

“Permanente automatische Monitoring Systeme für historische Bauwerke”

Prof. Dr.-Ing. Karl Foppe
Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences
Brodaer Straße 2
D-17033 Neubrandenburg

Telefon: ++49(0)395 / 5693-311

Fax: ++49(0)395 / 5693-399

Mail: foppe@hs-nb.de

Zusammenfassung

Historische Gebäude wie Kirchen sind Kulturgüter und haben eine große Bedeutung für die Bevölkerung eines Landes. Häufig zeigen historische Bauwerke Schädigungen wie z.B. Rissbildungen verursacht durch Bewegungen des Bauswerks; insbesondere ungleichmäßige Setzungen. Eine Neugründung des Bauswerks wäre mit immensen Kosten verbunden. Deshalb ist ein Ziel der Untersuchungen, die Notwendigkeit für bauliche Maßnahmen zur Erhaltung der Standsicherheit des Bauswerks zu prüfen. In diesem Beitrag werden verschiedene Methoden zur permanenten Überwachung von Bauwerken mit ingenieurgeodätischen Methoden und deren Automatisierung vorgestellt. Des weiteren werden zusätzliche Sensoren zur Erfassung äußerer Einflüsse als Ursachen der Bewegungen installiert. Das Gesamtsystem erlaubt die Online-Kontrolle des Bauswerks via Internet (Datenregistrierung und Systemwartung) und kann als Alarmsystem Warnungen per E-Mail oder GSM-Mobiltelefon absetzen. Ein aktuelles Forschungsthema an der Hochschule Neubrandenburg stellt das System „DaBaMoS“ — Datenbankorientiertes Monitoring- und Analysesystem dar. Neben den konventionellen Techniken zur automatischen Datensammlung sollen insbesondere die konsequente Anwendung moderner Datenbanktechniken sowie die Entwicklung robuster automatisierbarer Auswertemethoden im Vordergrund der Untersuchungen stehen.

Conclusion

Historical buildings like churches are objects of great cultural value and convey a certain meaning for the population. Very often historical buildings show damages like tearing obviously caused by movements of the building especially subsidence, which are related to non sufficient foundation. A renewing of the foundation is associated with immense expenses. So the goal of investigation is to check the necessity for taking action to assure the stability of the building. In this Paper modern methods of engineering survey for permanent monitoring of buildings are shown. Furthermore additional sensors for detection of exterior influences like meteorological values have to be installed. The full system allows the online control of the building via internet (data read out and maintenance) and can act as an alarm system by E-Mail or GSM-Phone. One actual research topic at the Neubrandenburg University of Applied Sciences is called “DabaMoS” — “Database oriented Monitoring and Analysis System”. Beside the conventional techniques for automatic data collection, the goals of this research project are the consequent application of modern data base philosophies and the development of robust automatic analysis methods.

1 Intention und gefordertes Leistungsprofil

Spätestens wenn sich in und an historischen Bauwerken deutliche Schäden zeigen, die offensichtlich auf Gebäudebewegungen (meistens Setzungen analog zu Abbildung 1) zurückzuführen sind, besteht die Notwendigkeit, die Größen und die Richtungen dieser Bewegungen zu detektieren und über einen längeren Zeitraum permanent zu überwachen. Im Idealfall wurden diese Überwachungsmessungen bereits vor Eintritt einer Schädigung durchgeführt, um das „normale“ Bewegungsverhalten ohne Schädigung kennen zu lernen und diese „normalen“ Bewegungen von denen im geschädigten Zustand trennen zu können.

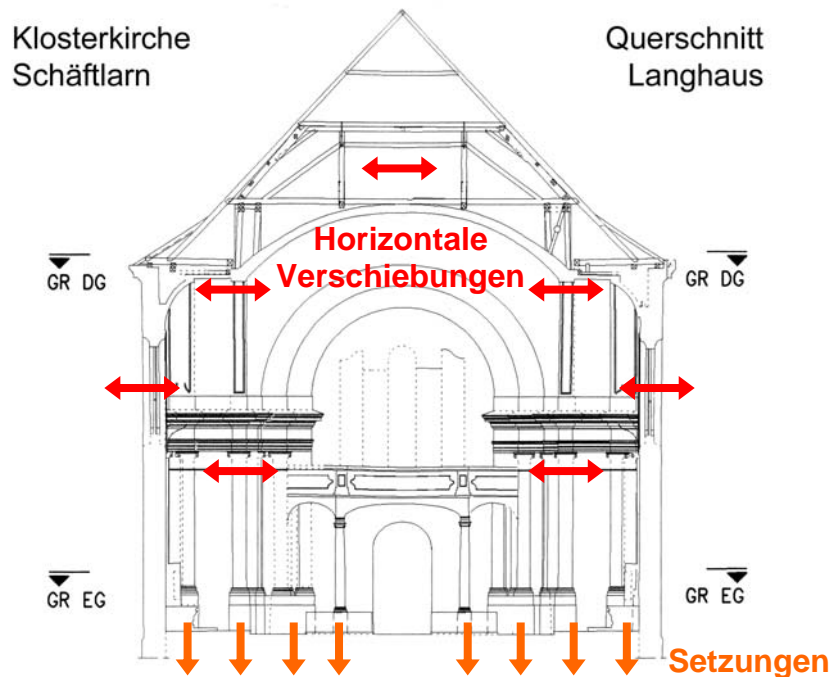


Abb. 1: Ungleichmäßige Setzungen historischer Bauwerke führen oft zu horizontalen Verschiebungen und somit zu Rissbildungen oder sogar größeren Schäden

Zunächst ist das tatsächliche Bauwerksverhalten aufzudecken. Anhand der detektierten Bewegungen sowie anschließender Modellbildung lassen sich die Notwendigkeit sowie der zeitliche Ablauf eventueller Sanierungsarbeiten festlegen.

Konkret lässt sich folgendes Anforderungsprofil erstellen:

- Sehr sinnvoll ist die Durchführung eines Präzisionsnivelements ($\sigma_h < 0,5 \text{ mm}$) im Innen- und Außenbereich eines historischen Bauwerks, zur Bestimmung der Höhenlage. Je nach Örtlichkeit sind durchaus 50 Objektpunkte in und an einem Gebäude zu überwachen. Eine „Nullmessung“ zur Sicherung des aktuellen Zustands sollte möglichst frühzeitig erfolgen.
- Eventuell können während der Bauphase weitere Präzisionsnivelements in Bereichen speziellen Interesses (z.B. des Dachstuhls zur Überwachung eines tonnenförmigen Gewölbes) notwendig werden.

- Permanente Überwachung zur Bestimmung des Bauwerksverhaltens über einen kompletten Jahresgang, evtl. auch für Tagesgänge (z.B. 24h-Messung im Dreistundentakt.)
- Permanente Erfassung der meteorologischen Größen Temperatur (Innen sowie im Außenbereich), Luftdruck (nur im Inneren) und Luftfeuchte (nur im Inneren) als Haupteinflussgrößen.
- Wünschenswert ist ein flexibles Meßsystem, das es erlaubt, das Messkonzept im späteren Bedarfsfalle um zusätzliche Punkte bei minimalen Kosten zu erweitern.
- Eventuell kann es notwendig werden, das Messsystem während der Bauphase oder bei sehr großen Bewegungen als Alarmsystem zu konfigurieren. Auch diese Erweiterungsoption muss eingeplant werden.
- Genauigkeitsanforderung an das permanente Meßsystem: Messung von dreidimensionalen Punktbewegungen mit maximalen Standardabweichungen von $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 1 \text{ mm}$ je Koordinatenkomponente.
- Laufzeit der Überwachungsmessungen: Mindestlaufzeit beträgt in der Regel fünf Jahre. (Feststellen des aktuellen Jahresgangs, Begleitung der Sanierungsarbeiten, Feststellen des Jahresgangs nach der Sanierung)
- Das System muss wirtschaftlich sinnvoll sein und soll gleichzeitig der Bedeutung des historischen Bauwerks gerecht werden.

2 Messkonzepte

Zu Beginn einer jeden Maßnahme – im Idealfall im ungeschädigten Zustand, ansonsten nach Auftreten einer Havarie – sollte umgehend ein Präzisionsnivellement im Inneren sowie rund um das Gebäude erfolgen.

Neben dem dringend empfohlenen Präzisionsnivellement haben sich für permanente Überwachungsmessungen verschieden Meßverfahren bewährt:

1. Konvergenzmessungen ausgewählter Strecken mittels Invardrähten
 - 1.1 Analoge Konvergenzmessung mittels Invardrähten
 - 1.2 Digitale automatische Konvergenzmessung mittels Invardrähten
2. Automatische Konvergenzmessungen ausgewählter Strecken mittels Laserentfernungsmessern („Distos“)
3. Automatische dreidimensionale Überwachung ausgewählter Punkte mittels eines Robot-Tachymeters
 - 3.1 Signalisierung von Einzelpunkten mittels Prismen
 - 3.2 Einsatz reflektorloser Entfernungsmessung
4. Neigungsmessungen an ausgewählten (exponierten) Punkten
5. Messung der aktuellen Meteorologie als Haupteinflussgröße

2.1 Konvergenzmessungen mittels Invardrähten

2.1.1 Analoge Konvergenzmessungen mittels Invardrähten

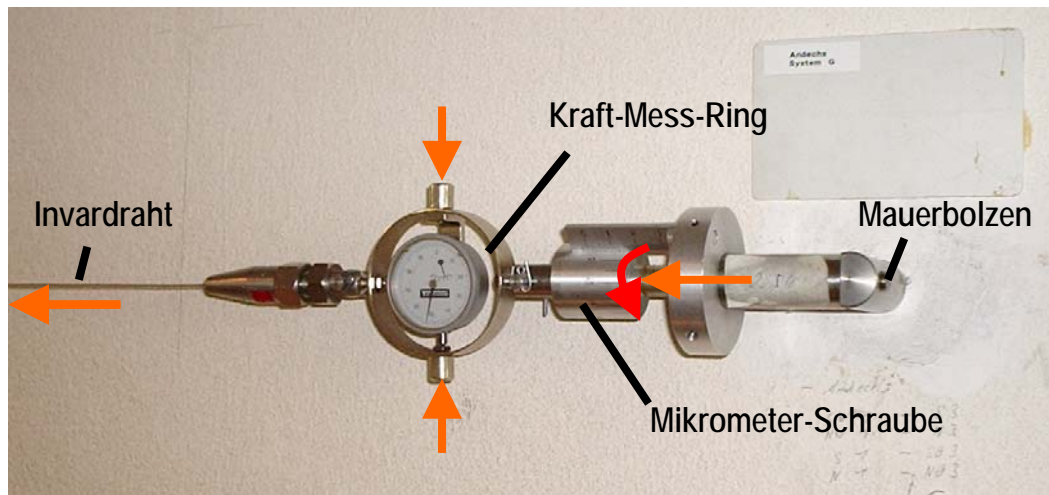


Abb. 2: Analoge Messuhr zum Konvergenzmesssystem mit Invardrähten

Mittels im Gebäude gespannter Invardrähte lassen sich ausgewählte Strecken mit höchster Präzision überwachen ($\sigma_{\Delta s} < 0,25 \text{ mm}$) (Invar = Speziallegierung mit sehr geringer Wärmeausdehnung). Der Invardraht wird zwischen zwei Mauerbolzen mit einer konstanten Kraft von 80 N (8 kg) gespannt. Im einfachsten Falle werden Kraft-Messuhren (Abb. 2) an einem Ende jeder Messstrecke täglich manuell abgelesen und die gesammelten Daten in beispielsweise wöchentlichem Rhythmus an das betreuende Ingenieurbüro gefaxt oder per E-Mail versandt. Die Auswertung erfolgt demnach auch nur in diesem wöchentlichen Rhythmus.

Zur Kalibrierung des Drahtmesssystems ist es notwendig, in einem geeigneten Prüflabor identische Vergleichsstrecken zu installieren. Einmal jährlich sind die Drähte auszubauen und mittels statischer Messungen mit den Vergleichsdrähten zu kalibrieren.

Ein solches Meßsystem wird in der Regel als Einzelstück in einer feinmechanischen Werkstatt z.B. eines Geodätischen Prüflabors gefertigt.

Vorteile des Verfahrens:

- sehr hohe Genauigkeit
- relativ geringe Investitionen für das Instrumentarium

Nachteile des Verfahrens:

- manuelle Ablesung (evtl. hohe Personalkosten)
- eindimensionales Verfahren. Es werden nur Streckenänderungen registriert. Ein Parallelversatz lässt sich nicht aufdecken.
- relatives Verfahren: Eine absolute Aussage, welcher Wand letztendlich welche Bewegung zuzuordnen ist, kann nur durch Schaffung eines äußeren Bezuges erreicht werden.
- Im Innenraum der Kirche sind Drähte gespannt, die während der Bauphase zerstört werden könnten. (Evtl. könnten die Drähte auch für Besucher optisch störend wirken.)
- Eine Umlegung einer Strecke ist stets mit größerem Aufwand verbunden.
- Keine Online-Alarmierung.

2.1.2 Digitale automatische Konvergenzmessungen mittels Invardrähten

Eine Automatisierung des unter 2.1.2 vorgestellten Systems ist durch elektronische Abgriffsysteme möglich. Dazu ist die analoge Messuhr im Kraft-Messring durch einen digitalen Sensor (z.B. Heidenhain – Auflösung $1 \mu\text{m} \Rightarrow 0.2 \text{ N}$) zu ersetzen. Das System wird in situ durch einen PC kontrolliert und mittels unabhängiger Stromversorgung (USV) gestützt. Es kann optional als Alarmsystem konfektioniert werden, das bei Überschreiten zuvor definierter Grenzwerte entweder akustischen/optischen Alarm vor Ort gibt oder eine E-Mail bzw. SMS versendet.

Solch ein Monitoring System war beispielsweise in der Kirche des Klosters Altomünster installiert [2]. (Abb. 3a & 3b)

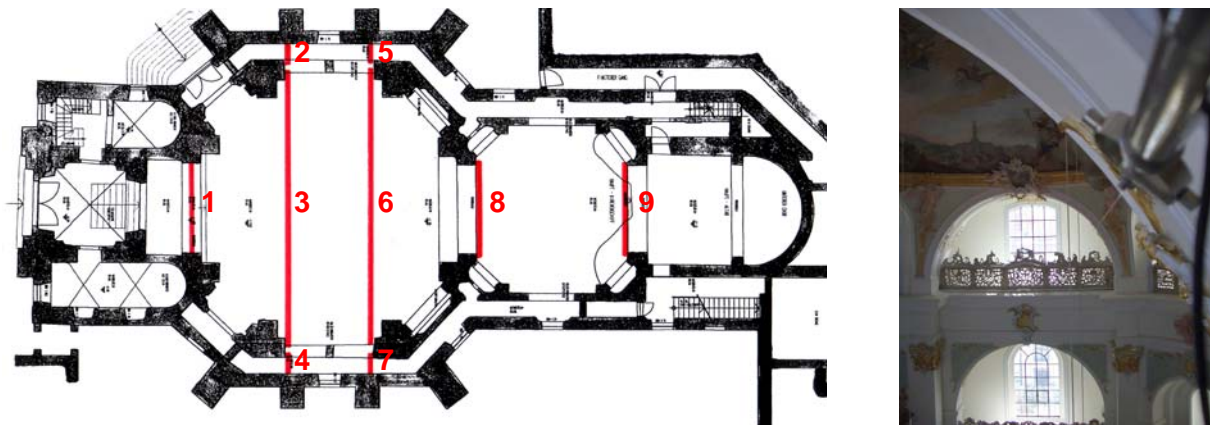


Abb. 3a & 3b: Digitales Konvergenzmesssystem mit Invardrähten in der Klosterkirche Altomünster

Die Resultate der permanenten digitalen Konvergenzmessungen in der Klosterkirche Altomünster sind in Abbildung 4 dargestellt. Der Verlauf der Streckenänderungen zeigt die große Genauigkeit $\sigma\Delta s \ll 0.1 \text{ mm}$, die erreicht wurde und verdeutlicht die große Abhängigkeit (Korrelation) Streckenänderungen von der Temperaturänderung.

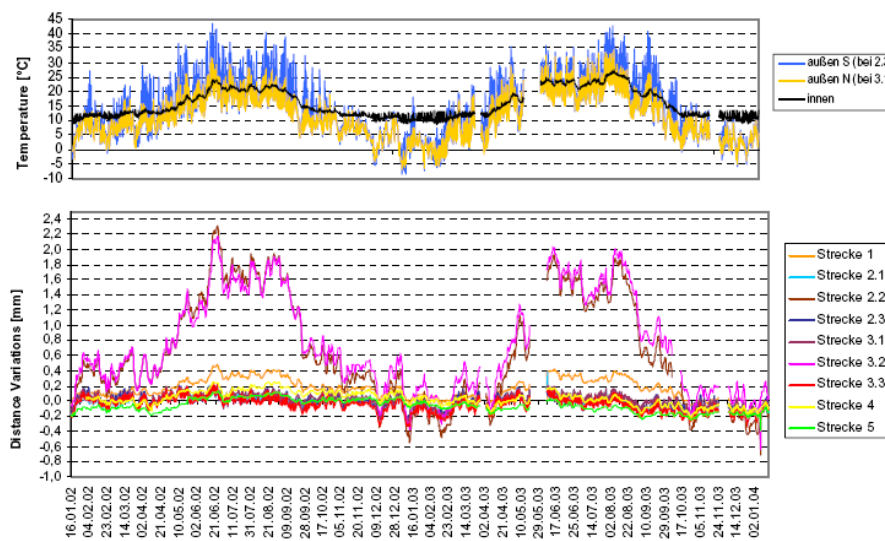


Abb. 4: Ergebnisse der digitalen Konvergenzmessung in der Klosterkirche Altomünster

2.2 Automatische Messungen mittels reflektorloser Laserentfernungsmesser („Distos“)



Abb. 5a) Leica Handgerät "Disto"

Die reflektorlosen (Hand-)Laserentfernungsmesser „Disto“ der Firma Leica (Abb. 5a) lassen sich auch permanent installieren und erlauben eine elektrooptische Distanzmessung mit einer garantierten Standardabweichung von $1,5\text{ mm}$, die tatsächlich aber erfahrungsgemäß unter 1 mm liegt. Die Messwerte werden über die serielle Schnittstelle ausgelesen und auf einen PC übertragen.



Abb. 5b) Dimetix "Disto" (beheizbar) zur permanenten Installation

Speziell für Überwachungsmessungen bietet der Hersteller Dimetix so genannte „OEM“-Varianten an, die fest zu installieren sind (Abb. 5b). Diese Geräte lassen sich mittels einer integrierten Heizung auf einer konstanten Temperatur halten, was den Einsatzbereich erhöht und das Genauigkeitsniveau garantiert. Des weiteren lassen sich zehn dieser Geräte durch einen integrierten Datenbus koppeln und über eine industrielle RS422 auslesen, so dass das Problem der Leitungslängen und der Errichtung eines lokalen Netzwerks entfällt.

Die Daten werden von einem PC ausgelesen und via E-Mail täglich an den betreuenden Ingenieur übertragen. Die „Distos“ sind einmal im Jahr auszubauen und zu kalibrieren. Die Kalibrierung erfolgt vor Ort oder in einem Prüflabor.

Vorteile des Verfahrens

- automatische Ablesung
- tägliche Auswertung
- Alarmfunktion optional nachrüstbar
- Im Innenraum der Gebäude werden keine Drähte gespannt, die während der Bauphase zerstört werden könnten.

Nachteile des Verfahrens:

- eindimensionales Verfahren. Es werden nur Streckenänderungen registriert. Ein Parallelversatz lässt sich nicht aufdecken.
- relatives Verfahren: Eine absolute Aussage, welcher Wand letztendlich welche Bewegung zuzuordnen ist, kann nur durch Schaffung eines äußeren Bezuges erreicht werden.
- Eine Umlegung der Strecke ist stets mit größerem Aufwand verbunden.

2.3 Automatische Messungen mittels Robot-Tachymetern

Für die Überwachungsmessungen im Innenraum von historischen Gebäuden wird der Einsatz von Robot-Tachymetern empfohlen (z.B. Abb. 6a bis 6d). Diese motorisierten Robot-Tachymeter sind in der Lage, mit geeigneten Reflektoren (z.B. Abb. 7a bis 7d) bestückte Punkte vollautomatisch anzuzielen und deren dreidimensionale Koordinaten mit Standardabweichungen von $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z < 1 \text{ mm}$ zu liefern. Voraussetzung ist natürlich eine Sichtverbindung zwischen Instrument und Reflektor. Eventuell sind die Objektpunkte exzentrisch über Stangen oder indirekt über Planspiegel zu signalisieren. Idealerweise ist ein solcher Robot-Tachymeter möglichst an einem bewegungsfreien Punkt aufzustellen, der für unbefugte Personen nicht zu erreichen ist. In Kirchen bietet sich beispielsweise die rückwärtige Wand der Orgelempore an, wo eine Konsole befestigt werden kann. Eine Rückversicherung der Tachymeterstandpunkte erfolgt über sogenannte Stützpunkte, die sich im unbewegten Bereich befinden (evtl. Fußpunkten an Säulen oder idealerweise durch Fenster im Außenbereich). Die Anbringung der Prismen an den Objektpunkten geschieht meist mit einem „Hubsteiger“ (siehe Beispiel in Abb. 9c).



Abb. 6a bis 6e: Robot-Tachymeter *Trimble S6* mit „high precision“-Option bzw. *S8*, *Topcon IS*, *Leica TCA2003* und *Leica TM30*



Abb. 7a bis 7c: Prismen *Nedo* mit Halter, *Leica GPR1* mit Halter *GPH1* (Genauigkeitsspezifikation (Hersteller) $\ll 1 \text{ mm}$) und *Leica Spezial-Prisma GPR112* mit Halter *GHT112* (Tunnelbau) (Genauigkeitsspezifikation (Hersteller) $< 1 \text{ mm}$ (Erfahrungswert ähnlich *GPR1*))



Abb. 8a & 8b: Standpunkte (Tachymeter auf massiver Konsole mit Diebstahlsicherung)



Abb. 9a - 9c: Objektpunkte (Prismen werden lackiert und mittels Hubsteigers eingebaut)

Bei größeren Objekten können evtl. nicht alle Objektpunkte von einem Standpunkt aus direkt angezielt werden. Manchmal ist es möglich, den verdeckten Objektpunkt indirekt über Planspiegel anzuvisieren (vergleiche dazu Abb. 11). Die Koordinaten sind über spezielle Vektorenverfahren basierend auf den Start-Koordinaten des Installationszustandes umzurechnen.

Bei sehr komplexen Objekten wird jedoch der Einsatz mehrerer Robot-Tachymeter unumgänglich sein, um wirklich alle Objektpunkte zu erfassen. Jedes Robot-Tachymeter spannt ein einzelnes Koordinatensystem auf. Alle Einzelsysteme sind in ein gemeinsames Objektkoordinatensystem zu transformieren. Als Verknüpfungspunkte können bei gegenseitiger Sicht Prismen vertikal unter dem Instrument angebracht werden. Die Lagekoordinaten des Prismas und des Instrumentes sind identisch. Der vertikale Unterschied Δh_i ist aus Laborkalibrierungen der Konsole bekannt und bleibt konstant, da die dritte Fußschraube des Dreifußes fixiert wurde (Abb. 10a). Zur Schaffung weiterer identischer Punkte zur Transformation werden Ob-

jektpunkte als Doppelprismen installiert. Dazu werden zwei Prismen in festem Abstand $\Delta h_t = 100 \text{ mm}$ auf einer gemeinsamen Grundplatte vertikal übereinander montiert und auf die verschiedenen Tachymeter ausgerichtet. Wieder sind die Lagekoordinaten identisch und mit dem Offset Δh_t kann eine einheitliche Punkthöhe für das Doppelprisma eingeführt werden (Abb. 10b).



Abb. 10a) Kombiniertes Stand- und Objektpunkt (Prisma vertikal unter Instrument kann von weiterem Tachymeter angezielt werden, $\Delta h_t = \text{const.}$ ist aus Laborkalibrierung bekannt)

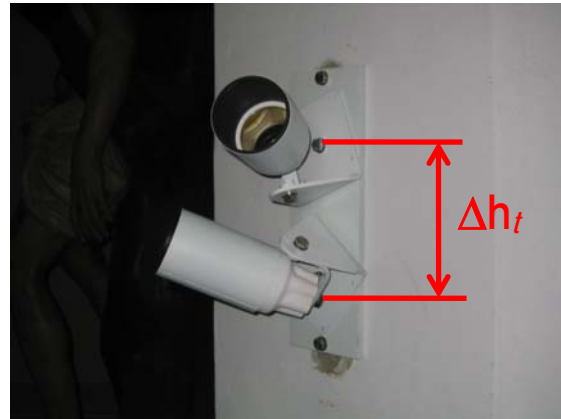


Abb. 10b) Kombiniertes Objekt-/Verknüpfungspunkt (Doppelprisma vertikal übereinander auf gemeinsamer Grundplatte, kann von mehreren Tachymetern gleichzeitig angezielt werden, $\Delta h_t = 100 \text{ mm} = \text{const.}$)

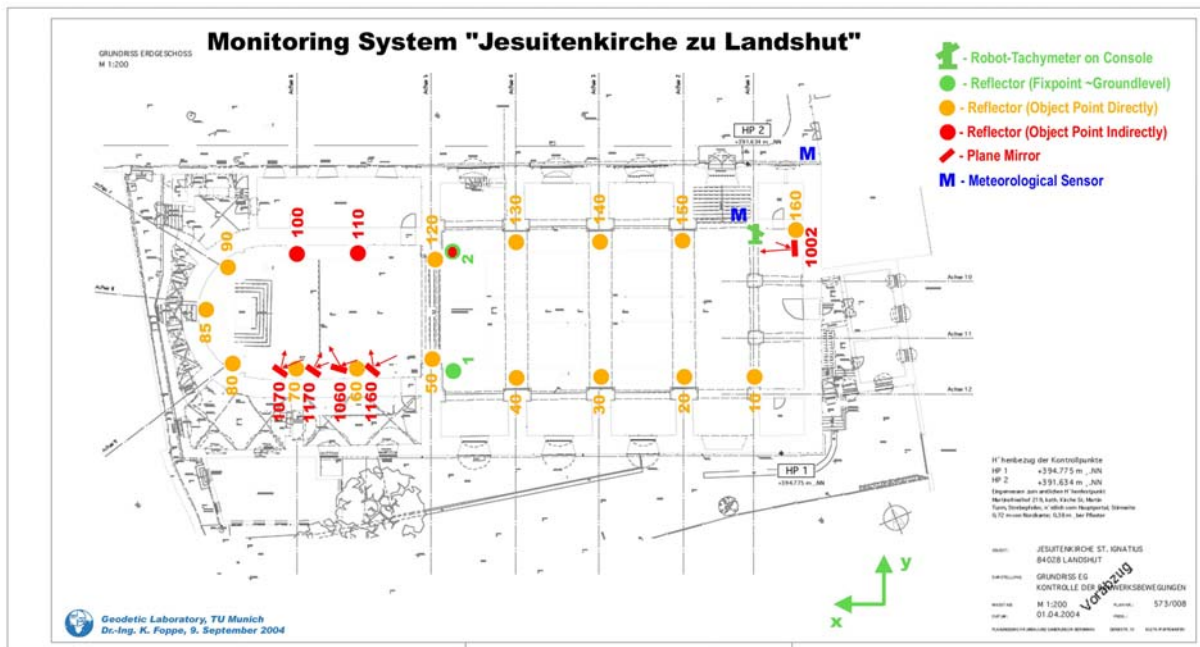


Abb. 11: Beispiel zum Aufbau eines Monitoring Systems in einem historischen Bauwerk (*Jesuitenkirche zu Lansdhut*)



Abb. 12: Monitoring Systemaus aus Sicht des Robot-Tachymeters (*Jesuitenkirche zu Landshut*)

Vorteile des Verfahrens

- absolute Informationen über die Bewegungen der Objektpunkte in drei Dimensionen. Aus den Koordinaten lassen sich beliebige Streckenkombinationen rechnen.
- automatische Ablesung
- tägliche Auswertung
- Alarmfunktion optional nachrüstbar
- Im Innenraum der Kirche werden keine Drähte gespannt, die während der Bauphase zerstört werden könnten.
- Große Flexibilität. Erfahrungsgemäß kristallisieren sich bei Überwachungsmessungen die wirklich interessanten Zonen mit den größten Bewegungen erst nach einer ersten Überwachungsphase heraus, so dass oftmals eine Ausdehnung (zusätzliche Objektpunkte) oder eine Umlegung von Objektpunkten notwendig wird. Hier sind die Anschaffungskosten für die Robot-Tachymeter zunächst sehr hoch, eine spätere Erweiterung bzw. Änderung des Messsystems erfordert jedoch für jeden zusätzlichen Punkt lediglich ein neues Prisma und für die Umlegung eines Punktes nur eine neue Befestigung, was minimale Kosten bedeutet.

Nachteile des Verfahrens:

- sehr hohe Anschaffungskosten

Auf die Anwendung der reflektorlosen Distanzmessung innerhalb eines Monitoring Systems höchster Genauigkeit wird im Rahmen dieser Veröffentlichung nicht weiter eingegangen. Siehe dazu beispielsweise [1], [2] oder [3].

2.4 Neigungsmessungen

Zur Überwachung exponierter Punkte wie z.B. Türme, Brückenpylonen o.ä. bietet sich der Einsatz automatischer Neigungsmesser an. Besonders bewährt haben sich Zweiachs-Neigungssensoren höchster Genauigkeit wie das *RotLevel* der DMT (*Deutsche Montan Technologie*) oder das *NIVEL210* der Firma *Leica*. Als typische Genauigkeiten werden beispielsweise für das *NIVEL210* Standardabweichungen von $\sigma < 0.005 \text{ mm/m}$ angegeben. Die Neigungssensoren sollten jeweils auf einer Konsole fest mit dem Gebäude verbunden montiert werden, um die hohen Genauigkeiten wirklich reproduzieren zu können. Manuelles Umsetzen führt hier erfahrungsgemäß nicht zum Erfolg. Mit Hilfe von zusätzlich fest installierten Drehtischen lassen sich die Neigungssensoren vor Ort auf ihren Konsolen präzise prüfen bzw. kalibrieren. Die Ansteuerung der Sensoren, das Auslesen der Messwerte sowie die Datenübertragung übernimmt jeweils ein separater Rechner, der in das Datennetzwerk des Meßsystems eingebunden ist (siehe Abbildung 13).



Abb. 13a bis c: Neigungssensor *NIVEL210* im Turm des Münchener Doms auf Konsole mit Drehtisch, Ansicht des Konsole von oben und Ablesung des Rechners

2.5 Meteorologische Einflussgrößen

Um für die spätere Modellbildung einen Bezug zwischen den wirkenden Einflüssen (hier vor allem den Temperaturen) und den detektierten Bewegungen herstellen zu können, ist die Meteorologie an geeigneten Punkten zu erfassen. Dazu werden die Temperaturen im Innen- und Außenraum mittels mehrerer Sensoren erfasst. Ein Sensor wird als Kombisensor ausgelegt, der gleichzeitig noch Luftdruck und Luftfeuchte registriert.



Abb. 14a und 14b: Meteorologische Sensoren: *Reinhardt DMT IMV* (links) und eingebaut im Innenraum

Die Erfassung der meteorologischen Daten erfolgt zum einen zur Korrektur der Messsysteme – insbesondere der elektronischen Distanzmesser – zum anderen können mit Hilfe der erfassten Größen Korrelationen zwischen wirkenden Einflussgrößen und den Reaktionen des Bauwerks ermittelt werden.

Installiert werden Sensoren der Firma Reinhard System und Messelektronik GmbH :

- Innerhalb des Gebäudes ein Kombisensor zur Messung von Innentemperatur, Luftdruck und Luftfeuchte, der gleichfalls als Datenlogger dient.
- Außerhalb des Gebäudes ein Temperatursensor zur Messung der Außentemperatur
- Weitere Sensoren in exponierter Lage (z.B. im Dachstuhl, oder jeweils Nord- und Südseite des Gebäudes)

3 Rechner, Software und Auswertung

Die Daten können natürlich auf einem einzigen Rechner registriert werden. Werden Messgeräte ohne Datenlogger und Bussystem eingesetzt, so scheitert ein direkter Anschluss aller Sensoren an einen Rechner höchstens an den begrenzten Kabellängen der Sensoren sowie an der Limitierung der Schnittstellen der einzelnen Systeme, so dass untereinander vernetzte Rechner eingesetzt werden müssten.

Aus leidvoller Erfahrung hat es sich jedoch gezeigt, dass zu jedem Sensor möglichst ein separater Rechner einzusetzen ist, der nur das „Instrumente steuert“ und „Daten sammelt“. Diese Einzelrechner sind vernetzt mit einem weiteren Rechner, der das eigentlich Auswertesystem und das Zusammenführen der Daten übernimmt. Nur so kann im Falle von Ausfällen einzelner Sensoren ein Absturz des kompletten Systems verhindert werden. Selbst wenn der zentrale Rechner ausfällt, messen die einzelnen Sensoren weiter und es entstehen keine Datenlücken.

Selbstverständlich sind für alle Meßsensoren Vorkehrungen zum Dauerbetrieb (24 h / 7 Tage pro Woche) zu tätigen. Das Meßsystem sollte in jedem Fall mit einem eigenen Stromkreis abgesichert sein. Jeder Sensor sollte mittel USV (Unabhängige Stromversorgung) gegen Stromausfälle und Überspannung (z.B. Blitzschlag) geschützt werden. Zum Datentransfer sind geeignete, ausfallsichere Wege zu installieren (LAN, WLAN, GSM, UMTS, ...).

Derzeit werden zur automatischen Überwachung gefährdeter Bauwerke bereits verschiedene Monitoringsysteme kommerziell oder auch durch wissenschaftliche Institutionen angeboten.

Von den drei großen Instrumentenherstellern bietet einzig *Topcon* mit dem *DC3* verschiedene, vorkonfigurierte Systeme an (*DC3-dam*, *-tunnel*, *-rail*, und *-slope*). Die anderen beiden großen Instrumentenhersteller *Trimble* und *Leica* bieten jeweils eine eigene Software-Plattform an (z.B. *Leica GeoMoS*), zu der aus dem Standardinstrumentenprogramm Sensoren individuell hinzugefügt werden können.

Auf dem wissenschaftlichen Sektor existieren mehrere Software-Lösungen (z.B. *MoSTUM* der TU-München oder *DaBaMoS* der Hochschule Neubrandenburg, beide unter Mitwirkung bzw. Leitung des Autors entwickelt), die ebenfalls kommerzielle geodätische oder geotechnische Sensoren nutzen. Darüber hinaus existieren in einzelnen Ingenieurbüros eigenständige Software-Entwicklungen (z.B. *BISY* der *gim Gesellschaft für Informations-Management mbH*).

Eine typische Monitoring-Software zeigt dem Nutzer eine Bedienoberfläche, die alle Statusinformationen des Systems enthält, Einstellmöglichkeiten bietet und Zugriff auf die Messdaten ermöglicht (siehe hier *MoSTUM* der TU München in Abb. 15). Die Daten werden als ASCII-Dateien oder z.T. schon in einfachen Datenbankmodellen per Mail übertragen und zur späteren Auswertung in EXCEL- oder MATLAB-Formate konvertiert. Zwar können alle Monitoring-System bei Überschreitung vorher festgelegter Grenzwerte per Mail oder SMS Warnmeldungen absetzen, jedoch erfolgt die wirkliche Auswertung in der Regel semiautomatisch in häuslicher Nacharbeit. Es kommen im Rahmen der häuslichen Auswertung alle gängigen Rechenverfahren von einfachen Regressionsmodellen (Abb. 16) bis hin zur komplexen Zeitreihenanalyse (Abb. 17) zum Einsatz. Jedoch erfordert dies stets das Eingreifen des Nutzers. Insbesondere das Aufbreiten der Messwerte (wie das Füllen von Datenlücken) sowie die fundierte Deformationsanalyse mittels statistischer Tests bedürfen i.d.R. des Eingreifens des Bearbeiters.



Abb. 15: Bedienoberfläche der Software *MoSTUM* der TU München

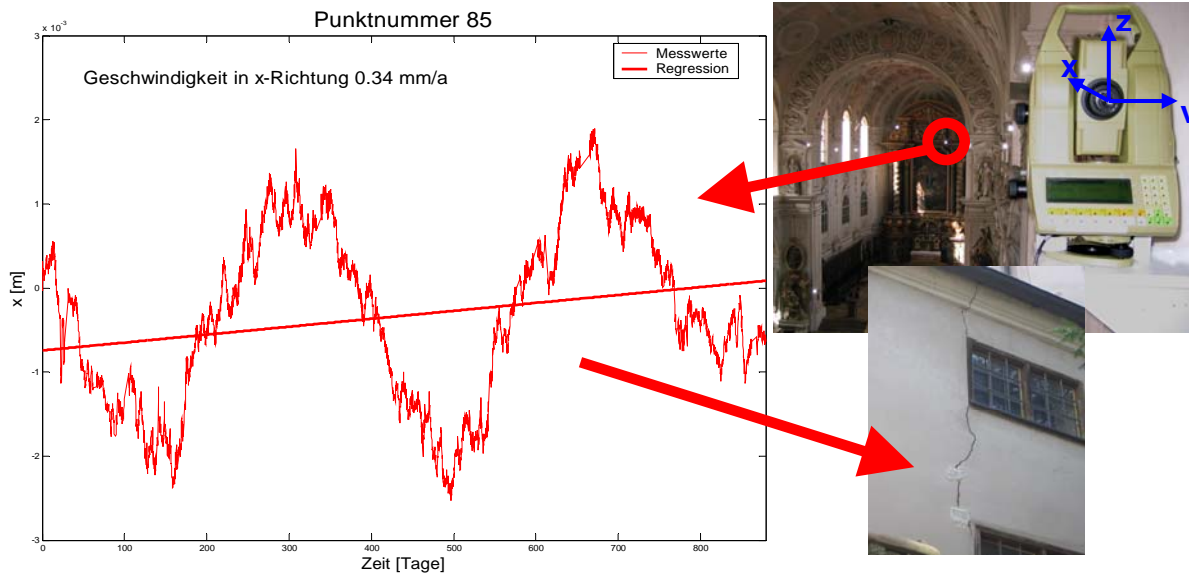


Abb. 16: Trends über zwei Jahren erklären die Rissbildung (*Jesuitenkirche zu Landshut*)

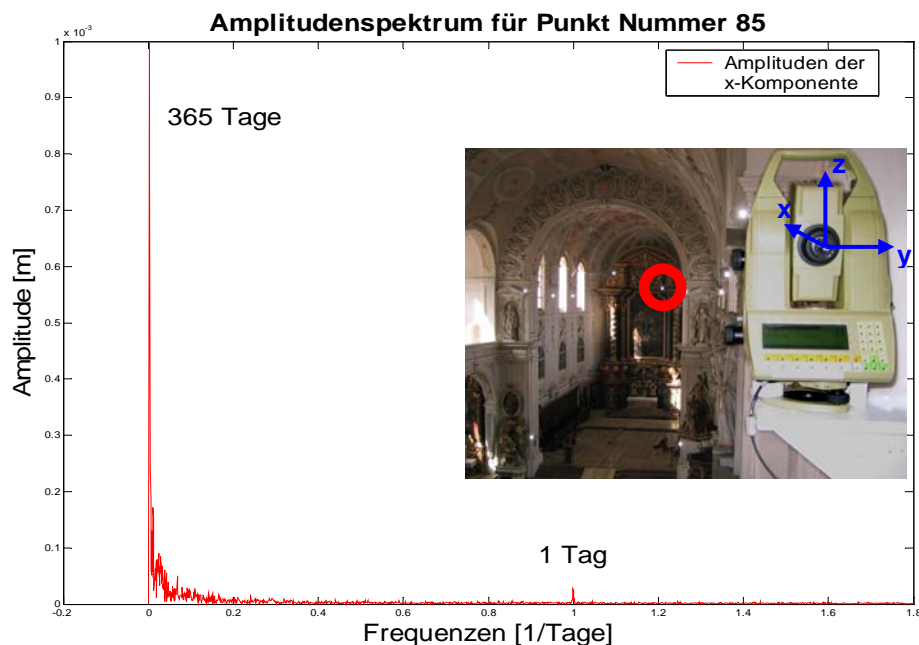


Abb. 17: Die Frequenzen *1 Tag* und *365 Tage* weisen auf die Temperatur als Haupteinflussgröße hin (*Jesuitenkirche zu Lansdhut*)

Als neuestes Projekt wird an der Hochschule Neubrandenburg mit der Entwicklung des Systems DaBaMoS (Datenbankorientiertes Monitoring- und Analysesystem) der Einsatz moderner Datenbanktechniken auch zur automatisierten Auswertung forciert (Abb. 18). Erste Auffällige Besonderheit des Systems DaBaMoS ist die Plattformunabhängigkeit. Es ist beispielsweise sowohl unter *Windows* als auch unter *Unix/Linux* oder auch *MacOS X* problemlos einsetzbar. Im Endausbau werden alle gängigen geodätischen Instrumente (Tachymeter, Nivelliere, GPS), geotechnische Sensoren (Extensometer, Inklinometer, Schlauchwaagen), bautechnische Sensoren (Dehnungsmeßstreifen) und Einflussgrößen (Meteorologie) erfassbar sein. Die

Besonderheit liegt jedoch im speziellen, strukturierten Datenbankmodell liegen, das Multi-User-fähig ist und eine effektive redundanzfreie persistente Speicherung der Daten erlaubt.

Derzeit wird in mehreren wissenschaftlichen Arbeiten parallel an der Entwicklung von DaBaMoS gearbeitet. Neben der Untersuchung geeigneter Datenbankstrukturen und deren Optimierung wird besonderes Augenmerk auch auf die Möglichkeiten zur Anwendung von Low-Cost-Sensoren gelegt.

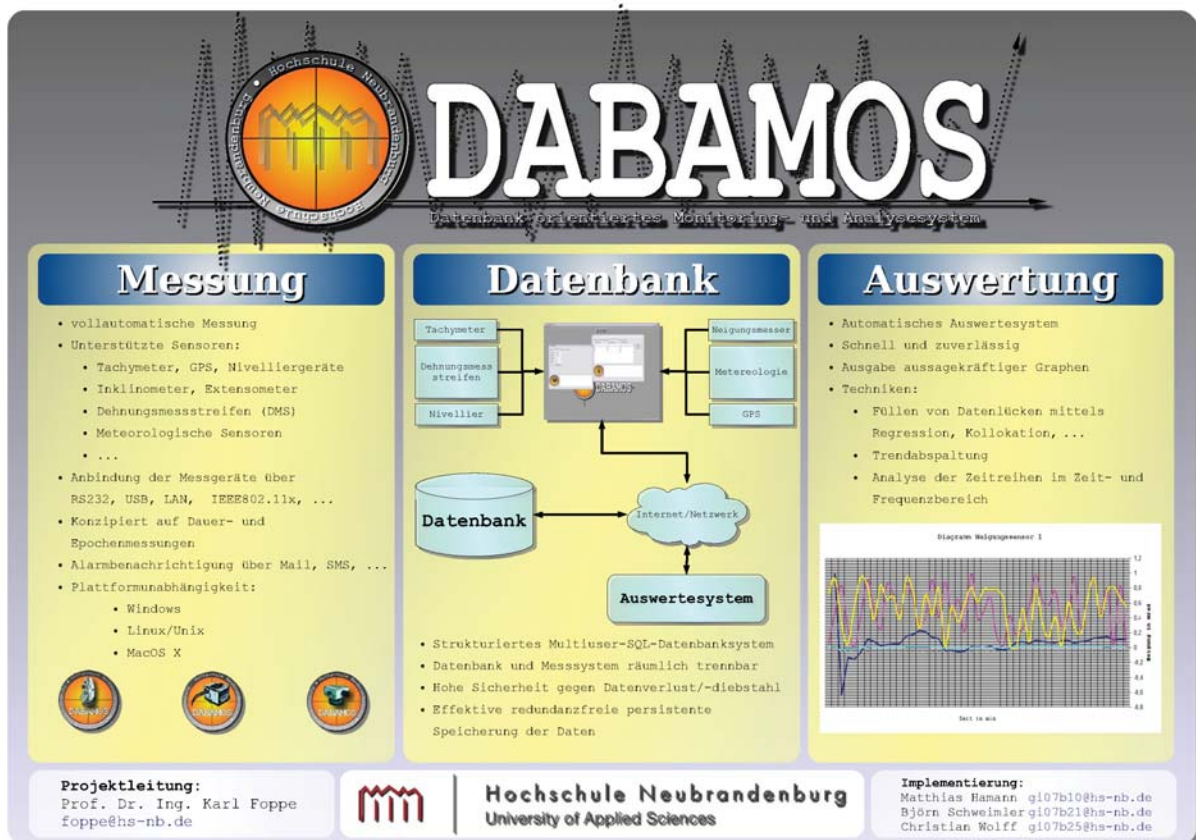


Abb. 18: DaBaMoS – Datenbankorientiertes Monitoring- und Analysesystem der Hochschule Neubrandenburg

4 Referenzen

- [1] Bergmann, N., Stempfhuber, W., Zinsberger, St.: Online Monitoring historischer Kirchen mit einem Präzisionstachymeter mittels reflektorloser, direkter oder indirekter Winkel- und Streckenmessung, Ingenieurvermessung 2004, Zürich 2004
- [2] Foppe, K.: „Ingenieurgeodätische Überwachungsmessungen in und an historischen Bauwerken“, Vortrag am Tag der Forschung der Fachhochschule Neubrandenburg im Rahmen des Geodätischen Kolloquiums der Fachhochschule Neubrandenburg am 16. Juni 2004

- [3] Foppe, K., Hennecke, M., Penka, E., Schäfer, Wunderlich, Th., Zilch, K.: „Schadenser-
kennung durch reflektorlose Deformationsmessungen“, Beitrag zum Münchener Mas-
sivbau Seminar "Neue Wege im 21. Jahrhundert", München, April 2005
- [4] Foppe, K.: „Permanent Automatic Monitoring of Historical Ecclesiastical Architecture“,
Beiträge zum 3rd IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engi-
neering bzw. 12th FIG Symposium on Deformation Measurements" in Baden bei Wien,
22. bis 24. Mai 2006
- [5] Foppe, K., Barth, W., Preis, S.: „Autonomous Permanent Automatic Monitoring System
with Robot-Tacheometers“, Beitrag zum XXIII International FIG Congress in Mün-
chen, 8-13 Oktober 2006
- [6] Foppe, K.: “Modellbildung für aktuelle Monitoringaufgaben”, Antrittsvorlesung an der
Hochschule Neubrandenburg am 1. April 2009-12-04
- [7] Foppe, K., Knaack, L., Pawel, B., (Hrsg.): „85. DVW-Seminar: Zeitabhängige Mess-
größen, verborgene Schätze in unseren Daten“, Kassel 2009
- [8] Foppe, K.: “Automatische permanente Überwachung historischer Bauwerke”, Beitrag
zum 15. Baltischen Geodätengespräch, Dierhagen am 14. November 2009
- [9] Maurer, W., Roßmeier, F., Schnädelbach, K.: Determination of Periodic Displacements
of Buildings and Machines with the Aid of a Laser-Interferometer, 5th International
FIG Symposium on Deformation Measurements, Fredericton N.B., Canada, 6.-9.6.88.
- [10] Maurer, W., Schnädelbach, K.: Measurement of Displacements in Buildings With Invar
Wires, The Earth and the Universe, a Volume Dedicated to Porfessor Lyssimachos
Mavridis on the Occasion of his Completing Forty-Five Years of Academic Activities,
Aristotle University of Thessaloniki, 1997.
- [11] Preis, S., Foppe, K., Wunderlich, Th.: “Calibration Issues For Advanced Tacheometry”.
Beitrag zur „8th Conference Optical 3D Measurement Techniques“ in Zürich, 9.-12. Ju-
li 2007
- [12] Schnädelbach, K.: Deformationsmessungen mit Invardrähten, Vermessungswesen und
Raumordnung 48, p. 313-321, 1986