

# Vom virtuellen Bayern zur Heimat Digital

*Gerd Hirzinger*



*Weitere Autoren:  
Florian Siegert  
Jürgen Dudowits  
Bernhard Strackenbrock*

Vor über zehn Jahren wurde ein Projekt „Virtuelles Bayern“ vom Autor ins Leben gerufen. An der Umsetzung dieser ambitionierten Idee waren über die Jahre neben dem DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen mehrere Partner beteiligt: Die junge Firma 3DRealityMaps (Prof. Siegert), die sich auf die Satelliten- und Luft-Bildauswertung für die 3D-Modellierung von Städten und Landschaften spezialisiert hat und das vom Autor mitgegründete Startup Fa. Time in the Box (Juergen Dudowits), eng kooperierend mit dem Vermessungs- und Architekturbüro Fa. illustrated architecture (Bernhard Strackenbrock).

Kernziel des Projekts war/ist die fotorealistic 3D-Modellierung von touristisch und kulturhistorisch interessanten Landschaften sowie Baudenkmälern in Bayern mit Technologien der Robotik und 3D-Computergrafik. Das „virtuelle Bayern“

hatte daher von Beginn an zwei zentrale Standbeine bzw. Projektkonzepte, die künftig eng miteinander verschmelzen sollten:

- a) **den „virtuellen“ Tourismus** mit Fokussierung auf Landschaften und Städte
- b) **das (digitale) Kultur-Erbe** mit Fokussierung auf die 3D-Modellierung von bedeutenden Prunkbauten außen und innen

Als besonders wichtig für diese Kernthemen erwiesen sich bedeutende Fortschritte in der 3D-Bildverarbeitung, insbesondere die Entwicklung eines hocheffizienten, pixelweise über globale Energiefunktionen arbeitenden Stereoalgorithmus SGM (Semiglobal Matching) am DLR-Robotik-Institut, der die klassische, Details „verschmierende“ Korrelationstechnik hinter sich lässt. Heute gilt der SGM-Algorithmus als Standard in der modernen Fotogrammetrie. Den ersten Anstoß, aber auch Test der SGM-Anwendung zur 3D-Modellierung von Landschaften lieferten die aufregenden Daten der Stereo-Zeilenkamera HRSC (High Resolution Stereo Camera) des DLR, die seit 2002 den Planeten Mars umkreist und (Zeilen-) Bilddaten liefert, so dass der Mars heute zum großen Teil in 10-20 m Auflösung dreidimensional modelliert ist (Abb. 1).

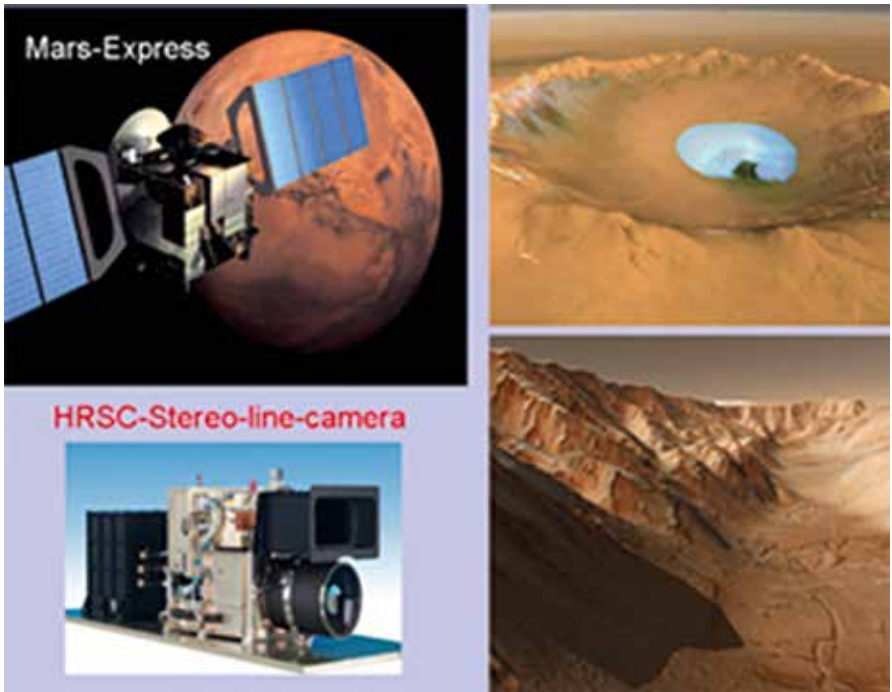


Abb. 1: 3D-Modellierung der Marsoberfläche

zu a) **Virtueller Tourismus:**

Zunächst sind wir mit einem „terrestrischen“ Duplikat der erwähnten Marskamera über das Voralpenland geflogen und haben schon 3D-Landschaftsmodelle in 30 cm Auflösung generiert, später dann mit moderneren Flächenkameras.

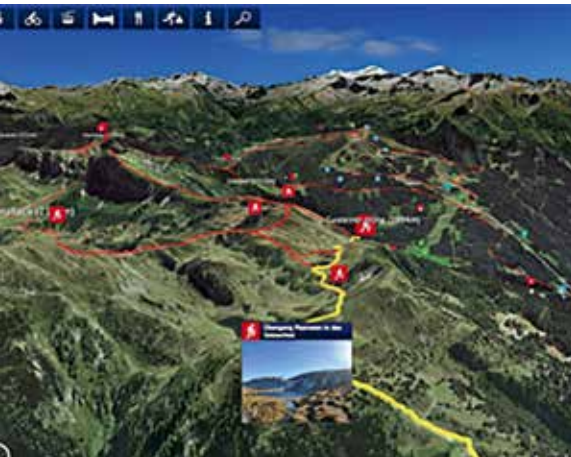
Genau genommen entstehen mit den nur senkrecht nach unten blickenden Kameras zunächst nur 2,5 D-Geländemodelle, bei denen Fassaden und Bäume wie mit Schleibern verhängt sind. Ähnliches gilt für die Landschaftsmodellierung aus den Laserbefliegungen der Vermessungsämter mit nachfolgender Texturierung durch die Kamerabilder. Allerdings wurden vom Technologieführer 3DRealityMaps, der über Jahre eng mit dem DLR-Institut kooperiert hat, inzwischen erste algorithmische Ansätze entwickelt, die bei hoher Überdeckung benachbarter Bilder eine automatische Fassadentexturierung erlauben.



*Abb. 2: München 10 cm mit Fassadentexturierung*

Um gleich „echte“ 3D-Landschaftsmodelle zu generieren, bietet es sich an, Kamera-Arrays, die auch schräg in alle Richtungen blicken, zu nutzen wie die neue Ultracam Osprey von Microsoft (Abb. 3 unten rechts, Füssen) oder die in der DLR-Robotik derzeit entwickelte Schwenkspiegeltechnik (Innen-)Stadtmodelle in 5 cm Auflösung sollten künftig zum Standard werden. Was dann „nahtlos“ anschließen muss, ist die 3D-Modellierung berühmter Baudenkmäler von außen (heute vor allem durch Drohnen) in 0,5 bis 3 cm Auflösung, die dann beim „virtuellen Flug“ von der Landschaft ins Gebäude in eine 0,5 bis 3 mm-Auflösung übergeht. So werden große Sprünge in der Detaillierung vermieden.

Mit den oben genannten Befliegungstechniken (Laser mit Kamera oder nur Kameras) hat 3DRealityMaps bereits einen Teil der Alpenregion in 20 cm Auflösung modelliert und interaktiv im Internet „befliegbar“ gemacht. Bekannte Urlaubsregionen wie Dolomiti Superski, Stubai Gletscherbahnen aber auch ganz Tirol nutzen die 3D-Landschaftsmodelle, um sich, ihre Wanderwege und Skipisten, aber auch die Lage der Hotels realitätsnah darzustellen und virtuell befliegbar zu machen. Zunächst war das für breite Anwendung hinderliche Laden einer client Software erforderlich, aber nachdem die Browser-Hersteller sich jetzt auf den WebGL-Standard für 3D im Internet geeinigt haben, wurde es möglich, diese client Software im Internetbrowser ohne zusätzliches plugin lauffähig zu machen. Allerdings geht es hier in 3D um bis zu 900-fach höher aufgelöste Landschaften als bei Google oder Microsoft.



Gasteiner Tal



Watzmann Berchtesgaden



Region Füssen



Abb. 3: Virtueller Tourismus

Im Mobilbereich konnte 3DRealityMaps eine preisgekrönte App (3DOutdoor Guides) ohne das Laden von Zusatzprogrammen entwickeln, die z. B. für die dreidimensionale Orientierung im Gebirge Maßstäbe setzt (Abb. 4). Es wird sicher nicht mehr lange dauern, bis Smartphones und Tablets autostereoskopische Displays anbieten, auf denen man dann den räumlichen Eindruck wie mit einer Stereobrille hat.





*Abb. 4: 3D-Apps für Bergwanderungen*

Generell erscheinen Anwendungen auf Basis von Online-Kartendiensten als ein schnell wachsender Bereich im Internet, insbesondere weil Informationen mit Ortsbezug durch Smartphones und GPS immer wichtiger werden. Im Gegensatz zu topographischen Karten oder Luftbildern, die alle Kartendienste einschließlich des Bayern-Atlas des LDBV kennzeichnen, ist die Orientierung in einer fotorealistischen 3D-Kartendarstellung wesentlich einfacher und macht die Inhalte zudem emotional erlebbar. Wir leben in einer dreidimensionalen Umwelt und unsere Wahrnehmung ist darauf ausgelegt, Informationen dreidimensional zu verarbeiten.

3D-Landschaftsmodellierungen sind die Plattform für eine Vielzahl neuer Anwendungen, die von einem verbesserten Tourismusmarketing über die Visualisierung von geplanten Windenergieanlagen und Stromtrassen, Einsatzplanungs- und Koordinationssystemen für die Bergwacht bis hin zur Darstellung von städtebaulichen Maßnahmen und Sehenswürdigkeiten reichen. 3D-Bewegungsanalysen wie das Monitoring der Gletscherschmelze oder der Hangrutschungen markieren andere bedeutsame Anwendungen. Eine fotorealistische 3D-Darstellung verbessert zudem die Outdoor-Navigation beim Radfahren, Wandern und Mountainbiken sowie die Orientierung in Städten.

Will man sich im Stadtbereich auf Fußgängerniveau bewegen, dann ist es sinnvoll, auch 3D-Farbdaten (Laser + Kameras oder Kameras allein) von der Straße aus zu generieren und sie mit den Flugzeugkameradaten zu fusionieren (Abb. 5).



Abb. 5: 3D-Modell der Innenstadt von Furth im Wald

#### zu b) **Digitales Kultur-Erbe:**

Historisch bedeutsame Baudenkmäler, für die oft keine detaillierten Aufzeichnungen oder Pläne vorliegen, die zur Dokumentation oder digitalen Rekonstruktion geeignet wären, sollten in einem fotogrammetrischen Bildarchiv langfristig virtuell gesichert werden, um zeitliche Veränderungen rückgängig machen zu können oder eine große Restaurierung nach Zerstörungen durch Unfälle, Umwelteinflüsse (Wasserschäden wie in diesem Frühjahr, Erdbeben usw.), oder Brandkatastrophen zu unterstützen. Der Meteor, der 2002 kurz hinter Neuschwanstein in mehreren Trümmern am Boden einschlug, hat uns diesbezüglich zusätzlich motiviert. Für diese Zielsetzung haben sich in den letzten Jahren photogrammetrische Auflösungen von 0,5 bis 3 mm im Gebäudeinneren und 0,5 bis 3 cm Auflösung im Außenbereich bewährt, wobei die konkret zu wählende Auflösung vom Baustil des Objektes abhängig ist.

Eine Auswertung der virtuellen Konserve wie z. B. die Erstellung eines fotorealistischen 3D-Modells kann dann jeweils ereignisgesteuert mit den dann modernsten Technologien erfolgen. So können auch heute noch nicht absehbare Technologien

wie z. B. das 3D-Drucken, das zukünftig vielleicht auch ermöglichen wird, größere zerstörte Gebäudeteile einfach neu auszudrucken, aus dem photogrammetrischen Archiv mit Daten versorgt werden. Damit so hohe Auflösungen, die über die Leistungsfähigkeiten normaler Laserscanner weit hinausgehen, effektiv bei der Datenerfassung erreicht werden können, wurde für das Projekt ein MultiSensor Ansatz entwickelt, bei dem klassische Laserscanner mit einem „robotischen“ fotogrammetrischen System kombiniert und fusioniert werden.

Schon früh zeigte es sich aber, dass ein ähnlich großes Interesse daran besteht, Bauten und Technologievorhaben nach Plänen und alten Fotos virtuell neu entstehen zu lassen, die nie realisiert wurden oder die es heute nicht mehr gibt. So entstanden im Lauf der Jahre insgesamt vier Kategorien unseres Teilprojekts digitales Kulturerbe, die im Folgenden näher erläutert bzw. durch Beispiele verdeutlicht werden:

### ○ **Bayern 3D-Heimat Digital – existierende Baudenkmäler:**

In enger Kooperation mit dem Architektur- und Dokumentations-Spezialisten Fa. illustrated architecture haben wir in den letzten zehn Jahren berühmte und historisch bedeutende Gebäude wie z. B. Königsschlösser und Barock-Kirchen fotogrammetrisch in 1 bis 3 cm Auflösung außen (Beispiele Schloss Nymphenburg, Linderhof, Herrenchiemsee) und 1 bis 3 mm Auflösung innen (z. B. Thron- und Sängersaal in Neuschwanstein, Spiegelsaal in Herrenchiemsee, Andechs, Wies etc.) räumlich (in 3D) modelliert. Dabei kamen sowohl im Außen- wie auch im Innenbereich schon sehr früh Laserscanner der Fa. Zoller und Fröhlich, wie sie vormals an der TU München für die Robotik entwickelt wurden, zum Einsatz; zunächst auch eine ursprünglich für Marsmissionen entwickelte Zeilen-Panoramakamera, inzwischen vor allem aber hochauflösende Flächenkameras.

Einen entscheidenden Impuls für diese bis dato weitgehend selbstfinanzierten Arbeiten gab die Entscheidung des bayrischen Finanz- und Heimatministeriums, diese Vorarbeiten zum sog. digitalen Kulturerbe zu unterstützen mit dem Ziel der genauen Zustandsdokumentation, Vermessungstechnik und 3D-Rekonstruktion mit neuesten fotogrammetrischen Verfahren und ihrer Integration in den sog. Bayern-Atlas; über ihn soll der „barrierefreie“ Besuch der bayrischen Baudenkmäler und ihrer unmittelbaren Umgebung im schnellen Internet ohne Plug-In im Browser möglich werden. Bayern 3D-Heimat Digital wurde der neue Name für dieses spannende Projekt.

## ► Außenbereich:

Mit dem alle ca. 50 m neu aufgestellten Laserscanner und der erwähnten Panorama-Zeilenkamera entstand so vor zehn Jahren unser erstes Gebäudemodell, Schloss Nymphenburg (Abb. 6), basierend auf dem Eindruck, dass für den Außenbereich der Baudenkmäler die für Landschaften und Städte immer populärer werdende Flugzeug-Kamera-Befliegung nicht ausreichen würde.



*Abb. 6: 3D-Modell Nymphenburg, weitgehend vom Boden aus modelliert*

Inzwischen setzen wir aber immer stärker auf die Multicopter-(Drohnen-)Befliegung. Aus deren (Mono-)Bildern lassen sich die relativen Aufnahmepositionen („Pseudo-Stereoansichten“) errechnen, aus denen dann über SGM die 3D-Modelle entstehen.

Ausgestattet mit GPS-Steuerung und hochauflösenden Kamerasystemen ermöglicht die Drohnenvermessung eine relativ hohe Rekonstruktionsgenauigkeit und erleichtert und beschleunigt die Vermessung von komplexen Gebäuden und Anlagen, sowie schwer zugänglichen Bauwerken wie Kirchtürmen oder historischen Burgenanlagen (Abb. 7).



*Abb. 7: Andechs 3D nach Multicopterflug*



Heute reicht der Einsatzbereich von Mehrflügler- oder Multicopter-Drohnen mit typischerweise 4, 6 oder 8 Propellern von der fotografischen Dokumentation aus der Luft, über die Bauwerksinspektion und Bauwerksaufnahme für die Sanierung bis hin zur kompletten 3D-Rekonstruktion von komplexen Gebäuden mit einer Genauigkeit von 1 – 5 cm. Mit einer detaillierten Flugplanung und einer GPS-gesteuerten, autonom nach dieser Planung fliegenden Drohne kann eine enorme Effizienzsteigerung bei der Erfassung, Analyse und Dokumentation des Bauwerkszustandes erzielt werden. Erfordert die klassische Vermessung das Aufstellen von Gerüsten oder Hebeplattformen, so kann ein komplexes Bauwerk wie die Burganlage in Nürnberg an nur einem Tag komplett mit tausenden von Luftbildern dokumentiert und archiviert werden.

In der Tat hat im Rahmen des forschungsorientierten **Heimat Digital**-Projekts der Partner 3DRealityMaps die Schlösser Neuschwanstein und Linderhof sowie das Schachenhäus und die Nürnberger Burg mit fotogrammetrischen Drohnen befliegen lassen und tausende hoch aufgelöster Fotos aufgenommen und zu 3D-Modellen prozessiert.

Die Befliegung von Schloss Neuschwanstein war logistisch besonders schwierig. Zum einen musste sichergestellt werden, dass tausende Besucher zu keinem Zeitpunkt durch die Drohnen gefährdet sind. Eine Schließung der Anlage im Sommer stand außer Frage, daher musste das Gelände mit mehreren Personen jeweils für mehrere Minuten abgesichert werden. Zum anderen ist die Schlossanlage sehr groß, hoch und komplett von Wald umgeben. Daher war eine sorgfältige Flugplanung auf Basis eines bestehenden 3D-Oberflächenmodells zwingend notwendig. Zudem gab es seitens der Verwaltung aus naturschutzrechtlichen Gründen zunächst Bedenken gegen die Befliegung. Dennoch konnte durch die Kooperationsbereitschaft der Behörden das Objekt innerhalb von zwei Tagen erfolgreich aufgenommen werden. Auf ähnliche Schwierigkeiten trafen wir in Linderhof und bei der Nürnberger Burg, die als Anlage noch einmal etwa fünfmal größer ist als Neuschwanstein (Abb. 8, unten).

Die von den Drohnen mit hoher Überlappung aufgenommenen Fotos sowie die Positions- und Fluglagedaten wurden anschließend weiter verarbeitet, um daraus eine dichte 3D-Punktwolke des Gebäudes zu berechnen. Im Fall von Neuschwanstein wurden über 4.000 Fotos aufgenommen, aus denen eine dichte 3D-Punktwolke in mehreren Tagen Rechenzeit mit einem Hochleistungscluster berechnet wurde. Aus der Punktwolke können direkt alle Maße des Objektes mit hoher Genauigkeit ermittelt werden. Zur 3D-Visualisierung wird im nächsten Schritt aus dieser Punktwolke ein trianguliertes Netzwerk, ein sogenanntes TIN oder Mesh, berechnet, das als Grundlage zur Texturierung dient und den Datensatz von über 50 GB auf etwa 3 GB reduziert. Die photogrammetrischen Verfahren sind so genau, dass selbst kleinste Details z. B. in der Fassade von Schloss Linderhof exakt wiedergegeben werden (Abb. 8, wie oben und Mitte rechts). Mit klassischen Methoden wäre der Aufwand, diese Details zu erfassen, unbezahlbar.



*Schloss Neuschwanstein*



*Schloss Linderhof*



*Burg Nürnberg*



*Abb. 8: 3D-Modelle der Schlösser und Burgen*

Schwierigkeiten bei der Texturierung bestanden darin, dass sich die Befliegungen jeweils über den ganzen Tag hinzogen, währenddessen sich die Licht- und Schattenverhältnisse kontinuierlich veränderten. Umfangreiche, teilautomatisierte Korrekturen in den Originalfotos waren notwendig, um diese unvermeidbaren Effekte zu minimieren.

Ein hoffentlich bald erreichbares großes Ziel besteht darin, aus einer Landschafts-Grob-Modellierung von z. B. 20 – 30 cm Auflösung vollautomatisch eine Drohnen-Flugplanung zu generieren, die sicherstellt, dass mit der vorgesehenen Kamera alle für eine perfekte 3D-Rekonstruktion erforderlichen Bilder mit den notwendigen Überlappung erfolgen werden. Im Übrigen wird am Beispiel der Nürnberger Burg z. Zt. abgeklärt, welches Potenzial in einer Fusion der fotogrammetrisch erfolgten Daten mit vom Boden aufgenommenen Farblaserscans steckt, z. B. im Hinblick auf Torbögen und Durchgänge bei frei wählbaren Betrachter-Positionen bis herunter zum Boden.

## ► **Innenräume:**

Die Nutzung der Laserscan-Technologie, die von jedem Standort aus räumliche Punktwolken generiert und von Farbkameras, die dann in welcher Form auch immer die Texturinformation beitragen, war von Anfang an (um 2002) unser favorisierter Ansatz für die Innenräume. Brauchte der Laserscanner vor etwa zehn Jahren noch 30 Minuten für einen Rundumscan, bis er dann an der nächsten Position mit einem weiteren Scan beginnen konnte und die erwähnte Zeilen-Panoramakamera ca. 2 Stunden für den Rundumblick an einer Stelle, so hat der Scanner bei 7 Minuten Scanzeit jetzt selbst schon eine kleine Farbkamera für die grobe Einfärbung der Punktwolken. Und für die hochqualitativen Bilder braucht dann z. B. eine extrem lichtempfindliche und hochdynamische sCMOS-Kamera des Kelheimer Kameraspezialisten Fa. PCO gerade noch 3-4 Minuten. Die algorithmische „Kunst“ besteht dann darin, die etwas gröberen Laserpunktwolken (1 - 2 mm) mit den aus den Kamerafeinbildern (0,1 bis 2 mm) rechenbaren Punktwolken zueinander zu kalibrieren (orientieren) und dann zu verschmelzen. Wir sprechen daher auch vom **multiskaligen MuSe-(MultiSensor-)Konzept**, bei dem unterschiedliche Sensortypen mit modernen Methoden der Fotogrammetrie zusammengeführt werden. Dabei stellen die räumlichen Punktwolken für den Laserscanner wie für das Kamerasystem die gemeinsame Basis im sog. T3CFormat dar (Abb. 9).

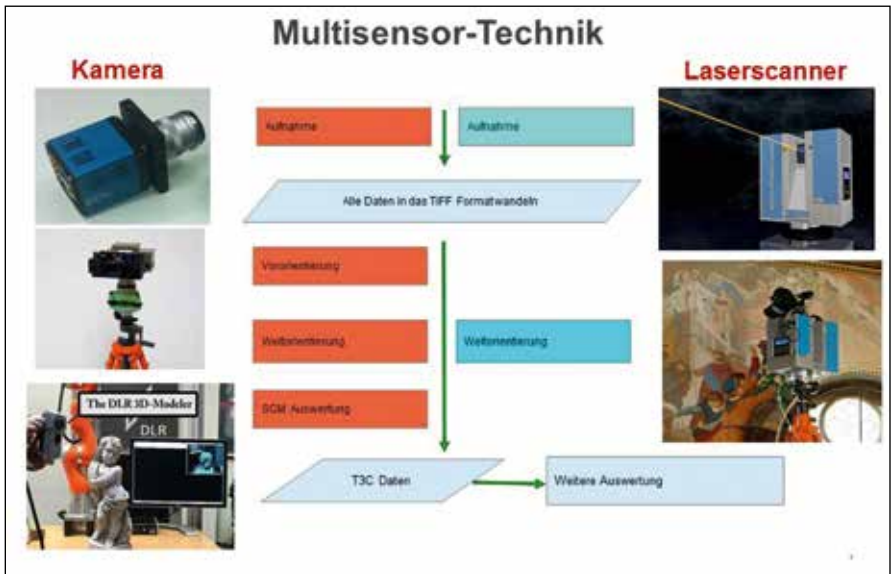


Abb. 9: Ablaufprinzip zur Erstellung von 3D-Daten im sog. T3C Format (je ein Texturbild und ein Tiefenbild)

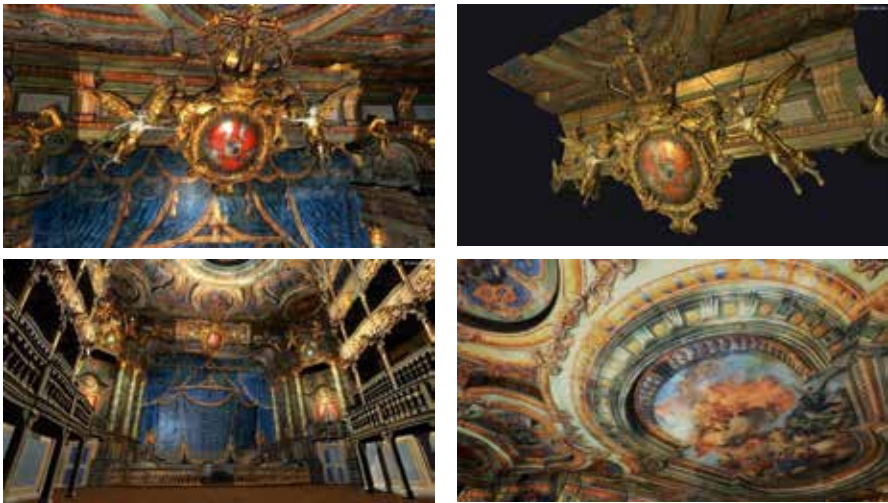
Mit Unterstützung aus dem DLR-Institut wurden die automatische Punktwolkenvermaschung, die Punktwolkenorientierung, das sog. Löcherschließen und die Texturaufbringung mit Farbausgleich in den letzten Jahren weitgehend automatisiert.

In einem der bisher spektakulärsten Projekte, der von der bayrischen Forschungsstiftung als Verbundprojekt geförderten, hochgenauen 3D-(Innenraum-) Modellierung des Markgräflichen Opernhauses in Bayreuth (einem Welterbe-Objekt, Abb. 10) wurde diese Methodik zur Reife gebracht, es ist für uns daher das **MuSe-Projekt Bayreuth**. Die speziell aufgebaute MuSe Kamera mit sCMOS-Technologie kann mit der Hand geführt und um ein LED-Flash ergänzt werden. Die Aufnahmen erfolgen mit 10 bis 30 Vollbildern pro Sekunde, so dass die aufzunehmenden Objekte gleichsam abgefilmt werden.

Für jedes Kamerabild wird auf Basis einer Vielzahl von Nachbarn mit dem SGM-Algorithmus ein perspektivisches Tiefenbild berechnet. Die einzelnen Tiefenbilder (Punktwolken) werden vermascht, die „Teilmesches“ untereinander bzw. mit den Teilmesches des Laserscanners fusioniert und dann texturiert.

Die fertigen Daten werden dann z. B. in eine „Gamingengine“ wie die Echtzeitvisualisierungssoftware Unity übertragen und können dort animiert werden. Die 3D-Grafik-

Spezialisten der Fa. Time in the Box korrigieren Modellierungsfehler und Artefakte und realisieren Beleuchtungsmodelle. Schwierige Oberflächen wie Vergoldungen, Tapeten und Stoffe stellen allerdings höchste Ansprüche an die 3D-Modellierung.



3D-Modell Opernhaus Bayreuth

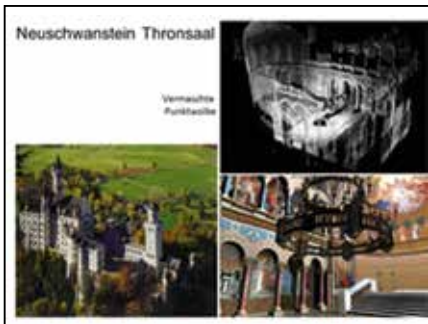


Bayreuth - Erste Scan-Resultate mit Texturen 3D-Feinmodellierung

Abb. 10: Die millimetergenaue 3D-Modellierung des Markgräflichen Opernhauses Bayreuth

Die technologischen Fortschritte aus dem Opernhaus-Projekt wurden für **Heimat Digital** genutzt, um z. B. den kompletten touristischen Rundgang in Neuschwanstein (neben Thronsaal und Sängersaal den Wohn-, Arbeits- und Schlaf-Bereich) millimetergenau in 3D zu modellieren wie auch in Linderhof neben dem Schlafzimmer das „Tischlein-Deck-Dich“-Speisezimmer mitsamt seiner Technik (reverse engineering) oder den türkischen Salon im Schachenhaus (Abb. 11).





Neuschwanstein Thronsaal



Kloster Andechs in 3D



Paradeschlafzimmer in Schloß Linderhof



Spiegelsaal Herrenchiemsee



„Blaue Grotte“ Linderhof



Türkischer Salon im Schachenhaus

Abb. 11: Digitales Kulturerbe

### ○ Nie realisierte Baupläne und (technische) Projekte:

Es gibt in Bayern etliche Baupläne und technische Projekte, wie sie vor allem von König Ludwig II. geplant waren aber nicht realisiert wurden (Abb. 12). Dies sind z. B. Planungen für eine Wagner-Oper am Isarhochufer, nicht realisierte Pläne in Schloß Neuschwanstein, Schloß Falkenstein, chinesisches und byzantinisches Schloss, Chiemsee-Barke, frühe Luftschiff-Entwürfe, Ludwigs des II. Wünsche nach Flugmaschinen und speziell nach der von einem Ballon entlasteten Seilbahn über den Alpsee, obwohl visionär, galten damals als Hirngespinnste und trugen zu seiner Entmündigung bei.



*Die Idee Ludwigs II. für eine Semper'sche Wagner-Oper am Isarhochufer*



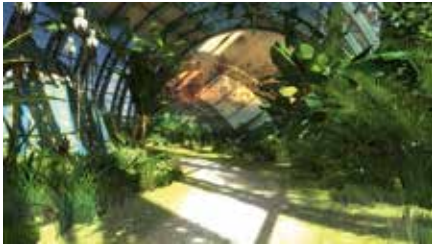
*Nicht mehr gebaute Schlösser und der erträumte Alpseeflug*

*Die nie gebaute königliche Barke auf dem Herrenchiemsee*



○ **Nicht mehr existierende, weil inzwischen zerstörte Architekturen und Objekte**

(z. B. Wintergarten auf der Münchener Residenz, Brunnenhaus in Bad Kissingen, Prunkschiff Bucentaur auf dem Starnberger See, s. Abb. 13). Hier dienen erste Schwarzweiß-Fotos, Stiche und ggf. Aquarelle als Haupt-Quelle



*Der legendäre Wintergarten Ludwigs II über der Münchner Residenz*

*Bucentaur-Prunkschiff der Wittelsbacher ab 1622 auf dem Starnberger See*





○ **Zerstörte, aber teilweise wiederaufgebaute Architekturen, die sich virtuell rekonstruieren und dadurch wieder „vervollständigen“ lassen**

Die quasi als Rohbau mit Ziegelmauerwerk wieder aufgebaute, im Krieg völlig zerstörte Allerheiligenhofkirche in München wurde mit dem Laserscanner in 3D eingescannt und dann nach einem Aquarell von Nachtmann, der einzig verfügbaren Farbinformation, texturiert und „virtuell begebar“ gemacht (Abb. 14).



*Historische Ansicht der Münchner Allerheiligen-Hofkirche*



*Aquarell Nachtmann  
nach dem Krieg*

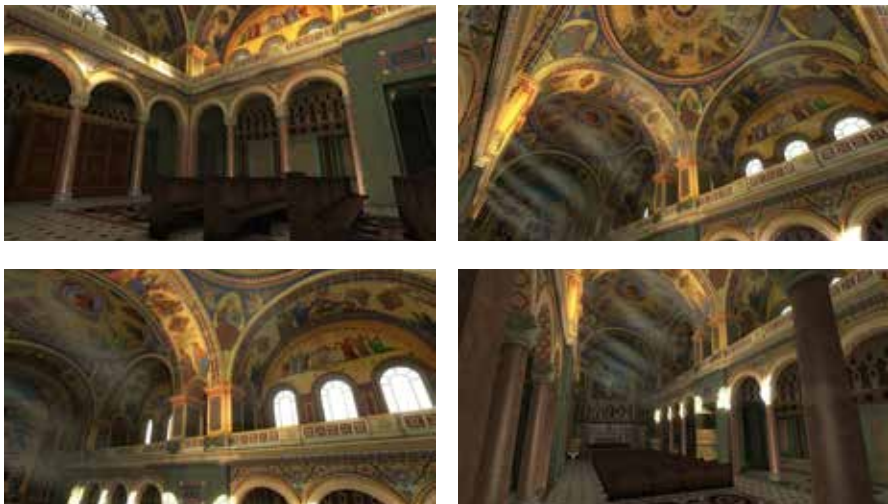


*Vorkriegs-Foto  
heute*



*Zerstörung und Wiederaufbau als „Rohbau“*





3D-Modellierung und virtuelle Texturierung

Abb. 14: Allerheiligen-Hofkirche München

## ○ Virtuelle Besichtigung im Internet

In einem letzten Schritt wurden die Modelle der Prunkbauten weiter vereinfacht, um sie im Internet der Öffentlichkeit verfügbar zu machen. Die Reduktion der Datenmengen war erforderlich, weil bestehende Softwarelösungen und Datenübertragungsraten es nicht erlauben, ein 3D-Gebäudemodell mit 3 GB Größe interaktiv zu betrachten. Als internettaugliches Format bot sich die neue, von allen großen Browserherstellern unterstützte WebGL Technologie an. Aus dem 3 GB großen Ausgangsmodell wird typischerweise ein neues, vereinfachtes Modell im WebGL Format mit einer Größe von 200 MB berechnet. Es ist aber nur eine Frage der Zeit und der Verfügbarkeit von Breitbandübertragungsraten, bis die 3D-Modelle bayrischer Schlösser in voller Auflösung im Internet betrachtet und interaktiv besichtigt werden können. Die Annäherung an die Gebäude und das virtuelle Hineinfliegen in die Innenräume durch Fenster und Türen mit den unterschiedlichen Genauigkeiten ist besonders herausfordernd für die Software.

Allerdings ist auch hier noch viel Entwicklungsarbeit zu leisten. Bei den Weboptimierten Virtual Reality Szenen werden Daten in Dimensionen von ca. 1 - 50 MB transferiert. Diese Daten werden entweder in einem kompletten Paket geliefert oder sie werden ähnlich wie beim Videocontent „gestreamt“, d. h. der Nutzer befindet sich nach dem Aufrufen einer Szene sofort in der interaktiven 3D-Welt, Oberflächentexturen und detaillierte 3D-Objekte werden dynamisch nachgeladen. Mit Hilfe der Breitbandan-

bindung können die Download- und Upload-Zeiten auf wenige Sekunden reduziert werden, was sich in einer gesteigerten „User Experience“ auswirkt.

Mit den modernsten VR-Technologien werden die 3D-Welten realitätsnah begehbar gemacht. Bei den sog. immersiven Systemen gibt es zur Zeit zwei unterschiedliche Ansätze: Die stationären VR-Brillen, die mit einem Kabel und mit einem Rechner verbunden sind und die mobilen VR-Brillen, die mit einem eingeschobenen Smartphone funktionieren. In den stationären Systemen befinden sich ein fest eingebautes hoch auflösendes Display und ein Gyroskop als Sensor für die Kopfdrehung und Kopfbewegung. Bei den mobilen Systemen werden die beiden Bilder für das Augenpaar auf dem Smartphone-Display angezeigt, die im Telefon verbaute Sensorik liefert die Daten der Kopfbewegung.

Noch viel extremer als bei der Darstellung im Internetbrowser, müssen die 3D-Strukturen für den Gebrauch mit einer VR-Brille reduziert werden, das gilt vor allem für mobile Anwendungen, da die Prozessor- und Grafikleistung von Smartphones noch begrenzt ist. Hier müssen die in Echtzeit prozessierten 3D-Szenen mit einer Framerate von mind. 80 Hz flüssig angezeigt werden, um ein Unwohlsein (die sog. VR-Krankheit) zu vermeiden. Deshalb werden für den VR-Einsatz die 3D-Modellstruktur und die Oberflächen-Texturierung nochmals stark reduziert, ohne dass sich erkennbare Einbußen in der Qualität der Darstellung ergeben. So wird eine 3D-Szene mit bis zu 30 Mio. Polygone auf ca. 5 % reduziert, so dass dann nur noch 1,5 Mio. Polygone vorhanden sind, bei mobilen Anwendungen muss die 3D-Vermaschung noch stärker ausgedünnt werden, so dass die Anzahl der Polygone nicht größer als 500.000 ist.

## **Weiterführende Ziele und Synergie-Effekte**

### **○ Virtuelles Bayern flächendeckend:**

Zielsetzung dieses Themas ist, wie eingangs erwähnt, eine einzigartige realitätsnahe, fotorealistische Darstellung der gesamten bayrischen Landschaft und seiner Städte, Dörfer, Schlösser, Burgen und Kirchen im Internet, die weit über die Qualität bekannter Earth-Viewer wie Google Earth und Microsoft Bing hinausgeht.

So soll das Projekt Bayern 3D Heimat Digital mit seinem Schwerpunkt Prunkbauten maßgeblich unterstützt und erweitert werden. Grundlage für die Landschaftsdarstellung sind die aktuellsten Daten des LDBV (Luftbilder mit 20 cm Bodenauflösung und ein Oberflächenmodell mit 40 cm Auflösung). Im Unterschied zu den bekannten Kartendiensten von Google oder Microsoft soll hier jedes Gebäude und die Vegetation in 3D dargestellt und mit Fassadenansichten aus den Senkrechtluftbildern texturiert werden. Nur diese hohe Auflösung vermittelt ein realistisches Bild der Landschaft und Städte.

In diese virtuelle Landschaft von ganz Bayern sollen die sehr hoch aufgelösten 3D-Rekonstruktionen von Sehenswürdigkeiten wie Schlössern und Burgen, historischen Innenstädten und natürlich auch die begehbaren Innenräume eingebunden werden. Der Nutzer könnte so zum Beispiel die Landschaft um die Königsschlösser in Füssen erkunden, den Reisewegen König Ludwigs II folgen und zugleich die Prunkbauten von außen und innen in einer bisher ungekannten Detailauflösung betrachten und erkunden.

3DRealityMaps hat z. B. eine Client-Server Software entwickelt, die es erlaubt, ohne Installation einer Software riesige 3D-Datensätze wie ganz Bayern in 20 cm Auflösung im Internet darzustellen. De facto verarbeitet die Software schon beliebige Datensätze in unbegrenzter Größe und Detailreichtum und macht diese auf einer Vielzahl von Endgeräten wie Laptops, Tablets, Smartphones, VR- und TV-Geräten verfügbar. Zum Einsatz kommt sie bereits bei der bayernweiten Visualisierung von Windenergie-Anlagen ([www.energieatlas.bayern.de](http://www.energieatlas.bayern.de)) und bei den ersten Tests der Bergwacht für die Unterstützung der Helfer bei Rettungseinsätzen. Im Bereich Tourismus zählen bekannte Gebiete in Österreich, der Schweiz und Italien zu den Nutzern.

## ○ **Der Zeittunnel als Instrument des digitalen Kulturerbes**

Die oben erwähnten Bauten und Technologieobjekte sind zum Teil unterschiedlichen Epochen zugehörig. Es liegt daher nahe, einen „Zeittunnel“ zu konzipieren (Abb. 15), den man interaktiv durchfliegen kann und an dessen Wänden die Jahreszahlen vorbeigleiten wie auch die Köpfe von Personen, die mit 3D-Objekten in Beziehung stehen, inklusive der zum Teil komplexen Vernetzungen; dies immer vor dem Hintergrund, dass man dann die der jeweiligen Zeit zugeordneten 3D-Objekte (vielfach Bauten) virtuell besuchen (z. B. aus der umgebenden Landschaft hineinfliegen) und betrachten kann und detaillierte Erklärungen z. B. über Gemälde oder Stuckarbeiten anklicken kann. Im Technologiekontext ist geplant, historische Maschinen etwa aus dem Deutschen Museum nicht nur statisch zu visualisieren, sondern virtuell zum Leben zu erwecken und Funktionsprinzipien zu erklären (s. unten).

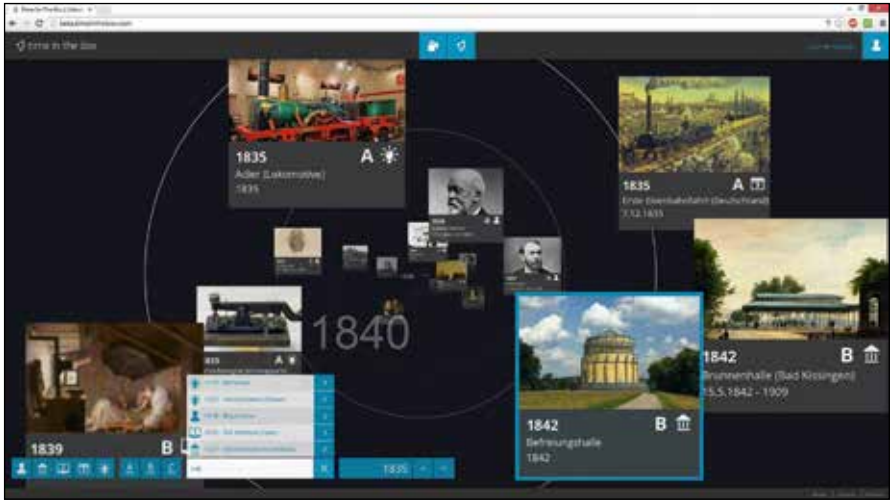


Abb. 15: Zeittunnel

Ein Vorläufer des Zeittunnels wurde von den Projekt-Partnern schon vor einigen Jahren für den Multimediaraum im Eingangsbereich von Schloß Nymphenburg realisiert. Dort können Besucher an zwei PC's über eine Art Schieberegler mit der Maus am Bildschirm über die Jahrhunderte interaktiv den Bauzustand des Schlosskomplexes sehen, die für die Gartenplanung mit ihren Parkburgen bedeutsame Idee der Sichtachsen wie auch die Technik-Entwicklung des Brunnenhauses, das noch heute die Springbrunnen der Schloßanlage antreibt. Darüber hinaus wurde in dem mit Laserscanner und Kamera fotorealistisch in 3D modellierten kleinen Lustschlösschen Badenburg Wasser virtuell in das große Bad „eingelassen“, obwohl es dort seit mehr als hundert Jahren kein Wasser mehr gibt (Abb. 16).



Nymphenburg Springbrunnentechnik



*Badenburg mit „virtuellem“ Wasser*

*Abb. 16: Technik und VR-Historie in Nymphenburg*

Der Zeittunnel ist das zentrale Element der „virtuellen Zeitmaschine“, die auf eine mit einer Zeitachse gesteuerte Wissens- und Erlebnisplattform für den virtuellen Geschichtstourismus zielt. Kern dieser Web-Applikation sind interaktive 3D-Welten, die historisch relevante Architekturen, Ereignisse, Kunstexponate und Erfindungen in Echtzeit visualisieren und erlebbar machen (wie z. B. auch München um 1910 oder um 1600, Abb. 17).



*München (Stachus) um 1910 rekonstruiert (Straßenbahnen fahren)*





*München um 1600 nach dem Sandtner-Modell im Nationalmuseum  
Abb. 17: München 3D-Modelle um 1910 und 1600*

### ○ 3D-Rekonstruktion von historischen Möbeln, Museums- und Technologie-Objekten

Ähnlich wie bei den historisch bedeutsamen Prunkbauten gibt es zahlreiche Gründe, auch Museumsobjekte fotorealistisch in 3D zu rekonstruieren, ggf. auch interaktiv im Internet betrachtbar zu machen. Vielfach spielt dabei aber das „reverse engineering“ auch eine zentrale Rolle, z. B. wenn man in der 3D-Modellierung wertvoller Möbel in den Residenzen auch die dahinter stehende Mechanik (z. B. Schubladentechnik) zeigen will. Die 3D-Visualisierung der Tischlein-Deck-Dich-Technologie im Linderhof-Esszimmer ist beispielhaft jetzt ein Element des **Heimat-Digital-Projekts**, erste Erfahrungen wurden aber schon früh mit der oben erwähnten Nymphenburger Springbrunnen-Technik gemacht.

Quasi als Test für die Anwendbarkeit der Bauten-Rekonstruktions-Technik auf größere freistehende Museums-Objekte (statt Innenräume) wurde der sog. Puttenschlitten Ludwigs II. im Münchner Marstallmuseum, das weltweit erste beleuchtete Fahrzeug, in 3D modelliert (Abb. 18). Wegen seiner vielen glänzenden Bronze- und Gold-Flächen stellte er eine Herausforderung für die skizzierten Algorithmen und den sog. Farbausgleich dar.

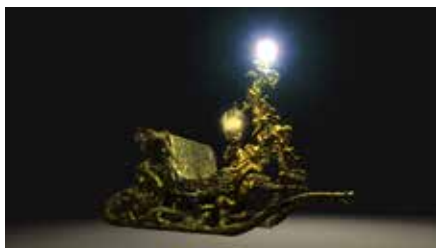


Abb. 18: *Puttenschlitten Ludwigs II*



Abb. 19: *Apollo-Autos fahren virtuell über den Mond*

Prinzipiell aber wurden die gleichen Techniken wie bei der Innenraummodellierung mit Laserscannern und lichtempfindlichen Kameras angesetzt.

Bei den Objekten des Deutschen Museums hingegen steht das reverse engineering im Vordergrund, um die Bewegungsmechanismen sichtbar zu machen, etwa bei den Apollo-Autos, die vor fast 50 Jahren über den Mond fuhren (Abb. 19). Statt terrestrischer Landschaften war hier natürlich auch die möglichst genaue 3D-Modellierung der Apollo-Landeplätze aus den besten verfügbaren Daten ein wichtiges Thema. Andere Beispiele sind der Benz-Wagen, das erste Automobil, die Funktion der ersten ventilgesteuerten Dampfmaschine oder die Flugversuche Otto Lilienthals von seinen zum Teil aufgeschütteten Hügeln.

## ○ **Corpus der Barocken Deckenmalerei**

Ein 25 Jahresprojekt der Bayer. Akademie der Wissenschaften (Leitung Prof. Hoppe von der LMU) zur Dokumentation und Archivierung aller barocken Deckenmalereien in Deutschland wird von den Heimat-Digital-Projektpartnern maßgeblich unterstützt. Viele der berühmten Deckenmalereien beinhalten Stuck-Arbeiten mit räumlichen Strukturen, die bei reiner 2D-Bilddokumentation nicht befriedigend zum Tragen kommen. Umgekehrt war es auch für Restaurationsexperten beeindruckend zu sehen, dass ein offenbar räumlich strukturiertes Deckenfresko wie im Markgräflichen Bayreuther Opernhaus nur auf einem bemalten über die Decke gespannten Tuch meisterhaft vorgetäuscht wird. So kam es zum Wunsch der Akademie, in die Dokumentation der barocken Decken künftig das Potenzial der vollständigen 3D-Modellierung einzubeziehen. Die Arbeiten dazu sind bereits angelaufen.

## Resumee/Ausblick:

Unser langfristig verfolgtes Ziel lautet:

Die attraktivsten Landschaftsregionen, Baudenkmäler und historischen (Technologie-)Entwicklungen Bayerns in bisher nicht gekannter Detaillierung in 3D zu modellieren, interaktiv barrierefrei“ im Internet „befliegbar“, „begehbare“ bzw. betrachtbar zu machen und geschichtliche Zusammenhänge in 3D begreifbar zu machen

Die neue WebGL-Technologie erlaubt es, die dabei anfallenden riesigen Datenmengen in Echtzeit zu visualisieren (ohne Laden von Spezialsoftware im Browser) und über die Entwicklung einer gemeinsamen Plattform- und Server-Technologie von der Landschaft mit sukzessive höher werdender Auflösung in die Prunkbauten zu „fliegen“ und wieder heraus.

Damit lassen sich gleich mehrere Teil-Ziele erreichen:

- Eine weltweite Werbung für das Land Bayern in bisher nicht gekannter Form, dabei künftig auch unterstützende Technologien nutzend wie das Internet-Fernsehen IPTV oder die von Facebook für fast zwei Milliarden gekaufte Oculus Rift-Datenbrillen-Technik. Sie (bzw. das eine oder andere Derivat) ist auch ein Kandidat für die „virtuelle Begebarkeit“ geschlossener Räume der Prunkbauten (z. B. wg. Renovierung) in speziellen Hallen oder Zelten. Die soeben wegen Einsturzgefahr für fünf Jahre geschlossene Linderhofgrotte könnte ein erster Anwendungsfall werden.
- Eine ebenso weltweit sichtbare Demonstration bayrischer Hochtechnologie in Form des „**Big-Data-Handling**“ und der intelligenten, zukunftsorientierten Breitbandkabel-Nutzung des Internet (**als Leuchtturm-Projekt der Digitalisierung**)
- Unterstützung der Schlösser- und Seenverwaltung, der Obersten Baubehörde, der Hochbauämter und des Landesamts für Denkmalpflege mit ihren Restauratoren und Konservatoren mit einem ganzheitlichen, „multiskaligen“ Ansatz der 3D-Gebäudemodellierung, aus der sich beliebige 2D-Schnitte und 3D-Teilmodelle mit hochgenauen Detailbildern (bis zu 0,25 mm für die Ansprüche der Restauratoren) und Orthofotos ableiten lassen.
- Eine Art „Quantensprung“ auch für den sog. Bayern-Atlas der Vermessungsämter für Landschaften von 2D auf 3D. ■■■