

---

# VERKEHRSSICHERHEIT UND SCHUTZ DER INFRASTRUKTUR

## Nutzungsdauerverlängerung mit Structural Health Monitoring

Komplettlösungen und Services von Kistler zur Überwachung  
und zum Schutz der Brückeninfrastruktur





---

# Inhalt

Schutz sensibler Infrastrukturen mit Structural Health Monitoring (SHM)	4
Der einfache Weg zur Überwachung und zum Schutz Ihrer Infrastruktur: Lösungen von Kistler – vom Sensor bis zu den Daten	6
Kistler unterstützt die Anwender mit Services über alle Projektphasen hinweg	8
Volle Datenverfügbarkeit dank der SHM-Cloud von Kistler	9
Das Datenerfassungssystem KiDAQ – machen Sie Ihre Signale digital verfügbar	12
Sensoren: die Nervenzellen Ihres Überwachungssystems	14
Die ganzheitliche Lösung von Kistler zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit und zum Schutz der Infrastruktur	18
Überwachungslösungen Wirklichkeit werden lassen – mit Kistler	21



---

## Schutz sensibler Infrastrukturen mit Structural Health Monitoring (SHM)

Brücken sind in jedem Land der Welt das Rückgrat der Wirtschaft. Diese Schlüsselemente der Verkehrsinfrastruktur bestehen in der Regel aus Stahl, Gusseisen und Spannbeton – und viele von ihnen sind inzwischen in die Jahre gekommen. Es ist sehr schwierig, die Stabilität einer Brücke allein durch eine Inspektion des Bauwerks von außen zu bestimmen. Dank Structural Health Monitoring (SHM) stehen Betreibern jetzt Lösungen zur Verfügung, mit denen sie eine Verschlechterung der strukturellen Widerstandsfähigkeit einer Brücke frühzeitig erkennen können, um proaktiv und effizient Maßnahmen zu ergreifen und kritische Zustände zu vermeiden.

Die strukturelle Integrität einer Brücke verschlechtert sich mit der Zeit auf natürliche Weise durch Ermüdung, Rissbildung und Korrosion. Die zunehmende Verkehrsbelastung und die härteren Witterungsbedingungen stellen eine zusätzliche Belastung für Brückenbauwerke dar. Besonders Brücken, die vor mehr als 50 Jahren gebaut wurden und sich dem Ende ihrer Lebensdauer

nähern (oder diese sogar schon erreicht haben), weisen kritische strukturelle Mängel auf – aber auch viele neuere Brücken, die nicht ordnungsgemäß instandgehalten wurden, sind von denselben Problemen betroffen. Drastische Maßnahmen wie die Sperrung einer Brücke oder starke Verkehrsbeschränkungen müssen unbedingt vermieden werden. Aus diesem Grund



SHM erhöht die Brückensicherheit und bietet folgende Vorteile:



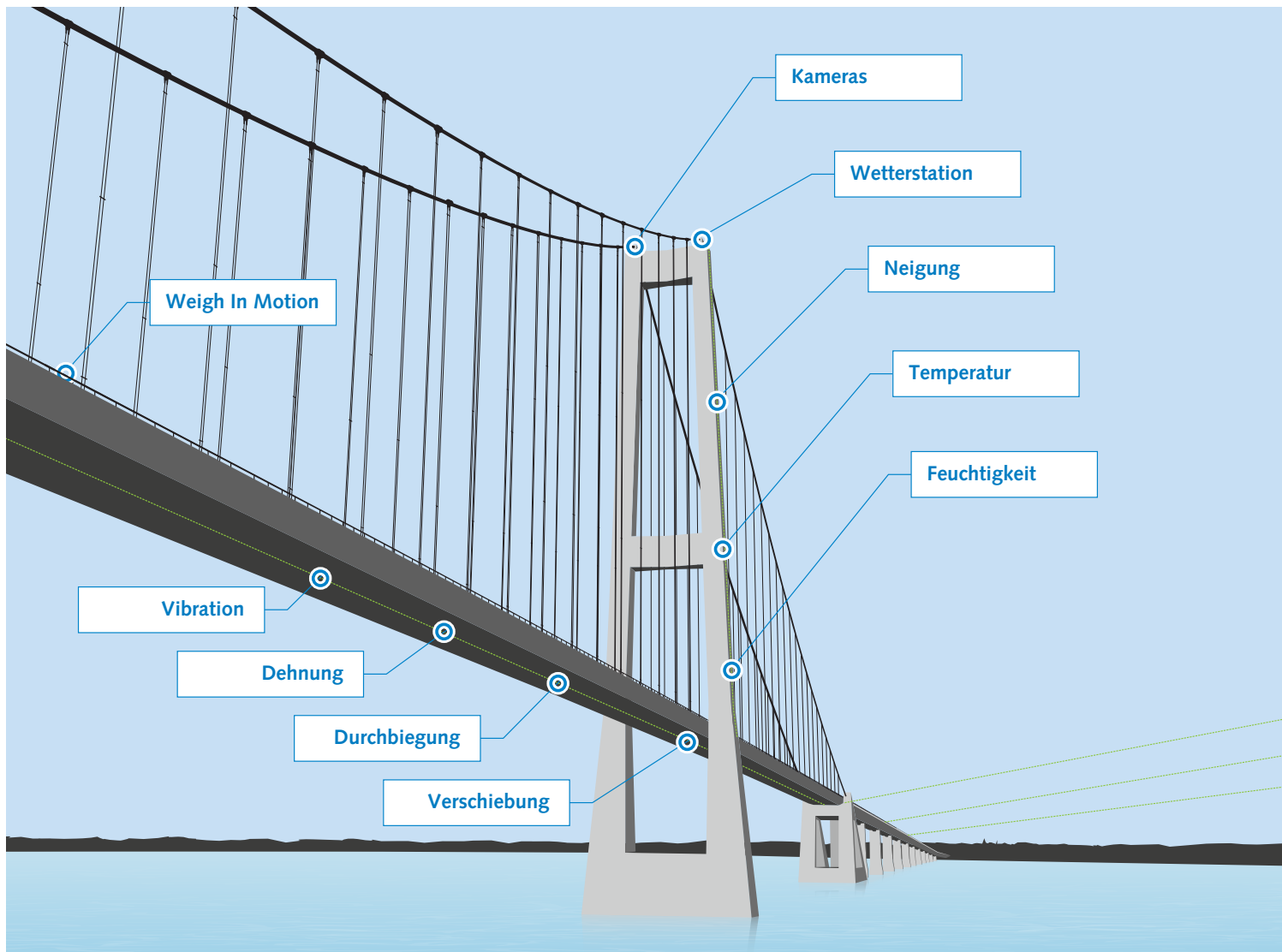
Sensorgestützte Bauwerksüberwachung: der Schlüssel zu mehr Brückensicherheit

Ist die Instandhaltung von Brücken zur Verlängerung ihrer Lebensdauer und zur Gewährleistung ihrer Sicherheit für alle Betreiber von oberster Priorität. Regelmäßigen Prüfungen und annahmebasierten Strukturmodellen sind dabei Grenzen gesetzt – und genau hier kommt die sensorgestützte Brückenüberwachung Structural Health Monitoring – SHM ins Spiel.

Für die Betreiber ergeben sich entscheidende Vorteile, wenn sie sich für eine kontinuierliche sensorgestützte Überwachung von Brücken als Ergänzung zu konventionellen Feldinspektionen entscheiden. Die Bauwerke werden automatisch rund um die Uhr überwacht, inklusive kontinuierlicher Messung und Aufzeichnung der realen Brückenleistung und Verkehrsbelastung – so werden selbst kleinste Abweichungen sofort nach ihrem Auftreten erkannt. Kritische Zustände werden rechtzeitig bemerkt, bevor sie zu ernsthaften Schäden führen können. Brückenbetreiber sind dank kontinuierlich gelieferter Daten – die zudem einfach in einen digitalen Zwilling der Brücke integrierbar sind – stets auf dem Laufenden und werden sofort benachrichtigt, wenn die Überwachungssysteme automatisch bestimmte Alarme auslösen.

### SHM erhöht die Brückensicherheit und bietet folgende Vorteile:

- **Zustandseinstufung** auf der Grundlage der effektiven strukturellen Reaktion
- **Verlängerung der verbleibenden Nutzungsdauer der Brücke**
- Frühzeitige **Schadenserkennung** (geringere Wartungs- und Reparaturkosten)
- Aufdeckung von **Strukturdefiziten**, die bei Inspektionen nicht sichtbar sind
- Zustandsorientierte Instandhaltung
- Kontinuierliche Überwachung des realen Strukturverhaltens
- 24/7-Zustandsbewertung beseitigt Informationslücken zwischen den regelmäßigen Inspektionen



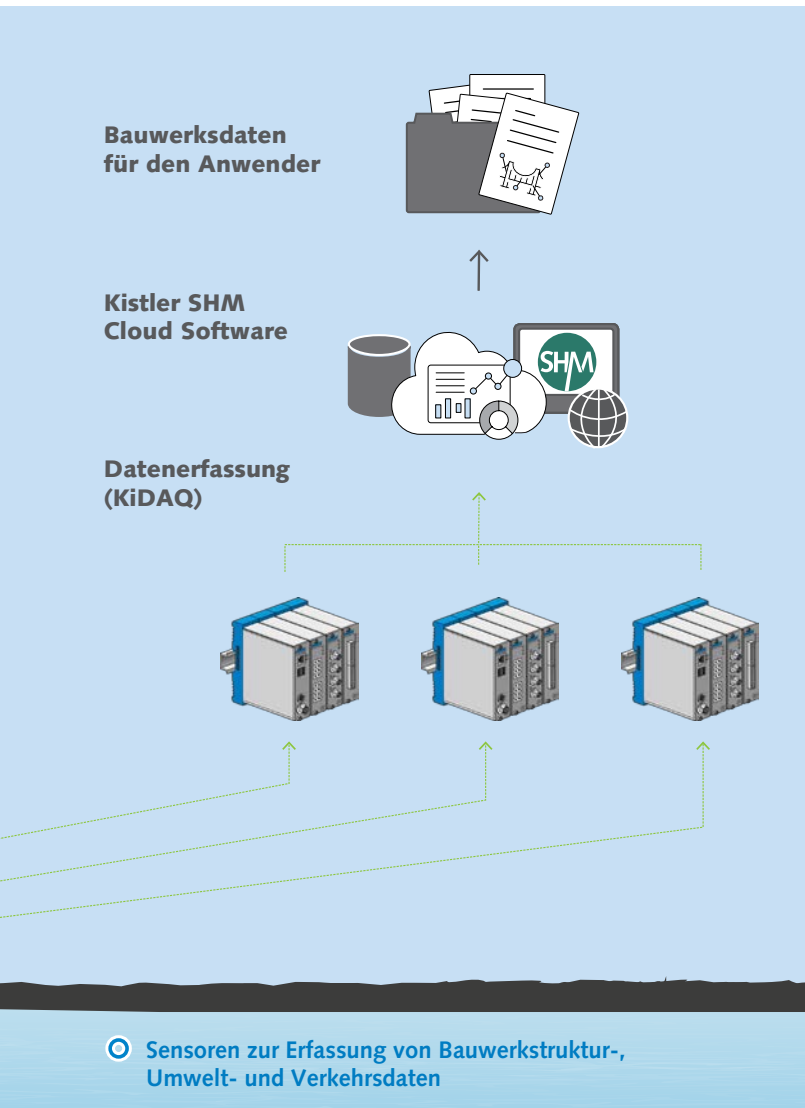
## Der einfache Weg zur Überwachung und zum Schutz Ihrer Infrastruktur: Lösungen von Kistler – vom Sensor bis zu den Daten

Dank über 50 Jahren Erfahrung in der Messtechnik liefert Kistler maßgeschneiderte Überwachungs-lösungen für Brücken aller Art – Lösungen, die eine lückenlose Verfügbarkeit von hochzuverlässigen Brückenbaudaten gewährleisten.

Kistler kann für jede Überwachungsanwendung eine maßgeschneiderte Lösung anbieten. Unsere flexiblen Komponenten entsprechen bewährten Standards und verbinden technologische Zuverlässigkeit mit Erweiterbarkeit. Die effiziente Integration garantiert eine sehr zuverlässige Lösung, die Sie aus einer Hand erhalten. Unsere Systemarchitektur umfasst eine Sensorschicht, eine Datenerfassungsschicht und darüber eine Cloud-Softwareplattform, die als Benutzeroberfläche fungiert – mit einer Reihe von Funktionen wie Datenspeicherung und -verarbeitung, Datenvisualisierung, Benachrichtigung und Berichterstattung.

Die Messtechnik- und Engineering-Spezialisten von Kistler unterstützen Sie als Anwender mit all dem Know-how, das Sie für die Auslegung und Gestaltung Ihrer optimalen Überwachungsanwendung benötigen. Mehr noch: Unsere Servicetechniker sind bei Bedarf vor Ort, um Ihre Lösung zu installieren und in Betrieb zu nehmen.

Die Komplettlösung von Kistler bietet eine automatische 24/7-Überwachung Ihrer Strukturen. Alle gemessenen Parameter werden kontinuierlich erfasst und sicher in unserer



## Ihre Vorteile

- Modulare und kundenspezifische Lösung zur Überwachung jeder Brückenstruktur
- Komplettlösung aus Softwareplattform, Datenerfassung und Sensoren
- Erfassung aller Parameter in Bezug auf Struktur, Umwelt und Verkehr
- Unerreichte Genauigkeit für dynamische Messungen
- Hohe Datenzuverlässigkeit – Komplettlösung aus einer Hand
- Konform mit Richtlinien zur Brückenüberwachung
- Messtechnikexperten und Bauingenieure stehen bereit für die Kundenberatung
- Lokale Servicetechniker auf Abruf, um Bereitstellung zu unterstützen

SHM-Cloud-Software gespeichert. So sind Sie in der Lage, selbst kleinste strukturelle Abweichungen zu erkennen, sobald sie auftreten. Sie erhalten in regelmäßigen Abständen relevante Daten und werden sofort benachrichtigt, wenn die Überwachungssysteme automatisch spezifische Alarmer auslösen. Unsere Komplettlösung misst die wichtigsten Parameter in Bezug auf die Brückenkonstruktion, die Umwelt und den Verkehr.



Im Einzelnen sind dies:

### Strukturelle Parameter:

- Vibrationen und Schwingungen
- Rissbildung (akustische Emissionen)
- Dehnungen und Spannungen
- Bewegung (Verschiebung und Neigung)
- Durchbiegung

### Umweltparameter:

- Wind
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit

### Verkehrsparameter:

- Verkehrsdichte auf der Brücke
- Verkehrsbelastung auf der Brücke
- Fahrzeuggewichte (Gesamtgewicht und Achslasten)
- Fahrzeugabstände
- Fahrzeuggeschwindigkeiten

## 1. Infrastruktur-Bewertung



Auswahl von Überwachungszielen nach strukturellen Besonderheiten oder Schwächen (in Kooperation mit Partnern)

## 2. Planung und Design



Multi-Sensor-basiertes Design, Integration und kundenspezifische Auslegung

## 3. Installation



Vorort-Unterstützung bei der Einrichtung  
Remote-Konfiguration

## 5. Laufende Überwachung und Wartung



Bewertung der Brückenstruktur im Zeitverlauf (in Kooperation mit Partnern)



Wartung und Support



Ersatzteile



Periodische Kalibrierung



## 4. Daten- und Ausstattungsmanagement



Echtzeit-Datenerfassung und sichere Datenspeicherung



Datenvisualisierung, Benachrichtigungen und Alarme



Statusüberwachung der Ausrüstung, Remote-Updates und -Upgrades

# Kistler unterstützt die Anwender mit Services über alle Projektphasen hinweg

Kistler bietet eine breite Palette von Dienstleistungen, die Anwendern eine optimale Unterstützung in allen Projektphasen und während der gesamten Betriebs- und Servicezeit unserer Gesamtlösung ermöglichen. Kistler bietet Ihnen Flexibilität: Sie können die von Ihnen benötigten Services entsprechend Ihrem spezifischen Projekt, Ihren Anforderungen und Ihrem Know-how anpassen.

Dank des weltweiten Expertennetzwerks von Kistler profitieren Sie von Beratung und Unterstützung in allen Phasen Ihres Projekts. Unser Serviceangebot umfasst:

### • Bewertung der Infrastruktur

Zu Beginn des Prozess werden Kundenanforderungen gesammelt und der Projektumfang definiert. Unsere Expertise – bereichert durch die Zusammenarbeit mit Partnern, Vor-Ort-Begehungen und einen Multi-Methoden-Ansatz – stellt sicher, dass das Überwachungssystem auf die Anforderungen jeder Brücke zugeschnitten ist.

### • Planung und Design

Unser Team entwirft und integriert ein Multi-Sensor-basiertes Überwachungssystem, um die einzigartigen Anforderungen jeder Brücke zu erfüllen – genaue und verlässliche Daten bilden die Basis für eine umfassende strukturelle Analyse.

### • Installation

Wir bieten Unterstützung vor Ort bei der Einrichtung, um einen reibungslosen und effizienten Installationsprozess

zu gewährleisten. Unsere Techniker führen Sie durch den Setup-, Kalibrierungs- und Inbetriebnahmeprozess, damit das Überwachungssystem im Nu startklar ist.

### • Daten- und Ausstattungsmanagement

Unsere Lösung enthält Services zur Echtzeitdatenerfassung mit sicherer Speicherung. Wir bieten außerdem einstellbare Benachrichtigungen und Alarme, um rechtzeitig Informationen zum strukturellen Zustand der Brücke bereitzustellen. Ebenso wird die Gesamtfunktion (alle Systeme und alle Sensorkanäle) kontinuierlich überwacht, um Fehlfunktionen automatisch zu erfassen. Updates und Upgrades können unkompliziert aus der Ferne durchgeführt werden.

### • Laufende Überwachung und Wartung

In Zusammenarbeit mit unseren Partnern bieten wir eine kontinuierliche Überwachung der strukturellen Leistung der Brücke. Um die Langlebigkeit und Genauigkeit des gesamten Überwachungssystems zu sichern, stellen wir auch Wartungs- und Supportservices bereit: dazu gehören eine Hotline, Ersatzteilservice mit Vor-Ort-Reparaturen und regelmäßige Kalibrierungen.





## Volle Datenverfügbarkeit dank der SHM-Cloud von Kistler

**Unsere SHM-Software ist eine umfassende cloudbasierte Plattform, die mehrere Funktionen ermöglicht: verteilte Datenerfassung, Speicherung, Strukturierung, Visualisierung, Indizierung und Analyse.**

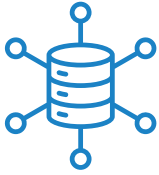
Die SHM-Software von Kistler bietet Ihnen weitreichende Funktionalitäten, um die Datenverfügbarkeit zu jeder Zeit und von jedem Sensorkanal sicherzustellen. Der Nutzer kann alle an der Brücke installierten Messgeräte (Sensoren und Systeme) aus der Ferne konfigurieren, wobei die Funktionalität rund um die Uhr überwacht wird. Die Sensordatenströme werden sicher erfasst und gespeichert, und die Visualisierung der relevanten Daten kann auf Ihre individuellen Bedürfnisse zugeschnitten werden. Als Nutzer unserer SHM-Software können Sie die wichtigsten Parameter in Bezug auf die Struktur Ihrer Brücke, den Verkehr und die Umgebung kontinuierlich überwachen; Sie können auch spezifische Benachrichtigungen oder Alarmer entsprechend Ihren Anforderungen konfigurieren. Ein nutzungsspezifischer kann in derselben Plattform implementiert werden, um eine nahtlose Datenverarbeitung zu gewährleisten. Unsere Plattform kann Daten aus beliebigen Quellen integrieren – nicht nur von KiDAQ-Geräten von Kistler, sondern auch

aus beliebigen Systemen von Drittanbietern. Als zusätzlicher Vorteil verfügt die Plattform über API-Schnittstellen für den Datentransfer zu übergeordneten Datenmanagementsystemen auf Betreiberseite.

Sie profitieren von einer nutzungsbasierten Preisgestaltung und einer skalierbaren Architektur, so dass Sie die volle Modularität und Skalierbarkeit dieser Plattform nutzen können. Die Cloud-basierte SHM-Software nutzt auch die Edge-Computing-Technologie mit einem Computer vor Ort, um große Datenmengen in Echtzeit zu verwalten und zu verarbeiten. Dank dieser Funktion bleibt die Leistung unserer SHM-Lösung unabhängig davon gleich, ob Ihre Daten von wenigen oder mehreren tausend Sensoren stammen: Eine langfristige Datenspeicherung ist gewährleistet, und Sie können komplexe Datenverarbeitungsvorgänge und Berechnungen in Echtzeit durchführen.

# Zusammenfassung der wichtigsten Funktionalitäten der SHM-Software:

## Messdatenspeicherung und Visualisierung



- Alle Messdaten werden auf dem Edge-PC zwischengespeichert, um die volle Datenverfügbarkeit zu gewährleisten – aber nur die für Sie relevanten Daten werden in die Cloud hochgeladen.
- Die Daten werden 24/7 aggregiert und auf einem intuitiven Cloud-Dashboard visualisiert, das Sie an Ihre projektspezifischen Anforderungen anpassen können.
- Dank der hohen Abtastrate sind Sie über alle kritischen Ereignisse informiert, mit Triggerung auf Basis von Ereignissen oder Alarmen; Back-in-Time-Triggerung ist ebenfalls verfügbar.

## Benachrichtigungen



- Sie werden benachrichtigt, sobald ein Ereignis in Ihrer Struktur eintritt; mit Filterung können Sie die Benachrichtigungen auf Ereignisse beschränken, die für Sie relevant sind und Sie können jederzeit informiert werden, egal wo Sie sind.
- Benachrichtigungen und Ereignisse können anhand von Sensorwerten und Systemzuständen auch für berechnete Kanäle definiert werden

## Einstellungen und Konfiguration



- Das System ist vollständig über die Cloud konfigurierbar, mit 100%iger Fernsteuerung für Ihre gesamte Datenerfassung, den Edge Computer und andere Geräte.
- Wir stellen Ihnen regelmäßige Software-Updates für alle unsere Geräte zur Verfügung – diese können aus der Ferne installiert werden, damit Ihr System immer auf dem neuesten Stand und sicher ist.

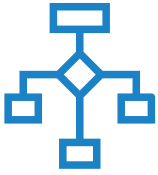
## Zustandsüberwachung



- Alle unsere Sensoren und Geräte werden kontinuierlich auf abnormales Verhalten überwacht.
- Defekte und Anomalien werden identifiziert und gekennzeichnet, damit Sie sie auf unserer Brücke leicht finden können.
- Sie können markierte Daten von jeder weiteren Analyse ausschließen, um falsche Schlussfolgerungen zu vermeiden.

Startseite der SHM-Softwareplattform von Kistler mit Übersicht der Hauptfunktionalitäten

## Kundenalgorithmus



- Unsere Lösung umfasst eine Schnittstelle, über die Sie Ihren eigenen Algorithmus sowohl auf unseren Echtzeitdaten als auch auf den aggregierten Daten ausführen können.



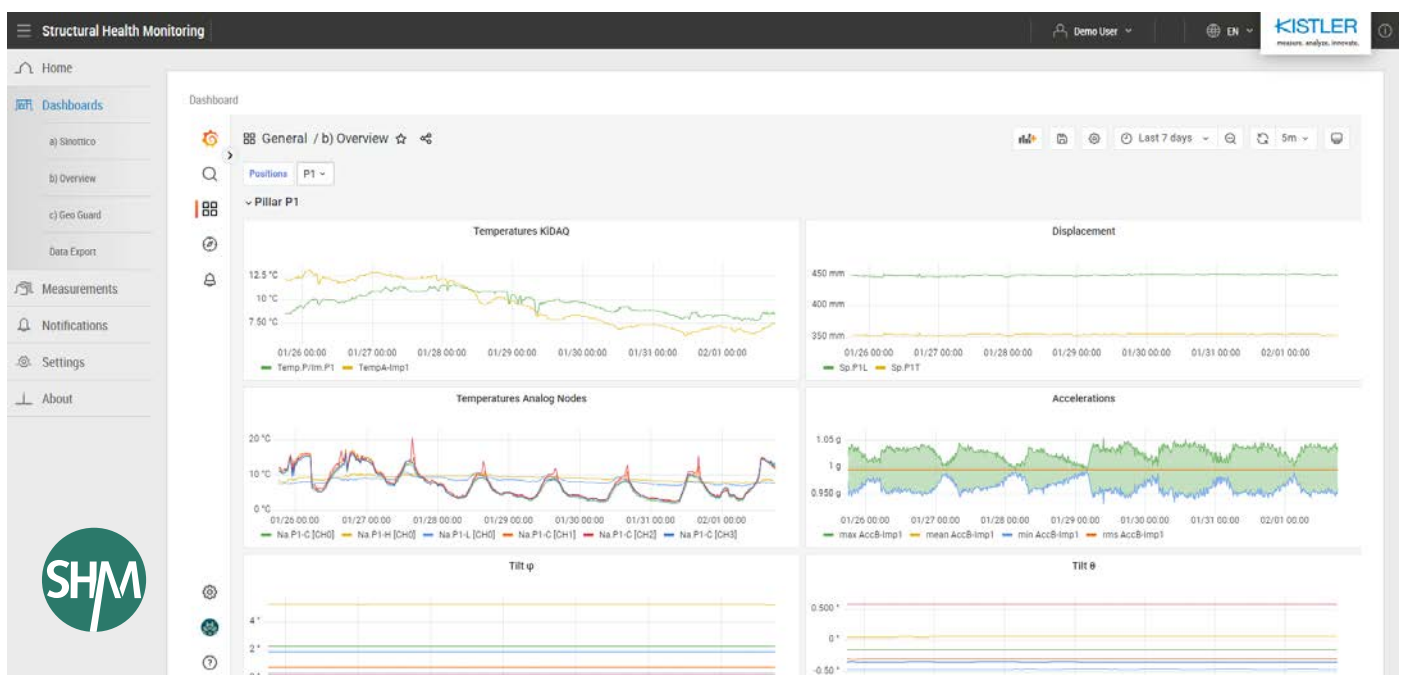
## Zugriffsrechte und Sicherheit



- Die webbasierte Schnittstelle ermöglicht den Fernzugriff auf die Brücke und Ihre Daten von jedem Standort aus.
- Unser granulares, auf OAuth 2.0 basierendes Zugriffsmanagementsystem gibt Ihnen die volle Kontrolle darüber, wer auf Ihr System zugreifen kann und in welcher Tiefe.
- Wir aktualisieren die SHM-Cloud-Software kontinuierlich, so dass Sie sicher sein können, dass Ihre Daten immer geschützt und zugänglich bleiben.

## Hauptvorteile unserer SHM Software

- Offene Lösung – vollständig anpassbar an die Anforderungen des jeweiligen Projekts
- Daten, auf die Sie sich verlassen können: professionelle Systemarchitektur kombiniert mit fortschrittlichen Funktionen, um den höchsten Standard an Datenqualität zu gewährleisten
- Garantierte Datenverfügbarkeit zu jeder Zeit – einschließlich lokaler Pufferung, um "Back-in-Time-Triggering" zu ermöglichen
- Datensicherheit auf dem neuesten Stand der Technik
- Fernkonfiguration und -aktualisierung
- Offene Schnittstelle – damit Kunden ihre eigene Strukturanalyse durchführen können



Dashboard der SHM-Software von Kistler mit Visualisierung ausgewählter Echtzeit-Datenkanäle (z.B. Temperatur, Beschleunigung, Verschiebung) – anpassbar an Kundenbedürfnisse



## Das Datenerfassungssystem KiDAQ – machen Sie Ihre Signale digital verfügbar

Kistler bietet mit KiDAQ ein einzigartiges integriertes Datenerfassungssystem, das hochgradig modular und leicht anpassbar ist, um jede Art von Brücke mit jeder Art von Sensortechnologie zu überwachen.

KiDAQ gewährleistet nicht nur eine umfassende Vernetzung von Sensoren sondern liefert auch eine hohe Datenqualität – dank hoher Auflösung, hoher Abtastraten und präziser Datensynchronisation. Unser Datenerfassungssystem KiDAQ ist modular aufgebaut und bietet Ihnen die Flexibilität, Ihre Lösung nach Belieben zu erweitern. KiDAQ bietet eine große Auswahl an Messmodulen, die über 20 verschiedene Messgrößen und Sensorschnittstellen abdecken (z.B. Spannung, Strom, Widerstand, Temperatur, Dehnungsmessstreifen u.v.m.). Diese Module sind in verschiedenen Gehäusevarianten erhältlich, um maximale Flexibilität zu gewährleisten. Das flexible KiDAQ-System führt zudem verteilte Messtechnik zusammen. Mehrere KiDAQ-Einheiten können entlang einer Brücke eingesetzt und vernetzt werden, um ein äußerst zuverlässiges verteiltes System zu bilden, was die Installation erheblich vereinfacht.

Sie profitieren von unserer Messtechnik-Kenntnis über die gesamte Messkette – von den Sensoren über die Signalaufbereitung bis zur Software.

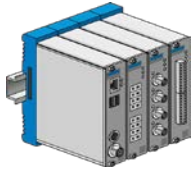
- Äußerst zuverlässige und präzise Digitalisierung von Sensordaten ohne Informationsverluste
- Vielseitigstes und modulares Hardwarekonzept
- Bis zu 19 Messmodule für eine breite Palette von Sensoren verfügbar Erweiterbar als verteilte Systeme (daisy chaining)
- Präzise Zeitsynchronisation mit PTP
- Schnelle und einfache Fernkonfiguration



Eine große Auswahl an verschiedenen Messmodulen (bis zu 19) sorgt für volle Flexibilität und Modularität, um mit jeder Art von Sensorausgang zu arbeiten.

# Gehäuseoptionen für KiDAQ

## KiDAQ DIN Rail



- Einfache standardisierte Montage auf DIN-Schiene
- Sie können eine beliebige Anzahl von Messmodulen (aus der folgenden Liste) kombinieren

## KiDAQ Rack



- Standard 19"-Gehäuse für die einfache Montage im Schaltschrank auch im Freien
- Bis zu 13 Messmodule können individuell ausgewählt werden (aus der folgenden Liste)

## KiDAQ Portable

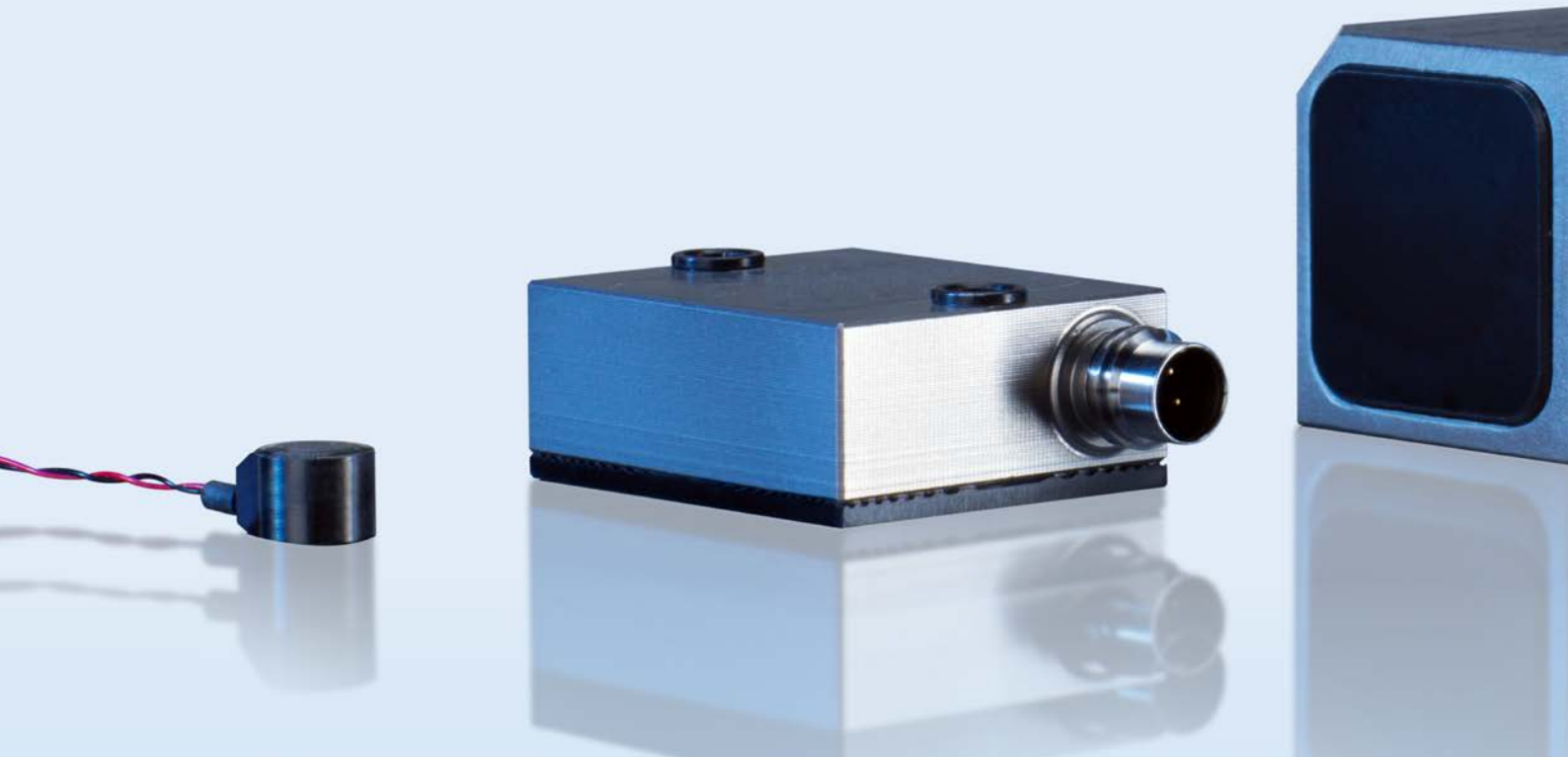


- Kompaktes, robustes Gehäuse für stationäre und mobile Messungen
- Bis zu 13 Messmodule können individuell ausgewählt werden (aus der folgenden Liste)
- Batteriebetrieb möglich

## KiDAQ Messmodul-Übersicht

Messmodul-Typ	5501A	5502A	5505A	5506A	5507A	5509A	5512A	5514A	5517A	5518A	5521A	5522A	5525A	5526A	5528A	5529A	5531A	5534A	5535A
Analoge Eingangskanäle	2	4	8	8	8	4	4	8	8	2	8	4	4	4	4	4	-	-	-
Digitale Eingangskanäle	2	-	2	2	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	4	8	6
Abtastrate pro Kanal (S/s)	100 k	20 k	20 k	20 k	20 k	100 k	100 k	20 k	20 k	20 k	100	10	20 k	100 k	100 k	100 k	-	-	-
Analoge Signale	U Spannung	■	■	■ < 10 V	■ < 60 V	■	■	■	■	■	■ < 80 mV								
	U <sub>i</sub> Spannung (isoliert 1,2 kV)													■	■	■			
	U <sub>r</sub> Spannung (Bereich 1,2 kV)															■	■		
	I Strom	■	■	■		■									■	■			
	Widerstand	■	■										■						
	Potentiometer	■	■																
	Widerstandsthermometer Pt100, Pt1000	■	■										■						
	Thermoelemente	■	■									■							
	Thermoelemente (isoliert 1,2 kV)													■					
	DMS Messbrücken	■	■							■	■								
	Induktive Brücken und Halbbrücken										■								
	LVDT Wegaufnehmer										■								
	Piezoelektrische Sensoren						■												
	IEPE Sensoren (Piezotron)	■						■											
	MEMS kapazitive Sensoren (K-Beam)								■										
	Piezoresistiver Drucktransmitter (PRT)					■													
	Digitale Signale	Frequenz																■	■
Pulsweite																	■	■	■
Zähler																	■	■	■
Zeit																	■	■	■
Status		■		■	■						■						■	■	■
TEDS		■						■											

(1) Verfügbarkeit auf Anfrage



## Sensoren: die Nervenzellen Ihres Überwachungssystems

Sensoren von Kistler erfassen eine Vielzahl von physikalischen Größen wie Beschleunigung, Schallemissionen, Dehnung, Spannung, Lasten und vieles mehr. Unsere Messexperten wählen den richtigen Sensor für Ihre spezifische Messaufgabe aus und ergänzen Ihr System bei Bedarf mit Sensoren von qualifizierten Drittanbietern. Sensoren von Kistler erfüllen höchste Qualitätsstandards und liefern Messungen mit maximaler Präzision – so können Sie sicher sein, dass es keine Fehler durch Rauschen, thermische Drift oder andere Faktoren gibt.

### Schallemissionssensoren

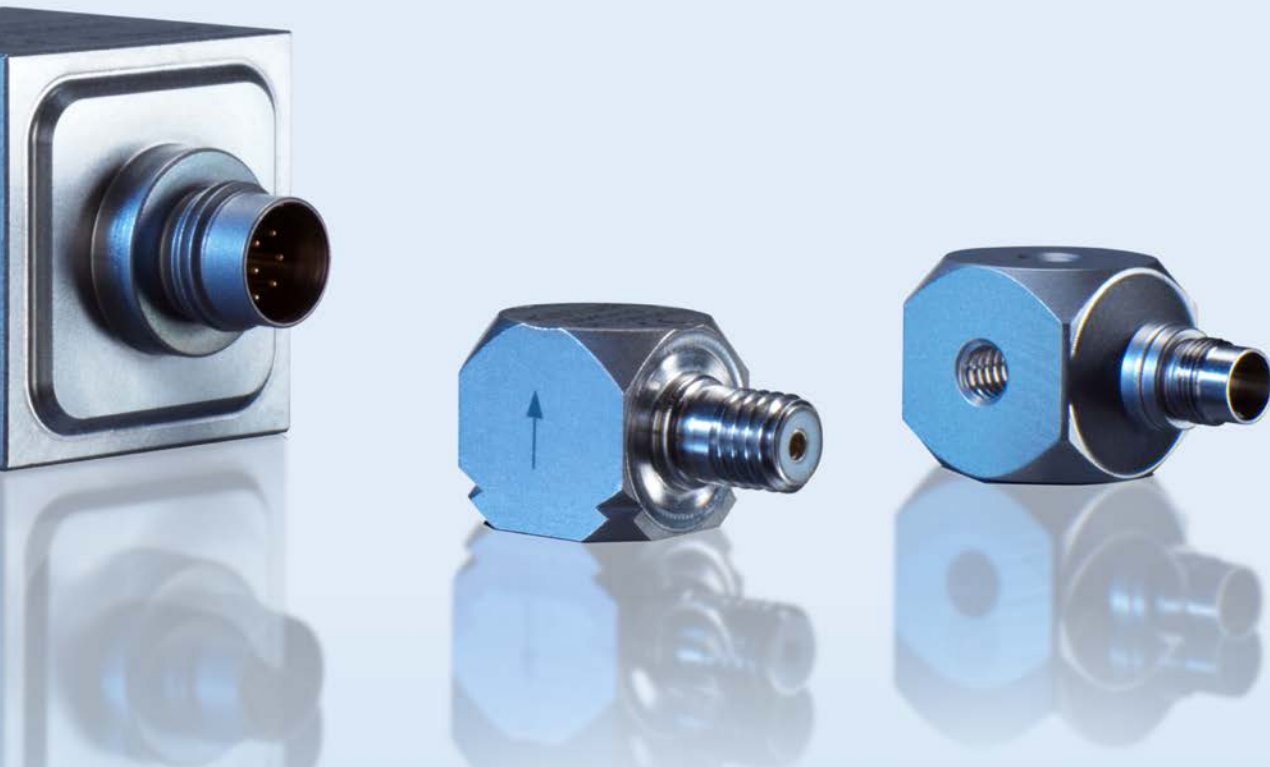
Schallemissionssensoren (acoustic emission – AE) bieten eine einzigartige Methode zur Überwachung von Ermüdung und Rissbildung in Stahlbrücken und Schrägkabeln.

Bei Rissbildung werden Materialwellen mit Frequenzen von bis zu 1.000 Hz freigesetzt, die von den High-End-Schallemissionssensoren von Kistler erfasst werden können. So können Risse bereits im Anfangsstadium erkannt werden, bevor sie sich ausbreiten und größere Schäden verursachen.



#### Merkmale von AE-Sensoren:

- Erkennen Risse und Ermüdung in einem frühen Stadium
- Zerstörungsfreie Prüfung
- Frequenzbereich bis 1.000 Hz
- Einachsig oder triaxial
- Thermisch stabil



## Beschleunigungssensoren

Bei der Untersuchung und Überwachung großer Bauwerke wie zum Beispiel Brücken ist das dynamische Verhalten ein Schlüsselement zur Beurteilung des Bauwerksverhaltens. Diese Strukturen bewegen sich nur sehr wenig und auch nur langsam. Um diese Bewegungen präzise zu erfassen, müssen die Sensoren sehr hohe Anforderungen in Bezug auf Genauigkeit, thermische Stabilität und geringes Rauschen erfüllen, damit die Nutzer die richtigen Schlüsse über den Zustand der Struktur ziehen können.

Als anerkannter Experte für dynamische Messtechnik kann Kistler die besten Beschleunigungssensoren seiner Klasse zur Messung von Beschleunigung und Schwingungen anbieten. Diese Sensoren aus unserer K-Beam-Familie sind so konzipiert, dass sie mit hoher

Genauigkeit im sehr niedrigen Frequenzbereich, ohne Temperaturfehler (hohe thermische Stabilität) und fast vollständig ohne Rauschen messen.

Bei der Messung anderer Strukturen in einer Brücke (z. B. Schrägseile) sind höhere Frequenzbereiche von Interesse – und das Beschleunigungsportfolio von Kistler umfasst auch Produkte, die diese Anforderung erfüllen können.

Kistler bietet eine große Bandbreite von Beschleunigungssensoren und wir wählen daraus das am besten zu den Kundenanforderungen passende Produkt aus.



8316A

8396A

### Merkmale und Vorteile

- Technologisch führende Beschleunigungsaufnehmer der K-Beam-Familie
- Höchste Genauigkeit zur präzisen Überwachung struktureller Veränderungen im Laufe der Zeit
- Kein thermischer Drift (höchste thermische Stabilität)
- Keine Signalverzerrung – niedrigste Rauschdichte
- Einachsige und triaxiale Varianten
- Miniaturausführung

## Oberflächendehnungssensoren

Piezoelektrische Sensoren von Kistler können für hochauflösende Messungen der auf eine Struktur wirkenden Dehnung eingesetzt werden. Oberflächendehnungssensoren werden einfach mit einer Schraube befestigt. Diese Dehnungsaufnehmer eignen sich zur Messung dynamischer und quasi-statischer Dehnungen. Sie verfügen über eine sehr hohe Messempfindlichkeit und können daher kleinste Verformungen einer Struktur erfassen.

### Eigenschaften und Vorteile

- Langlebig, kein Kriechen
- Einfach zu installieren
- Sehr hohe Messempfindlichkeit



9232A



9237BA

## Flexible Integration von Sensoren und Systemen von Drittanbietern

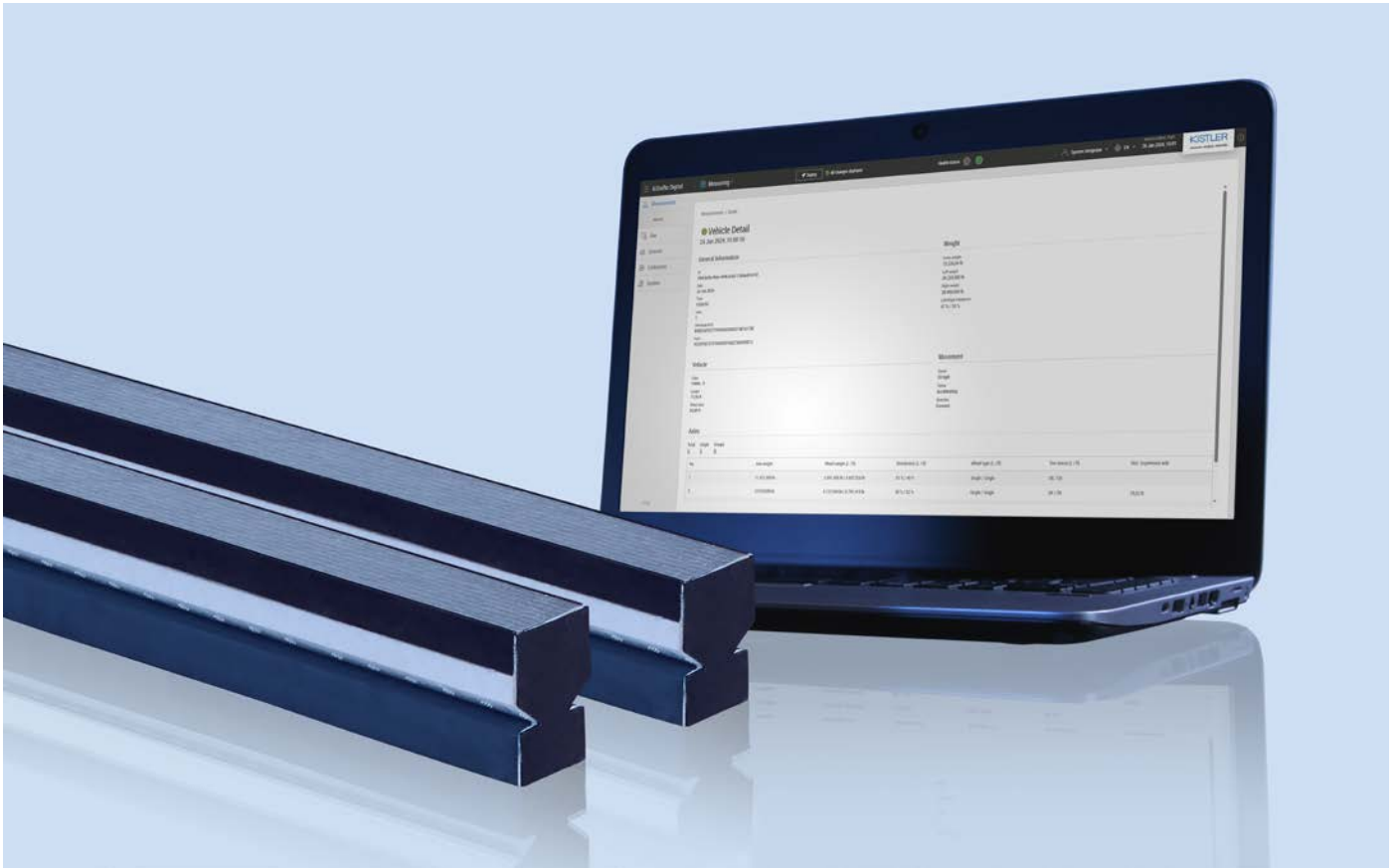
Die Überwachungslösungen von Kistler sind so konzipiert, dass sie die Integration von Sensoren und Systemen von qualifizierten Drittanbietern erlauben, darunter:

- Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren
- Wetterstationen
- Neigungssensoren
- Weg- und Positionssensoren
- Andere



Automatische Wetterstation mit Wetterüberwachungssystem und Beobachtungskameras





KiTraffic Digital, die einzigartige Weigh In Motion Lösung

## Verkehrssensoren und Weigh In Motion

Bei der Überwachung von Brücken und der Durchführung von Strukturanalysen sind konsistente Informationen über die realen Verkehrslasten auf der Brücke unerlässlich. Verkehrslasten haben einen direkten Einfluss auf die Ermüdung von Brücken, weshalb deren Analyse ein wichtiger Faktor bei der Berechnung der verbleibenden Lebensdauer einer Brücke ist. Die WIM-Systeme (Weigh In Motion) von Kistler überwachen den Verkehr rund um die Uhr und

liefern Anwendern relevante Informationen zur Verkehrsbelastung: z.B. Daten zu Verkehrsaufkommen, Fahrzeuggewichten und Achslasten, Fahrzeugabständen, Fahrzeugklassen und vielen weiteren Parametern. Die Kernelemente dieser WIM-Systeme sind unsere einzigartigen Lineas-Quarz-WIM-Sensoren (die in den Straßenbelag eingebaut werden) und der WIM-Datenlogger, der die Verkehrsdaten sammelt.



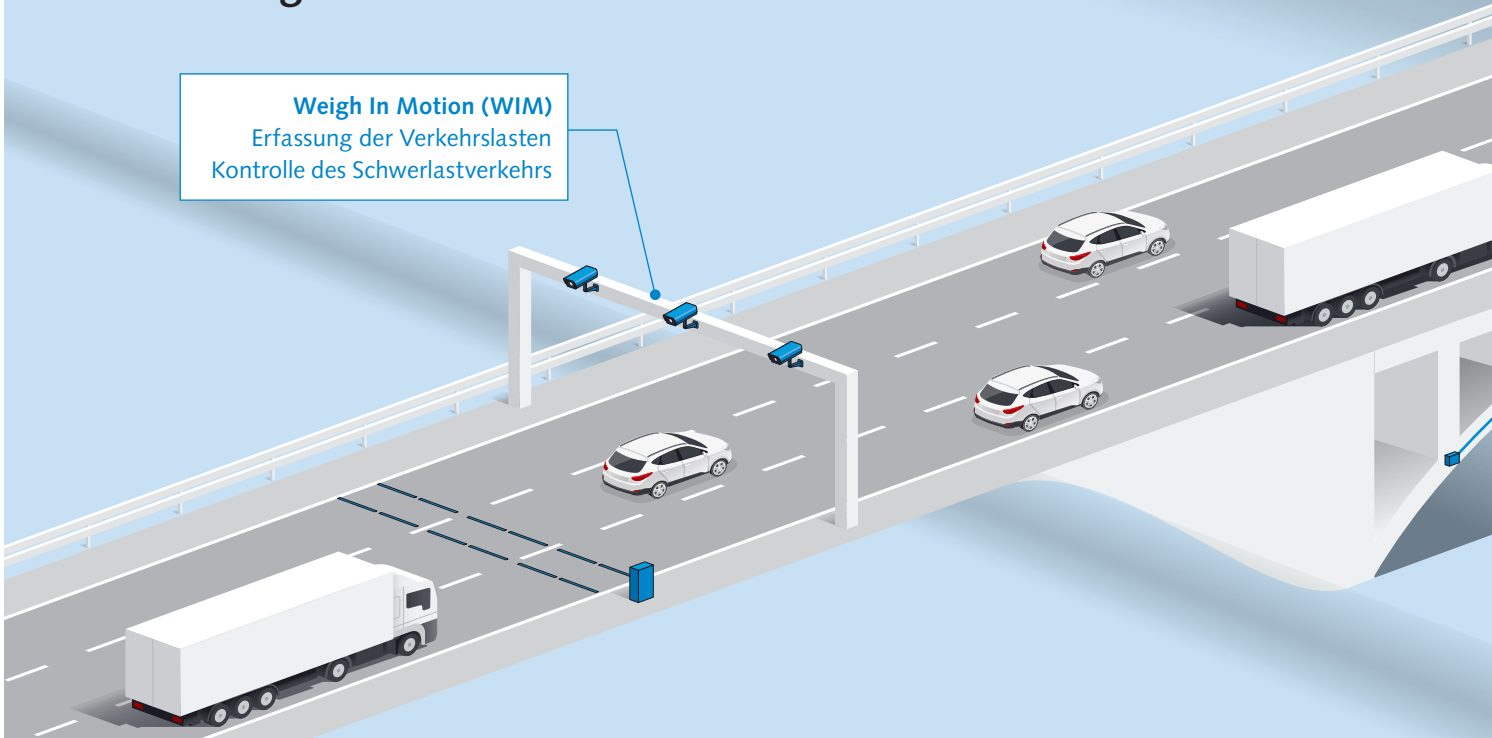
### Merkmale und Vorteile

- Wesentliche Verkehrslastinformationen für die Nachrechnung von Brücken
- 24/7-Verkehrsüberwachung
- Genaues Wägen von Fahrzeugen, die sich mit beliebiger Geschwindigkeit bewegen
- Einzigartige Quarztechnologie für höchst zuverlässige Fahrzeugwägung
- Einfach zu installieren und zu bedienen
- Zertifiziert nach OIML R 134

## Structural Health Monitoring für eine Brücke – kombiniert mit automatischer Überwachung von Fahrzeuggewicht und Geschwindigkeitskontrolle

**Geschwindigkeitsüberwachung**  
Fahrzeuggeschwindigkeit erfassen  
Verfolgung von Geschwindigkeitsverstößen

**Weigh In Motion (WIM)**  
Erfassung der Verkehrslasten  
Kontrolle des Schwerlastverkehrs

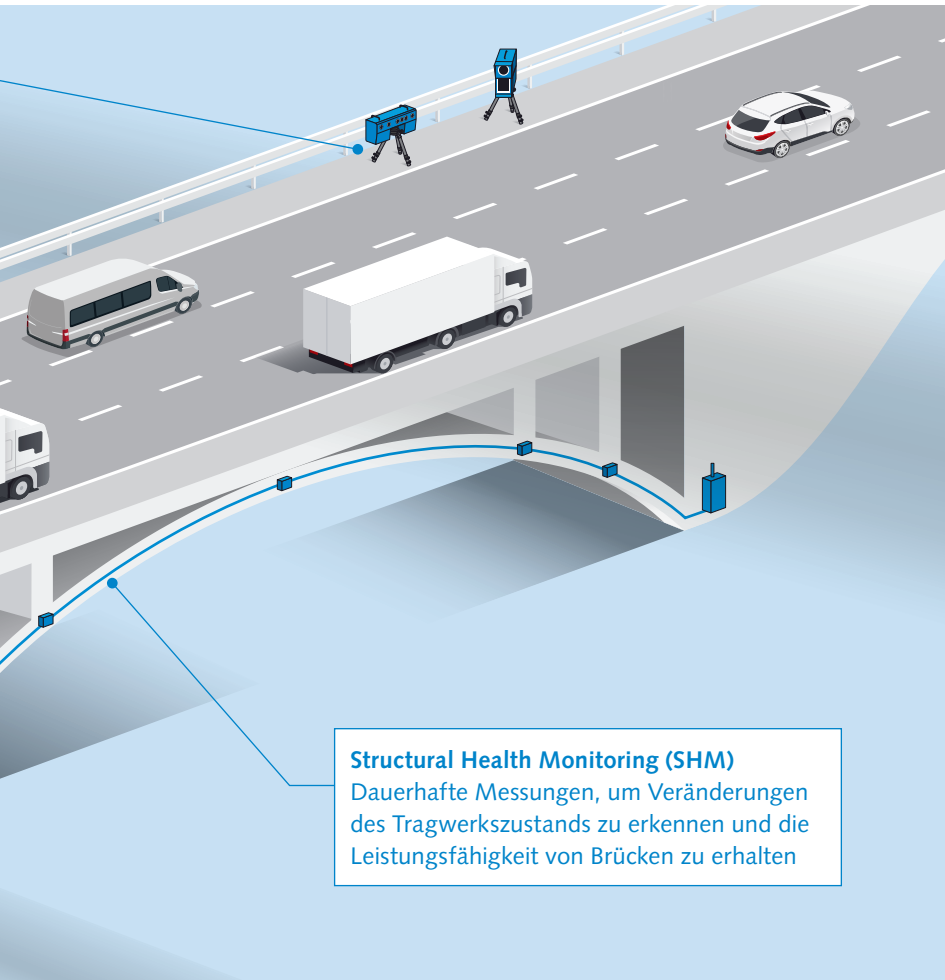


## Die ganzheitliche Lösung von Kistler zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit und zum Schutz der Infrastruktur

Brückenbauwerke haben eine begrenzte Lebensdauer und stehen aufgrund der natürlichen Alterung sowie der stark zunehmenden Verkehrsdichte und -belastung vor wachsenden Herausforderungen. Ganzheitliche Lösungen von Kistler berücksichtigen alle relevanten Parameter, um einen wirksamen Schutz der Infrastruktur zu gewährleisten. Neben der Überwachung der Brückenkonstruktion misst unsere Technologie rund um die Uhr alle Fahrzeuge, die die Brücke überqueren – so kann jedes Fahrzeug, das die gesetzlichen Grenzwerte für zulässiges Gesamtgewicht, Achslast und Geschwindigkeit verletzt, identifiziert und geahndet werden.

Verkehrslasten wirken sich direkt auf die Ermüdung von Brücken aus. Daraus folgt, dass die Analyse der realen Verkehrslast eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Ermüdung einer Brücke und ihrer verbleibenden Lebensdauer spielt. Bei der Überwachung von Brücken und der Durchführung von Strukturanalysen sind konsistente Informationen über reale Verkehrslasten und Fahrgeschwindigkeiten unerlässlich. Die Einhaltung gesetzlicher Belastungs- und Geschwindigkeitsgrenzen ist ein Schlüsselfaktor für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit

und den Zustand einer Brückenkonstruktion. Verkehrslast- und Geschwindigkeitsbegrenzungen werden oft für Brücken mit strukturellen Mängeln vorgeschrieben. Mit einem WIM-System können überladene Fahrzeuge leicht identifiziert werden, so dass sie entweder mit einem Bußgeld belegt, angehalten und zum Entladen veranlasst oder auf eine alternative Route umgeleitet werden können. All diese Maßnahmen gewährleisten einen äußerst wirksamen Schutz der Brückeninfrastruktur.



**Structural Health Monitoring (SHM)**  
 Dauerhafte Messungen, um Veränderungen des Tragwerkszustands zu erkennen und die Leistungsfähigkeit von Brücken zu erhalten

**Ihre Vorteile**

- Ihr Komplettanbieter für ganzheitliche Lösungen, die die Überwachung von Brückenbauwerken mit Verkehrsrechtsdurchsetzung kombinieren
- Verbesserte Bewertung der Ermüdung und der verbleibenden Nutzungsdauer von Brücken auf der Grundlage von Informationen über die tatsächliche Verkehrsbelastung
- Wirksamer Schutz von Brücken: Verstöße werden erkannt und geahndet oder die Fahrzeuge umgeleitet
- Einfache und wirksame Durchsetzung von Geschwindigkeitsbegrenzungen

Im Allgemeinen erlaubt dynamisches Wägen (WIM) bei der Bewertung der Infrastruktur eine umfassende Kategorisierung realer Verkehrsmuster, die Referenzmodelle mit höherer Genauigkeit als Richtwertmodelle ermöglichen. In Kombination mit Beschleunigungsmessungen liefert dynamisches Wägen wichtige

Aufschlüsse über Deformationen an verschiedenen Punkten der Brücke. Die Kombination lokaler und globaler Messungen ergibt somit wertvolle Zusatzinformationen zur Bewertung der strukturellen Integrität des Bauwerks, vor allem im Zusammenhang mit der Verarbeitung großer Datenmengen. <sup>(1)</sup>

- 1 Lineas Compact WIM-Sensoren (versetzte Anordnung) und Induktionsschleifen im Straßenbelag
- 2 WIM-Elektronik mit kabelloser Datenübertragung am Straßenrand mit Spannungsversorgung

**KiTraffic Statistics**

WIM-System für die Analyse der Verkehrsbelastung

- 1 Lineas Sensoren im Fahrbahnbelag
- 2 Automatische Nummernschilderkennung (ANPR) und Übersichtskamera auf einer Schilderbrücke
- 3 Schaltschrank mit WIM-Elektronik

**KiTraffic Digital**

WIM-System für die automatische Gewichtskontrolle

(1) cf. G. Sforza, M. Skobir, F. Ginesi and M. Hauptman. Dynamic monitoring plant integrated with a Weight in Motion apparatus aimed at having a more complete SHM system. Milano – EVACES, 2023

## Weigh In Motion (WIM)

Anwender von Weigh In Motion (WIM)-Systemen profitieren von einer 24/7-Verkehrsüberwachung mit automatischer Erfassung der wichtigsten Verkehrsparameter. Die WIM-Systeme von Kistler sind in verschiedenen Präzisionsgraden und zu Preisen erhältlich, die den Anforderungen jedes Benutzers entsprechen: Unser Portfolio reicht von einfachen WIM-Standorten zur Erfassung von Statistiken und zur Analyse der Verkehrsbelastung (mit KiTraffic Statistics) bis zu hochkomplexen Lösungen für die automatische Gewichtskontrolle (mit KiTraffic Digital).

Mit mehr als 20 Jahren Erfahrung und über 70.000 installierten Lineas-Sensoren in mehr als 50 Ländern ist Kistler Ihr Partner der Wahl, wenn es um modernste Technologie und höchste Kompetenz bei WIM-Anwendungen geht.

### WIM-Systeme von Kistler erfassen diese Verkehrsparameter automatisch:

- Fahrzeugklasse
- Fahrzeuggewicht (Bruttogewicht und Achslasten)
- Nummernschild und Übersichtsbild
- Fahrtrichtung und Fahrspur
- Fahrzeugabmessungen (Höhe, Länge, Breite) und Achsabstände
- Fahrzeugabstände, Geschwindigkeiten und Verkehrsaufkommen
- Rad- und Reifeninformationen (Einzel-/Doppelrad, Reifen mit zu niedrigem Luftdruck)

### Vorteile der WIM-Systeme von Kistler:

- Hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit dank einzigartiger Quarzsensortechnologie
- Lange Lebensdauer dank robuster Konstruktion
- Äußerst zuverlässig bei allen Wetterbedingungen
- Langzeitstabilität (keine Alterung), unempfindlich gegen Temperaturschwankungen
- Schnelle und einfache Installation der Sensoren im Straßenbelag
- Globale Präsenz mit über 70.000 Installationen in mehr als 50 Ländern
- OIML-zertifiziertes System zur direkten Kontrolle von überladenen Lastwagen



System von Kistler zur automatischen Geschwindigkeitskontrolle (stationäre Installation)

## Geschwindigkeitskontrolle

Mit Geschwindigkeitskontrollsystemen von Kistler können Benutzer die Geschwindigkeit jedes vorbeifahrenden Fahrzeugs effizient messen und automatisch Bußgelder für Fahrzeuge verhängen, die das Tempolimit überschreiten. Unsere vielseitigen Systeme bieten sowohl die Flexibilität als auch die Präzision, die Sie für die Durchführung von Geschwindigkeitskontrollen benötigen: Die Lösungen von Kistler werden nicht nur auf Brücken, sondern auch auf kleineren Nebenstraßen, Autobahnen und Baustellen eingesetzt. Diese Messlösungen kombinieren einzigartige optische Messtechnik mit Kameras zur zuverlässigen Fahrer und Kennzeichenerkennung. Verkehrsverstöße können dank der einzigartigen Messbasis von nur 50 cm schnell und effizient identifiziert werden. Ein einziges Gerät kann die Geschwindigkeit jedes Fahrzeugtyps in beiden Fahrtrichtungen und über mehrere Fahrspuren hinweg messen. Unsere benutzerfreundliche Softwareanwendung unterstützt die nachgelagerte Auswertung und rechtliche Validierung der Messdaten. Dasselbe System kann als tragbares Gerät (für die mobile Durchsetzung) betrieben oder durch die Installation in Schutzgehäusen am Straßenrand in eine stationäre Messlösung umgewandelt werden.

### Vorteile der Geschwindigkeitskontrolle mit Kistler

- Universelles System für rechtsgültige Daten zur Geschwindigkeitsüberwachung
- Ein einziges Gerät kann den Verkehr in verschiedenen Richtungen überwachen
- Präzise Messungen mit hoher Trefferquote – unabhängig von Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit, auch auf mehrspurigen Straßen
- Einzigartige, einfach zu bedienende und zertifizierte optische Messtechnik
- Kann als mobiles oder stationäres Kontrollsystem betrieben werden



# Überwachungslösungen Wirklichkeit werden lassen – mit Kistler



Die Brücke über den Großen Belt in Dänemark, eine der längsten Hängebrücken der Welt, profitiert von der strukturellen Zustandsüberwachung mit Messtechnik von Kistler.

## Brücke über den Großen Belt, Dänemark

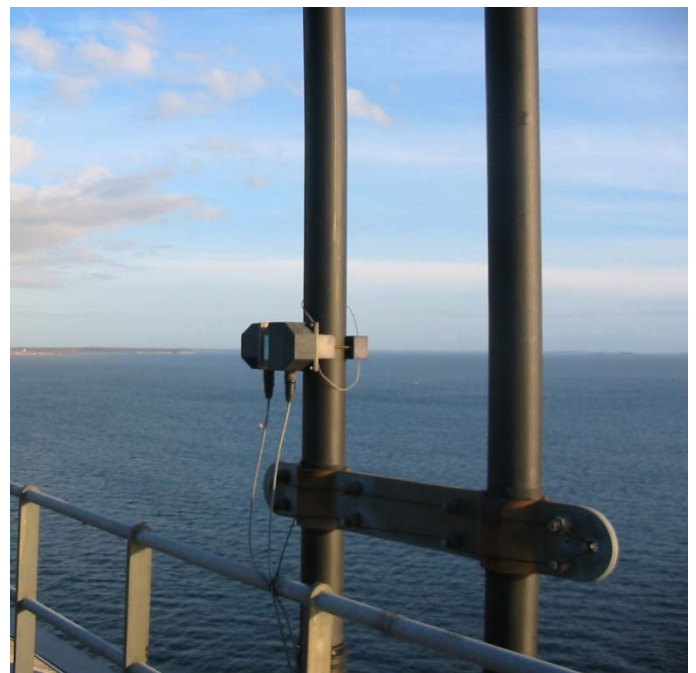
Seit 1998 ist Technologie von Kistler auf der dänischen Brücke über den Großen Belt erfolgreich im Einsatz, um das Schwanken des Bauwerks im Wind und die Eigenfrequenz der Tragseile zu messen. Auf dem östlichen Brückenabschnitt, der zu den längsten Hängebrücken der Welt zählt, wurden zwei Arten von Messsystemen installiert: Ein System misst die Eigenfrequenz der vertikalen Tragseile, ein weiteres (im Inneren der Mittelöffnung) erfasst die zentrale Brückenstruktur. Die Lösung von Kistler kombiniert spezielle niederfrequente K-Beam-Beschleunigungssensoren mit Tiefpassfiltern, um Frequenzen von 1 Hz im Inneren der Brücke und 10 Hz an den Tragseilen zu erfassen. Die in die Mittelöffnung integrierten Sensoren wurden mit mechanischen Dämpfern versehen, und eine effiziente Signalkonditionierung war ein zentrales Anliegen der Konstruktion. Änderungen der Eigenfrequenz und des Schwankungsverhaltens werden kontinuierlich überwacht, und die Messungen liefern wichtige Erkenntnisse über das strukturelle Verhalten der Brücke – ein wichtiges Ergebnis war eine Änderung der Brückenkonstruktion in der Anfangsphase des Projekts.

---

**“Die Frequenzen sind ebenso wie die G-Kräfte hier sehr niedrig, so dass die Hauptherausforderung darin besteht, die Signale von anderen Schwingungen wie denen von Fahrzeugen auf der Brücke zu isolieren.”**

Erik Nielsen, Vertriebsingenieur bei Kistler

---



Das Messsystem (inkl. Beschleunigungssensoren, Filtern und Signalübertragung) an den vertikalen Tragseilen wurde in speziellen Boxen installiert, um robust gegenüber rauen Wetterbedingungen über lange Zeit zu sein.



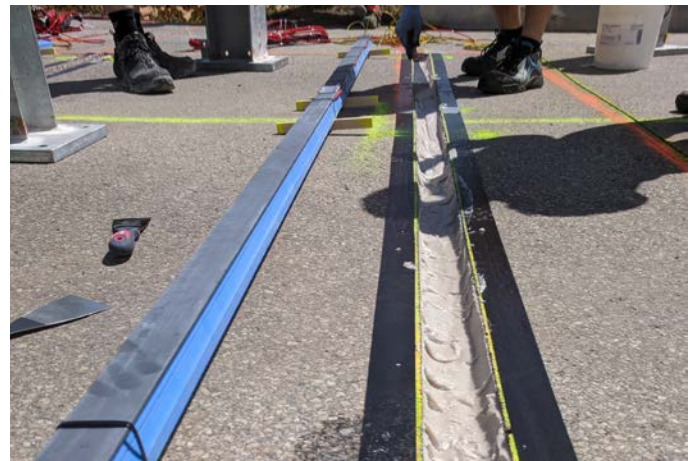
Blick auf die Eisenbahnbrücke in Österreich, die durch schwere Holztransporte beschädigt wurde – und die dank des Weigh In Motion Systems KiTraffic Statistics von Kistler geschützt werden konnte.

## Straßenbrücke über eine Eisenbahnlinie, Österreich

Belastung, Ermüdung und Alterung können Brücken jeder Größe beeinträchtigen. Diese kleine Brücke über eine Eisenbahnlinie an der Zufahrtsstraße zu einem Dorf im Herzen Österreichs liegt in der Nähe eines großen Sägewerks, so dass sie täglich von Lastwagen mit schweren Holzladungen überquert wird. Das Ergebnis: sichtbare Schäden an der Brücke mit mehreren Rissen im Tragwerk. Um das Problem zu lösen, zogen die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) den Spezialisten und Systemintegrator für Brückenüberwachung REVOTEC aus Wien hinzu. Im Januar 2020 startete REVOTEC ein Projekt, bei dem schon bald eine effektive Lösung gefunden wurde: Das Weigh In Motion (WIM) System KiTraffic Statistics von Kistler – und es wurde innerhalb von nur einem Tag installiert! Eine zuverlässige Überlasterkennung und Fahrzeugklassifizierung verhinderte nun die weitere Überlastung der Brücke. Fahrzeuge mit einem Gewicht von über 44 Tonnen wurden bestraft, und auch Veränderungen des Brückenzustandes konnten genauer verfolgt werden. REVOTECs Mitbegründer Michael Vospernig kommentiert:

**“Automatisierte Brückenüberwachungssysteme zur Messung von Tragwerken und Achslasten werden wahrscheinlich zu Standardelementen der Infrastruktur werden, um eine Zustandsüberwachung in Echtzeit und eine vorausschauende Wartung zu ermöglichen.”**

*Michael Vospernig, einer der beiden Gründer von REVOTEC*



Die Lines Sensoren für das WIM-System KiTraffic Statistics von Kistler werden etwas unterhalb des Straßenbelags eingebaut und mit einer speziellen Vergussmasse bedeckt, die eine lange Lebensdauer sichert.



Der Brooklyn-Queens-Expressway (BQE) wurde vor mehr als 70 Jahren als Dreifachausleger gebaut und ist 2,4 Kilometer lang.

## Brooklyn-Queens Expressway, USA

Der Brooklyn-Queens Expressway (BQE) in New York, der vor über 70 Jahren gebaut wurde, ist eine wichtige regionale Verkehrsader, die Brooklyn mit wichtigen Zufahrtspunkten nach Manhattan, Queens und Staten Island verbindet. Die Alterung des Bauwerks in Verbindung mit einer Erhöhung der zulässigen Lkw-Grenzen um 11 % im Laufe der Jahre hat jedoch zu Bedenken hinsichtlich der Sicherheit des BQE geführt – insbesondere auf dem als "Triple Cantilever" (Dreifachausleger) bekannten Abschnitt. Das New York City Department of Transportation (NYC DOT) reagierte daraufhin mit einem Projekt zur Quantifizierung des überladenen Lkw-Verkehrs als Grundlage für eine eventuelle direkte Gewichtskontrolle. Der verkehrstechnische Partner des DOT, C2SMART Center, holte Kistler ins Boot. Während der Pilotphase zeigte das Weigh In Motion (WIM) System, das aus Kistler Lineas Quarzsensoren und einem Datenlogger besteht, dass 15 % der 25.000 Lkw, die täglich den BQE befahren, die Gewichtsgrenze überschreiten. Im Jahr 2023 erhielt die WIM-Anlage aufgrund weiterer hochgenauer Daten die Zertifizierung als erstes automatisches Verwarnungssystem für überladene Fahrzeuge in den USA. Das Ergebnis: Einen Monat nach Inbetriebnahme des WIM-Systems halbierte sich die Zahl der überladenen Fahrzeuge, die täglich die BQE befahren. Dieser Erfolg macht den Weg frei für andere US-Bundesstaaten, die ihre alternde Infrastruktur mit Technologien zur automatisierten Gewichtskontrolle schützen wollen.



Starker Verkehr auf dem Brooklyn Queens Expressway mit Blick nach Norden in Richtung Brooklyn Bridge Park.

**"Die Technologie und das Engagement von Kistler für den Erfolg der BQE-Direct-Enforcement-Initiative sind unübertroffen".**

Hani Nassif, PhD, PE - Professor für Bau- und Umwelttechnik an der Rutgers University, Stellvertretender Direktor des C2SMART Center

---

**Wollen Sie mehr über unsere  
Anwendungen erfahren?  
Jetzt entdecken:**



[www.kistler.com/applications](http://www.kistler.com/applications)

**Kistler Group**  
Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur  
Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter [www.kistler.com](http://www.kistler.com)

Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf [www.kistler.com](http://www.kistler.com)

**KISTLER**  
measure. analyze. innovate.