

# Visualisierung auf Großbildschirmen

*Herausforderung eines neuen Ausgabegeräts*

Oliver Deussen · Heinrich Bühlhoff  
Thomas Ertl · Daniel Keim  
Bernd Lintermann · Harald Reiterer  
Andreas Schilling

## Einleitung

Eine Reihe faszinierender Entwicklungen lässt es nicht mehr utopisch erscheinen, in den nächsten Jahren Bildschirme mit einer Milliarde Bildpunkte und mehr zu bauen. Displays und Projektoren mit zehn bis zwölf Megapixeln sind als Industrieprodukte verfügbar. Sie finden Anwendung in der Filmindustrie, in Kontrollräumen und für Überwachungs- sowie Aufklärungsprobleme. Spezialanbieter bieten Großdisplays mit mehreren hundert Megapixeln an, ein Laserprojektor mit 32 Megapixeln ist in Entwicklung. Bei den Displays sind zwei Technologien im Einsatz: Einerseits werden Displays aus vielen Flachbildschirmen zusammengesetzt, was einfach zu bewerkstelligen ist, aber durch die Stege zwischen den Displays die Bildqualität beeinträchtigt. Andererseits kommen Projektoren zum Einsatz, deren Bilder überlagert werden. Dies erlaubt eine flächige Bilddarstellung, erfordert aber eine aufwendige und oft zu wiederholende Kalibrierung der Projektoren, da diese ihre Farbdarstellung und Geometrie ständig ändern.

Auch auf der Seite der Bildaufnahme sind Gigapixeltechnologien in der Erprobung und teilweise bereits im Einsatz. DARPA entwickelt ein 2,3-Gigapixel-Kamerasystem zur Bodenüberwachung, die ESA stattet ihren Satellit Gaia zur Aufnahme einer 3D-Karte der Milchstraße mit einer 1,5-Gigapixel-CCD-Kamera aus, in der Mikroskopietechnik kommen vermehrt Bildscanner zum Einsatz, welche ebenfalls Gigapixelbilder produzieren. Software zur Kombination vieler Einzelaufnahmen erlaubt die Herstellung von Gigapixelbildern mit gewöhnlichen Digitalkameras. Es ist also zum heutigen Zeitpunkt durchaus wichtig, sich mit den Implika-

tionen dieser Technik auseinanderzusetzen, was im Rahmen des Forschungsverbunds „Information at your finger tips – interaktive Visualisierung für Gigapixel Displays“ getan wurde. Die Mittel stammen aus der Landesstiftung Baden-Württemberg und sollen Forschung und Entwicklung im IT-Bereich vorantreiben (BW-FIT Programm).

## Grafiksysteme für Großdisplays

Die aktuell verwendete Technologie zur Erzeugung von Computergrafik ist stark an den Erfordernissen gewöhnlicher Bildschirme und interaktiver Anwendungen, wie etwa Computerspielen, ausgerichtet. Hierbei werden Displays mit einer Größe von 2–3 Megapixeln durch einen lokalen Rechner angesteuert und sollen möglichst viele geometrische Objekte pro Sekunde darstellen. Simulations- und Visualisierungsanwendungen verarbeiten heutzutage aber dermaßen große Datenmengen, dass Computing-Cluster unerlässlich sind, um die Daten für die visuelle Darstellung aufzubereiten. Gleichzeitig ist die Programmierung für solche verteilten Systeme nicht unproblematisch, weil die

DOI 10.1007/s00287-010-0480-0  
© Springer-Verlag 2010

Oliver Deussen · Daniel Keim · Harald Reiterer  
Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft,  
Universität Konstanz, Konstanz  
E-Mail: Oliver.Deussen@Uni-Konstanz.De

Heinrich Bühlhoff  
Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik, Tübingen

Thomas Ertl  
Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart, Stuttgart

Bernd Lintermann  
ZKM Karlsruhe, Karlsruhe

Andreas Schilling  
Fakultät für Informatik, Universität Tübingen, Tübingen

## Zusammenfassung

Entwicklungen in der Displaytechnologie haben in den vergangenen Jahren eine Vielzahl hochauflösender Bildschirme hervorgebracht. Der Forschungsverbund „Information at your finger tips – interaktive Visualisierung für Gigapixel Displays“ hat sich mit den Herausforderungen beschäftigt, die diese Technologie für viele Bereiche der Informatik in sich birgt. Hierbei wurden sowohl neue Grafiksyste- me untersucht als auch Interaktionsmethoden und Darstellungsformen sowie deren Anwendung in Visualisierung und Kunst.

üblichen Paradigmen für die Grafikprogrammierung mit diesen Umgebungen nicht kompatibel sind.

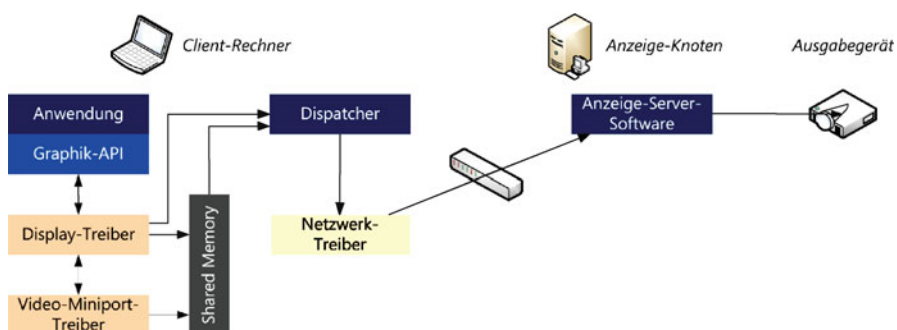
Im Rahmen des Projekts wurde daher ver- sucht, einen Cluster aus verschiedenen Rechnern zu einer virtuellen Grafikkarte zusammenzufas- sen. Dabei wird ein Gerätetreiber dazu eingesetzt, einem Gastsystem die Existenz einer nicht vorhan- denen Grafikkarte vorzuspiegeln (Abb. 1). Statt die Hardware zu verwenden, verschickt der Treiber alle Grafikoperationen über das Netzwerk auf den Cluster, wo diese dann durchgeführt werden. Dies funktioniert gut bei traditionellen Grafikanwen- dungen, in denen die Daten über ein Standardverfahren der Hardware übergeben werden. In modernen Programmen werden aber zunehmend die verschie- denen Hardwareeinheiten der Grafikkarten direkt programmiert, was sich leider wesentlich schlechter parallelisieren lässt. Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Der Clientrechner ist bei dieser Emulations- methode die Maschine, auf der ein Softwaretreiber

installiert wird. Damit entsteht der Eindruck eines zweiten, physikalisch nicht vorhandenen Displays. Anwendungen laufen auf dieser Maschine und kommunizieren mit dem Grafik-API des Betriebs- systems. Das Betriebssystem fragt nach Bedarf Grafikoperationen beim Treiber an. Dieser ist zwei- geteilt in den Displaytreiber, der dem Benutzer pro Sitzung zugeteilt ist und den fest zugeordneten Miniporttreiber, welcher einen erweiterten Funk- tionsumfang hat. Da der Grafiktreiber in hohem Maße für die Interaktivität des Systems wichtig ist, verlangt das Betriebssystem, dass Anfragen sofort bearbeitet werden. Die Möglichkeit, diese zurück- zustellen (das sog. Pending), gibt es daher an dieser Stelle nicht. Die Verwendung des Netzwerks ist aber in hohem Maße asynchron, da man hier nicht warten möchte, bis die Hardware die Pakete verschickt hat. Die aktuell untersuchte Lösung gaukelt daher dem Betriebssystem vor, Anfragen abgearbeitet zu haben, wartet intern aber auf das asynchrone Netzwerk.

Die damit verbundenen Probleme können um- gangen werden, indem man die Kommunikation aus dem Miniporttreiber in einen Dispatcher aus- lagert, der die Befehle eigenständig verteilt. Die Kommunikation zwischen den Rechenknoten und die Lastverteilung wird dabei vom Programmierer in eine eigens entwickelte Laufzeitumgebung ver- lagert [1]. Durch spezielle Sprachkonstrukte kann Einfluss auf die Verteilung genommen werden, in- dem der Anwender dem Compiler Hinweise zum Speicherzugriffsverhalten seiner Anwendung gibt.

Während dieser Ansatz, wie auch die bereits erwähnte Programmiersprache für Grafikcluster, eine möglichst allgemeine Lösung für viele grafische Anwendungen liefern soll, erfordern viele Visuali- sierungsprobleme ein spezielles Vorgehen, um die Fähigkeiten eines GPU-Clusters maximal auszunut- zen. So etwa die Volumenvisualisierung, wie sie für



**Abb. 1** Schematischer Aufbau der Kommunikation zwischen den verschiedenen Abstraktionsebenen einer Clusteranwendung zur Visualisierung

## Abstract

Developments in display technology produced a variety of high resolution displays in last years. In the joint research group “Information at your finger tips – interactive visualization for gigapixel displays” we investigated a number of challenges for computer science that are caused by this technology ranging from system design up to interaction methods, display algorithms and applications in visualization and art.

Computertomografiedaten aus der Medizin eingesetzt wird. Dabei können Clusterrechner einerseits dazu genutzt werden, viele Pixel zu erzeugen; das Rechenproblem wird hier im Bildraum aufgeteilt. Andererseits kann man sie auch verwenden, um sehr große Datensätze zu verarbeiten – man spricht dann von einer Objektraumverteilung. Darüber hinaus besteht bei besonders hochauflösenden Anzeigegeräten wie einer Powerwall natürlich der Wunsch, den Berechnungsaufwand für jeden Bildpunkt möglichst gering zu halten. Dem versucht man nachzukommen, indem auf der Grafikkarte die Berechnung von visuell uninteressanten Bildbereichen so vereinfacht wird, dass für den Betrachter kein Unterschied im Vergleich zu einer vollständigen Verarbeitung aller Daten sichtbar ist, aber der Rechenaufwand deutlich vermindert ist.

## Interaktion

Den Möglichkeiten der Großdisplays stehen große Herausforderungen hinsichtlich der Mensch-Computer-Interaktion entgegen. Gleich mehrere Anwender sollen kooperativ an einem Display mit unterschiedlichsten Geräten flexibel arbeiten können. Trotz Bildschirmdiagonalen von mehreren Metern soll jeder Punkt des Displays schnell erreicht werden und dennoch auch kleinste Informationseinheiten treffsicher selektiert werden. Ebenso soll der Benutzer je nach Situation (z. B. Einzelarbeit, Präsentation, kollaboratives Arbeiten, Videokonferenz) über mehrere Modalitäten wie Sprache, Zeigegesten und direkte Berührungen seinen Interaktionswunsch äußern können.

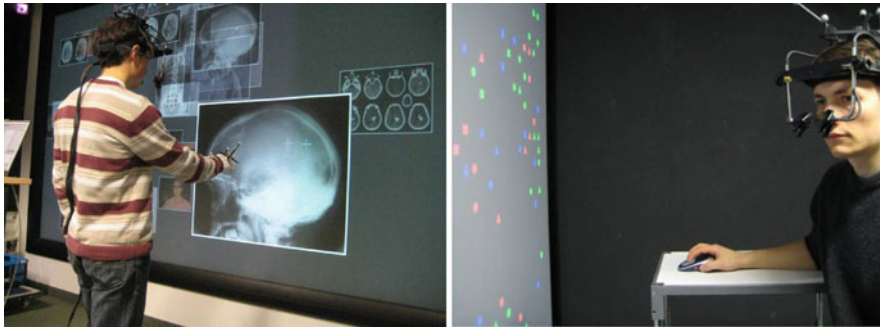
Im Verlauf des Projektes wurden verschiedene Eingabegeräte und Interaktionstechniken für HR-Displays konzipiert und in Hard- und Software umgesetzt. Unter anderem entstand ein spezieller

Laserpointer, der aber im Infrarotbereich arbeitet und dessen Laserpunkt auf dem Bildschirm als Pixel dargestellt sind. Auf diese Weise erhält man die Möglichkeit, die Bewegungen des Benutzers zu filtern und entsprechend darzustellen.

Die Eingabegeräte wurden in einer Interaktionsbibliothek gebündelt und den Kooperationspartnern und seit Mitte 2009 auch der Öffentlichkeit als Open Source zur Verfügung gestellt. Die Bibliothek abstrahiert die einzelnen Gerätetreiber, Konfigurationen, Filter und Interaktionspipelines von den Visualisierungen und erlaubt es, unterschiedlichste hochauflösende Displayarten anzubinden. So können Standardapplikationen ohne Anpassungen mit Laserpointer, Fingergesten etc. bedient und Filter für unterschiedlichste Eingabegeräte mehrfach verwendet werden. Die Filterparameter können zur Laufzeit verändert werden. Darüber werden Informationen zu den Eingabegeräten und Filtertechniken zur Verfügung gestellt.

Im Hinblick auf eine möglichst natürliche und an die gewohnte Kommunikation angelehnte Interaktion wurde die Gebrauchstauglichkeit von Hand- und Fingergesten zur Steuerung von großen, hochauflösenden Displays analysiert. Hierzu wurde in einer empirischen Evaluationsstudie mit 20 Probanden die Interaktionsgeschwindigkeit und Präzision von Zeige- und Griffgesten für Selektionsaufgaben überprüft und darüber hinaus auch mögliche Mehrwerte einer zusätzlichen taktilen Stimulation der Fingerkuppen getestet. Zur Kompensation des natürlichen Zitterns der Hand wurden dynamische Filtertechniken entwickelt, welche adaptiv den Bewegungsverlauf glätten und kontextsensitiv zwischen absoluter und relativer Steuerung wechseln können.

Als eine weitere Art der Eingabe wurde die Interpretation von Blickbewegungen identifiziert (Abb. 2). Dazu muss einerseits die Position des Kopfes bestimmt werden und andererseits die Blickrichtung der Augen bezüglich des Kopfes. In Kooperation mit dem Max-Planck-Institut in Tübingen wurde ein mobiles Eye-Tracking-System auf Basis einer speziellen Bibliothek an der Konstanzer Powerwall eingerichtet und Ansätze zur blickbasierten multimodalen Interaktion entwickelt und getestet. Bei dieser Anlage wird ein sogenanntes Tracking-System für die Kopflokalisation eingesetzt und ein Augenscanner für die Blickrichtung. In dieser Kombination kann die Blickrichtung bis



**Abb. 2** Kombiniertes Kopf- und Augen-Tracking erlaubt die Interaktion mit Großbildschirmen über die Blickrichtung

auf wenige Millimeter Genauigkeit berechnet werden, während sich der Benutzer frei vor der Wand bewegen kann.

### Perzeptionsgesteuerte Darstellung

Ist die Blickrichtung des Benutzers bekannt, so können Darstellungsalgorithmen für die Displays optimiert werden. Da ein Benutzer oder auch eine kleine Gruppe aufgrund des limitierten Sehfeldes immer nur einen Teil aller gleichzeitig darstellbaren Daten sehen können, lassen sich beispielsweise Verfahren lokal optimieren. Anstatt jedes Pixel jeweils zu berechnen, werden die Daten in Bereichen, die nicht direkt betrachtet werden, nur in geringer Auflösung gezeigt und nur dort völlig scharf dargestellt, wo ein Auge hinblickt. Da viele Ausgabeverfahren durch die immense notwendige Pixelfüllrate limitiert sind, lassen sich hiermit wertvolle Ressourcen sparen.

Am Max-Planck-Institut in Tübingen wurden hierzu umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Unter anderem entstanden hierbei auch Verfahren zur Extrapolation der Blickrichtung. Die Ausgabe kann hiermit nicht nur auf die aktuelle Richtung bezogen werden, sondern es wird auch abschätzbar, wohin der Benutzer im nächsten Moment blicken wird und entsprechende Informationen werden bereitgestellt.

Interessanterweise ergeben sich unterschiedliche Muster von Kopf- und Augenbewegungen je nach Interaktionsmodus. So kann man deutlich zwischen visuellen Suchaufgaben und explorativem Anschauen unterscheiden. In beiden Fällen wird die Mitte des Großdisplays häufiger betrachtet als die Randbereiche, es ergeben sich aber für die visuelle Suche andere Blick- und Kopfrichtungsverteilungen als für das freie Betrachten eines Bildes. Diese Effekte lassen sich mit normalen Aufbauten, die typischerweise den Kopf fixieren, nicht analysieren.

### Gigapixelbilder und hochauflöstes Video

Ein interessantes Medium für Großdisplays sind Gigapixelfotografien. Zusammen mit Microsoft-Research in Redmond wurde ein System zur Aufnahme, Konstruktion und interaktiven Betrachtung solcher Bilder auf Großbildschirmen entwickelt [4]. Hierfür wurde eine handelsübliche Digitalkamera mit 400-mm-Linse auf ein motorbetriebenes Stativ für astronomische Anwendungen montiert und auf diese Weise Bildszenen abgetastet. Die größten Bilder haben 4–6 Gigapixel und sind aus Hunderten von Einzelbildern zusammengesetzt. Da man das Stativ der Kamera nicht pixelgenau ausrichten kann, wurden alle Bilder mit Überlappungen aufgenommen und später anhand von Bildmerkmalen aneinandergesetzt (Image-Stitching).

Hierzu mussten die Bilder aufwendig vorverarbeitet werden. Die sogenannte Devignettierung beseitigt Helligkeitsunterschiede durch die Linse, ein globaler Weißabgleich erzeugt passende Farben. Da alle Bilder mit automatischer Blende und Belichtungszeit aufgenommen wurden, ergibt sich beim Aneinandersetzen und Angleichen der Bildhelligkeiten eine Fotografie mit hohem dynamischen Umfang, ein sogenanntes HDR-Bild (High Dynamic Range), welches über eine HDR-Variante des JPEG-Bildformats abgespeichert wird.

Nun ist es unpraktisch und für handelsübliche PCs sogar unmöglich, zur Betrachtung eines solchen Bildes die Bilddaten komplett in den Hauptspeicher zu laden. Es gibt aber auch keine Notwendigkeit dafür, da immer nur ein kleiner Teil der Daten angezeigt werden kann – zumindest solange es keine Displays entsprechender Größe gibt. Daher wurde eine Bildpyramide implementiert, bei der das Eingangsbild in viele Kacheln mit jeweils einem Megapixel Größe zerlegt wird. In der höchsten Bildauflösung entstehen auf diese Weise mehrere

tausend solcher Kacheln. Jeweils  $2 \times 2$  Nachbarn werden anschließend zu einer Kachel mit derselben Größe und halbiertes Auflösungsmaß umgerechnet. Dieser Prozess wird fortgesetzt, bis auf oberster Ebene eine Kachel mit einer Gesamtansicht der Szene entstanden ist. Beim interaktiven Betrachten werden die notwendigen Kacheln von der Platte dynamisch geladen. Da für jede Bildschirmgröße immer nur eine begrenzte Anzahl Kacheln gleichzeitig benötigt wird und überdies effektive Caching-Strategien existieren, ist der Datentransfer auch mit handelsüblichen Rechnern kein Problem.

Eine weitere Aufgabenstellung ergibt sich mit der Auswahl der richtigen Projektionsmethode für die gezeigten Bilder. Da die Kamera mit dem Stativ kreisförmig bewegt wurde, ist die korrekte Projektion für die Gesamtansicht eine sphärische Projektion. Beim Vergrößern eines Bildteils wünscht man sich hingegen die übliche perspektivische Projektion. Es wurde daher ein Verfahren zur Projektionsinterpolation entwickelt, welches diesen Übergang weich und intuitiv gestaltet. So kann der Betrachter ohne visuelle Störungen über viele Größenordnungen hinweg in ein Bild eintauchen, ein Gefühl von praktisch unbegrenzter Auflösung entsteht ab mehreren Gigapixel Größe.

Auch für Bewegtbilder ist man an hochauflösten Daten interessiert. In zwei Projekten des Verbundes wurden hierfür mehrere Videokameras gekoppelt und in Arrays kombiniert. Die Rohdaten sind Videostreams mit überlappenden Bildausschnitten, jeder Videostream hat hierbei eine Auflösung von  $2450 \times 2050$  Pixeln. Sie werden während der Aufnahme auf lokalen Datenträgern zwischengespeichert und anschließend nachbearbeitet. Wie auch bei den Einzelbildern muss ein Weißabgleich stattfinden sowie Vignettierung und Linsenverzerrung berücksichtigt werden. Mittels eines hardwarebasierten Stitching-Algorithmus werden die hochauflösten Bilder erzeugt und zu einem HR-Videostream kombiniert.

## Visualisierungsverfahren

Zwei Visualisierungsprojekte beschäftigten sich mit Anwendungen für Großdisplays. Hierbei mussten geeignete Darstellungs- und Interaktionsmethoden gefunden werden, die mit der Größe der Displays skalierbar sind.

Ziel des Teilprojekts „Landschaftsvisualisierung“ war die Entwicklung und Erprobung geeigneter Visualisierungstechniken für die Darstellung komplexer Landschaftsdaten auf einem hochauflösenden Großdisplay. Hierbei sollten neben fotorealistischen Darstellungen auch abstrakte Darstellungsverfahren untersucht werden, die Objekte nur skizziert und angedeutet darstellen.

Hochauflösende Displays verlangen natürlich einen sehr großen Detailreichtum der dargestellten Inhalte. Dies gilt sowohl für die Darstellung von Bildern als auch für die Darstellung dreidimensionaler Modelle. Anstatt dem Benutzer neuartige Interaktionsmethoden anzubieten, um die Modelle mit der gewünschten Detaillierung aufzubauen, wurde ein noch einfacherer Ansatz gewählt. Das entwickelte Verfahren ermöglicht die Modellierung von sehr komplexen 3D-Pflanzenmodellen, basierend allein auf Fotografien, die durch den Benutzer vorgegeben werden. Der Computer berechnet aus den Bildern eine wahrscheinliche Anordnung der Blätter im Raum und erzeugt eine dazugehörige Aststruktur, die sich an derjenigen der gegebenen Fotos orientiert. Der Benutzer hat jederzeit die Möglichkeit, die Ergebnisse durch manuelle Eingriffe zu beeinflussen und die Modelldetails an seine Wünsche anzupassen. Auf diese Weise lassen sich mit wenigen Benutzereingaben Landschaftsszenen beinahe beliebiger Komplexität modellieren und erlauben so den für hochauflösende Displays notwendigen Detailreichtum (Abb. 3).

Ausgehend von den 3D-Geometriemodellen wurden verschiedene Darstellungsmethoden untersucht, um die Modelle visuell zu abstrahieren. Wieder musste berücksichtigt werden, dass die



**Abb. 3 Partikelbasierte Modellierung. Jeweils links eine Fotografie und rechts daneben das erzeugte 3D-Baummodell in derselben Ansicht**

große Auflösung der Bildschirme eine äußerst genaue und gleichzeitig effiziente Darstellung erfordert, weil eine große Anzahl von Pixeln erzeugt werden muss. Ferner müssen die Modelle räumlich kohärent sein, d. h. bei der interaktiven Bewegung am Bildschirm müssen sie sich so verändern, dass die räumliche Struktur sichtbar bleibt.

## Netzwerkanalyse

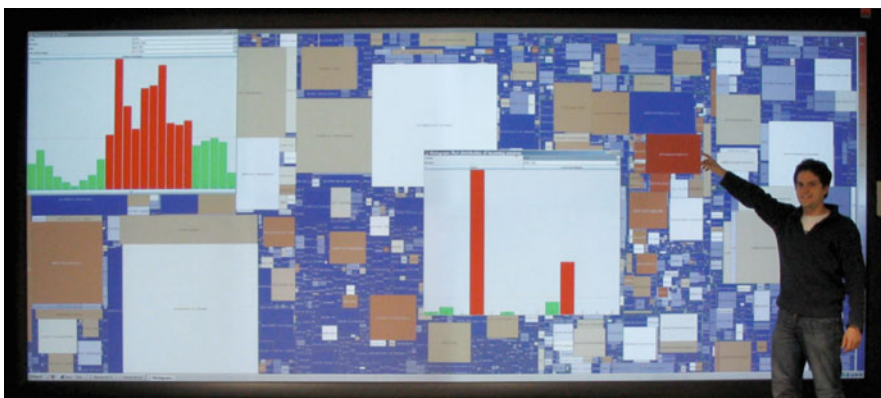
Ein Visualisierungsbereich, in dem man aufgrund sehr komplexer Daten Großdisplays gut gebrauchen kann, ist die visuelle Netzwerkanalyse mit ihren Sicherheitsanwendungen. Visualisierungsverfahren werden an dieser Stelle verwendet, um Anomalien in der Netzwerkbenutzung aufzuspüren und ungewöhnliche Situationen zu verstehen. In einem größeren Netzwerk geben automatisierte Intrusion Detection Systeme (IDS) täglich eine große Anzahl von Sicherheitswarnungen heraus und überfordern damit typischerweise die Administratoren. Eine geeignete Visualisierung vermag die Warnungen miteinander zu korrelieren und in einen Kontext zu setzen.

So werden in einer Beispielanwendung für den SSH-Datenverkehr verdächtige Hostrechner durch ein automatisches Sicherheitssystem ermittelt und anschließend ihr Netzwerkverkehr zu den Rechnern des Intranets dargestellt. Hierzu stellt man die internen Rechner als zweidimensionales Feld dar, welches als sogenannte Treemap-Darstellung die Hierarchie des Netzwerks wiedergibt (Abb. 4). Über Farben werden die Rechner hervorgehoben, die besonders betroffen sind. Die extern angreifenden Rechner werden visuell gebündelt und so um das Feld herum platziert, dass Rechner mit ähnlichen Mustern im Netzwerkverkehr

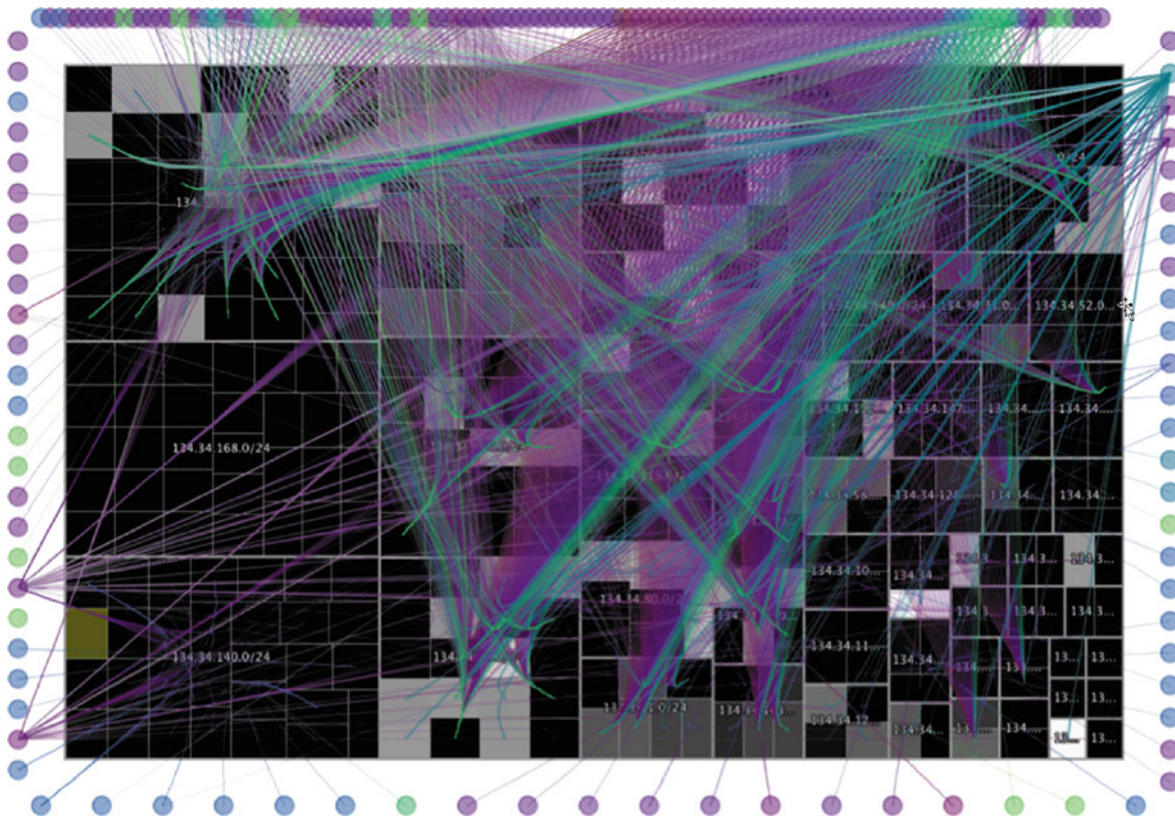
nebeneinander zu liegen kommen. Über farbige Verbindungen wird der Netzwerkverkehr so dargestellt, dass der Administrator erkennen kann, aus welchem Teil des Internets die Daten kommen, ob der Rechner also von einem lokal begrenzten Netz aus angegriffen wird oder von überall her. Aufgrund der großen Anzahl von Verbindungen werden diese visuell so gebündelt und verformt, dass eine möglichst gut verständliche Musterbildung entsteht.

In Abb. 5 ist ein verteilter SSH-Angriff auf Rechner im Netzwerk der Universität Konstanz dargestellt. Hierbei greift eine große Anzahl externer Rechner einzelne Knoten im Netzwerk an. Eine weitere Analyse ergab, dass diese Rechner von insgesamt 47 Rechnern angegriffen wurden. Dies geschah auf eine Art, die gerade unter der Aufmerksamkeitsschwelle des IDS lag. Des Weiteren sind Scan-Aktivitäten einzelner Hostrechner links unten und rechts oben zu sehen. In einer typischen Attacke spähen spezielle Rechner zuerst verletzbare Hosts aus und geben deren Adressen dann an ein Botnet weiter. Von dort aus wird dann die eigentliche Attacke gestartet.

Leider ist es in der aktuellen Visualisierung nicht möglich, zu sehen, ob die Aktivitäten tatsächlich miteinander zu tun haben, weil der Datenverkehr außerhalb des Intranets und seiner Verbindungen nicht eingesehen werden kann. Dennoch bietet die Visualisierung eine Reihe nützlicher Hinweise für die Administratoren, um schnell und kompetent auf solche ungewöhnliche Situationen zu reagieren. Die gezeigte Abbildung ist stark vereinfacht; auf hochauflösenden Displays können solche Situationen auch für größere Netzwerke, wie sie sich in vielen Firmen finden, dargestellt werden.



**Abb. 4** Treemap-Darstellung von Netzwerkknoten und Netzwerkverkehr auf einem Großdisplay

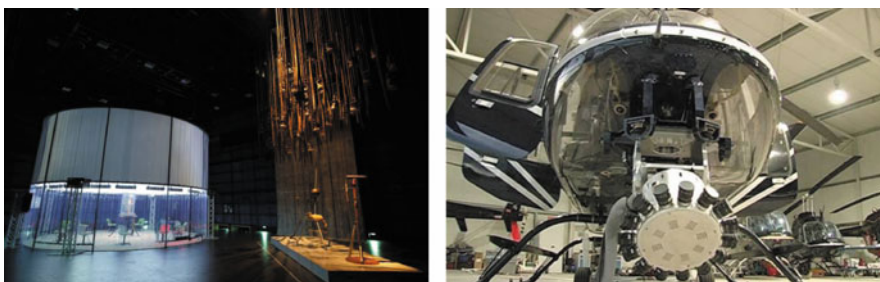


**Abb. 5** Analyse einer Netzwerkattacke auf den SSH-Service der Universität Konstanz

### Kunstanwendungen

Das ZKM Karlsruhe als Projektpartner sollte einerseits Softwarewerkzeuge entwickeln, um die Technologie auch in künstlerischen Anwendungen nutzen zu können, andererseits sollten konkrete Projekte durchgeführt werden, um durch neuartige Installationen auf Großdisplays deren Möglichkeiten auszuloten. Es wurde hierzu ein 360°-Panoramadisplay, welches einen Rundumblick erlaubt und auf diese Weise neuartige dramaturgische Effekte ermöglicht.

Die oben erwähnten hochauflösten Videodaten wurden hier durch einen speziellen algorithmischen Ansatz in Panoramavideos verwandelt, ein spezielles Kamera-Array mit 16 Kameras erzeugte die Daten, die dann in einer Videoauflösung von 10.000 × 1100 Pixeln wiedergegeben werden. Obwohl man auch hier noch weit von einer Gigapixelauflösung entfernt ist, erlauben die Daten ein einzigartiges Eintauchen in eine virtuelle Welt, was gerade auch an einigen aufgezeichneten Hubschrauberflügen deutlich wurde (Abb. 6).



**Abb. 6** Panoramadisplay im Rahmen der Installation von Jean Michel Bruyère: „CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>“/Installationsansicht ZKM Karlsruhe, Panoramakamera am Hubschrauber (Foto links: Felix Gross)

Die Projektionsleinwand wird über sechs WUXGA-Projektoren mit jeweils HDTV-Auflösung angesteuert. Um die Daten mit der erforderlichen Datenrate erzeugen zu können, wurde die Anzahl von logischen Grafikkarten innerhalb eines Rechners und damit die Anzahl der ansteuerbaren Grafikausgänge erhöht, zusätzlich wurden Techniken zur Bandbreitenreduktion der Datentransfers in die Grafikkarten implementiert.

Durch den Einsatz einer speziellen Grafikkarte mit zwei logischen GPUs (Graphics Processing Unit) und vier physischen Grafikausgängen ließ sich die Anzahl anschließbarer Bildschirme/Projektoren auf die nötige Anzahl erhöhen. Aktuelle Mainboards erlauben den Einbau von bis zu vier Grafikkarten, wodurch theoretisch acht (bei Einsatz der speziellen Grafikkarte 16) Grafikausgänge angesteuert werden können.

Durch die Integration eines von der Grafikkarte unterstützten Kompressionsformates konnte der Hauptprozessor, der sich beim MPEG2-Format als Schwachstelle bei der Dekompression von größeren Filmdatenmengen erwies, entlastet werden und durch die Optimierung von OpenGL-Übertragungsfunktionen konnte die notwendige Auflösung erzielt werden. Die entwickelte Architektur skaliert mit der Anzahl von Grafikausgängen auf einem Rechner.

In einer Reihe von Präsentationen und künstlerischen Installationen wurde die Technologie der Öffentlichkeit präsentiert (Abb. 6). Hierzu zählt die Präsentation aller Projektgruppen mit einer Panoramaleinwand auf dem „Ideenpark 2008“ im Mai 2008 in Stuttgart. Eine gemeinsam mit der Universität Konstanz entwickelte Installation wurde außerdem im September 2009 während der „INTERGEO“ als Special Event während der Eröffnungsveranstaltung dem Messec Fachpublikum vorgeführt.

Mit dem PanoramaLabor wurde eine Plattform zur Präsentation und Evaluation von Forschungsergebnissen in der Öffentlichkeit geschaffen. Das Labor wurde im Mai 2009 mit der gemeinsamen

Arbeit „CloudBrowsing“ eröffnet und ist Teil der aktuellen, auf anderthalb Jahre angelegten Ausstellung „IMAGENING MEDIA@ZKM“ im ZKM. Gemeinsam mit dem Institut für Musik und Akustik wird seit 2006 das Seminar „Visuelle und Akustische Raumprojektionen“ für Studierende der Hochschule für Gestaltung angeboten, welche das ästhetische Potenzial von Raumprojektionen anhand des Panoramascreens kennenlernen sollen.

## Ausblick

Im Rahmen des Forschungsverbunds wurde eine Reihe von Aufgabenstellungen untersucht, die sich durch hochauflösende Bildschirme ergeben. Natürlich sind Gigapixel displays momentan noch eine Zukunftsvision, allerdings lassen sie sich aus vorhandener Technik durch reine technische Skalierung erzeugen und solche Technologieschritte sind in der Vergangenheit meist eher schneller vonstatten gegangen als erwartet. Neben der erforderlichen IT-Infrastruktur werden hierfür auch Anwendungen jenseits von Kunstprojekten und Visualisierungsverfahren für Experten notwendig sein. Da das menschliche Sehvermögen weit unterhalb der damit darstellbaren Auflösungen liegt, werden explorative und überwachende Anwendungen auch in Zukunft im Vordergrund stehen. Die Ausgabemedien werden aber vielfältige neue Anwendungen nach sich ziehen. Mit unseren Arbeiten hoffen wir, hierfür eine Grundlage geschaffen zu haben.

## Literatur

1. Müller C, Frey S, Strengert M, Dachsbacher C, Ertl T (2009) A compute unified system architecture for graphics clusters incorporating data locality. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp 605–617
2. König WA, Gerken J, Dierdorf S, Reiterer H (2009) Adaptive pointing – design and evaluation of a precision enhancing technique for absolute pointing devices. Interact 2009: Proceedings of the twelfth IFIP conference on Human-Computer Interaction. Springer LNCS, Berlin, pp 658–671
3. Foehrenbach S, König WA, Gerken J, Reiterer H (2009) Tactile feedback enhanced hand gesture interaction at large, high-resolution displays. J Vis Lang Comput 20(5):341–351
4. HD-View, Microsoft research: <http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/groups/ivm/HDView/>