiziert. Bei der Spezifikation werden neben den Ausbildungsanforderungen auch die technischen Randbedingungen und das zur Verfügung stehende Budget berücksichtigt. In dieser Phase wird bereits auch betrachtet, welche Quelldaten verfügbar sind. Sollen geospezifische (d. h. real existierende) Gelände nachgebildet werden, hängen Realisierbarkeit, Qualität und daraus resultierende Aufwände und Kosten der Datenbasiserstellung stark davon ab, welche 2D- bzw. 3D-Geodaten in Form von Rasterdaten und vektoriiellen Bedeckungsdaten verfügbar sind.

Abhängig von den Ausbildungszielen wird zunächst festgelegt, ob ein geospezifisches Gelände oder ein fiktives Gelände besser geeignet ist. Manchmal sind Mischformen die beste Wahl: zum Beispiel ein geospezifisches Gelände, das aus taktischen Gründen an ausgewählten Stellen modifiziert wird. Oder es werden mehrere kleine geospezifische Gebiete zu einem fiktiven Netzwerk verbunden. Auch lassen sich geplante Bauvorhaben im Simulator in eine reale Szene integrieren, um die geplanten Änderungen vorab zu verifizieren.

Einen Überblick über typische Größen und Inhalte von Datenbasen gibt die folgende Tabelle:

Anwendungsfeld	Größe	Inhaltliche Anforderungen
Fahrdatenbasis	Streckennetze mit 50 bis 100 km	Präzise Straßen/Schienen, Kreuzungen, Plätze, Fahrspuren, Geh-/Radwege usw., Beschilderung, Markierungen, Signale, Gebäude, Vegetation, Möblierung
Indoor-Simulation, MOUT ²	Wenige qkm	Detaillierte Gebäude (Außen- und Innenansicht), Innenräume, Treppenhäuser, Installationen, funktionale Eigenschaften
Landgestützte Simulation	Einige hundert qkm	Landschaften mit typischen Ortschaften, Vegetation, Gewässer, Transportwege, Landmarks; Korrelation zur Landkarte
Flugsimulation	Einige tausend qkm	Allgemein: Landnutzung, Flüsse, Seen, Vegetation, Urbane Gebiete Flugspezifisch: Landmarks, Nav aids, Hindernisse, Insets für Flughafen, Landeplätze; Korrelation zur Flugkarte
Nautik-Simulation	Einige tausend qkm	Allgemein: Landnutzung, insbesondere Gewässer, Küsten, Ufer, Landmarks Nautik-spezifisch: Befahrbarkeit, Ufer, Brücken, Signale und Insets für Häfen, Plattformen; Korrelation zur Seekarte

Tab. 1: Typische Merkmale von Datenbasen nach Anwendungsfeldern

Neben dem Grundgelände umfasst die Datenbasis auch einen Pool mit 3D-Objekten, die zur Möblierung des Geländes verwendet und darauf statisch plaziert werden. Außerdem die dynamischen Modelle wie Fahrzeuge und Effekte, die erst während der Simulation vom Ausbilder oder Simulationsrechner ins Szenario eingebracht werden, um damit bestimmte Übungen durchzuführen oder das Szenario zu beleben. Neben der geometrischen 3D-Darstellung umfasst die Datenbasis für alle Objekte auch Fototexturen, die als Bildinformation auf die Gelände- und Objektflächen gelegt werden, um einen fotorealistischen Gesamteindruck zu erzielen.

Zusätzlich zu den Geometrien und Texturen, die primär der visuellen Darstellung dienen, beinhaltet die Datenbasis noch Metainformationen zum Gelände und zu den Objekten, die von anderen Simulator-Komponenten benötigt werden. Diese Steuerdaten umfassen unter anderem

² MOUT=Military Operations in Urban Terrain (Orts- und Häuserkampf)

Materialinformationen zum Untergrund, um Untergrunds-abhängig das passende Fahrgeräusch zu generieren, Fahrspurinformationen zur Darstellung realistischer Verkehrsszenarien und vereinfachte Kollisionskörper zur schnelleren Detektion von Kollisionen des Eigenfahrzeuges mit Geländeobjekten.

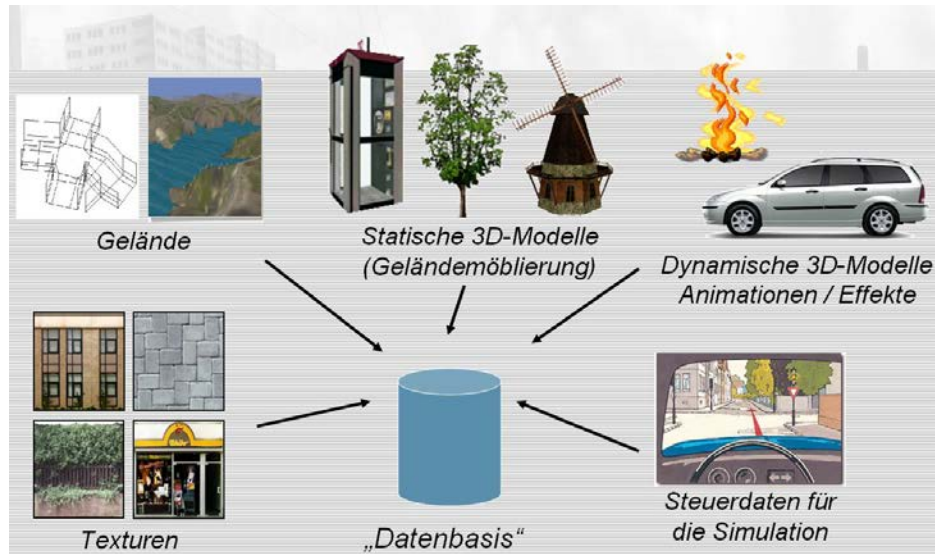


Abb. 3: Wesentliche Elemente einer Datenbasis

Für viele Aufgabenstellungen ist es nicht zwingend erforderlich, geospezifische Übungsgelände nachzubilden. Für das Grundlagentraining, um Bedienelemente eines Fahrzeugs kennenzulernen, um Fahrmanöver zu praktizieren, um wiederkehrende Abläufe wie Haltestellenabfertigungen und Parkmanöver zu trainieren oder um sich mit den Regeln und Vorschriften als Fahrzeugführer vertraut zu machen, ist ein fiktives, nach didaktischen Gesichtspunkten gestaltetes Übungsgebiet oftmals sogar besser geeignet.

Geospezifische Datenbasen kommen zum Einsatz, wenn mit der Ausbildung auch Ortskenntnisse erworben bzw. vertieft werden sollen. Der Straßenbahnfahrer beispielsweise kann damit auf seinen Einsatz für eine reale Linie vorbereitet werden, lernt dabei eine konkrete Tour mit ihren Haltestellen, Besonderheiten und Gefahrenpunkten kennen. Fortgeschrittenes Training mit anspruchsvollen Ausbildungszielen wie beispielsweise das Üben von taktischen Manövern erfordert ebenfalls geospezifische Szenarien, um Trainees auf reale Missionen vorzubereiten oder um reale Missionen im Simulator noch einmal durchzuspielen, um somit das praktizierte Vorgehen zu überprüfen und gegebenenfalls alternative Vorgehensweisen auszutesten.

Insbesondere in diesen Fällen, wo Simulationsanwendungen im Kontext der Vor- und Nachbereitung konkreter realer Einsätze angewendet werden, kommt der Verfügbarkeit entsprechend detaillierter, korrekter und aktueller Geodaten eine immense Bedeutung zu. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick, welche Geodaten derzeit in den verschiedenen Disziplinen verwendet werden:

Anwendungsfeld	Geeignete Quelldaten
Fahrdatenbasis	CityGML (LOD 2 und LOD 3), 3D-Landmarkmodelle, detaillierte Geländemodelle, detaillierte Straßenpläne, Navigationsdaten, Straßenmarkierungen (Vektor/Raster), Positionen von Verkehrszeichen und Signalen, Kurvenbänder und CAD-Daten von Verkehrsbetrieben,
Indoor-Simulation, MOUT	CityGML (LOD 3 und insbesondere LOD 4), CAD-Daten, IFC-Daten, Gelände-/Höhenmodell, detaillierte Vektor-/Rasterdaten
Landgestützte Simulation	Gelände-/Höhenmodell, Bedeckungsdaten (Vektor / Raster), Landnutzungsdaten, ggf. CityGML (LOD 2 und LOD 3) für Ortschaften, 3D Landmarks, Stromleitungen/-masten
Flugsimulation	Gelände-Höhenmodell, Bedeckungsdaten (Vektor / Raster), Landnutzungsdaten, Anflugkarten, Flughindernisse, Stromleitungen/-masten, Navigationshilfen, 3D-Landmarks, CityGML für Überflugbereiche und im Anflugbereich, CAD-Daten von Flughafengebäuden, Flughafenpläne
Nautik-Simulation	Digitale Seekarten, Höhenmodell, Gewässertiefen, Bedeckungsdaten (Vektor / Raster), Landnutzungsdaten, Hafenpläne, CityGML (für Küstenbereiche, Hafenbereiche, Stadtkulissen) CAD-Daten von Bauwerken, Hafen-Einrichtungen, Offshore-Plattformen

Tab. 2: Quelldatenbedarf nach Anwendungsfeldern

Die Quelldaten sollten aktuell sowie inhaltlich korrekt und vollständig sein. Sie sollten möglichst in standardisierten Formaten vorliegen. Bezüglich der 3D-Daten ist es von Vorteil, wenn diese neben der Geometrie auch Texturen beinhalten und in verschiedenen Detaillierungsgraden vorliegen. Für die Beschaffung der Quelldaten ist es hilfreich, wenn man die Verfügbarkeit anhand von Katalogdiensten mit orts- bzw. regionsbezogenen Suchen überprüfen kann.

4 Vom Digitalen Sichtsystem (DISI®) zum DISI-Xtreme®

Als Digitales Sichtsystem bezeichnet man das bilderzeugende Modul im Simulator. Noch vor einigen Jahren waren dies spezielle Hardware- und Softwaresysteme, die ganze Rechnerschränke füllten. Heutzutage nutzen die meisten Sichtsysteme leistungsfähige PC-Graphikkarten, deren Entwicklung durch die Game-Branche in den letzten Jahren massiv vorangetrieben wurde.

Neben der Graphik-Hardware bedarf es einer speziellen Sichtsystemsoftware, die mit Hilfe der Datenbasis und des vom Simulationsrechner erzeugten Simulationsszenarios das aktuelle Bild berechnet, das der Trainee im Simulator angezeigt bekommt. Um eine flüssige Bilddarstellung mit konstanten 60 Hz sicherzustellen, stehen für diese komplexe Berechnung nur etwa 16 ms zur Verfügung. Für jedes Bild („Frame“) wird das Szenario komplett neu gerechnet - unter

Berücksichtigung aller Faktoren, die das Bild beeinflussen, wie die Positionen aller Übungsteilnehmer, Tageszeit, Sonnenstand, Schatten, Verdeckungen, Transparenz usw.

Um die Leistungsfähigkeit der Graphikhardware voll auszuschöpfen, müssen sowohl die Sichtsystemsoftware als auch die Datenbasis optimal auf die Hardware abgestimmt werden. Sowohl Programmierung als auch Modellierung erfordern ein tiefes Verständnis der auf den Graphikkarten ablaufenden Prozesse.

Im Jargon der Game-Branche wird die Sichtsystemsoftware als „Graphik-Engine“ bezeichnet. Einige dieser Graphik-Engines sind mittlerweile auch als Middleware kommerziell verfügbar. Rheinmetall Defence hat sich nach einer intensiven Marktrecherche dafür entschieden, seine neue Sichtsystem-Generation „DISI-Xtreme“ auf Basis der von der Fa. Havok entwickelten „Vision“-Engine zu realisieren.

Wesentlicher Grund für den Einsatz dieser Graphik-Engine ist die Fähigkeit der Vision-Engine, optisch ansprechende, realitätsgetreu gestaltete 3D-Landschaften mit hohem Detailreichtum und beeindruckenden Effekten in Echtzeit zu visualisieren. Gleichzeitig erhofft man sich Vorteile durch Mitnutzung des umfangreichen Game-Zulieferermarktes und eine engere Kopplung an zukünftige Weiterentwicklungen im Game-Bereich. Um die „Vision“-Engine für die Simulationsanwendungen querschnittlich nutzbar zu machen, wurde sie von Rheinmetall Defence und Havok gemeinsam auf die spezifischen Belange der Simulation angepaßt und erweitert.

So verwenden die meisten Computerspiele kleinräumige, fiktive Szenarien, die größtenteils in aufwendiger Handarbeit modelliert werden. Für Simulationsanwendungen bedarf es aber in den meisten Fällen weitaus größerer Szenarien. Diese müssen zum einen handhabbar und darstellbar sein, andererseits müssen sich möglichst automatisiert und effizient aus realen Quelldaten generieren lassen.

Auch sind Computerspiele in der Regel für die Ausgabe auf einem Monitor konzipiert – in Simulatoren kommen hingegen meist mehrkanalige Darstellungen auf großflächigen Projektionsflächen zum Einsatz. Anders als in vielen Spielen, die primär Entertainment-Zwecken dienen, müssen Wettereffekte, Umwelthänomene und Sensorsichten in der Simulation möglichst korrekt dargestellt werden, da sie wesentliche Bestandteile der Ausbildung sind. Zudem muss die Graphik-Engine mit einem Simulator-Interface ausgestattet werden, um sie flexibel in variierenden Simulationsumgebungen einsetzen zu können. Schließlich bedarf es der Implementierung zusätzlicher Mission Functions; wie beispielsweise Line-of-Sight-Berechnungen.

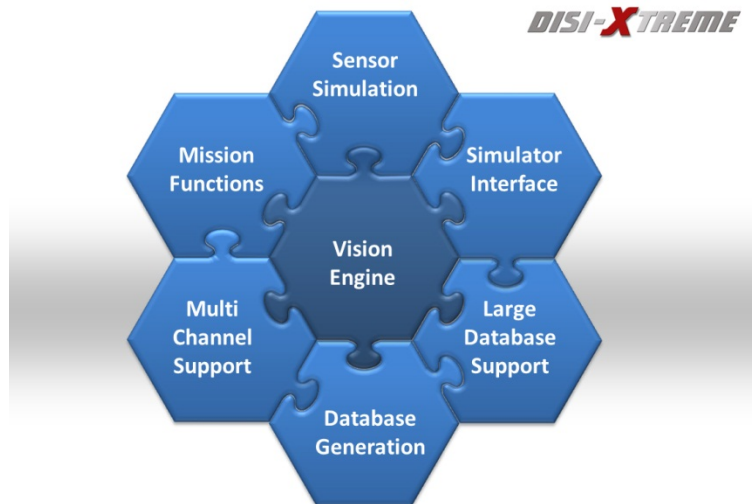


Abb. 4: Von der Game Engine zum Sichtsystem

5 Datenbasis - Generierworkflow

Der Datenbasis-Generierworkflow ist ein komplexer Prozess und wird für jedes Kundenprojekt individuell festgelegt. Die Entscheidung über Tools und Verfahren erfolgt abhängig von mehreren Einflussgrößen; wichtige Faktoren sind das zum Einsatz kommende Sichtsystem und die verfügbaren Quelldatenformate. Die Sichtsysteme nutzen in vielen Fällen ein vorgegebenes, in einigen Fällen sogar proprietäres Datenbasisformat: am Ende des Generierprozesses muss dann ein entsprechendes Tool verwendet werden, das dieses spezielle Format erzeugen kann. Im vorderen Teil des Generierprozesses prägen die Quelldaten die Entscheidung, welche Tools erforderlich sind: je nach Zielsetzung und Datengrundlage kommen neben 3D-Modelliertools dann auch geeignete GIS-, CAD- und Bildbearbeitungsprogramme zum Einsatz.

Im Folgenden wird der Generierworkflow am Beispiel der neuen Sichtsystemgeneration DISI-Xtreme aufgezeigt.

3D-Objekte, wie Bäume oder Gebäude, werden mit Hilfe kommerzieller 3D-Modelliertools erstellt. Die fotorealistische Darstellung dieser Objekte wird durch Texturen erreicht. Um das 3D-Modell im Simulator nutzbar zu machen, wird es für das jeweilige Sichtsystem konfiguriert und mit den für den jeweiligen Simulationsrechner erforderlichen Steuerdaten versehen.

Um die Geländegenerierung – insbesondere auch für großräumige Gelände - handhabbar und effektiver zu gestalten, wurden über die letzten Jahrzehnte in der Simulationsbranche zahlreiche Geländegeneriertools entwickelt; mit der Zielsetzung, 3D-Gelände durch Nutzung verfügbarer Geodaten weitgehend automatisiert zu erzeugen.

Üblicherweise werden die Geodaten dabei zunächst für den jeweiligen Anwendungszweck aufbereitet: die Daten werden als erstes für das gewünschte Gebiet zugeschnitten, dann in das Zielkoordinatensystem überführt und auf die relevanten thematischen Layer reduziert. Danach werden die Daten geprüft bzw. korrigiert und den simulations- und projektspezifischen Bedürfnissen angepasst. In einer zweiten Phase werden dann Regeln definiert, um aus den aufbereiteten Geodaten das 3D-Gelände einschließlich seiner Bedeckung zu generieren. Beispielsweise definieren die Regeln, ob ein Raster- oder ein TIN-Gelände erzeugt werden soll, ob Flüsse in das Gelände eingeschnitten oder flach aufgelegt werden sollen und auf welches 3D-Objekt ein bestimmtes Vektor-Punktfeature abgebildet werden soll.

Die Regeln greifen auf umfangreiche Template-Bibliotheken zurück, in der 3D-Repräsentationen für alle vorkommenden Punkt-, Linien- und Flächenfeatures vorliegen.

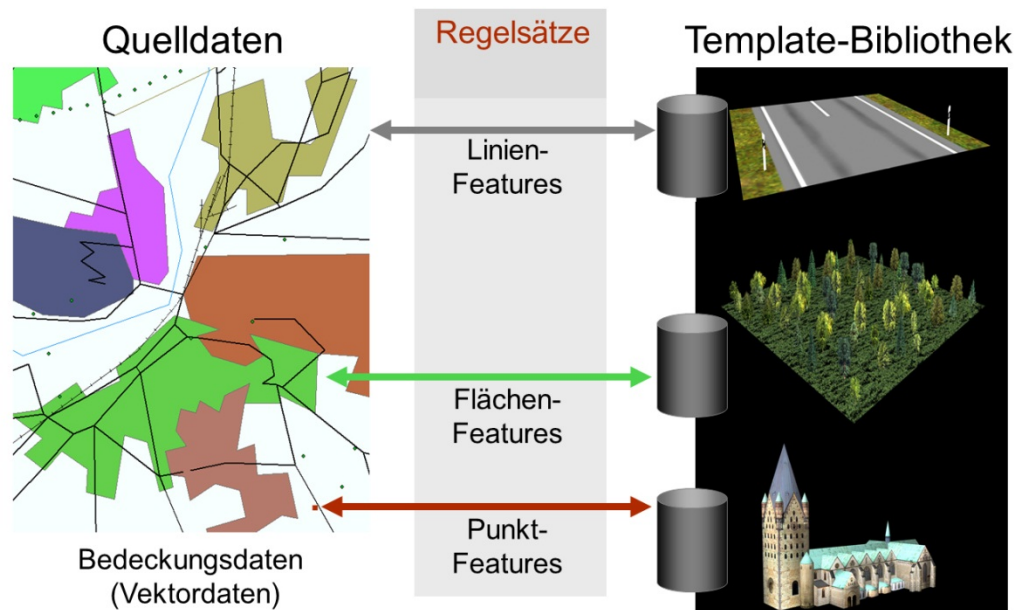


Abb. 5: Regelbasierte Interpretation der Vektordaten und Zuweisung von 3D-Modelltemplates

Beim DISI-Xtreme kommen neben vordefinierten Templates zusätzlich auch prozedural generierte Vegetationsformen zum Einsatz: sind in den Quelldaten Landnutzungstypen enthalten, kann der Modellierer je nach Landnutzung entsprechende 3D-Vegetationsmodelle und Bauvorschriften zuordnen; beispielsweise reihenförmige Anordnungen von Pflanzen mit vorgegebenen Abständen oder eine Population von Wäldern aus Einzelbäumen aus einem zugewiesenen Set von Baumarten und dazugehörigen Höhenwerten/-toleranzen. Anhand dieser Vorgaben generiert das DISI dann die entsprechende 3D-Repräsentation.

Sind alle Regeln definiert, werden sie auf die aufbereiteten Geodaten angewendet, um daraus die entsprechende Datenbasis zu generieren. Diese Datenbasis wird dann im letzten Schritt in das spezifische Xtreme-Datenformat überführt. Außerdem werden korrelierende Steuerdaten für die Simulatorsoftware erzeugt.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen Screenshots von Xtreme-Geländedatenbasen:



Abb. 6: Geländedatenbasis für Offroad-Fahrtraining mit dynamischen Fahrspuren



Abb. 7: Hafen von Singapur