Langzeit-Monitoring an den Spannbetonbrücken des neuen Hauptbahnhofs Berlin (Lehrter Bahnhof)

K. Brandes, W. Daum

Spannbetonbrücken des neuen Hauptbahnhofs in Berlin, die etwa 170 m lang sind und auf 12 Stützen ruhen, werden für viele Jahre mit einem Monitorsystem überwacht. Gemessen werden langzeitig auftretende Setzungen und Hebungen an den Auflagerpunkten. Für die Messungen wird ein hydrostatisches und ein laseroptisches System für die vertikalen Verformungen eingesetzt, daneben Neigungsmesser und Dehnungsaufnehmer (elektrische und faseroptische) sowie Temperatur-Sensoren. Für die Auswertung wird eine neuartige Symbiose von experimenteller und mechanisch-numerischer Analyse angewendet.

1 Einführung

Zwei Spannbetonbrücken des neuen Hauptbahnhofs in Berlin, die mit etwa 170 m Länge auf 12 Stützen aufgelagert sind, werden über viele Jahre hinweg mit einem Monitor-System beobachtet. Verfolgt werden die vertikalen Verformungen der Brücken, die durch Setzungen und Hebungen der Stützenfundamente langzeitig entstehen. Neben diesen Verformungen, die über ein hydrostatisches und ein laseroptisches Nivellier-System gemessen werden, werden Neigungen und Dehnungen an den Brückenbalken bestimmt, ebenso die Temperatur. Bei der Auswertung werden alle gemessenen Werte zu jeweils festen Zeitpunkten im Rahmen eines einheitlichen mechanischen Systems zusammengeführt.

2 Zielsetzung

In ständig steigendem Maße werden große Konstruktionen bereits bei der Erstellung mit Monitoring-Systemen ausgestattet, also mit Systemen, die das Verhalten der Konstruktionen, aber auch die auf sie einwirkenden Lasten und vor allem die Verformungen zu beobachten gestatten.

Dabei sind die Zielsetzungen sehr unterschiedlich, was allein mit dem Begriff Monitoring, der zu einem Modewort geworden ist, nicht eindeutig wiedergegeben werden kann.

Sehr häufig geht es um die ständige Beobachtung von schweren Fahrzeugen, die über eine Brücke fahren, in anderen Fällen sollen eventuell entstehende Schädigungen erkannt werden, u.U. über Veränderungen des Schwingungsverhaltens der Struktur. Häufig aber ist vor allem die langzeitig entstehende Verformung infolge von Setzungen oder Hebungen der Fundamente einer Konstruktion von Interesse, eine Frage, die ja seit langer Zeit in Bergsenkungsgebieten von Bedeutung ist.

3 Brückenstruktur, Problemdefinition

Bei den Messungen an den Brücken des neuen Hauptbahnhofs in Berlin („Lehrter Bahnhof“), Bild 1, geht es um die langsam stattfindenden lotrechten Verformungen der beiden äußeren der vier parallelen Spannbetonbrük-

Bild 1: Hauptbahnhof Berlin. Zustand nach Fertigstellung der Bahnhhofshalle aus Glas im Jahr 2002 (Titelbild der Zeitschrift STAHLBAU **71** *(2002), Heft 12)*

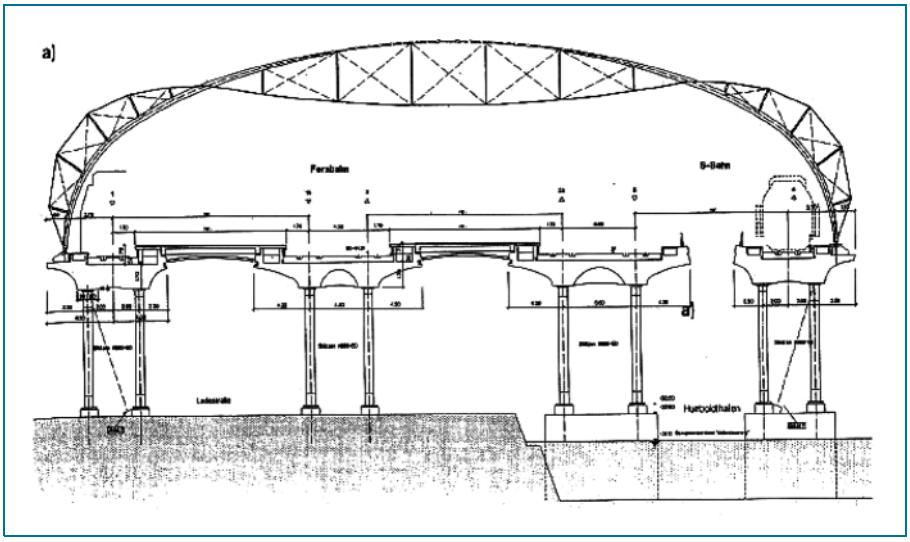

Bild 2: Querschnitt durch den Bahnhof mit den vier parallelen Spannbetonbrücken und der gläsernen Halle

ken, die über zahlreiche Stützen hinweg spannen, Bild 2. Auf diesen beiden Brücken ist die große gläserne Halle aufgelagert, und die Glasscheiben sind empfindlich gegenüber Verformungen der Hallen-Struktur.

Als verformungs-empfindliche Konstruktion wurde die große Bahnhofshalle aus Glas angesehen, die jeweils auf den äußeren Spannbetonbrücken aufgelagert ist, Bild 1, Bild 2.

Es wurde daher festgelegt, dass die Differenz der vertikalen Verformungen der Brückenträger zwischen zwei benachbarten Stützen nicht größer als 1 cm werden dürfe. (Die Spannbetonbrücken selbst vertragen noch etwas größere Verformungen, ohne dass bereits Risse im Beton über gewisse Rissweite hinaus eine Korrosionsgefährdung bedeuten würden.) Um nun die Verformungen ständig verfolgen zu können, sollten die beiden äußeren Brücken jeweils mit einem Mess-System versehen werden, (s. Brandes/Knapp 2002).

Dass mit erheblichen Senkungen und Hebungen der Fundamente zu rechnen sein würde, ging aus Gutachten über die Bodenverformungen hervor, die die rege Bautätigkeit in unmittelbarer Nachbarschaft der Brücken betrafen, Bild 3.

Aber auch die sehr unterschiedliche Art der Kraftweiterleitung von den Brückenlagern hin bis in den Untergrund, der deutlich im Längsschnitt, Bild 4, zu erkennen ist, ließ Fragen nach den tatsächlich entstehenden Verformungen offen.

Wie immer, werden bei der Errichtung der Brücke und späterhin Verformungen geodätisch vermessen, aber für die hier angesprochenen Fragen war eine recht häufige Abfrage des Verformungs-Zustands notwendig, die mit geodätischen Messungen nicht möglich gewesen wäre. Nach Fertigstellung der Bauten war auch die Zugänglichkeit der geodätischen Messpunkte nicht immer und überall gegeben. Allerdings werden an den beiden Brücken Verbindungen mit den benachbarten Konstruktionen hergestellt, die ja einer geodätischen Überwachung unterliegen, so dass auch ein Bezug zu NN hergestellt ist.

Bild 3: Montagezustand für einen der beiden „Bügelbauten“ im Sommer 2005. (Photo von der Fa. Donges, Darmstadt, zur Verfügung gestellt.)

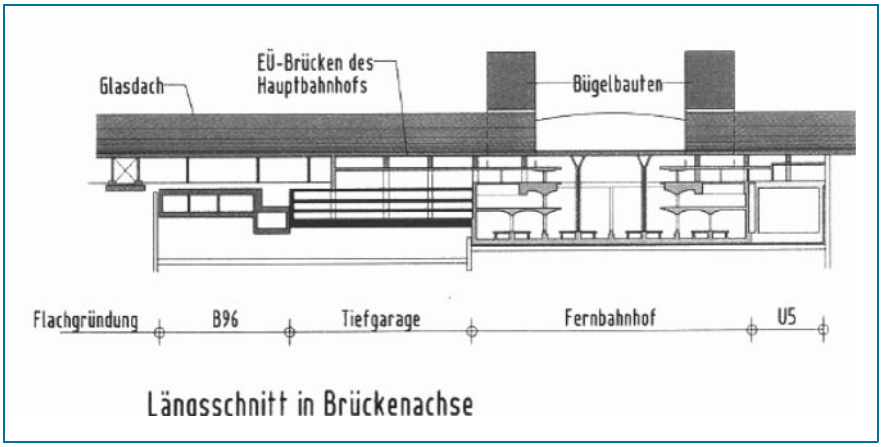

Bild 4: Längsschnitt entlang der Brükkenachse (ECKSTEIN/FEUSER/MONTAG/TIMMERS 2006)

3 Konzeption für das Monitoring-System

Die Konzeption folgte der Zielsetzung und stellte sich nach längeren Erörterungen der Problemstellung und des Zeitraumes für die Messungen folgendermaßen dar (HABEL/KOHLHOFF/NIEMANN 2003):

– Über den Zeitraum der Errichtung der Bahnhofsbauwerke und der benachbarten Gebäude sowie der ersten Betriebsphase sollten die relevanten mechanischen Größen an zahlreichen Punkten gemessen und ausgewertet werden. Eine spätere Verlängerung des Beobachtungs-Zeitraumes sollte möglich sein. Inzwischen läuft das Monitoring-System seit 5½ Jahren.
  Die Sensoren sollten erst nach Abschluss der Betonierarbeiten und Ausschalen der Konstruktion in dafür vorgesehene Aussparungen angebracht werden. Für die Kabel wurden vor dem Betonieren leere Kunststoffschläuche in die Konstruktion eingelegt, durch die später dann die Kabel gezogen werden konnten.
– Die maßgebenden Größen – und dabei handelt es sich vor allem um die vertikalen Bewegungen an den Auflagern – sollten direkt gemessen werden und nicht etwa nur mittelbar über Auswertungs-Berechnungen bestimmt werden.
– Neben den vertikalen Bewegungen sollten Dehnungen an den Brückenträgern gemessen werden, um deren Verformungszustand zu erfassen.
– Die Messgrößen sollten redundant ermittelt werden, indem an jeweils einem Messpunkt zwei Sensoren angeordnet werden sollten, deren Funktionsweise unterschiedlich ist – z.B. Dehnungsmessungen auf elektrischem oder faseroptischem Prinzip.
  Das ist nicht immer möglich, wie noch erläutert werden wird.
– Redundanz insgesamt sollte auch dadurch erreicht werden, dass für die Auswertung eine Symbiose von experimenteller **und** mechanisch-numerischer Analyse angestrebt wurde, so dass für jeden Zeitpunkt, für den eine Auswertung erfolgte, alle Messwerte für eine Brücke einbezogen wurden und die mathematischen Funktionen, die der Auswertung unterlegt wurden, den mechanischen (Struktur-)Gegebenheiten genügten. Ein solcher Ansatz ist in einem solchen Zusammenhang zuvor noch nicht versucht worden.
– Parallel wurden sog. Tauglichkeitsversuche an den Sensoren und den Messketten vorgenommen in der Art, dass an zwei 8 m langen Spannbetonbalken in der BAM (einer in der Versuchshalle, der andere im Freien) die gleichen Sensoren und Messkanäle eingesetzt wurden wie an den Brücken und die Beanspruchungen etwa in dem Bereich lagen, der bei den Brücken auftrat. Bei diesen Versuchen konnten die Bedingungen sehr genau kontrolliert werden, so dass erwartet werden konnte, dass die langzeitige Stabilität von Sensoren und Messkanälen bestätigt werden konnte. Daneben ist natürlich bei den Tauglichkeitsversuchen eine Entlastung der Balken möglich, womit eine sehr genaue Validierung erfolgen kann. Das ist insbesondere bei Betonbauwerken von Bedeutung, da der Beton unter Beanspruchung kriecht und auch schwindet. An diesen Balken wurden parallel zu den bereits erwähnten Dehungsaufnehmern auch die rein mechanisch arbeitenden Setzdehungsmesser, Bauart Pfender, eingesetzt.

Selbstverständlich werden auch die Temperaturen an zahlreichen Punkten in der Konstruktion gemessen, um die Dehnungen zutreffend bestimmen zu können.

5 Auswahl der Sensoren

Auf der Grundlage langjähriger Erfahrungen, auch in Zusammenarbeit mit anderen Instituten, wurden folgende Sensoren ausgewählt:

– Für Dehnungsmessungen:
  Elektrische Dehnungsmessstreifen von 60 mm Länge und faseroptische Sensoren unterschiedlicher Länge (max. 2 m)
– Nivellement-Messungen mit einer speziell entwickelten „Schlauchwaage“, in deren Elemente auch jeweils ein Neigungsmesser integriert wurde. (Zwischenzeitlich ist sie patentiert worden.)
  Im mittleren Bereich der Brücken, dort wo der Durchblick möglich war, wurde ein laser-optisches Nivellement-System eingesetzt
– Temperatursensoren an allen wesentlichen Punkten

Die Anordnung paralleler Dehnungsaufnehmer an einem der Tauglichkeits-Versuchs-Balken ist aus Bild 5 zu erkennen. Dort sind auch die Messmarken für den Setzdehnungsmesser erkennbar.

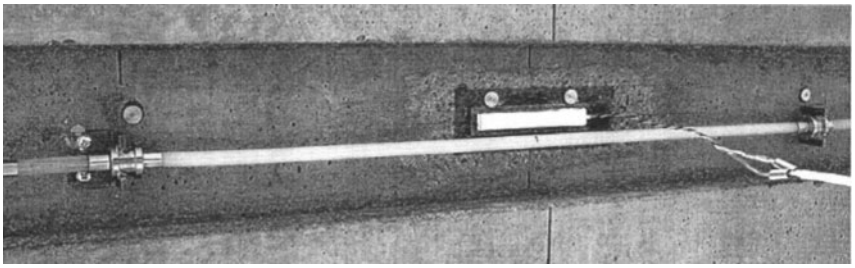

Bild 5: Versuchsbalken im Freien auf dem Gelände der BAM; Anordnung paralleler Dehnungsaufnehmer: elektrischer DMS, faseroptischer Dehnungsaufnehmer, Messmarken für den Setzdehnungsmesser (kurze und lange Mess-Basis)

6 Sensoren

6.1 Dehnungsmessung

Für die Messung von Dehnungen sind drei unterschiedliche Sensortypen eingesetzt worden:
– elektrische Widerstands-Messstreifen
– faseroptische Sensoren
– Setzdehnungsmesser, Bauart Pfender.

Bei den *elektrischen Dehnungsaufnehmern* wird der Effekt verwendet, dass sich der elektrische Widerstand eines dünnen Drahtes mit der mechanischen Beanspruchung verändert. Dieser Zusammenhang ist in dem hier interessierenden Bereich linear und wird durch einen Koeffizienten charakterisiert, der vom Hersteller angegeben wird. So kann also die Widerstandsänderung gemessen und in eine Dehnung umgerechnet werden. Grundsätzlich ist der Widerstand auch von der Temperatur abhängig. Bei geeigneter Legierung des Sensor-Materials kann diese Abhängigkeit aber vernachlässigt werden, solange (im vorliegenden Fall) die Temperatur zwischen 5 ° und 80 °C liegt. Die temperaturbedingte Dehnung des Konstruktionsmaterials muss natürlich berücksichtigt werden! Die Sensoren hatten eine Messlänge von 60 mm, eine Länge, die bei Beton notwendig ist, da das sog. Größtkorn der Zuschlagsstoffe (Kies und Sand) im Zentimeterbereich liegt. Für die Messungen an den „Gabelstützen“ wurden Sensoren mit 12 mm Messlänge verwendet. Die Verwendung von elektrischem Strom bei der Messung kann bei den sehr starken Strömen im Bereich der Bahnanlagen zu elektromagnetischen Störungen führen. Das ist auch der Grund, bei den redundanten Sensoren *optische Sensoren* einzusetzen, die durch elektromagnetische Felder nicht gestört werden.

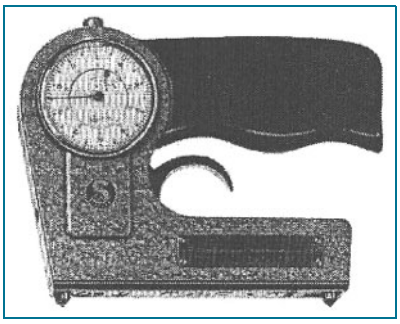

Bild 7: Setzdehnungsmesser, Bauart Pfender/BAM, Bild der Fa. Bluhm & Feuerherdt

In Bild 5 ist der faseroptische Sensor zu erkennen. Die Wirkungsweise geht aus Bild 6 hervor. Bei der Planung der faseroptischen Sensoren, bei denen eine der Fasern vorgespannt wird, muss zuverlässig abgeschätzt werden, in welchen Bereich später die Beanspruchungen liegen werden, denn die aktive Faser darf weder schlaff werden noch bei Überdehnung reißen. Bei der Planung wurde auf die Vorgaben in den Bemessungsnormen für Spannbeton Bezug genommen.

Mit dem rein mechanisch arbeitenden *Setzdehnungsmesser*, Bauart Pfender/BAM, Bild 7 steht ein Werkzeug zur Verfügung, das keiner elektrischen oder optischen Beeinflussung unterliegt. Diese Messtechnik wird vor allem bei den Tauglichkeitsversuchen eingesetzt, weil bei diesen die Zugänglichkeit gewährleistet ist. Ein kontinuierliches Messen ist mit diesem Gerät nicht möglich. Es eignet sich aber hervorragend für „benchmark“-Messungen. Die Messmarken, die für diese Art der Messung angebracht werden müssen, sind in Bild 5 gut zu erkennen. Der Abstand der Messmarken betrug wiederum 60 mm.

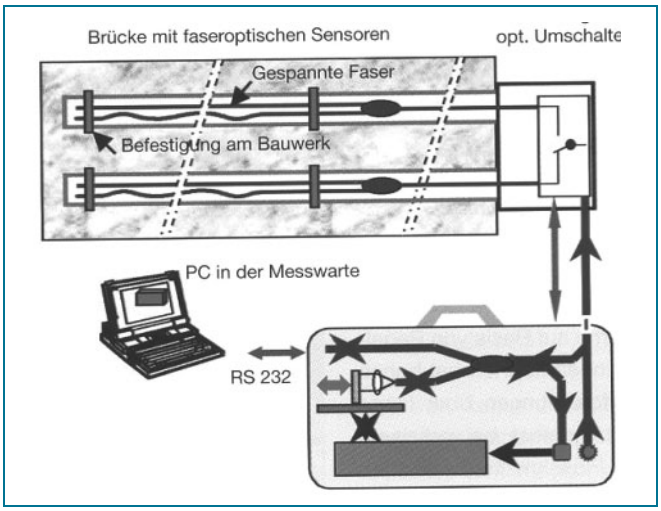

Bild 6: Faseroptischer Sensor, Prinzip-Skizze (nach www.smartec.ch)

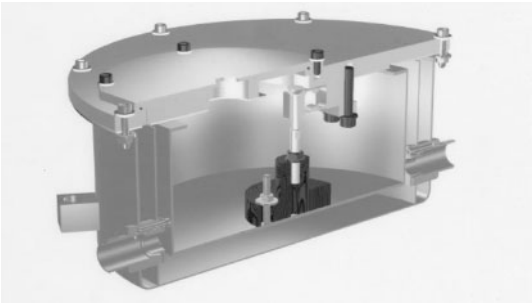

Bild 8: Element der hydrostatischen Schlauchwaage, System BAM (Kohlhoff, H.; Patent Nr. 10203231 (27. 04. 2003)

6.2 Wegmessung

Für die Messung der vertikalen Bewegungen der Brükkenbalken wurde auf das Prinzip der Schlauchwaage zurückgegriffen. Für den vorliegenden Anwendungsfall waren natürlich einige Anpassungen notwendig. Insbesondere blieb das Problem der Redundanz zu lösen.
Zwar wird an einigen Stellen auch in größeren Zeitabständen geodätisch gemessen, aber das nicht an allen Punkten. Eines der Elemente für das Schlauchwaagen-System ist in Bild 8 dargestellt. Für eine kontinuierliche Abfrage kam die Messung des Auftriebs eines Schwimmkörpers in Betracht, also eine Kraftmessung, und um eine weitere Kontrolle möglich zu machen, wurde vorgesehen, dass der Schwimmkörper durch Aufschwimmen von der Auftriebs-Messeinrichtung entkoppelt werden konnte, so dass immer wieder eine Nullmessung möglich wurde. Das System ist inzwischen patentiert worden. In einige der Wegmess-Elemente wurde ein Neigungsmesser integriert, um auch diese Größe zu messen, in einigen Fällen in Längsrichtung der Brücke, an wenigen Stellen auch quer zur Brückenachse, um Torsionverformungen zu erfassen.
Im mittleren Teil der Brücken, dort, wo ein ständiger Durchblick möglich ist, wurde ein laser-optisches Nivellement-System eingesetzt, Bild 9.

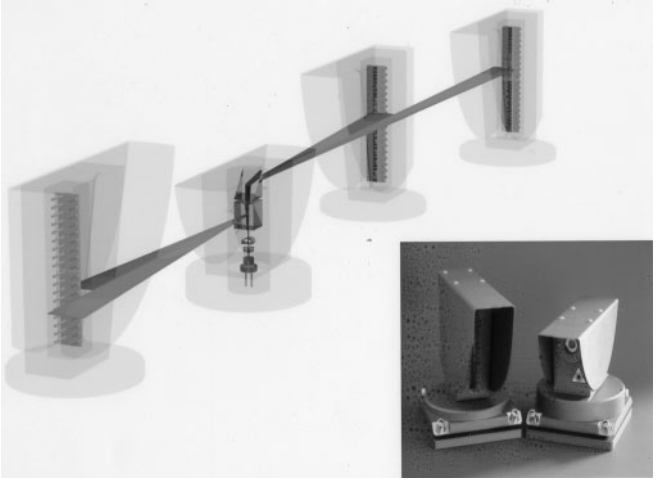

Bild 9: Laser-optische Nivellement-System (sog, „laser-optische Schlauchwaage“, System BAM

6.3 Temperaturmessung

Nur an relativ wenigen Punkten wird die Temperatur der Konstruktion bestimmt. Es war nicht beabsichtigt, ungleichmäßige Erwärmungen der Konstruktion über den Querschnitt zu bestimmen. Wenn die Messungen jeweils zum Ende der Nacht ausgeführt werden, können Verkrümmungen der Brückenbalken durch ungleichmäßige Temperaturfelder unberücksichtigt bleiben.
Als Sensoren wurden Widerstands-Messstreifen eingesetzt.

7 Anordnung der Sensoren an den Brücken

Die Anordnung der Sensoren an einer der Brücken ist aus Bild 10 zu erkennen. Nur in den mittleren drei Brückenfeldern sind Dehnungsmessungen vorgesehen worden, um das Tragverhalten der Brückenträger im Bereich der Gabelstützen möglichst vollständig zu erfassen.

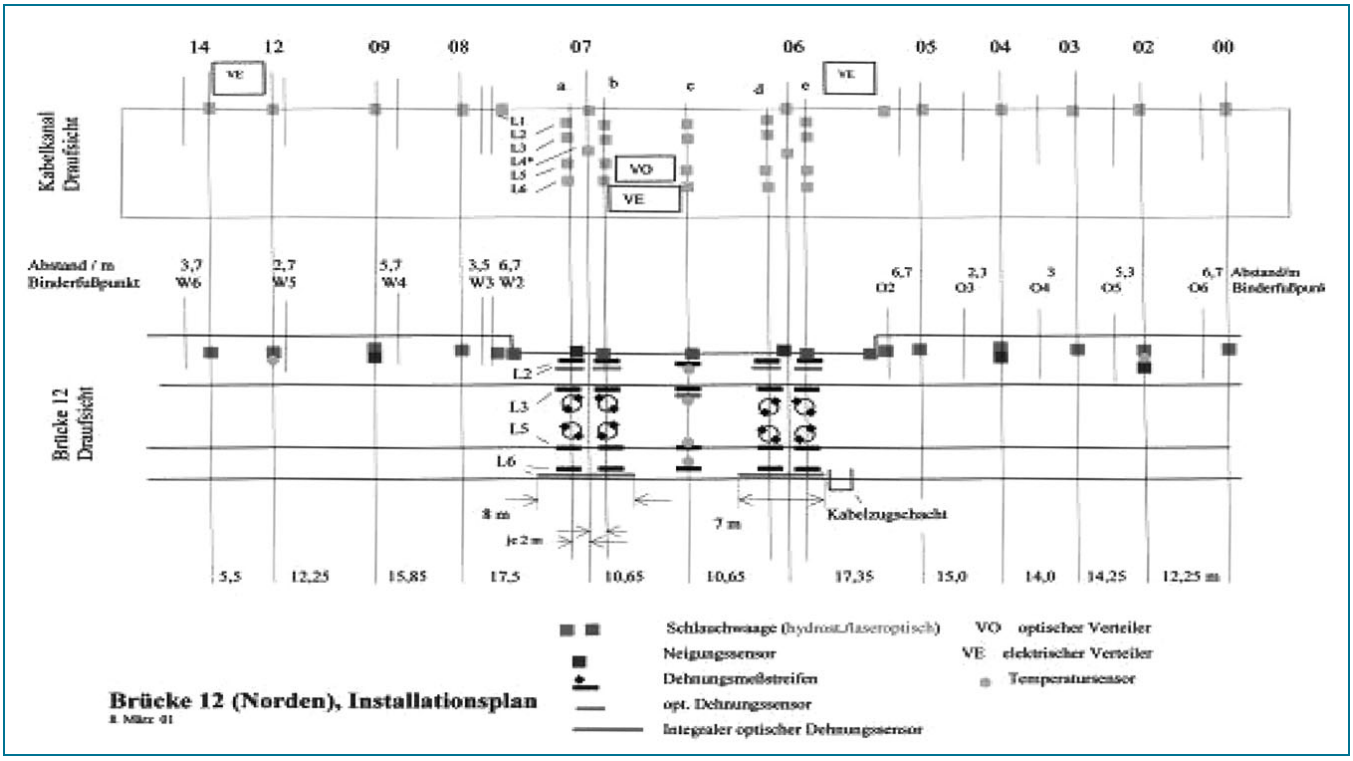

Bild 10: Anordnung der verschiedenen Sensoren an einer der Brücken

Bild 11: Applikation von Sensoren in einer Aussparung im Beton

8 Applikation der Sensoren

Die verschiedenen Sensoren wurden in Aussparungen im Beton appliziert, Bild 11, und die Kabel dann durch die bereits erwähnten Kunststoff-Leerrohre eingefädelt, eine zuweilen etwas mühsame Prozedur. Vielleicht sollte hier angemerkt werden, dass heute, nur wenige Jahre später, u.U. auf eine derartige Verkabelung verzichtet werden könnte, weil jetzt weitgehend drahtlos gearbeitet wird. Damit könnte man die Anzahl der Sensoren zwar mühelos vergrößern, aber ob eine solche Vielzahl von Sensoren tatsächlich zielführend wäre, bleibt noch zu erörtern.

Die Ergebnisse aus den ersten Jahren zeigen eine gute Übereinstimmung der Signale von den parallel angeordneten Sensoren, Bild 12. Es gab nur ganz wenige Ausfälle bei den Sensoren. Diese Aussage gilt sowohl für die Messungen an den Brücken als auch an den Versuchsbalken in der BAM für die Tauglichkeitsversuche. Für den Balken in der Versuchshalle der BAM ist auch eine mechanische Modellierung erfolgt, die sich unerwartet kompliziert gestaltete, da der Beton sich als ungewöhnlich inhomogen erwies, was für die Brücken am Hauptbahnhof nicht zu vermuten ist. Über diese Arbeiten ist bereits berichtet worden, Brandes/Ullner 2003.

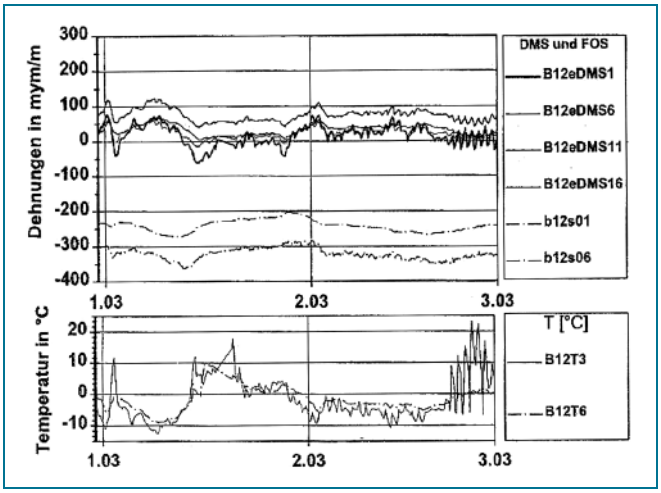

Bild 12: Aufzeichnung von Signalen parallel angeordneter Sensoren an der Brücke 12 für die Zeit von Januar bis März 2003. Die starken Temperaturschwankungen an einer der Messstellen sind in den Signalen der benachbarten DMS wiederzufinden. Die DMS e1, e6 und e16 sind an folgenden Punkten angebracht: Am Brückenbalken jeweils oberhalb der Gabelstützen oben (e1, e6) sowie oberhalb der westlichen Gabelstütze oben und unten (siehe auch Bild 16)

9 Erprobung

Die Erprobung der neuartigen experimentell-mechanisch/numerischen Analyse ist erst in einigen Detailbereichen fertig gestellt worden, es ist aber nur eine Frage der Zeit, wann auch dieser ambitionierte Teil des Projektes vollständig vorgestellt werden wird. Hierzu wird in den AVN gesondert berichtet werden. Nur einige Anmerkungen seien hier erlaubt, ohne den Umfang des Beitrags zu groß werden zu lassen.

9.1 Experimentell-mechanisch/numerische Analyse

Als Teil des Monitoring-Konzepts war von Beginn an die Auswertung als ganzheitliche methodische mathematische Prozedur vorgesehen.

Sie wird durch folgende Schlagworte charakterisiert:

- mechanische Modellierung der Brücke als kontinuierlichen Balken auf der Grundlage der Bernoullischen Balken-Biegetheorie (andere Modellierungen sind denkbar, verlangen aber noch mehr Messpunkte)
- beschreibende Funktionen über alle Felder hinweg in Anlehnung an die Finite Element Methode (im ersten Schritt als Hermitesche Interpolationspolynome – Spline-Näherungen verbieten sich in diesem Zusammenhang)
- Definition der Fehlerquadrat-Ausgleichung als Variationsausdruck mit der Möglichkeit, Bindungen im mechanischen System über Nebenbedingungen einzuführen mit zugehörigen Lagrangeschen Multiplikatoren
- Auf diesem Wege gelingt es auch, die unterschiedlichen gemessenen physikalischen (mechanischen) Größen in zutreffender Weise zu gewichten. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang, dass die beschreibenden (Ansatz)-Funktionen tatsächlich die Lösungen des statischen Problems der Technischen Mechanik darstellen. Im weiteren Verlauf der Entwicklung des Verfahrens kann diese Vorgabe vermutlich etwas abgeschwächt werden.

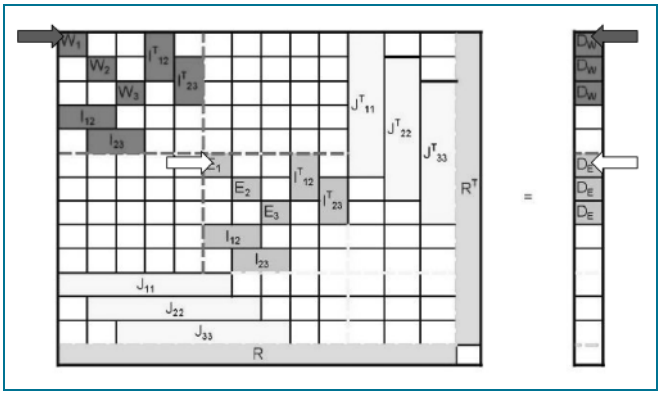

Bild 13: Anordnung von Normalgleichungen für die Berechnung der Durchbiegungen (dunkle Blockpfeile) und der Dehnungen (offene Blockpfeile) im ersten Feld mit den jeweiligen Koppel-Matrizen (als Inzidenzmatrizen) und der Koppel-Matrizen für die aneinanderstoßenden Balkenelemente. Der Vektor der Parameter (Koeffizienten für die Ansatzfunktionen und Lagrangesche Multiplikatoren) ist nicht eingezeichnet. Der „Randvektor" R stehen für die Randbedingungen (im vorliegenden Fall nur zwei Koeffizienten)

Im Ergebnis stellt sich die Lösung dann folgendermaßen dar:
In einer Matrix werden die Normalgleichungen für die verschiedenen Balkenelemente und für jede der physikalischen Größen auf der Diagonalen der Gesamtmatrix angeordnet. Daneben werden die Nebenbedingungen (Bindungen) als Inzidenzmatrizen hinzugesetzt mit zugehörigen Lagrangeschen Multiplikatoren, die sich bei der Interpretation als Parameter für die Qualität der Übereinstimmung von Modellierung und Messung herausstellen (Brandes/Daum/Buchhardt 2005).
In kompakter Form ist dieses Verfahren in Brandes/Daum/Buchhardt 2005 vorgestellt worden. In übersichtlicher Form soll es in den AVN demnächst erläutert werden.

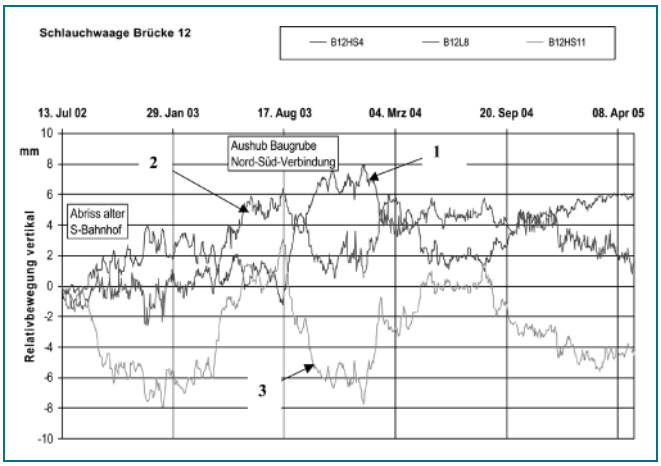

Bild 14: Einfluss des Baugeschehens in der Nähe des Hauptbahnhofs auf die vertikalen Bewegungen der Brücke 12 (nördliche Brücke). Kurve 1: Vierte Schlauchwaagen-Messstelle westlich von den Gabelstützen (siehe Bild 4) Kurve 2: Laser-optisches Nivellement an der westlichen Gabelstütze Kurve 3: Erste Schlauchwaagen-Messstelle östlich der Gabelstützen (siehe Habel/Niemann/Hille 2006)

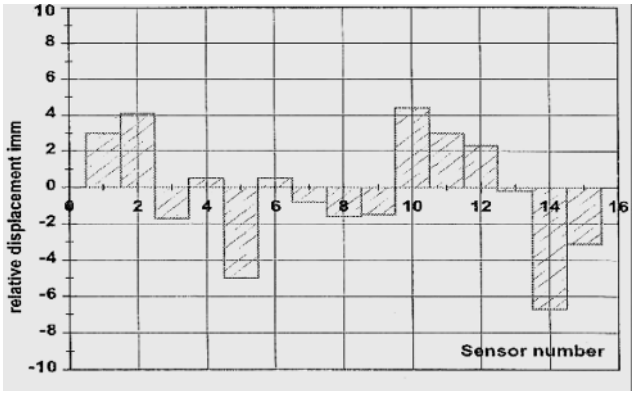

Bild 15: Vertikale Bewegungen an den Sensor-Positionen der Schlauchwaage (einschließlich der laser-optischen Sensoren) der Brücke 12. Zustand im März 2003)

In einer übersichtlichen Matrizen-Darstellung für die Auswertung der mittleren drei Felder der Brücke, die also den Bereich der Gabelstützen (siehe Bild 4) einschließt und jene Felder umfasst, für die Durchbiegungs- und Dehnungsmessungen vorliegen, soll die Wechselbeziehung zwischen Konstruktion und Matrizen deutlich gemacht werden, Bild 13. Es werden die Normalgleichungen einerseits für die Durchbiegungsmessungen (oberer Block, erstes Feld durch die Blockpfeile hervorgehoben) und andererseits für die Dehnungen (unterer Block, erstes Feld durch die nicht-ausgefüllten Blockpfeile hervorgehoben) in übersichtlicher Form angeordnet, derart, dass eine Kopplung über Inzidenzmatrizen gelingt, die in die Matrix einbezogen werden. Der Vektor der Parameter ist in der Darstellung weggelassen worden. Es handelt sich also um eine besondere Anordnung der Normalgleichungen und zusätzlich werden Inzidenzmatrizen hinzugefügt, die die Bindungen zwischen den Parametern beschreiben, und die spärlich mit Koeffizienten besetzt sind.

10 Einige Ergebnisse

Für einige Punkte sind Zeit/Signal-Schriebe in den Bildern 14 und 15 aufgezeichnet, aus denen der prinzipielle Verlauf erkennbar wird. In welcher Weise sich Hebungen und Setzungen an etlichen der Messpunkte in einem relativ kurzen Zeitraum ergeben, geht aus Bild 15 hervor.

11 INTERNET-Zugang

Von Beginn an war vorgesehen, dass alle Beteiligten einen direkten Zugang zu den Ergebnissen der Messungen haben sollten, natürlich nicht zu den Ur-Daten, aber doch relativ früh zu den Daten nach einer ersten Prüfung und Auswertung. Die Art des Zugangs ist aus Bild 16 zu ersehen. Neben der Bahn, der BAM, dem Eisenbahn-Bundesamt (EBA) haben die Projektverantwortlichen (Statik-Büro und Prüfingenieur) Zugang zu den Daten. Eine allgemeine Öffnung ist dagegen nicht ins Auge gefasst.

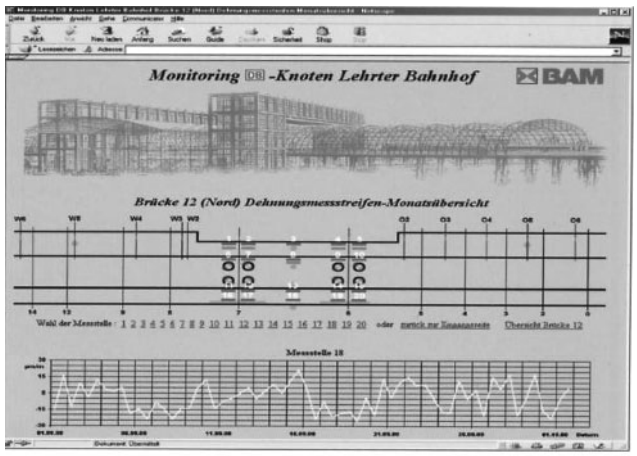

Bild 16: Zugang zu den Messungen und den Auswertungen über INTERNET. Darstellung des Portals

12 Zusammenfassung

Die langzeitige Beobachtung des Verhaltens von Bauwerken und Konstruktionen hat in den letzten zwei Jahrzehnten einen lebhaften Aufschwung erlebt, so dass geradezu ein neues Fachgebiet daraus entstanden ist, das sehr allgemein mit dem Begriff „Monitoring“ bezeichnet wird. Nun sind im konkreten Fall die Aufgabenstellung und die Anforderungen sehr unterschiedlich. So ist in jedem einzelnen Fall sehr konkret zu erkunden, welches denn das Ziel der Beobachtung ist, das dann auch exakt zu benennen ist.

Bei der Aufgabe, die beiden äußeren Brücken des Hauptbahnhofs in Berlin hinsichtlich ihrer langzeitig erfolgenden Bewegungen zu beobachten, ist diese Zielsetzung im einzelnen fixiert worden, und die Sensoren sind entsprechend ausgewählt worden, ebenso ihre jeweilige Position und ihr Messbereich. Ebenso wichtig war es, Messungen redundant durchzuführen und schließlich auch, eine umfassende Auswertung vorzusehen. Damit konnte auch zugleich der eventuelle Ausfall einzelner Sensoren aufgefangen werden.

Von Vorteil erwies es sich, dass in der BAM sowohl altbekannte Messverfahren verfügbar sind, aber auch ganz neuartige, und dass auch das Potenzial für gezielte Neuentwicklungen eingesetzte werden konnte.

Nach nunmehr etwa 5 1/2 Jahren Einsatzzeit hat sich das System sehr bewährt und wird auch noch für einige Zeit weiter betrieben werden.

Als Referenz-Verfahren für vergleichbare Aufgabenstellungen wird es darüber hinaus noch sehr gute Dienste leisten.

Die enge Zusammenarbeit von Experten aus den Gebieten der Sensorik, des Konstruktiven Ingenieurbaus und der Informations-Technologie hat sich als überaus fruchtbar erwiesen, ist aber wohl auch unverzichtbar.

Literatur

[1] Brandes, K.; Knapp, J. 2002: Long-term monitoring of prestressed concrete bridges of the new railway main station of Berlin: Lehrter Bahnhof. In J. R. Casas, D. M. Frangopol & A. S. Nowak (eds.): Bridge Maintenance, Safety and Management. Intern. Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Barcelona, Spain

[2] Brandes, K.; Ullner, R. 2003: Struktur-Modellierung für einen inhomogenen Spannbetonbalken. VDI-Berichte 1757, GESA-Symposium 2003, Braunschweig

[3] Brandes, K.; Daum, W.; Buchhardt, F. 2005: Methodische Symbiose von Messung und mechanischer Analyse beim Langzeit-Monitoring von Spannbetonbrücken. In: GESA-Symposium 2005 Strukturanalyse. VDI-Berichte Nr.1899, Düsseldorf, VDI-Verlag, pp. 137–151

[4] Eckstein, U.; Feuser, H.; Montag, U.; Timmers, B. 2006: Die Brücken des Hauptbahnhofs. Bahnmetropole Berlin, herausgegeben in Zusammenarbeit mit DB ProjektBau GmbH, EurailPress, Hamburg

[5] Habel, W.; Kohlhoff, J.; Niemann, J. 2003: The BAM measurement system for monitoring the outer concrete bridges in the new Berlin main station Lehrter Bahnhof (in German). In: GESA-Symposium 2003 Sicherheit u. Wirtschaftlichkeit durch Messtechnik, Monitoring und Beanspruchungsanalyse. VDI-Berichte Nr. 1757, Düsseldorf, VDI-Verlag, pp. 253–243

[6] Habel, W.; Niemann, J.; Hille, F. 2006: Langzeitmonitoring der äußeren Brücken des Hauptbahnhofs. Bahnmetropole Berlin, herausgegeben in Zusammenarbeit mit der DB ProjektBau GmbH, EurailPress, Hamburg

Anschrift der Verfasser:
Dr.-Ing. Klaus Brandes,
Institut für angewandte Forschung
im Bauwesen (IaFB) e.V., Sophienstraße 33 A,
12278 Berlin, E-Mail: mail@iafb.de

Dr.-Ing. Werner Daum,
Bundesanstalt für Materialbrechung und -prüfung
BAM, Fachgruppe Mess- und Prüftechnik,
Sensoren, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin,
E-Mail: Werner.Daum@bam.de

Summary

A long-term monitoring system has been installed at prestressed concrete bridges (several spans, together about 170 m) of the new railway main station of Berlin („Lehrter Bahnhof“). It is provided for observing long-term settlements and heaving of the two outer bridges, which support the huge hall, made of glass. For the measurement, a hydrostatic system has been developed and is coupled with a laser-based levelling system. Additionally, tiltmeters, strain gauges (both electrical and fibre-optical ones) have been applied. For the experimental-mechanical/numerical evaluation, an advanced system has been created and is just under testing.