

ResoCable®

**Schnelltest zur Überprüfung von externen Spanngliedern,
Schrägseilen und sonstigen Seilkonstruktionen**

Dipl.-Ing. Steffen Siegel

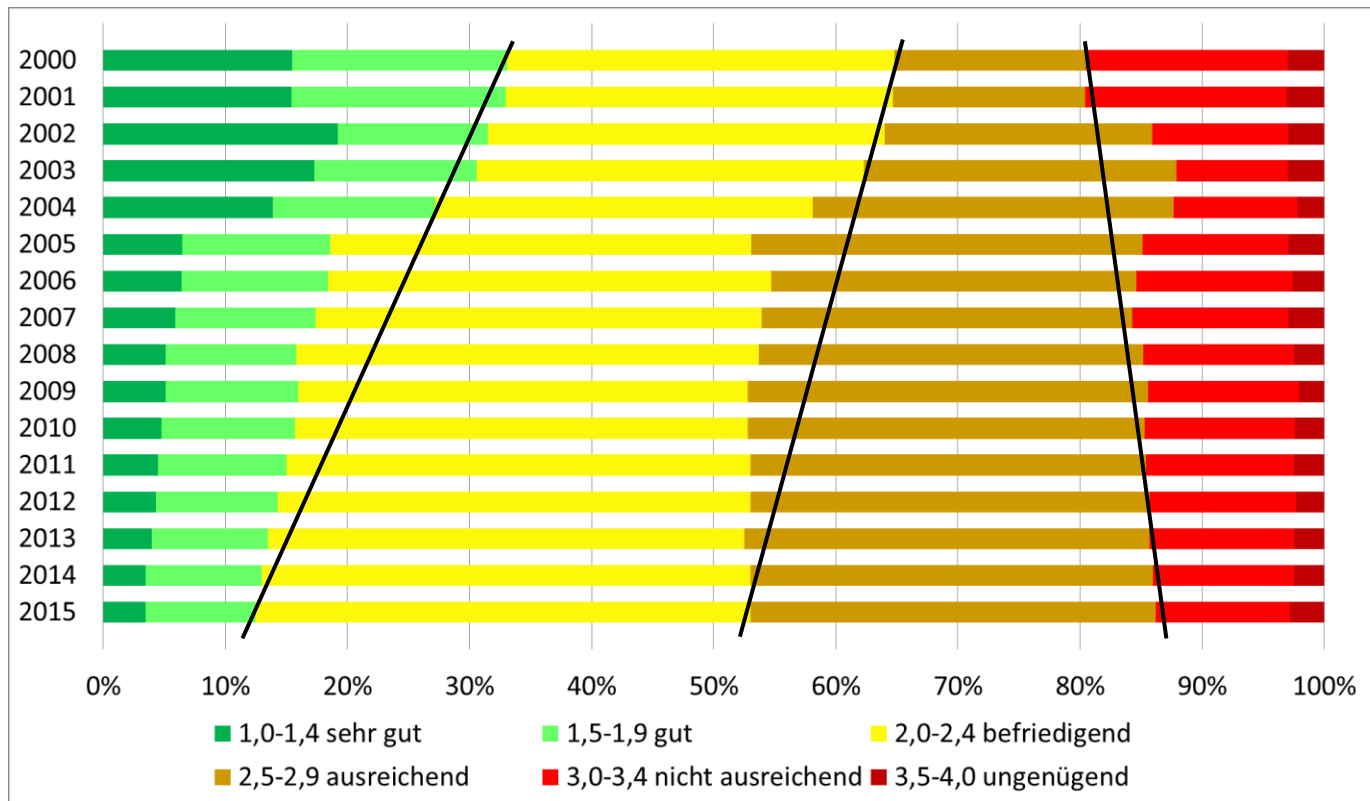
INSTITUT FÜR MASSIVBAU UND BAUSTOFFTECHNOLOGIE – ABTEILUNG MASSIVBAU

IMB
KARLSRUHE



Motivation

- „Bröselnde Pfeiler – Deutschlands Infrastruktur ist marode“



- Brückenprüfungen und -untersuchungen nach DIN 1076 werden nicht immer (fachgerecht) durchgeführt



Wo werden externe Spannglieder / Seile eingesetzt?

Zerstörungsfreie Ermittlung des Zustandes von externen Spanngliedern, Schrägseilen und sonstigen seilabgespannten Systemen durch eine schnelle Analyse der Eigenfrequenz.

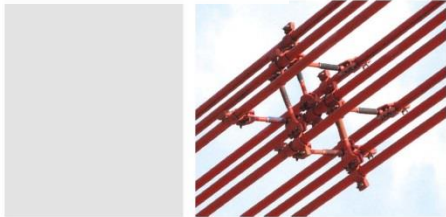
Zusätzlich kann durch den Einsatz von ResoCable® die Brücken- und Seilstruktur auf Schäden hin untersucht werden. Um Brückenschäden frühzeitig erkennen zu können, sind regelmäßige Inspektionen notwendig. Hier werden derzeit fast ausnahmslos visuelle Methoden eingesetzt. Nachteilig ist, dass die Schäden erst festgestellt werden können, wenn sie relativ weit fortgeschritten sind.

Kostenintensiv im Schnelltest
 Unser Schnelltest zur in-situ-Überprüfung von externen Spanngliedern und Schrägseilen bietet hier eine kostengünstige Alternative. Eine Überprüfung von externen Spanngliedern in Hybridtürmen von Windenergieanlagen (WEA) sowie sonstigen seilabgespannten Konstruktionen ist ebenfalls möglich.

Messprozess
 Der Messablauf beginnt mit der Montage der Sensoren am Spannglied- bzw. Seilabschnitt. Der jeweilige Messpunkt wird mittels Scanner von der Messpunktplakette eingescannt und damit eindeutig identifiziert.

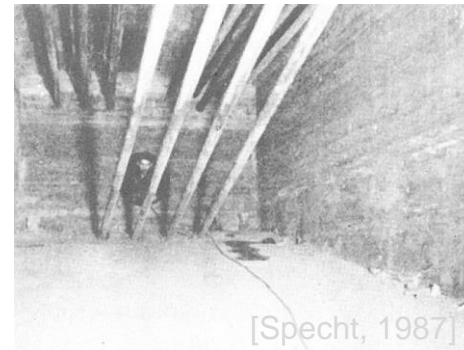
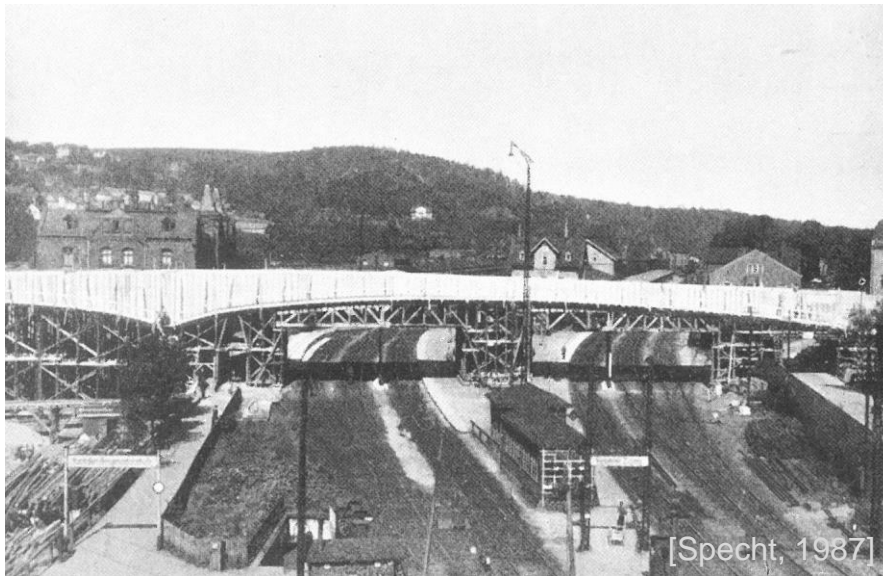
Brückenanamnese im Vorfeld
 Eventuell bereitgestellte ältere Daten der Brücken-Messhistorie sowie zuvor definierte Toleranzwerte stehen zusätzlich zur Beurteilung neuer Resultate unterstützend zur Verfügung.
 Zur Gewinnung der Resonanzinformationen des Spanngliedes oder Seils erfasst die Messtechnik das Schwingverhalten und visualisiert die charakteristische Resonanz.

Direkte Verifikation der Messergebnisse
 Die Messergebnisse werden im Vergleich zu historischen Daten überprüft. Auf diese Weise ist eine direkte Verifikation der Ergebnisse gewährleistet und es kann unmittelbar auf eventuelle Messfehler reagiert werden.
 Fehlerhaft platzierte Sensoren, Kabelfehler, ungünstige Anordnungen durch verkehrsrabhängige Anregungen etc. werden frühzeitig erkannt und können durch direkte Maßnahmen ausgeschlossen werden.
 Die Messdaten werden dokumentiert und gespeichert, wird sie als XML-Datei dokumentiert und der zentralen Datensammelstelle zugeführt, als Basis für zukünftige Messungen.
 Aus dem Gesamtbild aller Messpunkte resultieren die Resonanzcharakteristika eines Bauwerks sowie der zeitlichen Entwicklung der Resonanzcharakteristika. Negative Entwicklungen frühzeitig hervor und liefern eine wichtige Entscheidungshilfe zur Einschätzung des Zustandes und der zu treffenden Maßnahmen.



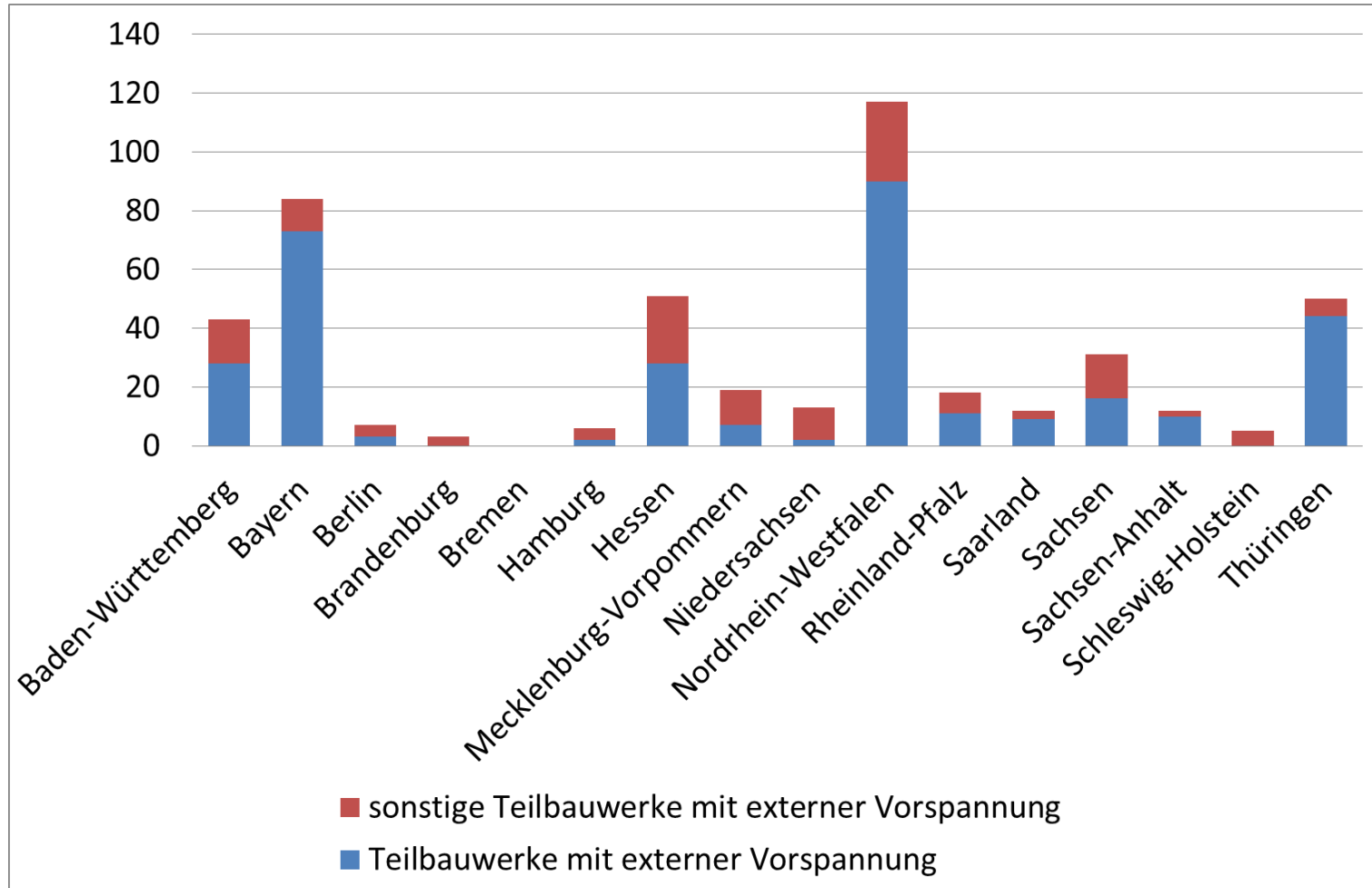
Externe Spannglieder

- Bahnhofsbrücke Aue
 - Bauzeit: 1935 – 1937
 - Erste Spannbetonbrücke in Deutschland mit externen Spanngliedern



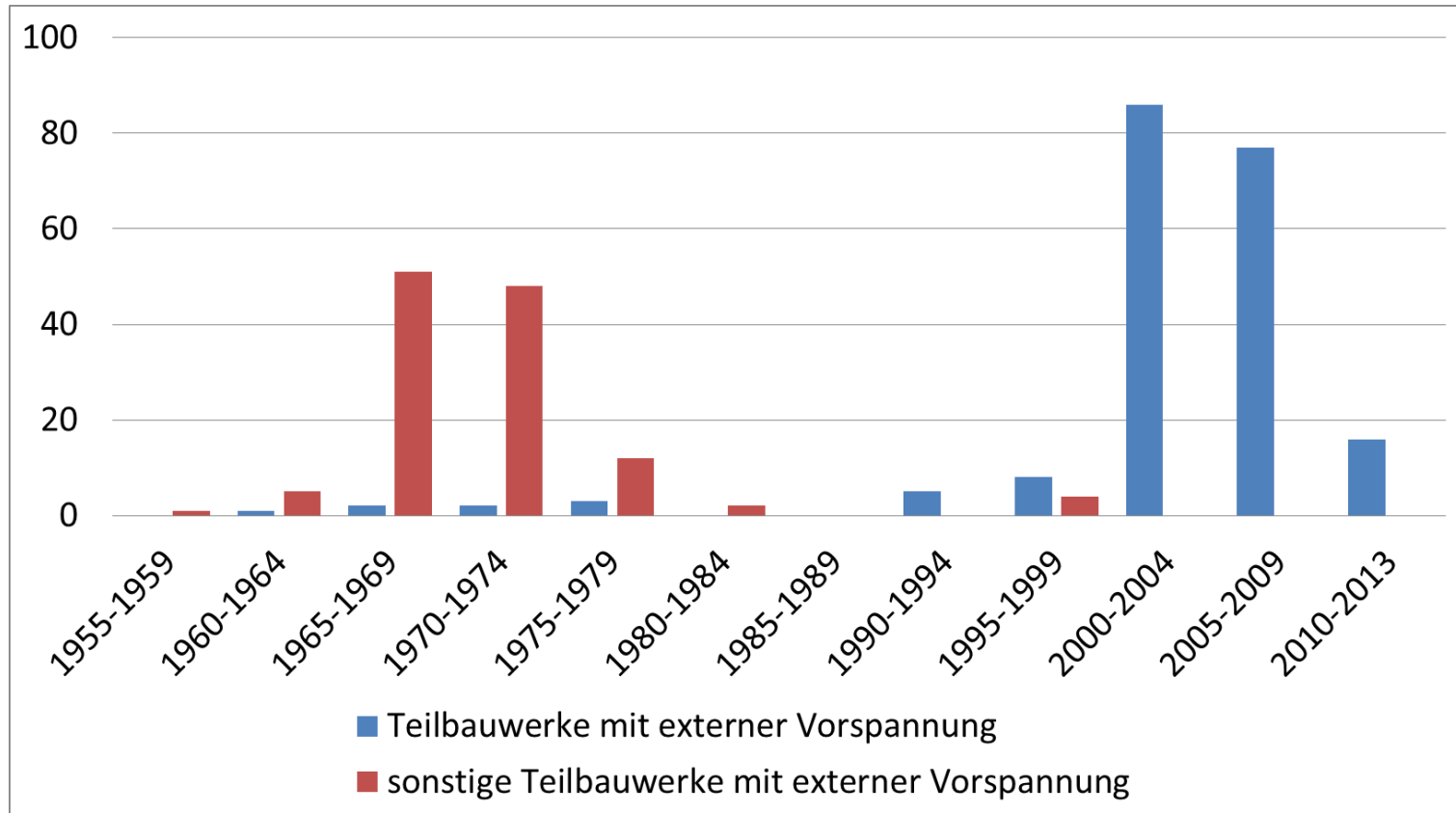
- Nach dem zweiten Weltkrieg nahezu ausschließlich Verwendung interner Spannglieder

Externe Spannglieder



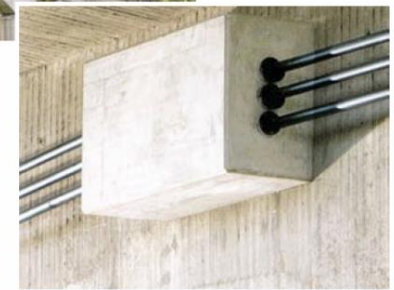
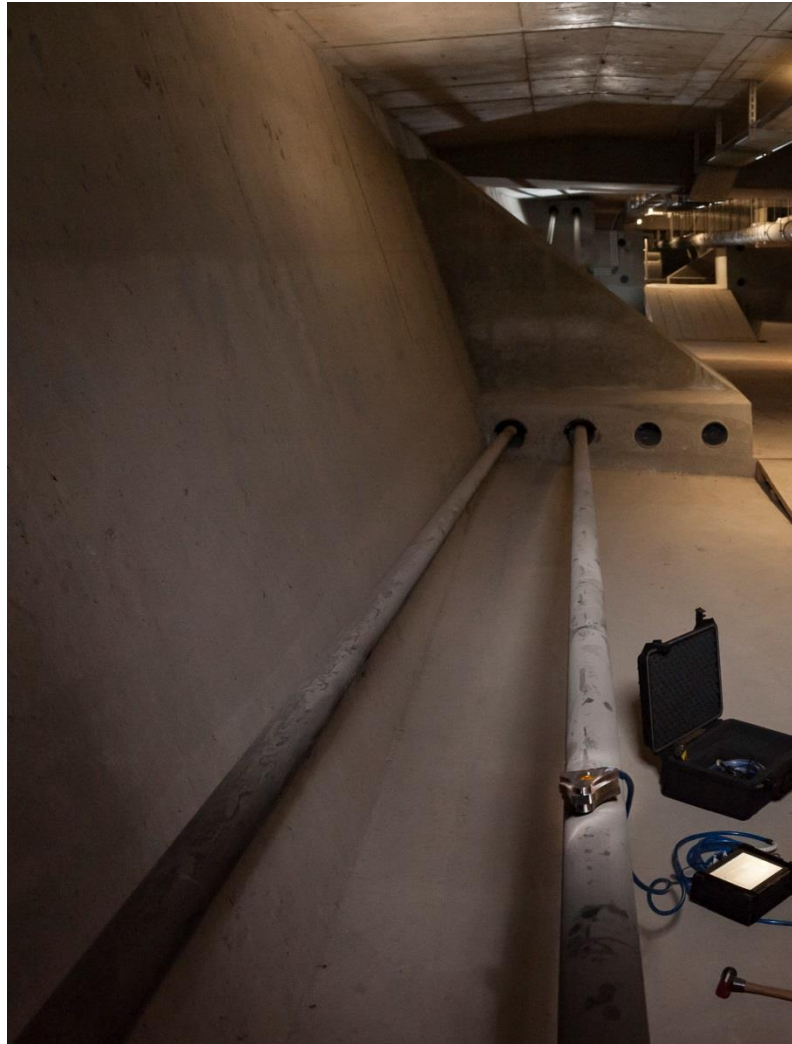
[BAST 2014]

Externe Spannglieder



[BAST 2014]

Externe Spannglieder



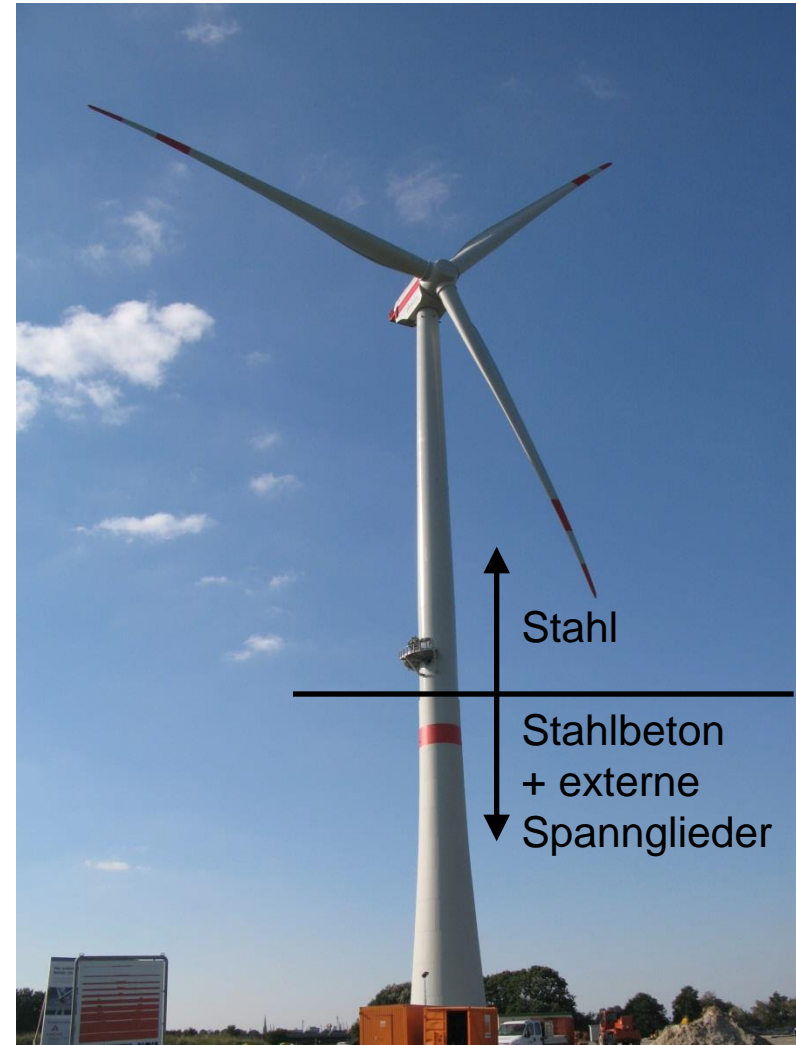
Nachträgliche Anordnung von externen Spanngliedern SUSPA-Draht EX



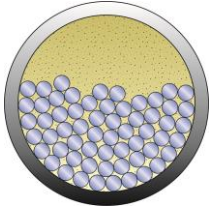


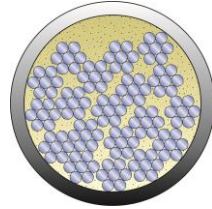

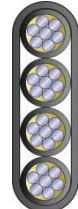
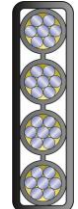
[www.suspa.de]

Externe Spannglieder

- Windenergieanlage (Hybridturm)
 - Baujahr 2013
 - 43 externe Spannglieder
 - Länge jeweils ca. 50m



Externe Spannglieder in Deutschland

	DSI	Dywidag	Dywidag	BBV	BBV	VBT	BBR VT
Typ	Draht EX	Typ W	Typ MC	Typ E	Typ EMR	BE	CMM D CMM KD
Spannstahl	Drähte	Litzen					
Querschnitt							

In Deutschland: 18 Zulassungen mit insgesamt 52 Versionen

700 (!) unterschiedliche Spannglieder

Schrägseilbrücken

- Gernika-Brücke Pforzheim
 - Bauzeit 1986 – 1987
 - 16 Paralleldrahtbündel mit bis zu 71 Drähten im PE-Hüllrohr



Schrägseilbrücken

- Rheinbrücke Speyer
 - Bauzeit 1971 – 1974



Schrägseilbrücken

- Rheinbrücke Maxau
 - Baujahr 1966
 - 3 Seilpakete mit jeweils 18 vollverschlossenen Seilen
 - Umlenkstelle im Pylon



Seilunterspannte Brücken

- Neckartalbrücke Weitingen
 - Bauzeit 1975 – 1978
 - 2x 12 vollverschlossene Seile



Seilabgespannte Bauwerke

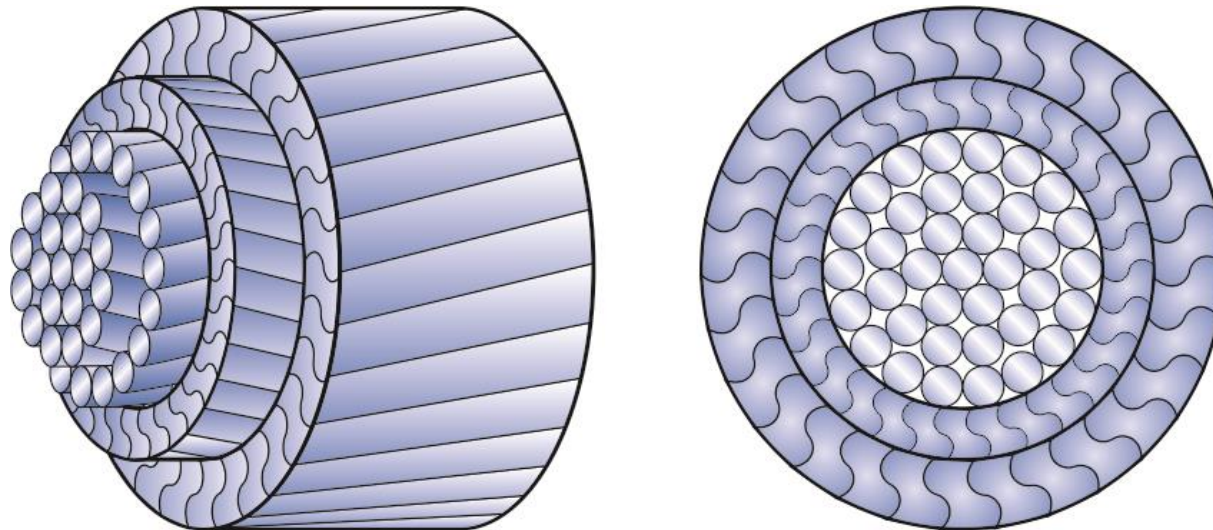
■ Rhein-Energie-Stadion Köln



Seilsysteme

Viele verschiedene Systeme eingesetzt, z. B.

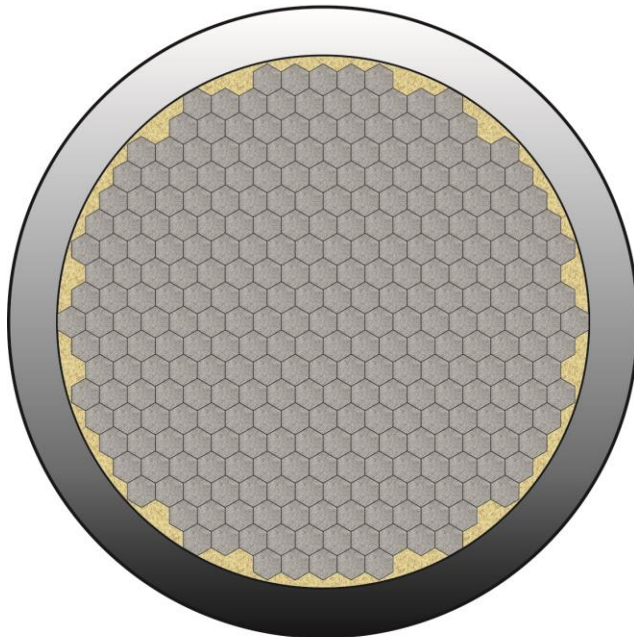
- Offenes Spiralseil
- Rundlitzenseil
- Vollverschlossenes Seil



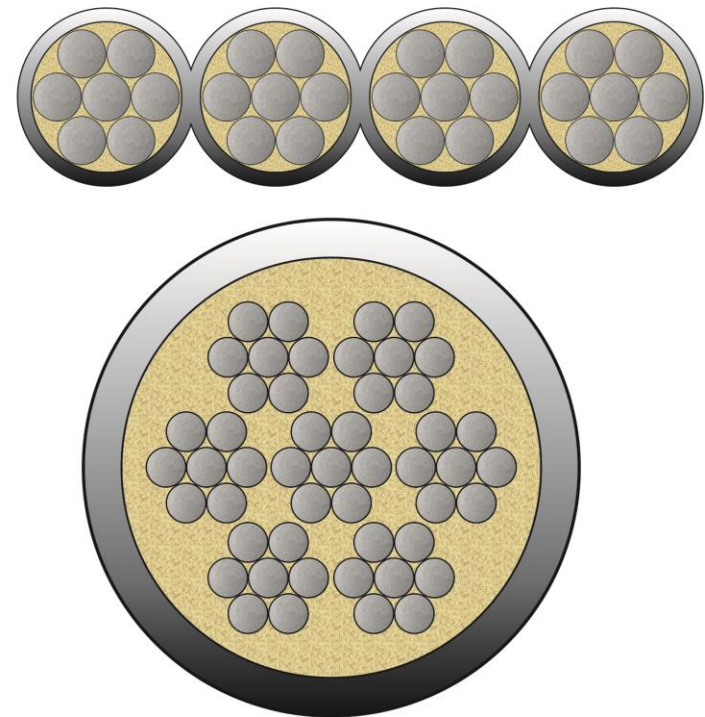
Seilsysteme

- Paralleldrahtkabel (1)
- Parallellitzenkabel (2)

(1)



(2)



ResoCable®



Bauwerksprüfung nach DIN 1076

Zerstörungsfreie Ermittlung des Zustandes von externen Spanngliedern, Schrägseilen und sonstigen seilabgespannten Systemen durch eine spezielle Analyse der Eigenfrequenz.

Das Straßennetz in Deutschland umfasst ca. 40.000 Brücken. Diese Brücken sind einer hohen Beanspruchung ausgesetzt, bedingt durch das erhöhte Verkehrsaufkommen. Um Brückenschäden frühzeitig erkennen zu können, sind regelmäßige Inspektionen notwendig. Hier werden derzeit fast ausnahmslos visuelle Methoden eingesetzt. Nachteilig ist, dass die Schäden erst festgestellt werden können, wenn sie relativ weit fortgeschritten sind.

Kostengünstig im Schnelltest

Unser Schnelltest zur in-situ-Überprüfung von externen Spanngliedern und Schrägseilen bietet hier eine kostengünstige Alternative. Eine Überprüfung von externen Spanngliedern in Hybridtürmen von Windenergieanlagen (WEA) sowie sonstigen seilabgespannten Konstruktionen ist ebenfalls möglich.

Messprozess

Der Messablauf beginnt mit der Montage der Sensoren am Spannglied- bzw. Seilabschnitt. Der jeweilige Messpunkt wird mittels Scanner von der Messpunktplatte eingeschannt und damit eindeutig identifiziert.

Brückenanamnese im Vorfeld

Eventuell bereitgestellte ältere Daten der Brücken-Messhistorie sowie zuvor definierte Toleranzwerte stehen zusätzlich zur Beurteilung neuer Resultate unterstützend zur Verfügung.

Zur Gewinnung der Resonanzinformationen des Spanngliedes oder Seils erfasst die Messtechnik das Schwingverhalten und visualisiert die charakteristische Resonanz.


Direkte Verifikation der Messergebnisse

Die gemessenen Werte werden im Vergleich zu historischen Messungen dargestellt. Auf diese Weise ist eine direkte Verifizierung der Messergebnisse gewährleistet und es kann unmittelbar auf eventuelle Messfehler reagiert werden.

Fehlerhaft platzierte Sensoren, Kabelfehler, ungünstige Anordnungen durch verkehrsbabhängige Anregungen etc. werden so geradewegs deutlich und können durch direkte Nachmessungen ausgeschlossen werden.

Die Messung „akzeptiert“ und gespeichert, wird sie als XML-Datei dokumentiert und der zentralen Datensammelstelle zugeführt, als Basis für zukünftige Messungen.

Aus dem Gesamtbild aller Messpunkte/Resultate eines Bauwerks sowie der zeitlichen Entwicklung der Resonanzcharakteristiken treten Negativentwicklungen frühzeitig hervor und liefern eine wichtige Entscheidungshilfe zur Einschätzung des Zustandes und der zu treffenden Maßnahmen.



Bauwerksprüfung nach DIN 1076

August 1930

Richtlinien für die Überwachung und Prüfung eiserner Straßenbrücken	<u>DIN</u> 1076
---	--------------------

1933

Richtlinien für die Überwachung und Prüfung von ...	
---	--

November 1959

...prüfung	<u>DIN</u> 1076
------------	--------------------

März 1983

Ingenieurbauelemente im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung	<u>DIN</u> 1076
---	--------------------

Überprüfungen müssen durchgeführt werden!

Bauwerksprüfung nach DIN 1076

Bauwerke

- **Brücken**
- Verkehrszeichenbrücken
- Tunnel
- Stützbauwerke
- Lärmschutzbauwerke
- Gabionen
- Trogbauwerke
- Stadien
- etc.



Bauwerksprüfung

- **Hauptprüfung (HP) alle 6 Jahre**
- Einfache Prüfung (EP) alle 3 Jahre nach einer HP

Bauwerksüberwachung

- Besichtigung jährlich
- Laufende Beobachtung zweimal jährlich

Sonderprüfungen

- z.B. nach größeren, den Zustand der Ingenieurbauwerke beeinflussenden Ereignissen

Bauwerksprüfung nach DIN 1076

Hauptprüfung (HP), alle 6 Jahre:

- Abdeckungen von Bauwerksteilen (z. B. Schutzhauben bei Seilen [...]) sind zu öffnen.
- Der Zustand des Korrosionsschutzes [...] ist zu prüfen, insbesondere bei korrosionsempfindlichen Bauteilen wie z. B. Verankerungen von Seilen, Kabeln, Hängern.



ResoCable®



Entwicklung von ResoCable®



Zerstörungsfreie Ermittlung des Zustandes von externen Spannmitgliedern, Schrägseilen und sonstigen seilabgespannten Systemen durch eine spezielle Analyse der Eigenfrequenz.

Das Straßennetz in Deutschland umfasst ca. 40.000 Brücken. Diese Brücken sind einer hohen Beanspruchung ausgesetzt, bedingt durch das erhöhte Verkehrsaufkommen. Um Brückenschäden frühzeitig erkennen zu können, sind regelmäßige Inspektionen notwendig. Hier werden derzeit fast ausnahmslos visuelle Methoden eingesetzt. Nachteilig ist, dass die Schäden erst festgestellt werden können, wenn sie relativ weit fortgeschritten sind.

Kostengünstig im Schnelltest
 Unser Schnelltest zur in-situ-Überprüfung von externen Spannmitgliedern und Schrägseilen bietet hier eine kostengünstige Alternative. Eine Überprüfung von externen Spannmitgliedern in Hybridtürmen von Windenergieanlagen (WEA) sowie sonstigen seilabgespannten Konstruktionen ist ebenfalls möglich.

Messprozess

Der Messablauf beginnt mit der Montage der Sensoren am Spannmitglied- bzw. Seilabschnitt. Der jeweilige Messpunkt wird mittels Scanner von der Messpunktplakette eingescannt und damit eindeutig identifiziert.

Brückenanamnese im Vorfeld
 Eventuell bereitgestellte ältere Daten der Brücken-Messhistorie sowie zuvor definierte Toleranzwerte stehen zusätzlich zur Beurteilung neuer Resultate unterstützend zur Verfügung.
 Zur Gewinnung der Resonanzinformationen des Spannmitgliedes oder Seils erfasst die Messtechnik das Schwingverhalten und visualisiert die charakteristische Resonanz.

Direkte Verifikation der Messergebnisse
 Die so ermittelten Werte werden im Vergleich zu historischen Werten dargestellt. Auf diese Weise ist eine direkte Verifikation der Messergebnisse gewährleistet und es kann sichergestellt werden, dass keine unmittelbaren Messfehler vorliegen.

Fehlerrisikofaktoren wie platzierte Sensoren, Kabelfehler, ungünstige Beeinflussungen durch verkehrsunabhängige Anregungen etc. werden so geradewegs deutlich und können durch direkte Wiederholungsmessungen ausgeschlossen werden.
 Wird die Messung „akzeptiert“ und gespeichert, wird sie als XML-Datei dokumentiert und der zentralen Datensammelstelle zugeführt, als Basis für zukünftige Messungen.

Außerdem Gesamtbild aller Messpunktresultate eines Bauwerks sowie der zeitlichen Entwicklung der Resonanzcharakteristiken treten Negativentwicklungen frühzeitig hervor und liefern eine wichtige Entscheidungshilfe zur Einschätzung des Zustandes und der zu treffenden Maßnahmen.



Prüfverfahren

- Forschungsprojekt (2006 – 2008)

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Heft 1025: „Verfahren zur Prüfung des Zustands von externen Spanngliedern und Schrägseilen“



Prüfverfahren

Schäden an externen Spanngliedern /
Schrägseilen bzw. am Überbau erkennbar

Einsatz zerstörungsfreier bzw.
zerstörungsarmer Prüfmethode

Mögliche Prüfmethode:

- Ansetzen der Spannvorrichtung
- Ultraschallecho
- Magnetinduktive Prüfung
- Magnetoelastische Sensoren
- Dynamische Schwingungsmessung
- Hochfrequenz-Resonanzmessung
- etc.

Nachteile:

- Zeitaufwand / Kosten
- Aussagefähigkeit / Genauigkeit

Ergebnis der Forschungsgruppe:

- Prüfverfahren für Regelanwendung nicht geeignet!

Entwicklung von ResoCable®

Randbedingungen

- Schnell und preiswert
- Aussagekräftig
- Ergebnisse vor Ort



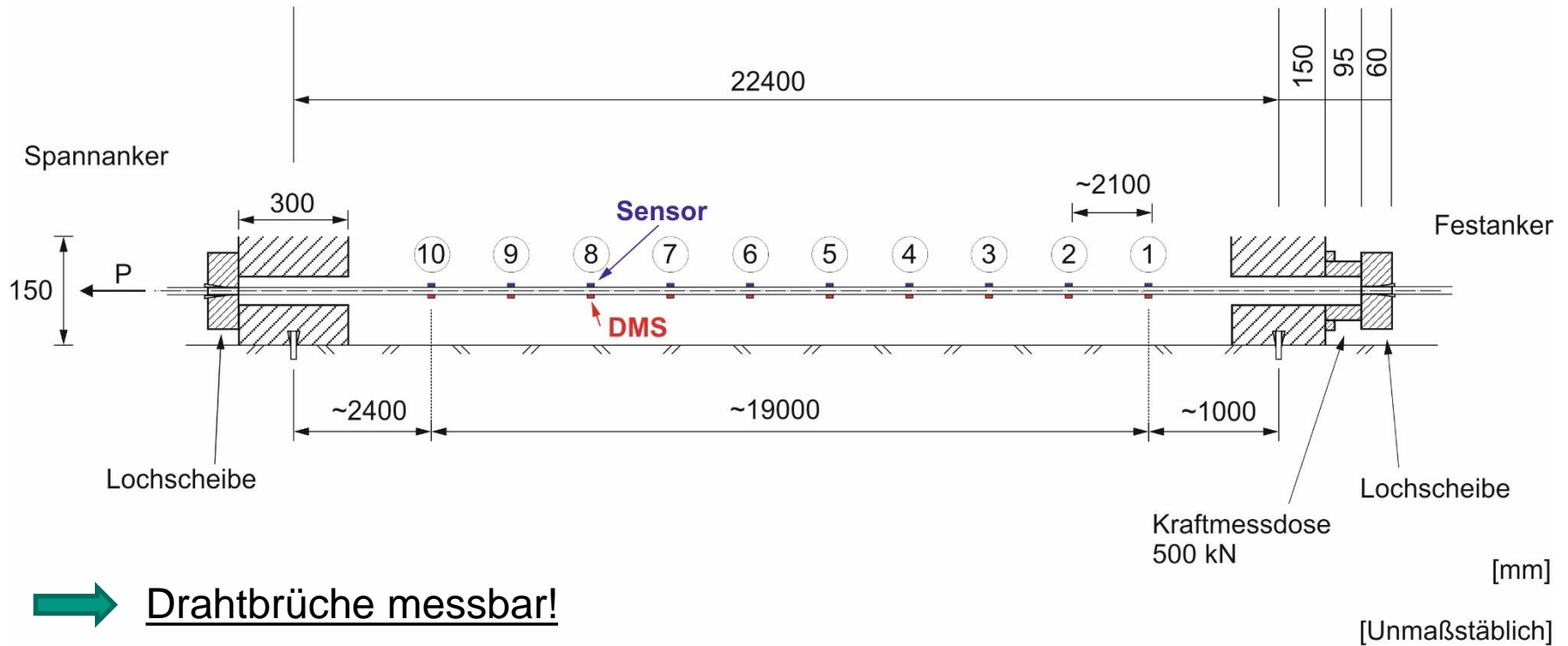
ResoCable®

- Messsystem (Hard- und Software) zur Zustandsüberwachung von externen Spanngliedern, Schrägseilen und sonstigen Seilen mittels Frequenzanalyse



Versuche

- Nackte Litzen
- Monolitzen
- Vollverschlossene Seile



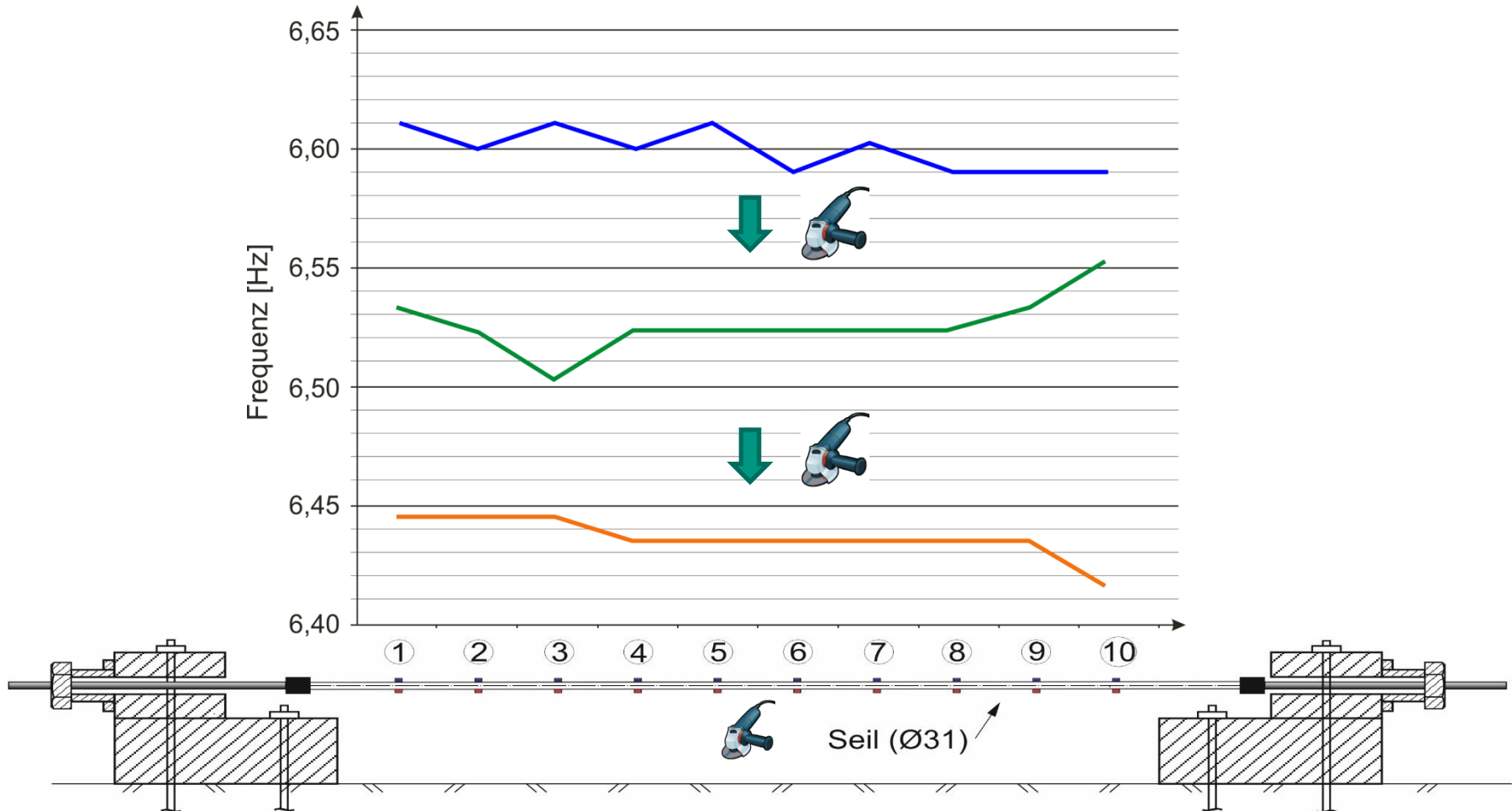
Versuche

■ Monolitze



■ Vollverschlossenes Seil

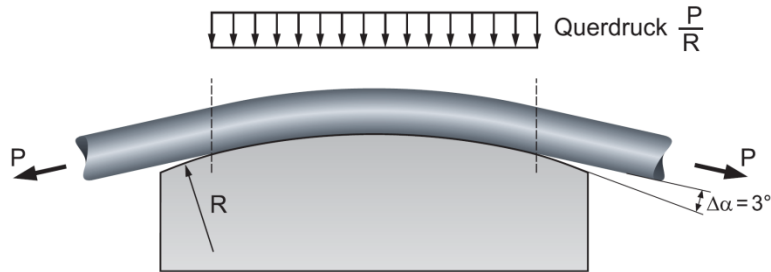




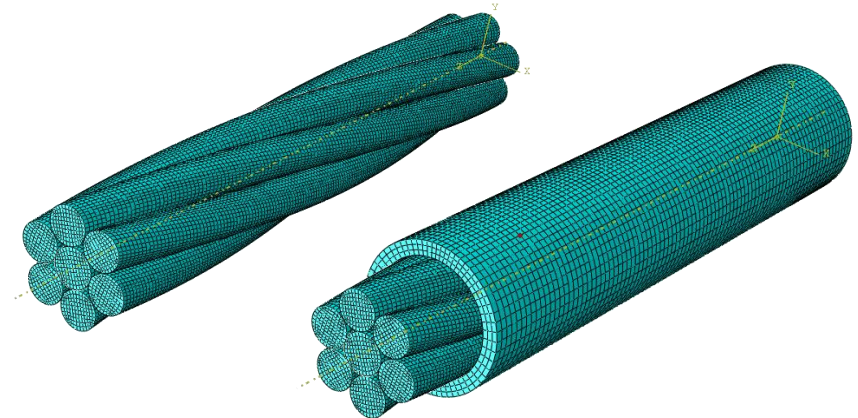
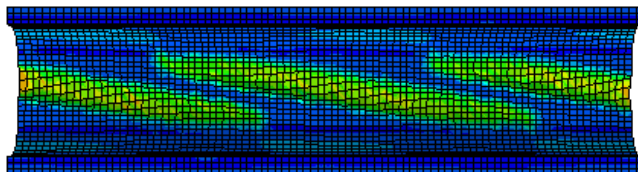
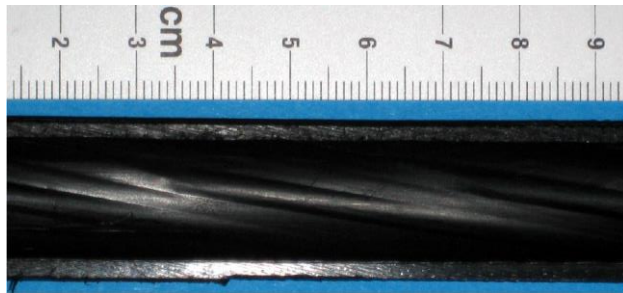
FE-Berechnungen

Beanspruchung an Umlenkstellen

- Querdruck durch Umlenkung über Umlenksattel



- Eindrückungen der Litze in die Monohülle



ResoCable®



Wie funktioniert ResoCable®?



zerstörungsfreie Ermittlung des Zustandes von externen Spanngliedern, Schrägseilen und sonstigen seilabgespannten Systemen durch eine spezielle Analyse der Eigenfrequenz.

Das Straßennetz in Deutschland umfasst ca. 40.000 Brücken. Diese Brücken sind einer hohen Beanspruchung ausgesetzt, bedingt durch das erhöhte Verkehrsaufkommen. Um Brückenschäden frühzeitig erkennen zu können, sind regelmäßige Inspektionen notwendig. Hier werden derzeit fast ausnahmslos visuelle Methoden eingesetzt. Nachteilig ist, dass die Schäden erst festgestellt werden können, wenn sie relativ weit fortgeschritten sind.

Kostengünstig im Schnelltest

Unser Schnelltest zur in-situ-Überprüfung von externen Spanngliedern und Schrägseilen bietet hier eine kostengünstige Alternative. Eine Überprüfung von externen Spanngliedern in Hybridtürmen von Windenergieanlagen (WEA) sowie sonstigen seilabgespannten Konstruktionen ist ebenfalls möglich.

Messprozess

Der Messablauf beginnt mit der Montage der Sensoren am Spannglied- bzw. Seilabschnitt. Der jeweilige Messpunkt wird mittels Scanner von der Messpunktplatte eingeschannt und damit eindeutig identifiziert.

Brückenanamnese im Vorfeld

Eventuell bereitgestellte ältere Daten der Brücken-Messhistorie sowie zuvor definierte Toleranzwerte stehen zusätzlich zur Beurteilung neuer Resultate unterstützend zur Verfügung. Zur Gewinnung der Resonanzinformationen des Spanngliedes oder Seils erfasst die Messtechnik das Schwingverhalten und visualisiert die charakteristische Resonanz.

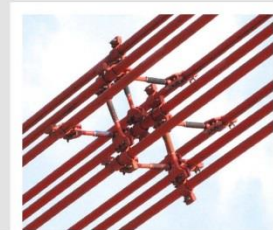
Direkte Verifikation der Messergebnisse

Die ermittelten Werte werden im Vergleich zu historischen Daten dargestellt. Auf diese Weise ist eine direkte Verifikation der Messergebnisse gewährleistet und es kann sichergestellt werden, dass die Messungen unmittelbar auf eventuelle Messfehler hin überprüft werden.

Fehlerhaft platzierte Sensoren, Kabelfehler, ungünstige Beeinflussungen durch verkehrsbabhängige Anregungen etc. werden so geradewegs deutlich und können durch direkte Wiederholungsmessungen ausgeschlossen werden.

Wird die Messung „akzeptiert“ und gespeichert, wird sie als XML-Datei dokumentiert und der zentralen Datensammelstelle zugeführt, als Basis für zukünftige Messungen.

Außerdem Gesamtbild aller Messpunktresultate eines Bauwerks sowie der zeitlichen Entwicklung der Resonanzcharakteristiken treten Negativentwicklungen frühzeitig hervor und liefern eine wichtige Entscheidungshilfe zur Einschätzung des Zustandes und der zu treffenden Maßnahmen.



ResoCable®

Musik


- Aktives Stimmen der Instrumente durch den Musiker / Dirigenten

Externe Spannglieder / Seile

- „Virtuelles Stimmen“ der Spannglieder



Patent

(19)	 <p>Europäisches Patentamt European Patent Office Office européen des brevets</p>	
		(11) EP 2 295 948 A2
(12)	EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG	
(43)	Veröffentlichungstag: 16.03.2011 Patentblatt 2011/11	(51) Int Cl.: G01M 5/00 (2006.01)
(21)	Anmeldenummer: 10170737.0	
(22)	Anmeldetag: 26.07.2010	

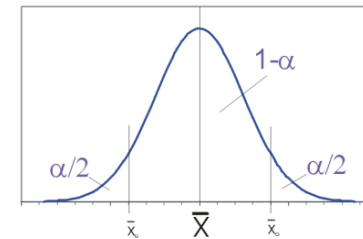


$$F_1 = \begin{pmatrix} f_{1,1,S1} & f_{1,2,S1} & f_{1,3,S1} & \cdots & f_{1,n,S1} \\ f_{1,1,S2} & f_{1,2,S2} & f_{1,3,S2} & \cdots & f_{1,n,S2} \\ f_{1,1,S3} & f_{1,2,S3} & f_{1,3,S3} & \cdots & f_{1,n,S3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{1,1,Sj} & f_{1,2,Sj} & f_{1,3,Sj} & \cdots & f_{1,n,Sj} \end{pmatrix} \begin{matrix} f_{1,n,Sj} \\ 1 \\ n \\ Sj \end{matrix}$$

1 1. Eigenfrequenz
 n Nummer der Messung $n = 1, 2, 3, \dots$
 Sj Spanngliednummer $j = 1, 2, 3, \dots$

Spannkraft und Länge unterschiedlicher Spannglieder niemals gleich groß!
 Deshalb: Patentierte Analyse der gemessenen Eigenfrequenzen:

$$F_1^* = \begin{pmatrix} f_{1,1,S1} \cdot f_{1,1,S1}^{-1} & f_{1,2,S1} \cdot f_{1,1,S1}^{-1} & f_{1,3,S1} \cdot f_{1,1,S1}^{-1} & \cdots & f_{1,n,S1} \cdot f_{1,1,S1}^{-1} \\ f_{1,1,S2} \cdot f_{1,1,S2}^{-1} & f_{1,2,S2} \cdot f_{1,1,S2}^{-1} & f_{1,3,S2} \cdot f_{1,1,S2}^{-1} & \cdots & f_{1,n,S2} \cdot f_{1,1,S2}^{-1} \\ f_{1,1,S3} \cdot f_{1,1,S3}^{-1} & f_{1,2,S3} \cdot f_{1,1,S3}^{-1} & f_{1,3,S3} \cdot f_{1,1,S3}^{-1} & \cdots & f_{1,n,S3} \cdot f_{1,1,S3}^{-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{1,1,Sj} \cdot f_{1,1,Sj}^{-1} & f_{1,2,Sj} \cdot f_{1,1,Sj}^{-1} & f_{1,3,Sj} \cdot f_{1,1,Sj}^{-1} & \cdots & f_{1,n,Sj} \cdot f_{1,1,Sj}^{-1} \end{pmatrix}$$



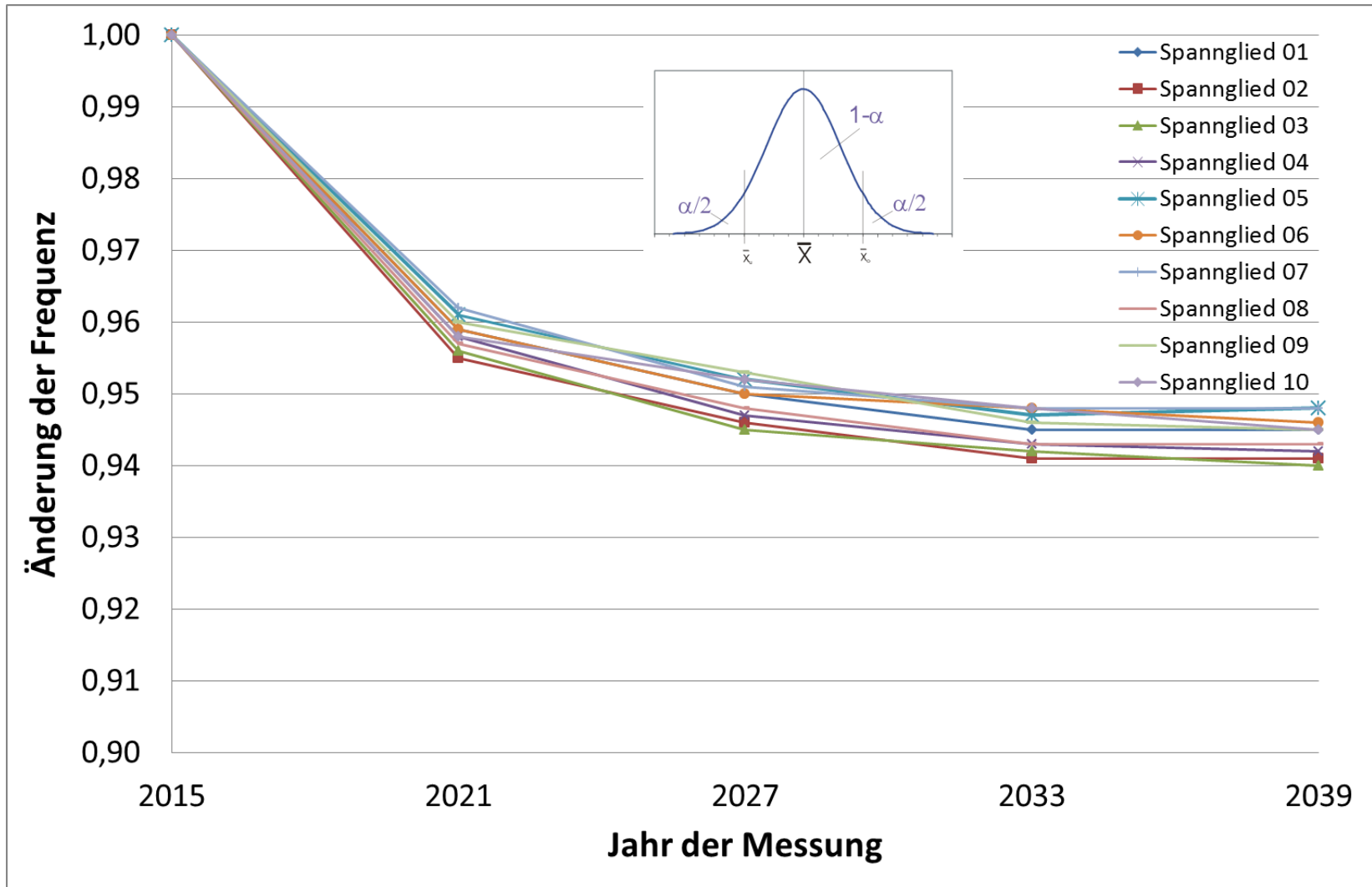
Über die Größe der Abweichung eines Wertes der Spalte n vom Mittelwert der Spalte n wird festgestellt, ob es eine kritische Abweichung an einer Messstelle gegeben hat (Vertrauensbereich).

ResoCable® – Beispiel

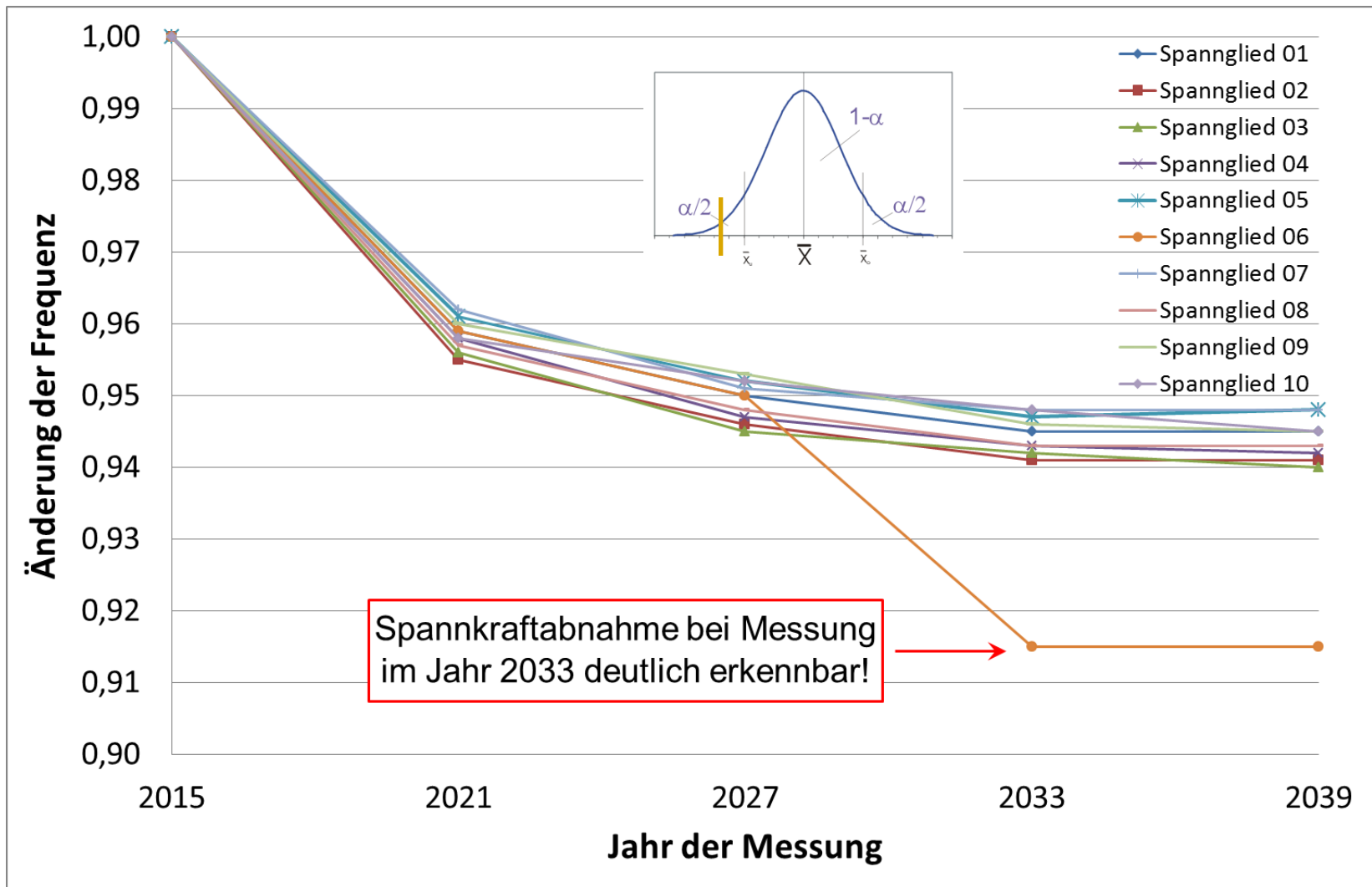
- Bauwerk mit 10 Spanngliedern (jeweils eine Messstelle)
- Baujahr 2015
- Messungen im Rahmen einer Hauptprüfung alle 6 Jahre wiederholt



ResoCable® – Beispiel



ResoCable® – Beispiel



ResoCable®



Wie ist der Ablauf einer Messung?



Messprozess

Der Messablauf beginnt mit der Montage der Sensoren am Spannglied- bzw. Seilabschnitt. Der jeweilige Messpunkt wird mittels Scanner von der Messpunktplakette eingescannt und damit eindeutig identifiziert.

Brückenanamnese im Vorfeld

Eventuell bereitgestellte ältere Daten der Brücken-Messhistorie sowie zuvor definierte Toleranzwerte stehen zusätzlich zur Beurteilung neuer Resultate unterstützend zur Verfügung.
Zur Gewinnung der Resonanzinformationen des Spanngliedes oder Seils erfasst die Messtechnik das Schwingverhalten und visualisiert die charakteristische Resonanz.

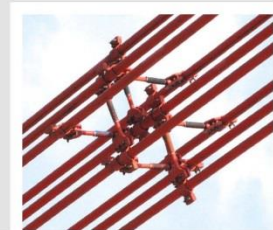
Direkte Verifikation der Messergebnisse

Die so ermittelten Werte werden im Vergleich zu historischen Messungen dargestellt. Auf diese Weise ist eine direkte Verifizierung der Messergebnisse gewährleistet und es kann unmittelbar auf eventuelle Messfehler hingewiesen werden.

Fehlerrisikofaktoren sind platzierte Sensoren, Kabelfehler, ungünstige Beeinflussungen durch verkehrsunabhängige Anregungen etc. Diese werden geradewegs deutlich und können durch direkte Messungen ausgeschlossen werden.

Die Messung „akzeptiert“ und gespeichert, wird sie in der zentralen Datenbank dokumentiert und der zentralen Datenbank als Basis für zukünftige Messungen.

Außerdem Gesamtbild aller Messpunkte, Resultate eines Bauwerks sowie der zeitlichen Entwicklung der Resonanzcharakteristiken treten Negativentwicklungen frühzeitig hervor und liefern eine wichtige Entscheidungshilfe zur Einschätzung des Zustandes und der zu treffenden Maßnahmen.



Zerstörungsfreie Ermittlung des Zustandes von externen Spanngliedern, Schrägseilen und sonstigen seilabgespannten Systemen durch eine spezielle Analyse der Eigenfrequenz.

Das Straßennetz in Deutschland umfasst ca. 40.000 Brücken. Diese Brücken sind einer hohen Beanspruchung ausgesetzt, bedingt durch das erhöhte Verkehrsaufkommen.
Um Brückenschäden frühzeitig erkennen zu können, sind regelmäßige Inspektionen notwendig. Hier werden derzeit fast ausnahmslos visuelle Methoden eingesetzt. Nachteilig ist, dass die Schäden erst festgestellt werden können, wenn sie relativ weit fortgeschritten sind.

Kostengünstig im Schnelltest

Unser Schnelltest zur in-situ-Überprüfung von externen Spanngliedern und Schrägseilen bietet hier eine kostengünstige Alternative. Eine Überprüfung von externen Spanngliedern in Hybridtürmen von Windenergieanlagen (WEA) sowie sonstigen seilabgespannten Konstruktionen ist ebenfalls möglich.

ResoCable® – Ablauf des Messverfahrens

Erstmessung

- Messstellenschilder am Spannglied / Seil anbringen



Messung

- Temperatur messen
- Sensor befestigen (Magnet)
- Spannglied / Seil anregen (ambient / manuell)
- Ergebnisse / Auswertung vor Ort
inkl. näherungsweise berechneter Spannkraft
- Messstelle einlesen und Daten speichern
- Datenaustausch + Dokumentation



Wiederholungsmessungen

- Externe Spannglieder in Brücken: alle 6 Jahre
- Externe Spannglieder in Windenergieanlagen: alle 2 Jahre
- Schrägseile und sonstige Seilkonstruktionen: alle 3 – 6 Jahre

Spannkraftermittlung

Näherungsweise Bestimmung der Spannkraft

- Linearer Ansatz

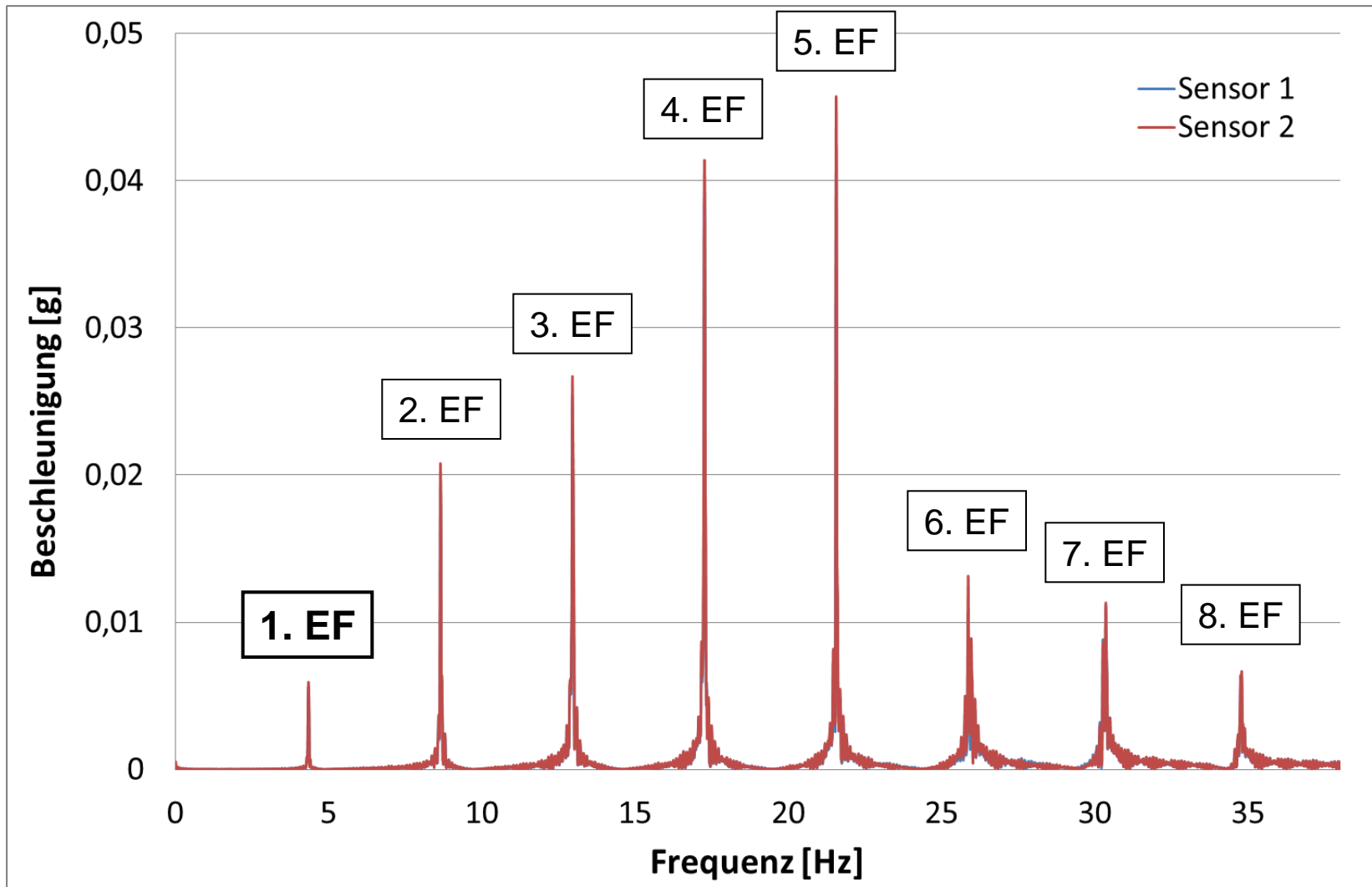
$$N_{k,lin} = \left(\frac{f_{k,lin}}{k} \cdot 2 \cdot L \right)^2 \cdot m$$

- Berücksichtigung der Biegesteifigkeit

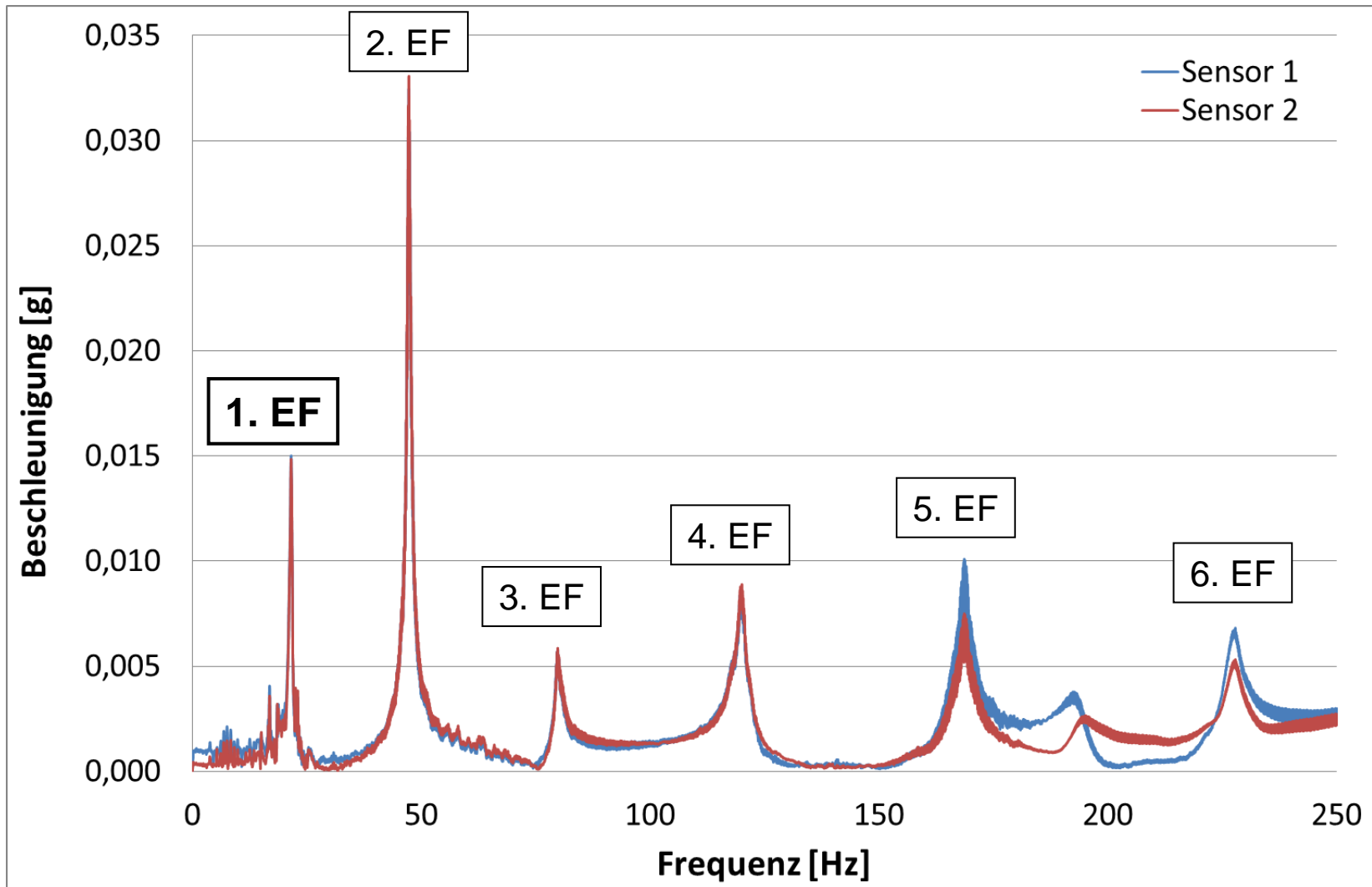
$$N_{k,EI} = \frac{1}{4} \cdot \left(- \left(\frac{2}{L} \cdot \sqrt{EI} - \frac{f_{k,EI} \cdot 2 \cdot L}{k} \cdot \sqrt{m} \right) + \sqrt{\left(\frac{2}{L} \cdot \sqrt{EI} - \frac{f_{k,EI} \cdot 2 \cdot L}{k} \cdot \sqrt{m} \right)^2 - 4 \cdot \frac{EI}{L^2} \cdot \left(4 + \frac{k^2 \cdot \pi^2}{2} \right)} \right)^2$$

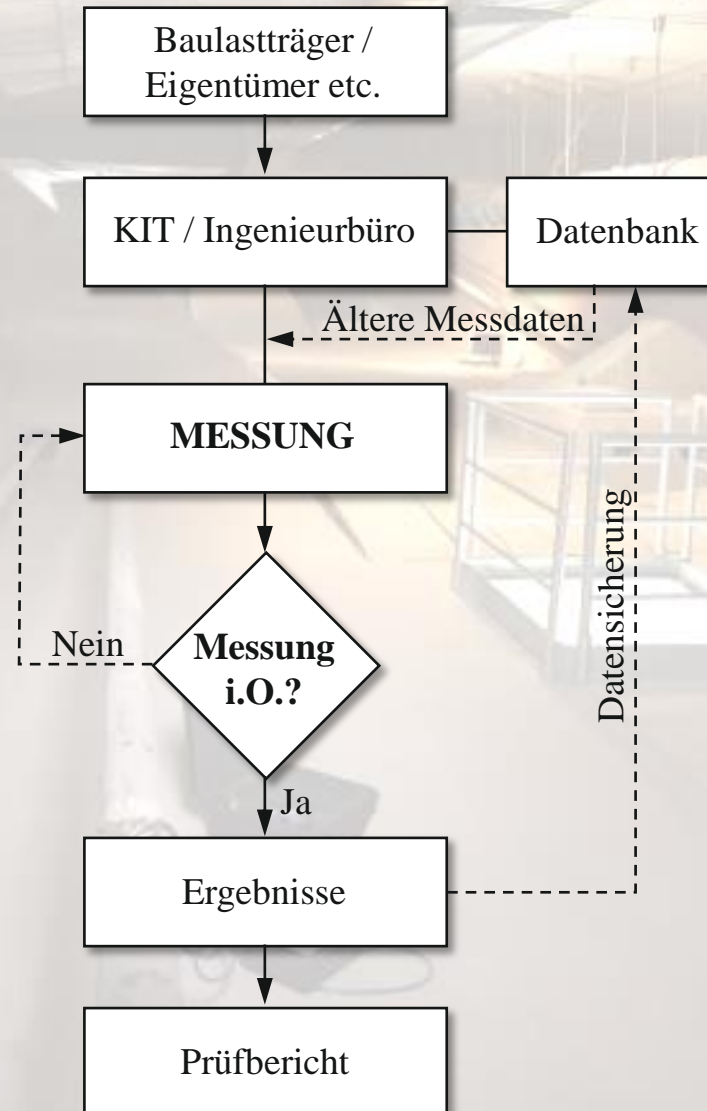
- Berücksichtigung der Biegesteifigkeit und des Durchhangs

ResoCable® – Ergebnisse Hohlkastenbrücke



ResoCable® – Ergebnisse Schrägseilbrücke









ResoCable®

**Schnelltest zur Überprüfung von externen Spanngliedern,
Schrägseilen und sonstigen Seilkonstruktionen**

Dipl.-Ing. Steffen Siegel

INSTITUT FÜR MASSIVBAU UND BAUSTOFFTECHNOLOGIE – ABTEILUNG MASSIVBAU

IMB
KARLSRUHE

