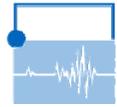


# Workshop B – Bausanierung: Prüfmethoden gezielt ausschreiben und einsetzen

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian U. Große

Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung, Technische Universität München



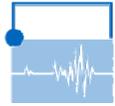


Alle Abbildungen, in denen Messgeräte dargestellt sind, sind als beispielhafte Darstellungen zu verstehen.

In keiner Weise soll dadurch ein Gerät oder ein Hersteller gegenüber anderen Geräten/Herstellern hervorgehoben werden.

Andere (nicht gezeigte) Geräte können eine ähnliche oder eine höhere Leistungsfähigkeit besitzen, als die gezeigten.

---



Beispiel für den Einsatz von zerstörungsfreien Prüfverfahren?

Ein unkundiger Auftraggeber gibt einem unqualifizierten Prüfer einen

unspezifizierten **Auftrag**, nämlich mit

ungeeignetem und falsch justiertem Gerät an einem mangelhaft vorbereiteten Objekt (Bauwerk) ohne zutreffendes Regelwerk unter minimalen Kosten

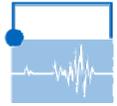
eine Prüfung durchzuführen, deren **Ergebnis**

ohne jede Referenzprüfung (Validierung) und Fehleranalyse

falsch interpretiert wird, so dass ein erheblicher

wirtschaftlicher, gegebenenfalls sogar

sicherheitsrelevanter Schaden entsteht



## Reduktion der Fehlerkosten

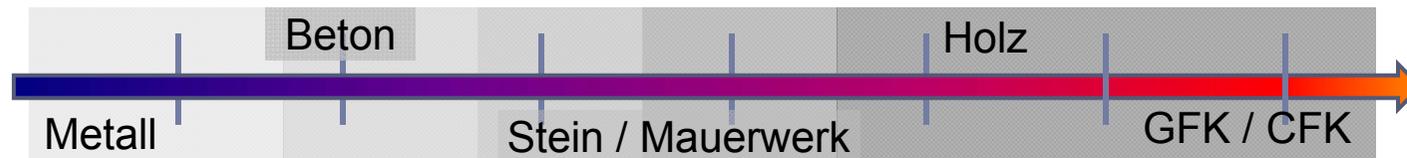
- 14 Mrd. € vermeidbare Schäden im Jahr  
(gemäß 3. Bauschadensbericht der Bundesregierung)
- 280 Mrd. € Investitionssumme im Jahr
- 5 % Fehlleistungsaufwand vor Abnahme (geschätzt)
- ca. 5 % Fehlleistungsaufwand nach Abnahme
- Summe 10 % Fehlleistungsaufwand (geschätzt)

Vergleich: Operativer Gewinn ca. 1,5-2,5 %

**Ziel: Vermeiden von Fehlern!**

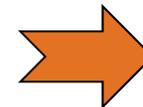


Materialskala



- Objekte sind meist “einzigartig” (Seriengröße = 1)
- Einwirkungen sind komplex
- Randbedingungen sind schwierig
- Es gibt keine “Patentlösungen”

Konsequenz: Systematisches Vorgehen!



Welche?  
Was?  
**Wie?**



# Welche ZfP-Techniken?

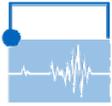
---

## Inspektionsverfahren

- ?

## Monitoringverfahren

- ?



## Inspektionsverfahren (Auswahl)

- Ultraschalltechnik, Impakt-Echo
- Resonanzverfahren und Bondtest
- RADAR / Mikrowellenverfahren / Terahertz
- Infrarot-Thermografie (aktiv/passiv)
- Optische Verfahren (ESPI, DIC, Shearographie)
- Elektrische + magnetische Felder
- Potentialfeldverfahren
- Kapazitive Verfahren
- Wirbelstrom
- Radiographie, CT
- Visuelle Verfahren, Endoskopie
- Weitere Prüfverfahren
  - Dehnungsmessung
  - Farbeindringprüfung
  - Magnetpulverprüfung

RADAR



Ferroskan



Ultraschall

Videoendoskopie



Thermographie

## Monitoringverfahren (Auswahl)

- Schallemissionsanalyse
- Faseroptische Verfahren
- Modal- und Eigenschwingungsanalyse
- Laservibrometrie



Schallemissionsanalyse



Laservibrometrie

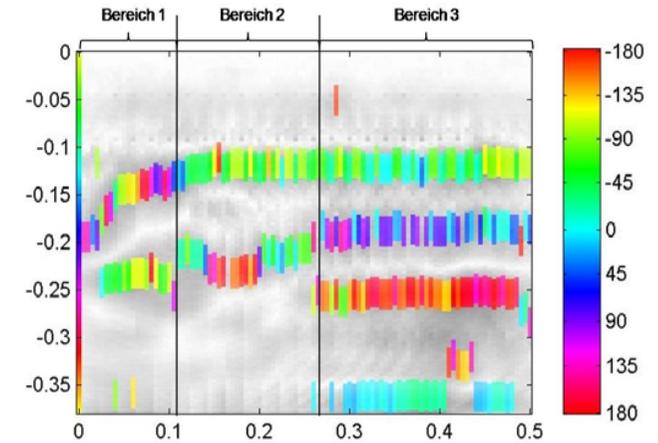
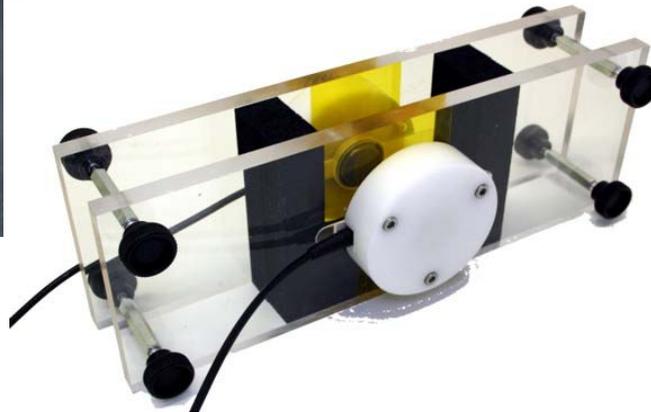
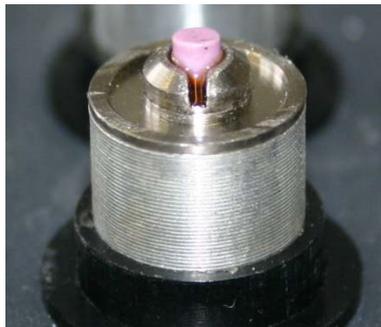


## Beispiel 1: **RADAR**





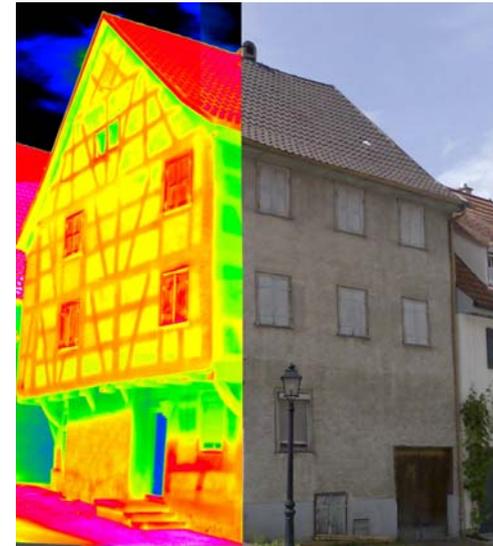
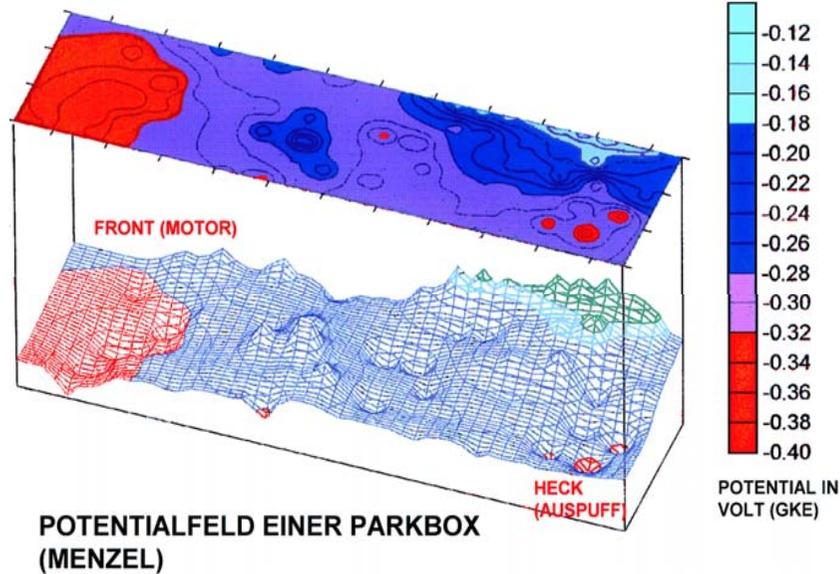
## Beispiel 2: **Ultraschall**



Ultraschall-Phasenanalyse von Hüllrohren (Obermeier)



## Beispiel 3: Weitere Verfahren



Infrarot-Thermographie am verputzten Fachwerk (Frick)



Mikrowellentechnik für Feuchtemessungen (Göller)



Automatisierung + Kombination von Verfahren (Zoega)



## Beispiel 4: Dauerüberwachung (structural health monitoring)



Neckartalbrücke (1350 m) bei Heilbronn  
Kompositbrücke (Stahl, Stahlbeton)



A/D-Wandler, DSP, Datenspeicher, Sensoren, Funkübertragung



© Crossbow Neomote



© ArtGuardian



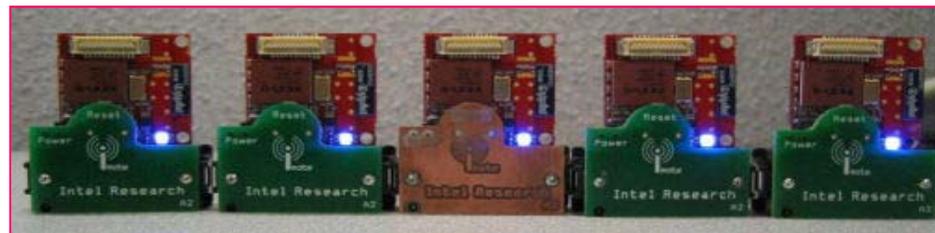
© CulturBee



© National Instruments



© SmartMote



© Intel (iMote®)

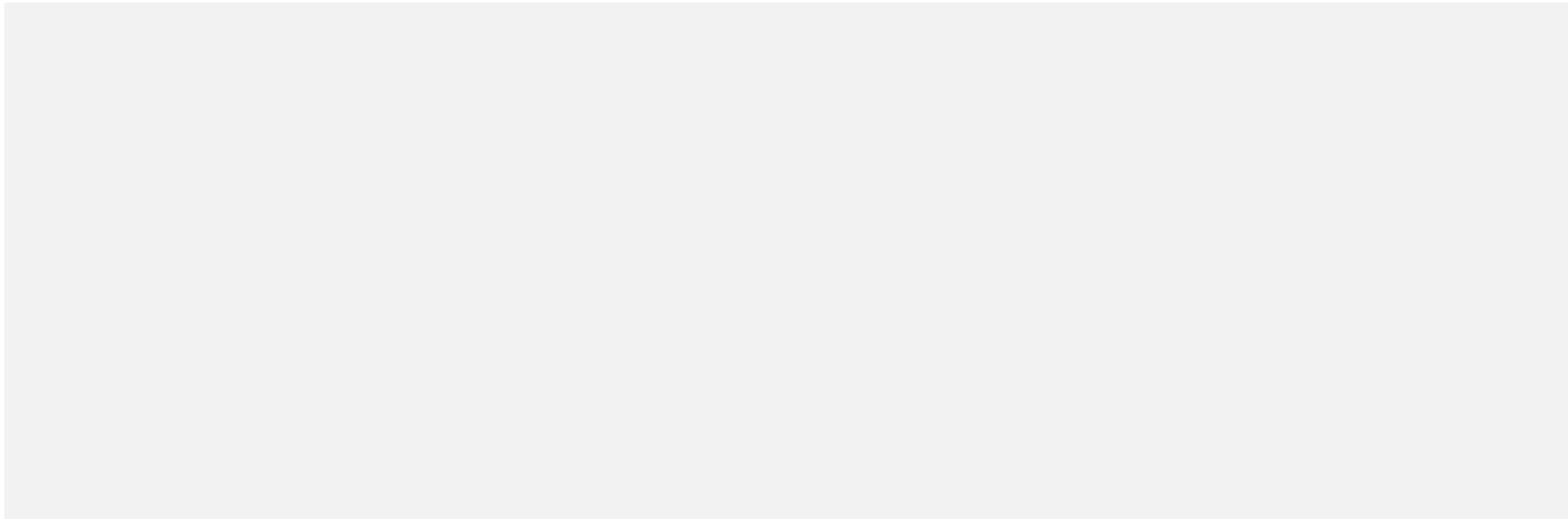


## Was leisten Zerstörungsfreie Prüfverfahren?

---



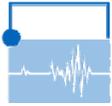
Welche Aufgaben sehen Sie für ZfP-Anwendungen?





- **Bestimmung von Materialparametern**
  - E-Modul, Porosität, Feuchte, etc.
- **Frühzeitige Detektion von Bauteilschäden**
  - Fehlstellen, Risse, Korrosion etc.
- **Ermittlung der Struktur eines Bauteils**
  - Äußere Abmessungen (Geometrie)
  - Grenzflächen
- **Überprüfung der Funktionstüchtigkeit**
  - Hinsichtlich Standsicherheit, Tragfähigkeit, etc. (⇒ Statiker!)
- **Untersuchung des Erfolges von Ertüchtigungs- und Reparaturmaßnahmen**
- **Prognose der Restlebensdauer**

**Ergänzung der visuellen Inspektion von Bauteilen und Anlagen**



### Welche Technik ist besonders gut geeignet, um die Aufgabe 1, 2 ... zu lösen?

Das ist abhängig von:

- Schadensart (Größe des Schadens, Kombination von Schäden)
- Bauart, Material (Beton, Holz, Stein, Stahl, Polymere, Glas etc. )

Das ist aber auch abhängig von:

- Lage / Zugänglichkeit
- Größe / Fläche
- Historie (Bauwerkserstellung, Umbauten, Materialien, Vorschäden, Sanierungen)
- Oberflächenbeschaffenheit, Beschichtung, Bewuchs
- Umgebungsbedingungen (Geräusche, Witterung, Klima/Temperatur)

Und insbesondere auch von:

- Messgeschwindigkeit, Termin
- Aufwand / Kosten der Messung
- Präzision des Messergebnisses (Detektion / Lokalisierung)

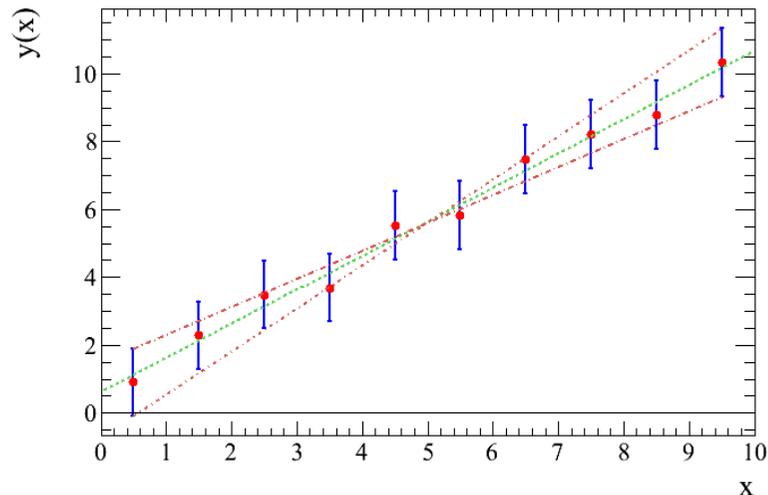


- Breite Palette an Werkstoffen und Werkstoffkombinationen
- Heterogenität (Ränder, Bewehrung, Porosität, Beschichtungen)
- Abmessungen: Meist im Meterbereich (Relation Fehlerausdehnung – Objektausdehnung)  
Komplexe Geometrie
- Oberflächen: Rau und uneben (selten poliert und plan)
- Referenzobjekte: Meist keine, aber Möglichkeit zur „Kalibrierung“
  
- Prüfungen/Geräte/Sensoren sind meist weder zertifiziert noch standardisiert



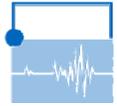
*Einfach:* Durchführung der Messung

*Schwierig:* Fehlerfreie Messung und Interpretation



*Notwendig* ist viel Erfahrung und ...

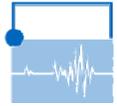
- Kenntnis der (*aller?*) ZfP-Verfahren (physikalische Grundlagen)
- Kenntnis der Messgeräte und Sensoren (technische Grundlagen)
- Verständnis für das Messobjekt (Werkstoff, Konstruktion)
- Kenntnis der Methoden der Datenverarbeitung und -auswertung (Datenanalyse, Darstellung, Fehlerrechnung)
- Kenntnis der Bewertungsgrundlagen (Statik, Funktion, Rehabilitierung, Ersatz)



## Exakte ⇔ funktionale Leistungsbeschreibung

### Exakte Leistungsbeschreibung

- Genaue fachkundige Beschreibung
  - Zugänglichkeit
  - Anzahl des notwendigen Prüfpersonals
  - Einzusetzende Messmethoden und -geräte
  - Gewünschte Art der Leistung (Messung, Gutachten, Ausarbeitung, Präsentation)
- Beschreibung von
  - Randbedingungen (indoor/outdoor, Witterung, Anfahrtsweg)
- Vorlaufzeit („... können Sie übermorgen die Messung machen?“)
- Fachkundige Beratung bei der Ausschreibung
- Vereinbarung von Testmessungen



## Exakte ⇔ funktionale Leistungsbeschreibung

### Funktionale Leistungsbeschreibung

- Fachkundige Beschreibung von
  - Messziel, Genauigkeit, Messraster etc.
  - Einzusetzende Messmethoden und -geräte
  - Zugänglichkeit
  - Notwendige Vorbereitung des Objektes (Zugänglichkeit, Strom, Beschichtungen, etc.)
- Beschreibung von
  - Randbedingungen (indoor/outdoor, Witterung, Anfahrtsweg)
- Vorlaufzeit, Zeitplan

⇒ **Wirtschaftlichkeit**



## Wirtschaftlichkeit

### Die Kosten eines Messeinsatzes können abhängen von

- Genauigkeit der Objektbeschreibung
  - Baupläne, Fotos, Aufbau/Oberfläche, „Lebenslauf“, Schadensindizien, usw.
- Zugänglichkeit
- Anzahl des notwendigen Prüfpersonals
- Anzahl der unterschiedlichen Messmethoden und -geräte
- Randbedingungen (indoor/outdoor, Witterung, Anfahrtsweg)
- Gewünschte Art der Leistung (Messung, Gutachten, Ausarbeitung, Präsentation)
- Dringlichkeit („... können Sie übermorgen die Messung machen?“)



## Hinweise für ein systematisches Vorgehen bei Ausschreibungen von ZfP-Leistungen:



Landeshauptstadt München

### Ausschreibung Zerstörungsfreier Prüfverfahren (ZfP)

Dieses Infoblatt soll dabei helfen, Ausschreibungen für die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) zielgerichtet und effizient vor dem Hintergrund der zur Verfügung stehenden Ressourcen zu erstellen.

Der Bedarf nach Inspektionen mit ZfP-Prüftechniken entsteht häufig dann, wenn erste Schäden an Bauteilen sichtbar sind oder wenn die vorhandenen Bauteileigenschaften nicht den Erwartungen entsprechen. Dabei ist oft die Vorgeschichte des Objektes unbekannt und es liegen nur wenige Informationen über Geometrie und Materialzusammensetzung vor.

Ziel der Anwendung von ZfP ist, die Qualität zu sichern, die physikalischen oder chemischen Eigenschaften eines Bauteils (wie elastische Eigenschaften, E-Modul, Rauigkeit oder ähnliches) zu ermitteln oder ein Bauwerk hinsichtlich einer noch nicht mit dem Auge erkennbaren Schädigung zu untersuchen.

Die Zerstörungsfreie Prüfung umfasst im weiteren Sinn alle Bereiche der Messtechnik und Datenanalyse, mit denen Werkstoffe, Bauteile, Anlagen und Bauwerke zerstörungsfrei untersucht werden können. Im engeren Sinn gehört das Fachgebiet zur Materialprüfung beziehungsweise Werkstoffprüfung.

Die nachfolgend beschriebenen Punkte sind für die Ausschreibung von Leistungen auf dem Gebiet der Zerstörungsfreien Prüfung zu berücksichtigen, damit sowohl Auftraggeberin, Auftraggeber als auch Auftragnehmerin, Auftragnehmer zufrieden sind.

Autor:  
Prof. Dr.-Ing. habil. Christian U. Große  
Centrum Baustoffe und Materialprüfung  
Technische Universität München

Entstanden in Kooperation mit:



Technische Universität München

# 08

Infoblatt  
Bauzentrum München

Bauzentrum München  
Willy-Brandt-Allee 10  
81829 München

Telefon: (089) 54 63 66 - 0  
Fax: (089) 54 63 66 - 20  
E-Mail: [bauzentrum.rg@tumu.de](mailto:bauzentrum.rg@tumu.de)  
[www.muenchen.de/bauzentrum](http://www.muenchen.de/bauzentrum)

Öffnungszeiten:  
Montag bis Samstag 9 bis 19 Uhr  
(nicht an Feiertagen),  
Eintritt frei

#### So finden Sie uns:

##### U-Bahn:

U2 bis Messestadt West,  
dann 5 Min. Fußweg

##### S-Bahn/Bus:

S2 bis Riem, umsteigen in Bus 190 bis  
Messestadt West, dann 5 Min. Fußweg

##### Auto:

A54, Ausfahrt M.-Riem oder Feldkirchen  
West, Parkhaus direkt hinter dem  
Bauzentrum München, Einfahrt an der  
Georg-Karsch-Haus-Straße 2.  
Das Parken ist gebührenpflichtig.

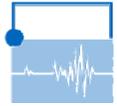


Das Bauzentrum München ist eine  
Einrichtung der Landeshauptstadt  
München, Referat für Gesundheit  
und Umwelt.

Herausgeberin:  
Landeshauptstadt München  
Bauzentrum München  
Willy-Brandt-Allee 10, 81829 München  
Gestaltung: Reissendesign, München  
Druck: Stadtkanzlei, München; Gedruckt  
auf Papier, das mit dem Bauen Engol  
(100% Recyclingpapier) ausgezeichnet ist.  
**Stand: März 2015**



Bauzentrum  
München



## Erforderliche Angaben durch die Auftraggeberin, den Auftraggeber:

- Angaben zum Objekt
  - Lage
  - Bauwerksbezeichnung / Bauteilbezeichnung
  - Zugänglichkeit
  - Größe / Fläche
  - Historie (Bauwerkserstellung, Umbauten, Materialien, Vorschäden, Sanierungen)
  - Oberflächenbeschaffenheit, Beschichtung, Bewuchs
  - Beschreibung der Arten der Schädigung
  - Fotos und gegebenenfalls Schadensbilder
- Angaben zur Verantwortlichkeit
  - Bauherrin, Bauherr
  - Verantwortliche sachkundige Planerin, verantwortlicher sachkundiger Planer
  - Ansprechpartner/-in vor Ort
- Gleichzeitig laufende Arbeiten / Nutzung der Fläche beziehungsweise des Objektes
- Beteiligung Dritter
- Frühere Untersuchungen, vorhandene Messdaten



## Anforderungen an die Auftragnehmerin, den Auftragnehmer:

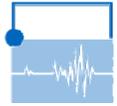
- Geforderte Personalqualifikation (Erfahrung, Referenzen)
- Vorhandene Messverfahren beim AN
- Notwendige Vorarbeiten (zum Beispiel Vermessung, Zugänglichmachung)
- Gewünschte Zeitpunkte: Zeitplan
- Verwendete Normen und Standards, die die Auftragnehmerin, den Auftragnehmer / Geheimhaltung
- Zugrundzulegende Regeln, Normen, Prüfverfahren, Prüfvorschriften
- Angaben zur Messdurchführung:
  - Messziele (Schädigungsart und gegebenenfalls weitere Details)
  - Zu untersuchende Flächen, Teilflächen oder Objekte
  - Kalibriermöglichkeiten (zum Beispiel Bohrung oder Bohrkernentnahme)
  - Messraster
  - Genauigkeit und Messdatenauflösung (lateral, vertikal)
  - Bewertung der Messdaten und Fehleranalyse
- Erforderliche Dokumentation (mündl. Bericht, Messprotokoll, Messbericht, Gutachten)
- Beteiligung Dritter

**Merke: Ein AN wird kein Verfahren vorschlagen, das er nicht anbieten kann**



### Abhängig von der gewählten Methodik sind anzugeben:

- Verwendete Messmethode(n)
- Anzahl / Länge der Messprofile beziehungsweise Anzahl / Länge der Messstellen
- Sensorzahl und Sensorabstand, Sensortyp (zum Beispiel resonant, breitbandig) beziehungsweise Antennentyp o.ä.
- Feld- oder Wellentypen (zum Beispiel Kompressionswelle und / oder Scherwelle)
- Geforderte Datenbearbeitung (zum Beispiel Filterung, Bestimmung der Ersteinsätze)
- Art der Auswertung
- Art der Darstellung (in der Regel inklusive **Messfehlerabschätzung**)
- Art der Datenübergabe
- Nachbereitung nach Vorliegen von Kalibrierdaten (zum Beispiel Referenzkörper)
- Wiederholungsmessungen (notwendig? wann?)



- Zerstörungsfreie Prüftechniken sind sehr leistungsfähig
- ... aber es gilt auch hier: You get what you pay for.
- Die im Bauwesen typische Komplexität der Messaufgabe (bei gleichzeitig hohem Kostendruck) erfordert eine detaillierte (in der Regel funktionale) Leistungsbeschreibung
- „Das beste“ ZfP-Verfahren gibt es nicht – zielführend sind oft Verfahrenskombinationen gemeinsam mit einer sorgfältigen (visuellen) Analyse
- Eine Beratung im Vorfeld kann effizient sein und Kosten sparen
- Für manche Aufgaben (z.B. Aussagen über Tragsicherheit, Statik, Brandschutz) ist zusätzliche Fachkompetenz notwendig
- Das Merkblatt zur Ausschreibung von ZfP-Leistungen kann bei der Ausschreibung und Abwicklung von Prüfungen helfen



### Besondere Einrichtungen und Geräte

- Radar mit 1600 MHz Antenne sowie Messrad und Laserpositionsmarken für Profilvermessungen
- Netzwerkanalysator zur Kalibrierung von Messmitteln und zur Ultraschall-Phasenspektroskopie
- Wirbelstrom: Mehrfrequenz-Wirbelstrom-System zur Rissprüfung von metallischen Objekten
- Delaminationsmessgerät zur Detektion von Ablösungen und oberflächennahen Schädigungen in Holz- und Faserverbundwerkstoffen
- Videoendoskopie zur visuellen Inspektion
- Simulationsalgorithmen für die Modellierung der Ausbreitung von elastischen bzw. elektromagnetischen Wellen
- Feuchtemessgeräte zur Bestimmung der Beton-, Estrich- und Holzfeuchte; Mikrowellenmesstechnik



Der Lehrstuhl ist Mitglied des süddeutschen Windenergie-Forschungsnetzwerkes



[www.windfors.de](http://www.windfors.de)



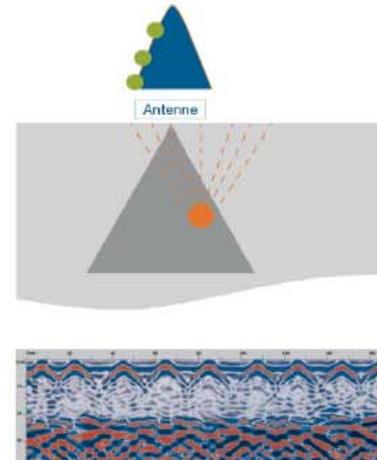
### Leitung und Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Geophys. Christian Große  
 Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung  
 Centrum Baustoffe und Materialprüfung  
 Technische Universität München  
 Baumbachstr. 7; 81245 München  
 Tel.: 089-289-27221  
 Fax: 089-289-27222  
 E-Mail: [grosse@tum.de](mailto:grosse@tum.de)  
[www.zfp.tum.de](http://www.zfp.tum.de)



Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt

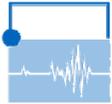
## Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung: Bauwesen



### Besondere Einrichtungen und Geräte

- Ultraschall-Scherwellen-Array mit Punktkontaktpfköpfen in Durchschallung/Reflexion; Tomographie
- Infrarot-Thermographie mit hochauflösender Mikrobolometerkamera und Miniaturkamera; Weitwinkel-, Makro- und Teleobjektive; aktive optisch angeregte Lockin-Thermographie
- Induktive/kapazitive Messgeräte zur Messung der Bewehrungsüberdeckung, Leitungs- und Fehlstellenortung
- Schallemissionsanalysesystem mit Mehrkanal-Transientenrekorder und kalibrierten resonanten, multi-resonanten bzw. breitbandigen Schallemissionssensoren zur Ortung von Mikrobrüchen
- Schwingungsanalyse (mehrkanalig) mit Modalanalyse-System, Modalanalyse-Hammer und verschiedenen breitbandigen Schwingungssensoren (1D, 3D); Seismometer; Laser-Vibrometer mit Wechselobjektiven zur kontaktfreien Schwingungsmessung
- Drahtlose Sensorknoten für die Funküberwachung von Bauwerken (Dehnung, Temperatur, Schwingungen, Feuchte etc.)





# Vielen Dank!



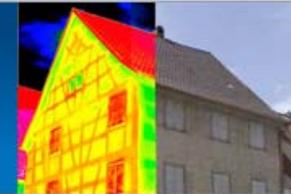
Technische Universität München



Fakultät für Maschinenwesen



Fakultät für Bauingenieur-  
und Vermessungswesen



de en



Suche

Erweiterte Suche

Startseite

Nachrichten

▸ Arbeitsgebiete und  
Leistungsspektrum

Lehre

▸ Mitarbeiter

Startseite

## Zerstörungsfreie Prüfung an der TU München

Der Lehrstuhl Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) ist als AG6 Teil des Centrums für Baustoffe und Materialprüfung (cbm) in München-Pasing und Mitglied sowohl der Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen als auch der Fakultät für Maschinenwesen. Das Aufgabengebiet umfasst alle zerstörungsfreien Prüfverfahren für die Untersuchung von Werkstoffen, Bauteilen, Anlagen und Bauwerken. Dabei ist im Rahmen der Qualitätssicherung und Inspektion die Aufgabe, beobachten zu können, was man mit dem Auge nicht sehen kann. Im Bereich der Dauerüberwachung (*structural health monitoring*) ist die Detektion und Lokalisierung von Schädigungen das Ziel der ZfP.

Anwendungen der Verfahren und Entwicklungsaufgaben für neue ZfP-Methoden liegen aber nicht nur in den beiden genannten Kerndisziplinen Bauwesen und Maschinenbau, sondern auch beispielsweise auf dem Gebiet der Architektur, des Denkmalschutzes, der Geophysik und Geologie sowie der Medizintechnik. Dabei werden Grundlagen der Physik, Elektrotechnik und Informatik bzw. Datenverarbeitung benötigt. Die ZfP ist damit wahrlich ein Querschnittsfach, welches Innovationen durch Synergien erzeugt.

Das Fachgebiet ZfP wurde an der TU München im April 2010 neu eingerichtet und zum August 2011 in einen Lehrstuhl umgewandelt. Deshalb befinden sich diese Internetseiten noch im Aufbau. Kommentare zum Internetauftritt sind deswegen sehr willkommen und können an [grosse@tum.de](mailto:grosse@tum.de) geschickt werden.

Prof. Christian U. Große (Lehrstuhlinhaber)



### Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung

Baumbachstr. 7  
D-81245 München

Tel.: +49.89.289.27221  
Fax: +49.89.289.27222

[zfp@cbm.bv.tum.de](mailto:zfp@cbm.bv.tum.de)

# [www.zfp.tum.de](http://www.zfp.tum.de)

Druckansicht