

Modellierung verteilter räumlicher Strukturen mit VRML

Heimo MÜLLER-SEELICH & Peter FERSCHIN

(Dr. Heimo MÜLLER-SEELICH; Institut für Informationssysteme; Joanneum Research; Steyrergasse 17, 8010 Graz;
e-mail: Heimo.Mueller@joanneum.ac.at

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. Peter FERSCHIN, Institut für EDV gestützte Methoden in Architektur und Raumplanung, TU WIEN, Floragasse 7,
1040 Wien; e-mail: ferschin@osiris.iemar.tuwien.ac.at)

Abstrakt. Das INTERNET hat mit seiner explosionsartigen Verbreitung als Kommunikationsmedium auch neue Möglichkeiten der Datenstandardisierung eröffnet. Die Globalisierung der zur Verfügung stehenden vernetzten Informationseinheiten erweitert sich um verteilte räumliche Strukturen, beschrieben durch die Virtual Reality Modelling Language – VRML. Es entsteht somit die Möglichkeit, einerseits den realen Raum als verteilte globale Struktur in den virtuellen Informationsraum abzubilden, als auch den abstrakten Cyberspace als erlebbaren Raum gestalterisch zu modifizieren. Diese duale Betrachtungsweise erfordert planerischen und technologischen Wissensaustausch, der als digitale Raumordnung einen noch zu gestaltenden Informationsbedarf besitzt.

Keywords. VRML, 3D, Datenaustausch

1. EINLEITUNG

Künstliche Welten im Computer – der Cyberspace – unendliche Datenräume – warum besteht der intensive Wunsch, sich eine eigene Welt zu schaffen und sei es nur als maschinelle Traumwelt? Die Motivation mag für die Protagonisten der “virtuellen Realität” unterschiedlich sein, dennoch wurden mit einem enormen Aufwand bizarr anmutende Geräte, wie Head Mounted Display und der Datenhandschuh entwickelt, um ein direktes, unmittelbares Eintauchen in eine künstliche, vom Computer geschaffene Realität zu ermöglichen. Doch auch jenseits der technisch aufwendigen, in der Regel von der Militärtechnologie stammenden, Hardwareentwicklungen entstanden neue Verfahren, die direktes Erleben einer Computerrealität ermöglichten. Das Computerspiel DOOM steht für den Beginn einer auf gewöhnlicher Technologie basierenden Entwicklung künstlicher Welten, die eine neue Dimension an erlebbarer Computerrealität eröffnet hat. Die aus beiden Entwicklungslinien stammenden Erkenntnisse in Zusammenhang mit der Netzwerktechnologie des Internet haben zur Entwicklung der Virtual Reality Modelling Language – VRML geführt, die die Beschreibung interaktiver verteilter Räume ermöglicht, die von jedem benutzt und gestaltet werden können. VRML geht also über den Bedarf eines gemeinsamen 3D Datenaustauschformats bei weitem hinaus und nähert sich einer Beschreibungssprache für den abstrakten Cyberspace, wie er von Science Fiction Autoren wie William Gibson erdacht wurde.

Der vorliegende Artikel soll jedoch nicht vom Boden der konkreten Anwendung abgehobene Visionen hervorrufen, sondern vielmehr die Verbindung zu diesem Boden herstellen. Neben einer kurzen übersichtsmäßigen, technischen und historischen Beschreibung von VRML sollen vor allem bestehende und zukünftige Anwendungen der Architektur und Raumplanung beleuchtet werden. Der Artikel ist vor allem als Anregung gedacht; für den Planer als potentiellen Benutzer einer neuen Technologie und für den Entwickler als Motivation zur Mitgestaltung. Die Motivation für diesen Beitrag liegt somit in der Nutzbarmachung des virtuellen Raumes für die Gestaltung der konkreten Realität.

2. VRML

VRML, die *Virtual Reality Modeling Language*, ist ein Dateiformat zur Beschreibung interaktiver, ins World-Wide-Web (WWW) eingebetteter, 3D Objekte und 3D Welten. Das folgende Kapitel beschreibt nach einem kurzen historischen Abriss die fundamentalen Konzepte und technischen Grundlagen von VRML. Dabei wird mit VRML die VRML 2.0 Spezifikation (August 1996) bezeichnet und nicht näher auf das (statische) Vorgängerformat VRML 1.0 eingegangen.

1994 präsentierte Mark Pesce auf der ersten internationalen World-Wide-Web (WWW) Konferenz in Genf [WWW94] eine Entwicklung zur Einbindung von Virtual Reality ins WWW. Die Idee war ein an HTML angelehntes Austauschformat für virtuelle Räume, Objekte und Hyperlinks zu spezifizieren. Der Begriff

Virtual Reality Modelling Language – VRML – entstand. Mark Pesce und Brain Behlendorf vom WIRED Magazin moderierten zu diesem Thema eine Newsgroup, welche innerhalb kürzester Zeit über 1000 Teilnehmer verzeichnete. In bewährter Internet Manier wurde nach reger Diskussion eine Untermenge des ASCII Dateiformats der Open Inventor Spezifikation der Firma SGI unter etlichen Kandidaten als Basis für die VRML 1.0 Spezifikation ausgewählt.

Im August 1995 wurde von 8 Experten die VRML Architecture Group (VAG) [VAG] gegründet, um die Beiträge der VRML Newsgroup und Mailingliste zu koordinieren. Das Selbstverständnis der VAG änderte sich von der technischen Spezifikation des VRML Standards hin zur Moderation dieses Prozesses. Dazu wurde ein Request-For-Proposals (RFP) für VRML 2.0 publiziert und ein Bewertungsverfahren für potentielle Kandidaten entwickelt. Aus sechs Vorschlägen ging als Sieger wiederum der Vorschlag von SGI *Moving Worlds* hervor, welcher nach 3 Draft Versionen im August 1996 als VRML 2.0 Final Specification [VRML2.0] am Internet und zugleich als Committee Draft 14772 [ISO96] von ISO/IEC SC24 publiziert wurde.

Die Entwicklung von VRML wurde mit Methoden und der Philosophie der Internetgemeinde durchgeführt. Durch offene Diskussion im Internet und Kommunikationsmedien wie e-mail und Newsgroups konnten sehr kurze Spezifikationszyklen sowie eine weite Verbreitung der VRML Idee und eine sehr hohe Akzeptanz erreicht werden. Die Spezifikation am Internet konnte ein großes Potential an Ideen und Kreativität, sowie deren Überprüfung durch erste Public Domain Implementierungen aufbringen. Sehr begrüßenswert ist das Unterfangen des Subcommittee 24 (Computer Graphics und Image Processing) [ISOSC24], welches in einer gemeinsamen Entwicklung mit der VAG VRML2.0 im May 1997 als internationalen Standard zu publizieren plant. Erstmals wird hierbei in der Geschichte von ISO/IEC ein ISO Standard elektronisch als HTML Dokument publiziert.

2.1. VRML Grundlagen

VRML ist im Gegensatz zu anderen 3D Austauschobjekten sehr stark an HTML angelehnt. Durch das Markup Konzept von HTML ist es möglich, mit Hilfe der MIME-Kapselung Daten einzubinden, die einem anderen Format entsprechen. Wenn ein HTML Dokument die MIME-Signatur `model/vrml` enthält, wird ein VRML-Browser gestartet und VRML-Welten können somit nahtlos in HTML-Texte eingebunden werden. Verweist eine Referenz innerhalb der VRML-Welt auf einen HTML-Text, wird die Welt verlassen und der Text angezeigt.

Die Syntax von VRML ist in BNF ähnlicher Sprache und die zugehörige Semantik in textueller Form definiert. Zur einfachen Erkennung muß jede VRML Datei mit den folgenden Zeichen (im ASCII Format) beginnen: `#VRML V2.0 utf8`. Danach kann eine VRML Datei eine beliebige Anzahl von *Children Nodes*, *ROUTE Statements* und *Prototypes* enthalten. Die Adresssierung in einer VRML Instanz erfolgt mittels URLs (*Uniform Resource Locator*) [URL] oder URNs (*Uniform Resource Name*) [URN]. Ein VRML-Browser kann für das Suchen eines Objektes eine Prioritätsliste verwenden. Im folgenden Beispiel ist eine Texturdatei durch einen Uniform Resource Locator als erste Wahl und bei Nichtauffinden des URLs in Alternative als Uniform Resource Name angegeben.

```
ImageTexture {
  url [ "http://(www.foo.com/textures/woodblock_floor.gif",
        "urn:inet:foo.com:textures/wood001"]
}
```

Szenen werden durch hierarchisch angeordnete Objekte (*Nodes*) beschrieben. Ein Objekt ist durch

- einen **Typennamen**, z.B.: *Cone*, *Box*, *Color*, *Group*, etc.,
- **Parameter** (*fields*), die Eigenschaften eines Objektes beschreiben, z.B.: *Cone {bottonRadius 1 height 6}*,
- und assoziierte **Events**, welche Nachrichten empfangen und senden können
- charakterisiert. *Grouping Nodes* beschreiben einen hierarchischen Transformationsraum, indem sie *Children Nodes* zusammenfassen und einen gemeinsamen Koordinatenraum relativ zum *Parent Node* in der Szenenhierarchie definieren. Beispiele für VRML Objekte sind:
- **Geometrie:** *Box*, *Cone*, *Cylinder*, *Sphere*, *PointSet*, *Extrusion*, etc.

- **Renderingattribute:** *FontStyle, Material, MovieTexture, PixelTexture, Viewpoint, PointLight, etc.*
- **Gruppierungsobjekte:** *Anchor, Billboard, Collision, Group, Transform, LOD, etc.*
- **Eingabe und Animationsobjekte:** *Script, TimeSensor, VisibilitySensor, ColorInterpolator, etc.*

Für eine vollständige Beschreibung der VRML Objekte sei auf den Standardtext [VRML2.0] Kapitel 5: Node Reference, verwiesen.

In VRML können keine eigenen Maßeinheiten definiert werden. Alle räumlichen Abmessungen müssen in Metern und Radianten, Zeitangaben in Sekunden und Farben im RGB Farbraum angegeben werden.

VRML Objekte können *Events* erzeugen und empfangen, und dadurch Attribute und Verhalten ändern. *Sensor Nodes* erzeugen *Events*, wenn Sie in bestimmte Bereiche bewegt werden, *Time Sensors* beschreiben periodische *Events* mit denen Zeit modelliert werden kann. Die Verbindung zwischen einem Objekt, welches *Events* erzeugt, und einem Objekt, welches die *Events* empfängt und verarbeitet wird *Route* genannt. Das folgende Beispiel zeigt, wie ein Lichtschalter modelliert werden kann, welcher bei Berührung eines Sensor Objektes eine Lichtquelle ein/aus schaltet.

```
DEF CLICKER TouchSensor {enabled TRUE}
DEF LIGHT DirectionalLight {on FALSE}

ROUTE CLICKER.enabled TO LIGHT.on
```

Mit Prototyp-Objekten (*Prototype Nodes*) können die Attribute und das Verhalten eines Objektes parametrisiert werden. Dadurch können flexible Objektbibliotheken als Bausteine zur Wiederverwendung erstellt werden. Ein Prototyp-Objekt kann auch aus einer externen Datei referenziert werden. Das folgende Beispiel zeigt die Definition einer Materialbibliothek (gespeichert in der Datei materials.wrl)

```
#VRML V2.0 utf8
PROTO Gold [] { Material {...} }
PROTO Silver [] { Material {...} }
... etc.
```

und die Verwendung des vordefinierten Materials:

```
#VRML V2.0 utf8
EXTERNPROTO Gold [] "http://.../materials.wrl#Gold"
...
Shape {
  appearance Appearance {material Gold {} }
}
```

Eine umfangreiche Integration von Java und Javascript, sowie ein offene Schnittstelle zu anderen Scriptsprachen erlauben beliebig komplexes Verhalten in ein VRML Objekt zu integrieren.

Im folgenden werden Besonderheiten und Unterschiede von VRML zu bisherigen 3D Formaten vorgestellt. Dadurch soll ein potentieller Einsatz und das Entwicklungspotential dieser Sprache motiviert werden.

2.2. Herstellerunabhängigkeit

Obwohl die bisher bestehenden Sprachdefinitionen von VRML, Version 1.0 als auch Version 2.0, von der Firma Silicon Graphics entlehnt wurden, besteht aufgrund des Abstimmungsmechanismus, der über das Internet erfolgt ist, eine gewisse Kontrolle der breiten Öffentlichkeit über das Standardisierungsverfahren. Der bestehende VRML Standard wurde auch als offener Standard definiert, ähnlich HTML und somit können herstellerbedingte Erweiterungen einfach integriert werden. Allerdings könnte dieser Mechanismus zu einer ähnlichen Situation wie bei der derzeitigen HTML 3.2 Definition führen. Zwei oder mehrere Hersteller von VRML-Browsern erzwingen durch Implementierung populärer Erweiterungen die nachträgliche Absegnung dieser Entwicklung durch das VRML Konsortium. Der marktwirtschaftliche Konkurrenzkampf um Schnittstellenstandards erfährt dadurch eine neue Facette neben den bestehenden "de facto" Standards (siehe DXF) und kommissionell gebildeten Schnittstellendefinitionen. Die Dynamik des Internet und der Globalisierung des Informationsaustausches hat als Standardisierungsmechanismus noch kaum Referenzfälle aufzuweisen, allerdings läßt die derzeit bestehende VRML Infrastruktur (siehe VRML Repository [REPO]) auf eine breite Akzeptanz unter den Softwareherstellern schließen.

2.3. Netzwerkfähigkeit

VRML ist als 3D-Internet-Datenstruktur bereits mit dem Aspekt der Vernetzung implementiert worden, wodurch sich neue Möglichkeiten der verteilten Objektrepräsentation als auch der Aktualisierung von Einzelkomponenten ergeben. Ein Häuserblock, bestehend aus mehreren Gebäuden, kann zum Beispiel verteilt gespeichert werden – es könnte sogar jedes Gebäude auf einem eigenen Rechner gespeichert sein, wodurch man durch Betreten eines bestimmten Gebäudes auch in den entsprechenden Rechner gelangen würde. Abgesehen von der Speicherplatzersparnis, die sich durch diese verteilte Struktur ergibt, entsteht eine weitere Eigenschaft durch die referenzierte Gebäudedarstellung. Wird ein Gebäude durch ein anderes ersetzt, so entsteht eine Aktualisierung des Häuserblocks automatisch, da der Häuserblock lediglich aus Referenzen zu den Einzelgebäuden besteht.

Abgesehen von der verteilten Datenstruktur besteht auch noch die Vernetzungsmöglichkeit zu anderen Internetdokumenten im HTML Format, wodurch sich eine räumliche Erweiterung der bereits bestehenden World Wide Web Struktur ergibt.

2.4. Hierarchische Objekt Struktur

Im Gegensatz zu bestehenden 3D Formaten wie DXF, die zwar eine Strukturierung der Daten durch Layer erlauben, ermöglicht VRML eine weitergehende Strukturierung zu gruppierten Objekten, die auch gemeinsame Transformationen und Vererbung von Materialeigenschaften zulassen. Dies ist ein wesentlich flexibleres Konzept und entspricht eher einer dreidimensionalen Objektstruktur als das eigentlich zweidimensionale Layer/Schichtenkonzept.

2.5. Datentypen und Aktive Objekte

Neben dreidimensionalen Objekten können auch zweidimensionale Vektordaten, Rasterbilder, Filme (ein MPEG File als *MovieTexture*) und räumliche Tonquellen, deren Klangempfinden vom Standpunkt des Beobachters abhängt, in ein VRML Dokument eingebunden werden. VRML Objekte sind nicht auf statische Geometriebeschreibungen beschränkt, sondern können mit Hilfe von Interpolatoren und Sensoren auch dynamische und interaktive Welten modellieren. Durch *Events* können die Parameter eines Objektes verändert werden und mit Hilfe von Scripts (Java) kann selbst komplexes Verhalten direkt innerhalb eines Objektes definiert werden. Dadurch ist es z.B. möglich, innerhalb eines VRML Objektes die Benutzerschnittstelle zu beschreiben, mit deren Hilfe mit dem Objekt interagiert werden kann.

2.6. Datenreduktion und Datenkompression

Da VRML als 3D-Internet-Datenstruktur einerseits die Komplexität der Daten erhöht aber andererseits ein interaktives Erleben einer dreidimensionalen Welt auch bei beschränkter Netzwerkkapazität gewährleisten möchte, gibt es dafür zwei Mechanismen. Erstens kann durch komprimierte Speicherung einer VRML Szene die Ladezeit über ein Netzwerk bedeutend reduziert werden. Zweitens besteht die Möglichkeit die interaktive Navigation innerhalb einer Szene durch eine sogenannte "Level of Detail (LOD)" Definition zu beschleunigen. Hierbei werden für ein Objekt mehrere, unterschiedlich detaillierte Repräsentationen erzeugt, die dann je nach Abstand des Betrachters vom darzustellenden Objekt Verwendung finden. Dies bedeutet, daß weiter entfernte Objekte nur ungenau dargestellt werden und erst bei Annäherung an das entsprechende Objekt zusätzliche Details eingeblendet werden.

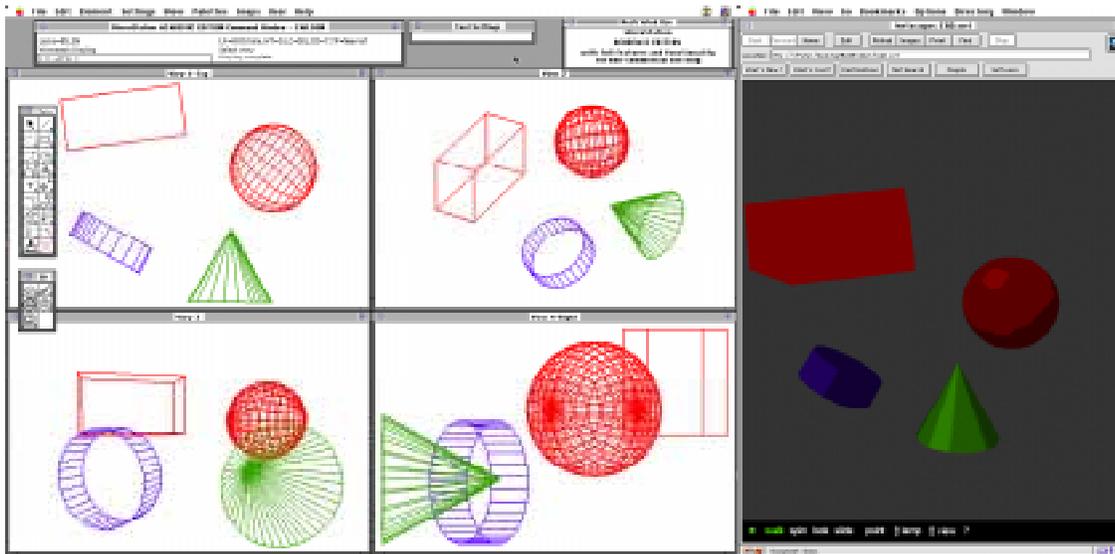
3. ANWENDUNGSGEBIETE

In Architektur und Raumplanung lassen sich eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten von VRML finden. Ein virtuelles Begehen von Gebäuden vor der Umsetzung von Planungsvorhaben, bzw. im Auswahlverfahren oder in der verteilten Planung, kann VRML eingesetzt werden. Die Möglichkeit, verschiedene Szenen durch Hyperlinks zu verbinden, erlaubt Wechseln von einem Gebäude in das Nächste. Auf diese Weise könnten Planungen mit Hinblick auf ihr Umfeld betrachtet werden, ohne die Komplexität einer einzelnen Szene auf einen ganzen Stadtteil auszuweiten.

Sind am Planungsprozeß mehrere Abteilungen verschiedener Aufgabenbereiche beteiligt, könnten Mißverständnisse bereits in frühen Entwicklungsstadien erkannt und beseitigt werden. Eine dreidimensionale Darstellung von Daten erleichtert darüberhinaus für den Laien das Verständnis für komplexere Zusammenhänge. Genauso, wie statistische Auswertungen durch die Übertragung in Diagramme die Kernaussagen hervorheben lassen, kann die geeignete Raumdarstellung einen Zusammenhang komplizierterer Art herausstellen. Es ist somit möglich, die gleichen (Software) Werkzeuge für ganz unterschiedliche Problemarten innerhalb der gleichen Aufgabenstellung zu verwenden.

3.1. VRML als 3D Austauschformat

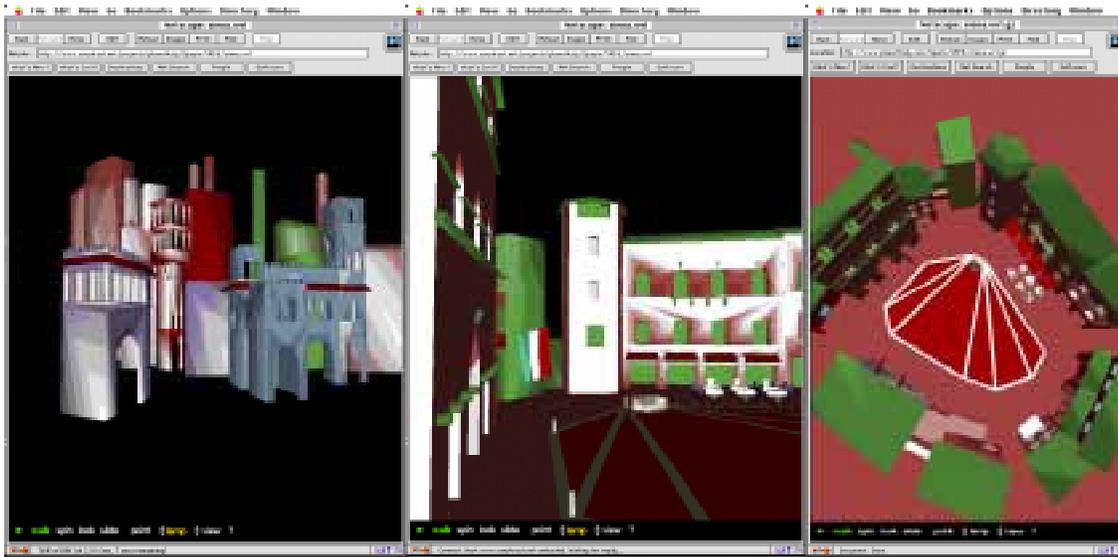
VRML ist in seiner Grundfunktionalität ein Metafile für 3D Objekte und ermöglicht den Austausch von dreidimensionalen Daten. Die Mächtigkeit von VRML erstreckt sich von der Beschreibung von räumlichen Objekten (Fertigungsteile, Maschinen, Gebäude) bis zur Modellierung von Objekten für Renderingprogramme. Im Bereich der Architektur, Raumplanung und Konstruktion sind Anwendungsmöglichkeiten naheliegend: VRML könnte das (netzfähige) Austauschformat zwischen verschiedenen Entwicklungsumgebungen werden. Es liegt in der Hand der Softwareentwickler, dieses Potential den verschiedenen CAD und Konstruktionsprogrammen zu erschließen. Da das Format von VRML eine Skalierung des Wertebereiches der Objektparameter vorsieht, stellt die Genauigkeit der Szenenbeschreibung kein Hindernis dar. VRML erscheint als aussichtsreicher Kandidat für ein neutrales (herstellerunabhängiges) Austauschformat und könnte in Zukunft DXF als plattformübergreifendes Austauschformat ablösen.



Übernahme von CAD Daten aus µStation in einen VRML Browser. Für eine aktuelle Liste von Programmen/Konvertern, die VRML als Austauschformat unterstützen siehe [REPO].

3.2. VRML als Visualisierungswerkzeug

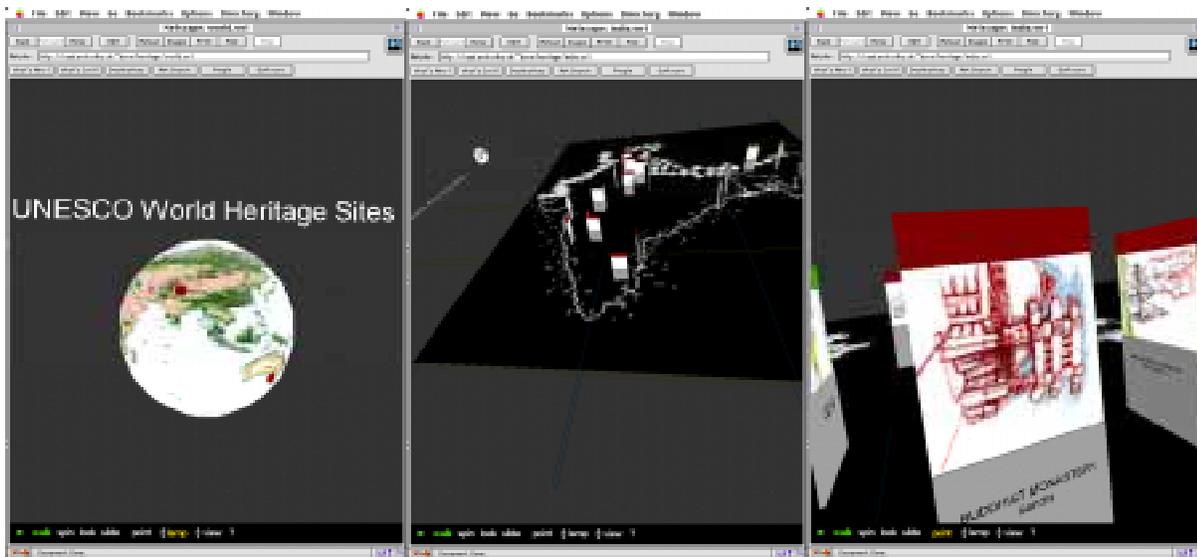
Da VRML neben rein geometrischen Daten auch die Definition von Lichtquellen und optischer Materialien inklusive Texturen erlaubt, lassen sich auch komplexe räumliche Visualisierungsaufgaben bewältigen.



Obiges Beispiel zeigt die Visualisierung des Hauptplatzes von Siena/Italien [SIENA], der Firma Construct Inc., San Francisco, als Teil des Projektes "Planet Italy", welches durch Unterstützung durch den Fernsehsender RAI entstand. Ziel dieses Projektes ist es, italienische Kulturgüter und Kulturleistungen am Internet verfügbar zu machen.

3.3. VRML als verteilte Raumdatenbank

Die bereits vorhin erwähnte Netzwerkfähigkeit der VRML-Datenstruktur ermöglicht auch das verteilte Speichern räumlicher Informationen. Durch Anbindung räumlicher Objekte an eine Scriptsprache (Java) und durch Kombination mit HTML-Dokumenten läßt sich auch dreidimensionale GIS-Funktionalität in VRML implementieren.



Die UNESCO Datenbank über Kulturdenkmäler (Dave Bharat, Architecture & CAAD, ETH Zürich) wurde als verteilte räumliche Datenbank implementiert. Durch Klicken auf den roten Punkt (über Indien gelegen) auf der Weltkugel gelangt man zur Datenbank der indischen Kulturdenkmäler, die als eine Sammlung von Informationstafeln über dem indischen Subkontinent visualisiert wurden. Ein "Anfliegen" einer Tafel führt zur genaueren Darstellung als Bild und darunter liegendem Text – siehe rechtes Bild – das buddhistische Kloster Sanchi.

3.4. VRML als Präsentationsmedium

Die Integration von VRML Szenen als Datentyp in HTML Dokumente ermöglicht die unmittelbare Darstellung räumlicher Inhalte am Internet und eröffnet somit ein öffentliches Diskussionsforum für planerische Inhalte.



Als Beispiel für öffentliche Präsentation, der bereits vorhin erwähnte “Planet Italy” [ITALY].

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die bisherige Entwicklung, sowohl die technologische Seite als auch Akzeptanz und Resonanz verschiedener Benutzergruppen in Betracht ziehend, läßt auf ein großes Potential für VRML schließen. Zusammenfassend können mittelfristig folgende Anwendungsgebiete erkannt werden:

- VRML als neutrales, plattformunabhängiges 3D Austauschformat
- VRML als Werkzeug zur verteilten Speicherung und Modellierung von 3D-Objekten
- VRML als Visualisierungsumgebung für technisch wissenschaftliche Anwendungen (CAD, GIS, ...)
- Aktive VRML Objekte (Daten mit assoziierten Methoden zur Manipulation) für Planung und CSCW (Computer Supported Cooperative Work)
- VRML zur Modellierung und Simulation interaktiver Welten

Der Einsatz von VRML in Architektur und Raumplanung eröffnet durch die Publikationsmöglichkeiten des Internets völlig neue Kommunikations- und Interaktionskanäle zwischen Planern und den betroffenen Bürgern/Klienten. Die Möglichkeiten reichen hierbei von Präsentationen bis zur interaktiven Planung und Diskussion. Natürlich sollen auch Probleme und offene Fragen nicht unerwähnt bleiben. So sind Sicherheits- und Zugriffskontrollen kein integraler Bestandteil von VRML und auch die Anbindung an Datenbanksysteme und derzeitigen GIS Implementierungen ist nur in Ansätzen realisiert.

Durch das Hyperlink-Konzept kann man im Cyberspace sehr schnell verloren gehen, oder man findet die interessante 3D Welt nicht mehr, in der man sich noch vorgestern aufgehalten hat. Gibt es für HTML Dokumente die bekannten Suchmaschinen, um die Unmenge von Informationen zu strukturieren, so hilft bei 3D Welten wohl nur eine virtuelle Raumordnung, um nicht vollständig im Cyberspace verloren zu gehen.

Noch verwenden wir 2D Faltstadtpläne und halten uns zum Großteil, Träume ausgenommen, in unserer wohlbekannt 3D Welt auf, doch mit VRML ist der erste Schritt getan, virtuelle Welten beschreibbar und austauschbar zu gestalten und mit zukünftigen immersiven VR Technologien in diese einzutauchen.

5. REFERENZEN

[WWW94] http://www.ch.ic.ac.uk/talks/www94_report.html

- [VRML2.0] <http://vag.vrml.org./VRML2.0/FINAL/>
- [ISOSC24] <http://www.cwi.nl/JTC1SC24/>
- [URL] IETF RFC 1738, Uniform Resource Locator, <http://ds.internic.net/rec/rfc1738.txt>
IETF RFC 1808, Relative Uniform Resource Locator, <http://ds.internic.net/rec/rfc1808.txt>
- [URN] <http://services.bunyip.com:8000/research/ietf/urn-ietf/>
- [REPO] <http://sdsc.edu/vrml/>
- [SIENA] <http://www.construct.net/projects/planetitaly/Spazio/VRML/siena.wrl>
- [ITALY] <http://www.planetitaly.com/>
- [UNESCO] <http://caad.arch.ethz.ch/~dave/heritage/world.wrl>
- [BeCo95] Berners-Lee, T., Connolly, D.: Hypertext Markup Language - 2.0, Internet-Draft ('work in progress'), MIT/W3C, Mass., USA 1995
- [Brya88] Bryan M., SGML - an author's guide to the Standard Generalized Markup Language, Addison-Wesley, 1988
- [Gold91b] Goldfarb, C.F., The SGML Handbook, Oxford University Press, 1991.
- [GoMc95] Gosling, J., McGilton, H.: The Java™ Language Environment: A White Paper, Sun Microsystems, Inc., Calif., USA 1995, <<http://java.sun.com/whitePaper/java-whitepaper-1.html>>
- [ISO96] ISO/IEC CD 14772, Information processing systems - Computer graphics and Image Processing-Virtual Reality Modeling Language (VRML), ISO/IEC, Geneva, Switzerland, 1996
- [Pesc95] Pesce, M., VRML Browsing & Building Cyberspace, New Riders Publishing, 1995
- [Matsu96] Matsuba, St., Roehl B., Special Edition Using VRML, Que Corporation, 1996