

BOLTED

EIN MAGAZIN ZUM THEMA VERSCHRAUBUNGSTECHNIK

AUSGABE 1 – 2021



PLANUNG FÜR
EINE SICHERERE WELT

04 BRÜCKE IN GENUA

Nord-Lock Keilsicherungsscheiben sichern Verbindungen an der neuen Autobahnbrücke in Genua.



18 GESICHERT MIT

Expander System verlängert die Nutzungsdauer der Bagger eines familiengeführten Unternehmens.



08 BRANCHENINSIGHTS

Wie Ingenieurwesen die Infrastruktur weltweit widerstandsfähiger machen kann.



20 DIE EXPERTEN

Was beeinflusst den Verschleiß von Gelenkbolzen?



11 SUPERBOLT HYFIT

Einblick in die Entwicklung einer neuen Generation von Kupplungen.



22 SICHERHEIT IN FREIZEITPARKS

Damit nichts dem Zufall überlassen bleibt.



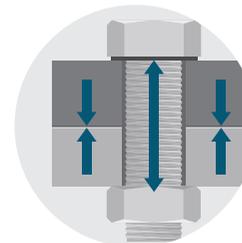
14 EINE SICHERERE WELT

Wie Zuverlässigkeit Ingenieuren hilft, konkurrierende Anforderungen auszugleichen.



26 DIE EXPERTEN

Was passiert mit Vorspann- und Klemmkraft, wenn Betriebskräfte angreifen?



REDAKTIONSMANAGER

Alexander Wennberg
alexander.wennberg@nord-lock.com

STELLVERTRETENDE REDAKTEURIN

Ariane Osman
Jörgen Lindström

ART DIRECTION UND DESIGN

Gabriel Jacobi

INHALTSERSTELLUNG

Nord-Lock Group
Spoon Agency

ÜBERSETZUNG

LanguageWire

TITELBILD

Layer 1

DRUCK

Exakta

Das Magazin Bolted wird von der Nord-Lock Group herausgegeben und soll dazu beitragen, das Wissen über sichere technische Lösungen rund um Schraubenverbindungen zu erweitern. Bolted erscheint zweimal jährlich in zehn Sprachen, darunter Chinesisch, Deutsch, Englisch, Finnisch, Französisch, Italienisch, Japanisch, Koreanisch, Schwedisch und Spanisch.

Unverlangt eingesandte Manuskripte werden nicht akzeptiert. Die Reproduktion des in dieser Publikation enthaltenen Materials ist nur nach vorheriger Genehmigung erlaubt. Anfragen werden an den Redaktionsmanager gestellt. In Bolted veröffentlichte Artikel sowie geäußerte Meinungen und Ansichten müssen nicht notwendigerweise die Meinung und Ansichten von Nord-Lock oder der Redaktion wiedergeben. Bolted wird zu Informationszwecken herausgegeben. Die in dem Magazin enthaltenen Informationen sind allgemeiner Natur und sind nicht als Ratschläge oder Entscheidungsgrundlage für einen bestimmten Verwendungszweck anzusehen. Die Nutzung der gelieferten Informationen erfolgt auf alleiniges

Risiko des Nutzers, und Nord-Lock kann in keinerlei Hinsicht für Schäden verantwortlich gemacht werden, die direkt, unbeabsichtigt, als Folge von oder indirekt durch die Verwendung der in Bolted enthaltenen Informationen entstehen.

Sie haben das Bolted Magazin erhalten, weil Sie Kunde, Partner oder Vertriebspartner von Nord-Lock sind und uns entweder beim Bestellen von Produkten, beim Besuch einer Messe oder durch Abonnieren des Magazins Ihre Adresse mitgeteilt haben.

Falls nicht von Ihnen, haben wir Ihre Kontaktdaten von einem Dritten erhalten. Wir verarbeiten Ihre Kontaktdaten, damit wir Ihnen auf der Rechtsgrundlage des berechtigten Interesses das Bolted Magazin und damit aktuelle Informationen über unsere Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung stellen können. Wenn Sie in Zukunft keine Exemplare des Magazins mehr wünschen, informieren Sie uns bitte unter unsubscribe@nord-lock.com.

Sie können uns jederzeit Ihre Kommentare oder Anregungen zukommen lassen unter info@nord-lock.com



Fredrik Mueller
CEO Nord-Lock Group

Investitionen in sichere Infrastruktur sind Investitionen in die Zukunft.

COVID-19 stellt uns alle auf die Probe, sowohl im Privaten als auch mit Blick auf unsere Unternehmen und die Gesellschaft, in der wir leben. Ja, das vergangene Jahr war geprägt von Tragödien und Verlusten – und doch hat sich wieder einmal gezeigt, dass wir als Menschheit vorankommen und etwas erreichen können, wenn wir uns mit aller Kraft dafür einsetzen. Für mich ist das eine beruhigende Erkenntnis für eine Zukunft, die noch so manche Herausforderung bereithalten dürfte.

In dieser Ausgabe des Bolted Magazins sprechen wir mit Experten darüber, wie eine wachsende Zahl an Naturkatastrophen und vom Menschen verursachte Ereignisse wichtige Infrastrukturen immer größer werdenden Belastungen aussetzt. Mehr denn je müssen Bauingenieure und Maschinenbauingenieure unerwartete Ereignisse vorhersagen und entsprechende Vorkehrungen treffen.

Unsere Mission bei der Nord-Lock Group ist es, Menschenleben und Kundeninvestitionen zu schützen. Seit vielen Jahren leisten wir einen wichtigen Beitrag dazu, die Welt sicherer zu machen. Wir sind daher besonders stolz auf unsere Mitwirkung an anspruchsvollen und

bedeutsamen Bauprojekten wie beispielsweise der neuen Brücke in Genua.

In einem Unwetter stürzte die berühmte Morandi-Brücke 2018 unerwartet ein. Dieses Unglück erinnert uns einmal mehr daran, in welchen schwierigen Zeiten wir leben. Gleichzeitig ist es aber auch ein Beispiel dafür, was wir gemeinsam mit anderen erreichen können. In Rekordzeit wurde eine neue Brücke geplant und errichtet – gesichert mit Nord-Lock Keilsicherungsscheiben.

Doch auch in unserer Freizeit genießt Sicherheit einen hohen Stellenwert. Wir waren zu Besuch im Freizeitpark Gröna Lund in Stockholm, um über Sicherheit und Nervenkitzel zu sprechen. Schnallen Sie sich an und genießen Sie die Fahrt!

Lesen Sie auch den inspirierenden Bericht über die Entwicklung einer neuen Generation von Kupplungen, die das Risiko katastrophaler Unfälle senken, erfahren Sie mehr über die neuesten Erkenntnisse unserer Experten und vieles mehr.

Viel Spaß beim Lesen – bleiben Sie gesund und bleiben Sie in Kontakt!

WIEDERAUFBAU EINER BRÜCKE IN GENUA

Der Wiederaufbau einer 2018 eingestürzten Brücke in Genua war ein anspruchsvolles Projekt. Alle beteiligten Unternehmen und Zulieferer wurden strengen Kontrollen unterzogen, um den Erfolg der Baumaßnahmen in Rekordzeit sicherzustellen.

Text Claudia Flisi Fotos Luca Rei/Shutterstock und Nicolò Campo/Getty Images

PONTE GENOVA SAN GIORGIO (VIADOTTO GENOVA-SAN GIORGIO)

ERÖFFNUNG

3. AUGUST 2020

ARCHITEKT

RENZO PIANO

GESAMTLÄNGE

1.067 METER

BREITE

30,80 METER

FAHRSPUREN

4 (PLUS 2 SEITENSTREIFEN)

FINCANTIERI INFRASTRUCTURE

DAS UNTERNEHMEN

FINCANTIERI INFRASTRUCTURE IST EINE TOCHTERGESELLSCHAFT VON FINCANTIERI S.P.A., DEM VIERTGRÖSSTEN SCHIFFBAUUNTERNEHMEN DER WELT.

UNTERNEHMENSSTZ

VERONA, ITALIEN

PRODUKTPARTEN

HÄNGEBRÜCKEN, VIADUKTE, BOGENBRÜCKEN, SEILBRÜCKEN, EISENBAHNBRÜCKEN, TÜRME, GEBÄUDESTRUKTUREN, FLUGHÄFEN, SEE- UND KÜSTENBAU, SCHWIMMENDE MODULARE SYSTEME.



Lorenzo Sartori

LEITER TECHNISCHES BÜRO,
FINCANTIERI INFRASTRUCTURE

Die Tragödie ereignete sich am Morgen des 14. August 2018 in Genua, im Nordwesten Italiens. Bei sintflutartigen Regenfällen brach die Ponte Morandi so unvermittelt in sich zusammen, dass einige dachten, sie sei vom Blitz getroffen worden. Die Katastrophe forderte 43 Menschenleben, zerstörte zahlreiche Wohn- und Geschäftsgebäude und legte jahrzehntealte Infrastrukturprobleme offen.

Videos vom Moment des Einsturzes zeigen, wie sich zuerst die Brückenfahrbahn durchbiegt – dann reißen Seile, eine Traverse bricht, Träger werden verdreht, Pfeiler stürzen ins Wasser. Im nächsten Augenblick knickt der 210 Meter lange zentrale Brückenabschnitt ein. Dazwischen die Schreie der Augenzeugen, die miterleben, wie die Insassen von mehr als 30 Fahrzeugen und drei Lastwagen 45 Meter in die Tiefe gerissen werden.

Warnsignale wurden ignoriert

Technisch gesehen war die Ponte Morandi ein Viadukt, keine Brücke – eine 1.182 Meter lange Seilkonstruktion über dem Polcevera-Tal von Genua. Sie verband nicht nur zwei Stadtteile miteinander, sondern bildete auch einen Teil des Fernverkehrsnetzes zwischen Italien und Frankreich. Die Brücke mit ihrem innovativen Design von Ingenieur Riccardo Morandi galt bei Fertigstellung 1967 als nationales Prestigeprojekt.

Doch das Verkehrsaufkommen in jenem Jahr lag nur bei etwa sechs Millionen Überfahrten pro Jahr. Anfang der 2000er Jahre hatte sich diese Zahl vervierfacht, und die Belastung war der Brücke immer deutlicher anzusehen. Doch die Warnsignale wurden aufgrund technischer Unwissenheit und politischer Vernachlässigung weitgehend ignoriert.

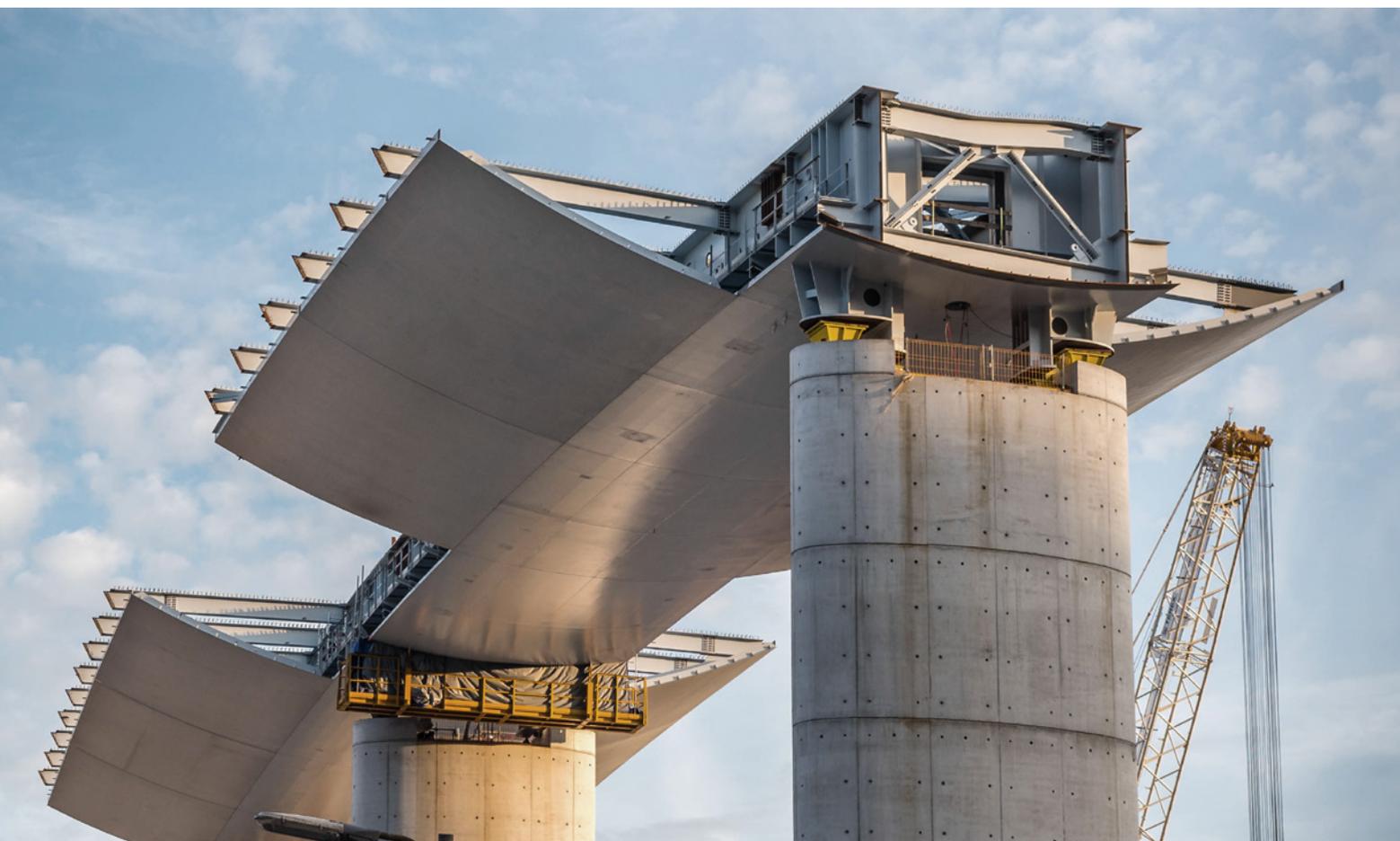
Nach der Katastrophe beschloss die Regierung, die Überreste der Ponte Morandi abzutragen und durch ein neues, sicheres und zuverlässiges Viadukt zu ersetzen. Der renommierte Architekt Renzo Piano aus Genua bot seine Dienste hierzu kostenlos an und der Bauauftrag für die neue Konstruktion mit dem späteren Namen Viadotto Genova-San Giorgio ging an PERGENOVA, ein speziell für das Projekt gebildetes Konsortium.

Bau mit vielen Herausforderungen

Aus Zeitgründen gab es keine formelle Ausschreibung, allerdings verfügte PERGENOVA über ausgezeichnete Referenzen. Das Baukonsortium bestand aus drei Unternehmen: Fincantieri Infrastructure, einer Tochtergesellschaft von Fincantieri SpA, Italiens größtem Schiffbauunternehmen, WeBuild SpA, Italiens größtem Baukonzern und Generalunternehmer (damals noch Salini Impregilo), sowie Italferr, einem staatlichen Ingenieurbüro mit dem Schwerpunkt Verkehrsinfrastruktur.

Fincantieri Infrastructure ist spezialisiert auf komplexe Ingenieur-, Beschaffungs- und Bauprojekte mit Stahl, darunter Brücken, Hafenanlagen und Sportstätten. Das Know-how des Unternehmens basiert auf der langjährigen Erfahrung des Mutterkonzerns im Schiffbau.

Obwohl die Sicherheit immer ein wichtiger Aspekt im Brückenbau ist, verlangten die Umstände des Genua-Projekts von PERGENOVA, diesem Thema eine noch höhere Priorität einzuräumen. Bei der Wahl der Zulieferer und Subunternehmer spielten neben hervorragenden Referenzen auch wettbewerbsfähige Kosten und die Schnelligkeit der Umsetzung eine Rolle. ➔



Die Bauausführung wurde von sowohl vorhersehbaren als auch unerwarteten Herausforderungen begleitet. Erstere waren zum Beispiel der enge Zeitplan und die schwere Zugänglichkeit der Baustelle. Der Abriss der Überreste der alten Brücke zog sich bis Ende Juni 2019, zumal auch die Anwohner in dem Vorhaben berücksichtigt werden mussten. Unvorhergesehene Komplikationen waren mehr als 100 Regentage – ein Jahrhundertrekord – seit Ende 2019. Anfang 2020 folgte die COVID-19-Pandemie.

Viele innovative Lösungen

Lorenzo Sartori, Leiter des technischen Büros bei Fincantieri Infrastructure, stellt fest:

„Bei der Planung war es wichtig, die Brücke konzeptionell einfach und sicher zu halten, aber auch eine schnelle und unkomplizierte Produktion und Errichtung zu gewährleisten.“

Sie ist 1.067 Meter lang und besteht aus 19 Stahlbeton-Teilstücken zwischen 18 Brückenpfeilern aus armiertem Beton. Die Konstruktion erinnert bewusst an den Rumpf eines Schiffes – eine Hommage an Genuas Rolle als Hafenstadt und die Symbolbedeutung des Projekts. Sartori beschreibt die Kooperation seines Unternehmens mit Renzo Piano als „einmalige Chance, mit einem Architekturgenie zusammenzuarbeiten“.

Zu den Innovationen des Projekts zählten:

- Die Überwindung vieler bürokratischer Hindernisse, um den Projektabschluss zu beschleunigen.
- Die Verringerung der Umweltbelastung durch Solarmodule, die Energie für den Betrieb von Beleuchtung, Sensoren und andere Brückenanlagen liefern.
- Ein spezielles Entwässerungssystem zur Vermeidung von salzhaltigem Kondensat, das die Konstruktion im Laufe der Zeit schwächen könnte.
- Vier Roboter, die kontinuierlich beide Seiten der Fahrbahnunterseite abfahren und auf mögliche Unregelmäßigkeiten untersuchen und diese an eine rund um die Uhr besetzte Leitstelle melden.

Zusammenarbeit als Schlüssel zum Erfolg

Die Ponte Genova San Giorgio wurde am 3. August 2020 nach einer Bauzeit von lediglich 15 Monaten eingeweiht. Es ist noch zu früh, die Leistungsfähigkeit der Konstruktion im Laufe der kommenden Jahre zu beurteilen, doch ihre Ästhetik, Funktionalität und symbolische Bedeutung sind unbestreitbar. Sartori fügt hinzu: „Das Projekt war eine persönliche und berufliche Erfahrung für zahlreiche Menschen mit unterschiedlichstem Hintergrund, die tagtäglich alles gegeben und gezeigt haben, was möglich ist, wenn alle gemeinsam auf ein Ziel hinarbeiten.“



Die Überreste der alten Brücke mussten abgerissen werden, um Platz für die neue Konstruktion zu schaffen.

TECHNISCHE ASPEKTE EINE BEWÄHRTE SCHEIBE FÜR EINE SYMBOLTRÄCHTIGE BRÜCKE



Luca Gheddo
GENERAL MANAGER,
NORD-LOCK GROUP ITALIEN



Frank Götz
INDUSTRY MANAGER,
NORD-LOCK GROUP

Die Herausforderung war groß, als Luca Gheddo, General Manager von Nord-Lock S.r.l., und Lorenzo Sartori, Leiter des technischen Büros bei Fincantieri Infrastructure, im August 2019 zusammenkamen.

Die für Genua geplante neue Brücke benötigte Schraubenverbindungen, welche auch unter dynamischen Belastungen und Erschütterungen, sich keineswegs lösen konnten.

Erschwerend kam hinzu, dass diese Schrauben nach der Montage nicht mehr regelmäßig kontrolliert – oder gar nachgezogen – werden können. Die Lösung waren Nord-Lock Keilsicherungsscheiben, mit denen jede Schraubenverbindung durch Vorspannkraft statt Reibung gesichert wird.

Die Keilsicherungsscheiben weisen eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf und bieten damit die für die rauen Umgebungsbedingungen von Genua, Italiens verkehrsreichster Hafenstadt, erforderliche Dauerhaftigkeit. Dies wurde in mehr als 1.000 Stunden Salzsprühnebeltest nach ISO 9227 nachgewiesen.

Laut Frank Götz, Stahlbauexperte bei der Nord-Lock Group, stoßen Nord-Lock Keilsicherungsscheiben bei einigen Ingenieuren auf Zurückhaltung, weil befürchtet wird, dass sie nicht die Vorgaben der europäischen Ausführungsnorm für Stahltragwerke EN 1090-2 erfüllen.

Tatsächlich erfüllen Nord-Lock Keilsicherungsscheiben aber diese Anforderungen und verringern gleichzeitig die Lebenszykluskosten.

Sartori war überzeugt von den Nord-Lock Keilsicherungsscheiben, die aufgrund ihrer spezifischen Merkmale gewählt wurden. Sie helfen bei der Sicherung der Rahmen der Fahrbahnträger sowie der Brückenrampe, wobei die Keilsicherungstechnologie dafür sorgt, dass sich die gesicherten Schrauben auch bei starken Schwingungen und dynamischen Lasten, die bei Brücke und Rampe vorherrschen, nicht von selbst lösen können.

Zusätzlich wurden Keilsicherungsscheiben speziell für Stahlkonstruktionen und HV/HR-Schraubensets (hochfest vorspannbare Garnituren für Schraubenverbindungen im Metallbau) entwickelt. Sie finden sich an den Brückenplattformen, wo die Fahrbahnunterseite von VDC-Robotern (Vehicle dynamic control) überwacht wird, um Unregelmäßigkeiten zu erkennen und zu melden.

Fincantieri Infrastructure war nicht nur mit den technischen Eigenschaften der Keilsicherungsscheiben zufrieden, sondern auch mit der Schnelligkeit, mit der Nord-Lock für die notwendige Zertifizierung, technische Unterstützung und Produktbereitstellung sorgte. Die ersten Bestellungen wurden im Januar 2020 ausgeliefert, erinnert sich Gheddo, und die Nord-Lock Group freut sich, bei diesem wichtigen und herausfordernden Projekt eine so entscheidende Rolle gespielt zu haben.



KANN EINE ROBUSTE INFRASTRUKTUR VOR KATASTROPHEN SCHÜTZEN?

Text Ulf Wiman Foto TerenceLeezy/Getty Images

Die International Disaster Database (EM-DAT) ist nichts für schwache Nerven. Sie ist im Grunde eine endlose Liste menschlichen Leidens, ökologischer Katastrophen und wirtschaftlicher Abgründe. Erfasst und beschrieben werden in der Datenbank das Auftreten und die Auswirkungen von mehr als 22.000 Katastrophen weltweit seit dem Jahr 1900. Dazu zählen zum Beispiel Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Taifune, Erdbeben, Dürren, Erdbeben, Hitzewellen und Waldbrände.

Daneben listet sie vom Menschen verursachte Katastrophen wie gesunkene Schiffe, Flugzeugabstürze, Brände und Explosionen sowie Mineneinbrüche und Eisenbahnunglücke. Es finden sich aber

auch Einträge wie eine Massenpanik in einer Disco.

Die Zahl der Katastrophen nimmt zu
Angesichts der Fülle von Katastrophen überrascht es nicht, dass es sogar einen Internationalen Tag der Katastrophenvorbeugung gibt. Seit 1989 wird er jährlich am 13. Oktober durch die Vereinten Nationen zur „Förderung des Risikobewusstseins und der Katastrophenvorsorge“ ausgerufen.

Im Zusammenhang mit diesem Ereignis gab das Büro der Vereinten Nationen für Katastrophenvorsorge (UNDRR) 2020 einen Bericht mit dem Titel „Human cost of disasters: An overview of the last 20 years, 2000–2019“ heraus. Im Vorwort schreibt

Eine wachsende Zahl von Naturkatastrophen sowie vom Menschen verursachten Katastrophen setzt Infrastrukturen einem immer größeren Druck aus. Ingenieurwesen kann einen wesentlichen Beitrag zu mehr Widerstandsfähigkeit leisten, was der Gesellschaft überall auf der Welt zugutekommt.

Mami Mizutori, Sonderbeauftragte des Generalsekretärs für Katastrophenvorsorge und Leiterin des UN-Büros für Katastrophenvorsorge, zusammen mit Debarati Guha-Sapir, Professorin am Zentrum für Forschung zur Epidemiologie von Katastrophen, Institut für Gesundheit und Gesellschaft der UCLouvain in Belgien:

„Zwanzig Jahre ist dieses neue Jahrhundert alt, und mit jedem weiteren Jahr nimmt das Katastrophenrisiko neue Formen und Dimensionen an. Katastrophen lassen nie lange auf sich warten, die Risiken stehen in zunehmendem Maße miteinander in Verbindung. Die Risikofaktoren und -folgen vervielfachen sich und kaskadieren und kollidieren damit auf unvorhergesehene Weise.“



Mizutori und Guha-Sapir fahren fort: „Während sich dieser Bericht in erster Linie mit dem schwindelerregenden Anstieg klimabedingter Katastrophen in den letzten zwanzig Jahren befasst, unterstreicht er auch die Notwendigkeit zur Stärkung der Katastrophenvorsorge für das gesamte Spektrum von Natur- und vom Menschen verursachten Gefahren, einschließlich der damit verbundenen ökologischen, technologischen und biologischen Gefahren und Risiken.“

Entscheidend für die Stärkung der Katastrophenvorsorge

Zu den klimabedingten Katastrophen zählen beispielsweise meteorologische, klimatologische oder hydrologische Katastrophen. In den ersten zwei Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts hat sich ihre Zahl fast verdoppelt. Die meisten der 7.348 gemeldeten Katastropheneignisse waren Überschwemmungen, gefolgt von Stürmen. Berechnungen zufolge forderten die Katastrophen 1,23 Millionen Todesopfer und hatten Konsequenzen für rund 4,03 Millionen Menschen. Der weltweite wirtschaftliche Schaden belief sich auf schätzungsweise 2,97 Billionen US-Dollar.

Neben dem UNDRR haben sich viele Initiativen und Organisationen auf der ganzen Welt das Ziel gesetzt, diesen Trend umzukehren. Ein Beispiel dafür ist das UN Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030.

Ziel ist es, „neue Katastrophenrisiken zu verhindern und bestehende zu reduzieren, indem integrierte und inklusive wirtschaftliche, strukturelle, juristische, soziale, gesundheitliche, kulturelle, bildungsrelevante, ökologische, technologische, politische und institutionelle Maßnahmen umgesetzt werden, die die Gefährdung und Anfälligkeit für Katastrophen verhindern und reduzieren, die Bereitschaft zu Reaktion und Wiederaufbau erhöhen und damit die Widerstandsfähigkeit stärken.“

Im Hinblick auf die Maßnahmen gelten vier Prioritäten:

1. Verständnis des Katastrophenrisikos
2. Stärkung der Katastrophenvorsorge zur Steuerung des Katastrophenrisikos
3. Investitionen in die Katastrophenvorsorge zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit

4. Optimierung der Katastrophenvorsorge für eine wirksame Reaktion und einen schnelleren Wiederaufbau nach Katastropheneignissen

Der Schutz von Menschenleben, Lebensgrundlagen und der Gesundheit steht an erster Stelle, aber auch die Verringerung von Katastrophenschäden an kritischen Infrastrukturen und Dienstleistungen ist von großer Bedeutung.

Infrastruktur hält Gesellschaft zusammen

Eine intakte Infrastruktur ist der Kitt unserer modernen Gesellschaft, der diese zusammenhält und dafür sorgt, dass sie funktioniert. Ohne funktionierende Straßen, Schienen, Brücken, Tunnel, Wasser- und Abwasserleitungen oder Stromnetze würden wir mit großer Wahrscheinlichkeit im Chaos versinken. Und stellen Sie sich eine Welt ohne Internet oder Telekommunikation vor. „Wie stünde es dann um unseren Fortschritt und Innovationen?“ ☺

4:1

Jeder in
Infrastrukturanpassungen
investierte US-Dollar
zahlt sich schätzungsweise
in vierfacher Höhe aus.

470 Mio.

Zahl der Menschen in 45 Städten, die
bis 2030 mit extremer Wasserknappheit
zu rechnen haben, gegenüber dem
derzeitigen Stand von 255 Millionen.



94 Bio. USD

Die weltweite Infrastrukturlücke bedeutet,
dass bis 2040 schätzungsweise 94 Billionen
US-Dollar in globale Infrastruktur investiert
werden müssen.



650 Mrd. USD

Klimabedingte Katastrophen haben die Welt
in den letzten drei Jahren über 650 Milliarden
US-Dollar gekostet.

Widerstandsfähigkeit

Die Fähigkeit eines Systems, einer Gemeinschaft oder einer Gesellschaft, den Auswirkungen einer Gefahr rechtzeitig und effizient standzuhalten, sie zu absorbieren, sich daran anzupassen, sie zu transformieren und sich von ihnen zu erholen, auch durch die Erhaltung und Wiederherstellung der wesentlichen Strukturen und Funktionen mittels Risikomanagement.

Widerstandsfähigkeit von Infrastruktur

Die Fähigkeit, veränderten Bedingungen standzuhalten und sich daran anzupassen sowie sich von Schäden zu erholen.

Quellen: resilienceshift.org und undrr.org

Laut The Resilience Shift, einer gemeinsamen Initiative der Lloyd's Register Foundation und des Dienstleistungsunternehmens Arup, sind „durch das Wachstum der Weltbevölkerung und die Verstädterung mehr Menschen als je zuvor von den kritischen Diensten der Infrastruktursysteme abhängig. Fällt eines dieser Systeme aus, drohen katastrophale Folgen für die öffentliche Sicherheit und Gesundheit, die Umwelt und die Wirtschaft.“

Schätzungen zufolge werden bis 2050 fast 70 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben. Das Problem nimmt also immer weiter zu.

The Resilience Shift weist darauf hin, dass auch der Klimawandel und Cyberangriffe ernste Bedrohungen darstellen, weshalb es schwierig ist, Störungen der kritischen Infrastrukturen vorherzusagen oder zu verhindern. „Es ist wichtig, dass die Infrastruktur auf Bedrohungen vorbereitet ist, die sich antizipieren lassen. Zudem muss sie auf unerwartete Situationen reagieren können, damit die überaus wichtige Versorgung der Gesellschaft sichergestellt bleibt.“

Ingenieurwesen spielt eine entscheidende Rolle

Der Aufbau einer widerstandsfähigen Infrastruktur ist ein vielschichtiges Gebiet, das von der Planung, Finanzierung und Konstruktion über den Betrieb bis hin zu Wartung und Instandhaltung reicht.

Verschiedene Teildisziplinen des Ingenieurwesens, beispielsweise Hochbau und Maschinenbau, können eine entscheidende Rolle

sowohl bei der Schaffung als auch bei der Nachrüstung sicherer, nachhaltiger und widerstandsfähiger Lösungen spielen.

Bei der Planung und Entwicklung kritischer Infrastrukturen muss das Ingenieurwesen eine breitere Perspektive berücksichtigen – von potenziellen Gefahren über Reaktions- und Anpassungsmaßnahmen im Falle einer Katastrophe bis hin zur anschließenden Wiederherstellung der Funktion.

The Resilience Shift befürwortet einen Wandel „der Denkweise über Infrastruktur im Hinblick auf das, was sie ist, hin zu dem, was sie tut. Anstatt bestimmte Konstruktionsschwellen mit ausfallsicheren Systemen zu versehen, braucht es Anlagen, die mit begrenzten Folgen sicher ausfallen und anschließend schnell ihre Funktion wieder aufnehmen können.“

Eine Grundlage für künftige Generationen

Im Zuge des allgemeinen Fortschritts werden Ingenieure eine immer wichtigere Rolle bei der Entwicklung, Herstellung und Instandhaltung einer nachhaltigen, sicheren und widerstandsfähigen kritischen Infrastruktur spielen. Damit tragen sie zur Schaffung und Aufrechterhaltung der Grundlagen für eine gut funktionierende Gesellschaft für künftige Generationen bei. Außerdem leisten sie einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung auf der ganzen Welt.

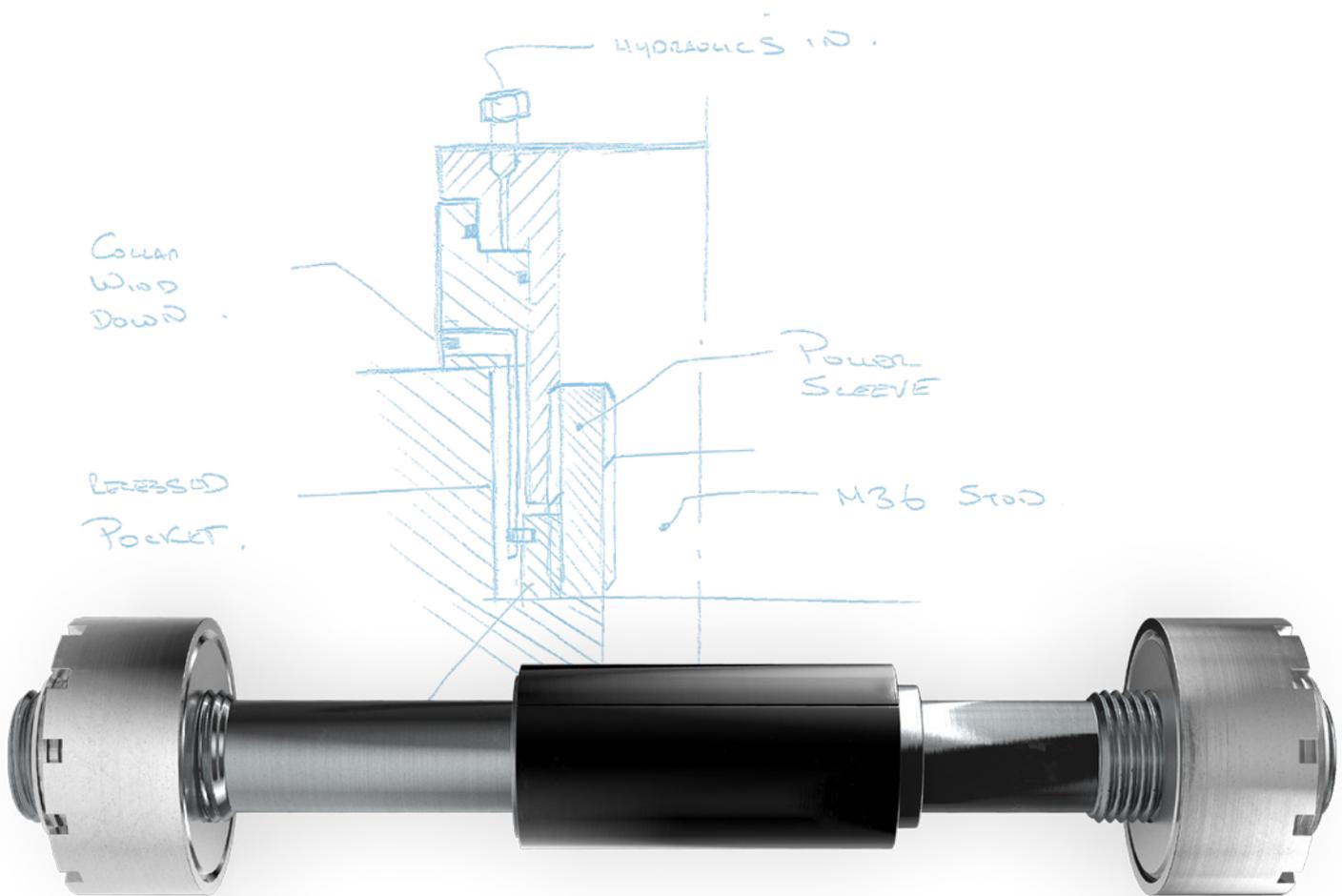
Lesen Sie mehr über technische Lösungen für Nachhaltigkeit und Widerstandsfähigkeit im Themenartikel auf Seite 14.



VOM WEISSEN BLATT PAPIER ZU EINER NEUEN GENERATION VON KUPPLUNGSVERBINDUNGEN

Schon zu Beginn seines Berufslebens befasste sich Steve Brown für ein Unternehmen in seiner Heimatregion Manchester mit Kupplungsverbindungen.

Mit der Entwicklung einer neuen Generation von Kupplungsbolzen, mit der eine Reihe von Sicherheitsproblemen endlich der Vergangenheit angehören, schließt sich nach 30 Jahren nun der Kreis. >



„Wie würden wir es angehen, wenn es noch keine Lösung auf dem Markt gäbe?“ Das war die Denkweise, als sich ein Team aus erfahrenen Ingenieuren an die Entwicklung einer neuen Generation hydraulischer Kupplungsbolzen machte. Das Ergebnis? Superbolt HyFit.

Text und Foto Jörgen Lindström

„Wir hatten schon am Anfang eine Menge Ideen, sagten uns dann aber: Nein, diesmal machen wir es nicht so. Das gab es doch alles schon. Lass uns von vorne beginnen, auf einem weißen Blatt Papier.“, sagt Steve Brown, Global Product Manager, Expansion Bolts, bei der Nord-Lock Group.

Vorrangiges Ziel war von Anfang an, einen hydraulisch betätigten Kupplungsbolzen zu entwickeln, der für den Anwender nicht nur einfacher, sondern auch viel sicherer zu handhaben ist.

„Wer den Aufwand kennt, um einen festgefressenen Kupplungsbolzen zu entfernen, der kann sich vorstellen welchem Stress und Ärger die mit der Arbeit betraute Mannschaft ausgesetzt ist. Daher war unser Anspruch eine Lösung zu finden, damit diese Umstände endlich der Vergangenheit angehören.“ sagt Steve Brown.

Er und seine Ingenieurskollegen waren sich der enormen Herausforderungen rund um hydraulisch betätigte Kupplungsbolzen durchaus bewusst. Zum Beispiel, dass bei Anwendungen mit hohen Rotationsgeschwindigkeiten kein wesentlicher Gewindeüberstand über die Mutter hinaus vorhanden sein darf.

„Eine Dampf- oder Gasturbine dreht sich entweder mit 3.000 oder 3.600 U/min, weshalb es zu enormen Turbulenzen kommen würde, wenn während dem Betrieb der Maschine etwas aus der Kupplung ragt“, erklärt Steve Brown.

Bei herkömmlichen Systemen wird über ein Zuggewinde ein zusätzlicher Zugstab in den Hauptbolzen eingeschraubt, der wiederum dem Spannzylinder zum Eingriff dient. Konstruktionsbedingt hat jenes Zuggewinde einen wesentlich kleineren Durchmesser als der Hauptbolzen, wodurch diese Verschraubung grenzwertigen Belastungen ausgesetzt wird.

„Wir wollten auf das herkömmliche innenliegende Zuggewinde unbedingt verzichten, weil die Gefahr besteht, dass der Zugstab aus dem Innengewinde abstreift, was zu katastrophalen Unfällen führen könnte.“

„Herzstück der Lösung ist eine mit zusätzlichem Aussengewinde gestaltete Mutter, auf der das hydraulische Vorspannwerkzeug sicher aufgeschraubt werden kann.“



„Da beim Superbolt-HyFit ein größerer Gewindedurchmesser zur Verfügung steht, können wir die Eingriffshöhe des Gewindes ohne Verlust von Scherfläche reduzieren. Der vorhandene Gewindeeingriff ist aber immer noch so großzügig bemessen, dass wir die Mutter mit voller Kraft beaufschlagen können, ohne das es zu Sicherheitsproblemen kommen wird“ führt Steve Brown weiter aus.

Auch wenn er mit dieser Lösung bereits zufrieden war, wollte er das Verfahren noch sicherer machen. Bei den althergebrachten Verfahren wird mit zwei unterschiedlichen Arbeitsdrücken montiert – ein Montage- und ein Spreizdruck zum Spreizen der Hülse und ein weiterer für die Axialspannung. Beide Verfahren setzen auf den gleichen Spannzylinder.

„Wir wollten einen Weg finden, um zu verhindern, dass jemand zur falschen Zeit den falschen Druck anwendet. Dann kam es mir plötzlich: Mit zwei separaten, unterschiedlich dimensionierten Spannzylindern ist es möglich, mit nur einem Betriebsdruck auszukommen.“

Der Schlüssel zur Lösung war der Einsatz einer Boltight Hydraulikmutter zum Spreizen der Hülse in der Bohrung, sowie eines hydraulischen Spannzylinders zur Vorspannung des Bolzens in axialer Richtung.

Da der Spannzylinder eine größere Kolbenfläche als die Hydraulikmutter aufweist, kann für beide Arbeitsgänge derselbe Druck genutzt werden.

Anders ausgedrückt: nur ein Betriebsdruck und zwei unterschiedlich gestaltete Spannzylinder, um deutlich zu machen, welcher wohin gehört.

„Das klingt jetzt so einfach, aber ich schätze, es ist bisher einfach keinem eingefallen. Ich bin froh, dass wir auf die Idee gekommen sind, weil sie das Verfahren absolut sicher macht. Es besteht keinerlei Gefahr mehr, dabei irgendetwas zu verwechseln“, sagt Steve Brown.

Der Ausbau der Kupplungsbolzen ist nun tatsächlich ohne Einschraubzugwinde oder Ölinjektion möglich. Aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten ist das eine weitere wichtige Verbesserung gegenüber herkömmlichen Methoden. An dem Projekt waren Ingenieure der Nord-Lock Standorte St. Gallenkappel in der Schweiz, Walsall in Großbritannien und Pittsburgh in den USA beteiligt.

„Es gab viele Treffen in der Schweiz und Großbritannien bei denen das HyFit Design viele Verfeinerungen erfahren hat. COVID-19 hat all dem natürlich ein Ende gesetzt. Um dennoch diese letzte Phase der Produktentwicklung zu erreichen, haben wir viele Stunden mit Diskussionen, Berechnungen und Analysen per Online-Meeting verbracht“, erinnert sich Steve Brown.

Steve Brown stammt aus Großbritannien und lebt in Australien, wo er vor kurzem sein 31. Jubiläum in der Welt der Verschraubungstechnik feierte. Schon zu Beginn seines Berufslebens in einem Unternehmen, in seiner Heimatregion Manchester, befasste er sich mit Kupplungsverbindungen.

„Ich habe das Gefühl, dass sich der Kreis nun schließt. Alles begann mit einer hydraulischen Kupplung – und jetzt hatte ich die Ehre, an der Entwicklung einer völlig neuen Generation von Kupplungen mitwirken zu dürfen. Das ist ein ziemlich erfüllendes Gefühl.“





PLANUNG FÜR
**EINE SICHERERE
WELT**

Wie Zuverlässigkeit Ingenieuren hilft, konkurrierende Anforderungen auszugleichen

Naturkatastrophen werden wahrscheinlich einmal als prägendes Merkmal des 21. Jahrhunderts angesehen werden. Von Hitzewellen in Australien über Waldbrände im Westen der Vereinigten Staaten bis hin zu Hurrikanen in der Karibik und Überschwemmungen in Südostasien – die Auswirkungen auf die Menschheit sind gravierend. Weiter verschärft wird das Problem durch unzuverlässige Gebäude, Installationen und Infrastrukturen.

Bau- und Maschinenbauingenieure müssen diese unerwarteten Ereignisse einkalkulieren und gleichzeitig die Nachfrage nach günstigeren, leichteren und effizienteren Materialien und Konstruktionen berücksichtigen. Ist es überhaupt realistisch, dass Ingenieure inmitten dieser Herausforderungen Raum für Zuverlässigkeit finden?

Es hilft durchaus, einen Schritt zurück zu gehen und sich vor Augen zu führen, dass gegensätzliche Anforderungen für Ingenieure nichts Neues sind. Auch wenn die Anforderungen scheinbar größer sind als je zuvor, handelt es sich dabei nicht um eine dramatische Veränderung.

Besser, schneller, billiger

Fred Schenkelberg ist Ingenieur und Berater für Betriebssicherheit, der seit über 20 Jahren auf dem Gebiet der Zuverlässigkeit arbeitet und lehrt. Seiner Erklärung nach ist die aktuelle Situation nicht so radikal, wie sie uns vorkommt: „Die Erwartung ‚besser, schneller, billiger‘ gab es schon immer. Man könnte höchstens sagen, dass sich die Entwicklung beschleunigt hat.“

„Doch das ist die Kunst der Ingenieurtechnik: Kompromisse einzugehen und konkurrierende Anforderungen miteinander in Einklang zu bringen.“

„Ein Entwicklungsteam hat in den meisten Fällen ein Kostenziel, ein Datum, an dem das Projekt fertig sein soll, sowie funktionspezifische Ziele. Diesen kommt im Entwicklungsprozess eine hohe Bedeutung zu, da die Beteiligten kontinuierlich daran gemessen werden. Als Experte für Betriebssicherheit setze ich mich dafür ein, dass auch die Berücksichtigung der Zuverlässigkeitsleistung in allen Phasen der Entwicklung sichtbar wird“, erklärt Fred Schenkelberg.

Eine der Möglichkeiten, wie diese Sichtbarkeit verbessert wird, ist entsprechendes Design für Zuverlässigkeit – ein Konzept, das viele der in der Zuverlässigkeitstechnik entwickelten Instrumente und Methoden vereint.

Zuverlässigkeit über den gesamten Lebenszyklus

Design for Reliability (DfR) ist ein sukzessiver Prozess zur Unterstützung der Zuverlässigkeit über den gesamten Lebenszyklus, von der Konzeption bis zum Recycling. Daraus ergibt sich, dass DfR nicht ausschließlich Aufgabe von Zuverlässigkeitsexperten ist. Auf Organisationsebene entwickelt und angewendet, gibt es die Richtung für die Planung, Herstellung und Instandhaltung vor und kann somit potenziell jeden Bereich eines Unternehmens involvieren.

Wenn es ein grundlegendes Prinzip gibt, das DfR unterstreicht, dann, dass Zuverlässigkeit am Punkt der Entscheidung stattfindet. Vor diesem Hintergrund muss Zuverlässigkeit also schon lange vor der physischen Fertigstellung berücksichtigt werden. ☺

Wichtigste Eckpunkte von Design for Reliability



Um dies zu erreichen, ist ein gutes Verständnis dessen wichtig, was Zuverlässigkeit ist. Im Maschinenbau bedeutet Zuverlässigkeit die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gegenstand seine beabsichtigte Funktion unter bestimmten Bedingungen für einen bestimmten Zeitraum erfüllt.

Mit diesem allgemeinen Verständnis von Zuverlässigkeit können dann die Zuverlässigkeitsanforderungen identifiziert und definiert werden – diese decken sich wahrscheinlich mehr oder weniger mit den Erwartungen der Kunden. Erst wenn die Anforderungen klar sind, sollte die Entwicklung beginnen.

Keine Universallösung

Es gibt kein allgemein akzeptiertes Modell für DfR, aber jede Definition umfasst wahrscheinlich die folgenden grundlegenden Schritte, wie in der Grafik links dargestellt.

Der Prozess geht jedoch nicht nur in eine Richtung. Es wird erwartet, dass die Phasen Planung, Analyse und Verifizierung mehrmals überprüft werden, bis zur Marktreife. Innerhalb dieser Phasen können beliebig viele Instrumente, Tests und Prozesse zur Anwendung kommen, um die Schwachstellen, Toleranzen und die Robustheit offenzulegen. Schenkelberg bringt DfR wie folgt auf den Punkt:

„Es handelt sich um Regeln, Richtlinien und Maßnahmen, die Entscheidungsträgern wie Technikern, Ingenieuren und Führungskräften helfen, die Auswirkungen von Zuverlässigkeit vollständig zu begreifen.“

„Dabei geht es aber nicht um fest definierte Instrumente oder Maßnahmen. Jede Situation, jedes Produkt und jede Anwendung ist anders“, so Fred Schenkelberg.

Zurück zum Mehrwert

Diese Unterschiede sind entscheidend, da es zu Problemen führen kann, wenn DfR lediglich als Übung zum Abhaken einer Liste betrachtet wird.

„Ein Fallstrick für Unternehmen besteht darin, sich auf der bisher erbrachten Qualität auszuruhen und den steigenden Zuverlässigkeitsanforderungen und Erwartungen der Kunden nicht zu folgen. Das ist gefährlich, weil das nächste Projekt unter Umständen andere Anwendungen oder ein anderes Ziel hat oder für einen anderen Kunden bestimmt ist“, erklärt Fred Schenkelberg.

„Schnell wird daraus eine Checklisten-Mentalität nach dem Motto: ‚Wir machen diese beiden Tests, setzen das Produkt für zwei Stunden Schwingungen aus, und dann war es das.‘



Fred Schenkelberg
INGENIEUR UND BERATER
FÜR BETRIEBSSICHERHEIT

Aber schafft man damit tatsächlich einen Mehrwert? Besser ist es, einen Schritt zurück zu gehen und darüber nachzudenken, welche Tests mögliche Probleme aufdecken, die in der Zukunft auftreten könnten.“ Um zukünftige Probleme identifizieren zu können, ist aber etwas notwendig, das oft vermieden wird: den Ausfall zu provozieren.

Die Vorteile des Versagens

Das Testen bis zur Versagensgrenze kann hilfreich sein, um die Zuverlässigkeit zu beurteilen. Dieser Ansatz kann jedoch mit den üblichen Grundsätzen von Planung und Entwicklung kollidieren.

„Konstrukteure und Ingenieure planen in der Regel von der Versagensgrenze weg – im Entwicklungsprozess geschieht das oft auch unbewusst“, sagt Schenkelberg und fährt fort:

„Was die Zuverlässigkeitstechnik leisten kann, ist, Versagensfälle sichtbar zu machen.“

„Es ist wichtig, aus Fehlschlägen lernen zu können. Zu oft beginnt eine Prüfung mit dem Ziel, die Funktions- oder Leistungsfähigkeit nachzuweisen. Da werden zum Beispiel Tests in Bedingungen durchgeführt, in der mit einem positiven Ergebnis zu rechnen ist. Möchte man aber stattdessen etwas herausfinden, was man noch nicht weiß, sollte ein Test bis an die Versagensgrenze führen.“

„Auf diese Weise lässt sich mehr über die Art des Ausfalls feststellen, wie sich dieser manifestiert und welche Belastungen zusammenkommen müssen, um diesen Punkt zu erreichen. Es gibt dafür verschiedene Ansätze, die aber alle die Bereitschaft voraussetzen, nach Fehlern zu suchen.“

Eine Möglichkeit, potenzielle Fehlerquellen auszumerzen, ist ein sogenannter Highly Accelerated Life Test (HALT). Dieser kann im Rahmen der Überprüfungs- und Validierungsphase von DfR zur Anwendung kommen.

Was echte Zuverlässigkeit bedeutet

„Für mich ist HALT eine Art Entdeckungsprozess“, sagt Schenkelberg. „Im Grunde geht es darum, verschiedene für die Anwendung relevante Belastungen so lange zu verstärken, bis es zum Ausfall kommt. Auf diese Weise erfährt man, ob das Versagen an der erwarteten Belastungsgrenze eintritt, und kann darauf basierend Entscheidungen treffen. Daneben lassen sich so Erkenntnisse über die Art und Weise des Ausfalls gewinnen.“

In Wissenschaft und Praxis wurden mögliche Belastungen definiert, denen Gebäude, Anlagen und Infrastruktur infolge des Klimawandels sowie anderer katastrophaler Ereignisse ausgesetzt sind. Während diese Ereignisse neue Anforderungen an die Ingenieure stellen, ändern sich vor allem das Ausmaß und das Zusammenwirken der einzelnen Belastungen.

Das gezielte Provozieren eines Versagens, so Schenkelberg, bietet Erkenntnisse über die wahre Zuverlässigkeit und Robustheit sowie die Fähigkeit, unerwarteten Ereignissen standzuhalten.

Text Brian Cloughley Foto NTAenk/Shutterstock

ENTWICKLUNG ZUVERLÄSSIGER SCHRAUBENVERBINDUNGEN MIT NORD-LOCK

Laut Cyril Cadoux, Technical Manager für Europa, ist die Entdeckung potenzieller Fehlerquellen Teil vieler Testverfahren, die Nord-Lock regelmäßig anwendet.

„Schraubenverbindungen müssen wir nur selten bis zum Versagen testen, weil wir über das richtige Know-how verfügen, um die Ursache von beschädigten Teilen zu bestimmen. Die Auswertung einiger tausend Zyklen hilft uns bereits, einen gewissen Trend zu erkennen. Diese wichtigen Erkenntnisse geben uns das nötige Vertrauen in die Zuverlässigkeit unserer Produkte, um eine lebenslange Garantie anbieten zu können“, sagt er.



Cyril Cadoux
TECHNICAL MANAGER,
NORD-LOCK GROUP EUROPE

„Aber es reicht nicht, unser Produkte isoliert zu betrachten und lediglich nachzuweisen, dass sie widerstandsfähig und zuverlässig sind. Wir testen unsere Anwendungen und Keilsicherungsscheiben immer auch in den Umgebungen, in denen sie zum Einsatz kommen.“

„Auf dieser Grundlage sprechen wir mit unseren Kunden, bringen die Anwendungen in Erfahrung und nehmen tieferegehende Analysen vor. Wir versuchen, so viele Daten wie möglich zu gewinnen, und reproduzieren dann die einzelnen Szenarien. Manchmal lässt sich nicht alles aus 3D-Zeichnungen oder -Plänen ableiten, weshalb wir uns bei Bedarf auch vor Ort ein Bild verschaffen.“

„Das bedeutet, wir testen nicht nur Nord-Lock Produkte, sondern auch die Schraubenverbindungen unserer Kunden. Anhand unserer Analysen, Simulationen und internen Tools können wir unsere Kunden so individuell und passgenau beraten“, ergänzt Cadoux.

Sie möchten mehr erfahren? Lesen Sie unser Whitepaper über die Grundsätze für die Planung und Entwicklung sicherer Schraubenverbindungen in englischer Sprache unter www.nord-lock.com/safe-bolts.

Ebene und sichere Straßen, Gehwege oder fließendes Wasser, Strom, Gas und Telekommunikationsverbindungen zu jeder Tages- und Nachtzeit sind für uns eine Selbstverständlichkeit. Und doch nehmen wir im Alltag nur selten die Bagger und Baumaschinen wahr, die unsere lebenswichtige Infrastruktur erst möglich machen – und wenn, dann nur wegen ihres Lärms.

EXPANDER SYSTEM VERLÄNGERT DIE LEBENSDAUER VON BAGGERN

Text Christina Mackenzie Fotos Thomas Desmerger

Montchanin, eine Stadt zwischen Paris und Genf im französischen Burgund, ist die Heimat eines erfolgreichen familiengeführten Mittelständlers mit 250 Mitarbeitern: Pascal Guinot TP. Das 1993 gegründete Unternehmen stellt nicht nur die Gräben für öffentliche Infrastruktur her, sondern verlegt auch Strom-, Heizungs- und Telekommunikationsnetze sowie Wasserleitungen und Kanalisationen, verfüllt diese anschließend und stellt den ursprünglichen Zustand der Straßen wieder her. Zudem führt das Unternehmen Erdarbeiten durch, legt Straßen und Gehwege, baut Parkplätze und unterstützt Privatkunden, beispielsweise beim Bau von Innenhöfen.

Teure und zeitaufwändige Reparaturen

„Unsere Kunden sind Kommunen, KMU, Industriekonzerne und gelegentlich auch Privatkunden“, sagt Thomas Desmerger, der für das Instandhaltungswerk des Unternehmens verantwortlich ist.

Für diese Arbeiten verfügt Pascal Guinot TP über rund 800 verschiedene Maschinen. Darunter sind auch 70 Bagger und Minibagger, die „45 Wochen im Jahr im Einsatz sind“, erklärt Desmerger. „Etwa die Hälfte dieser Bagger von verschiedenen Marken wie New Holland, Liebherr, Caterpillar, JCB und Mecalac befinden sich in unserem Besitz“, fährt er fort. „Für die anderen haben wir Mietkaufverträge mit Wartungsvereinbarung. Bis diese Maschinen unser Eigentum sind, haben

sie ungefähr die Hälfte ihrer zehnjährigen Lebensdauer hinter sich und werden von den Wartungsklauseln nicht mehr abgedeckt. Ab diesem Zeitpunkt sind wir selbst für die Wartung und Instandhaltung verantwortlich, und nach fünf Jahren fallen tatsächlich die ersten größeren Reparaturen an.“

Ausleger, Arm und Schaufel sind die Teile am Bagger, die am meisten verschleifen, wobei der Gelenkbolzen am Arm das größte Problem darstellt. „Wenn der Arm anfängt, instabil zu werden oder zu wackeln, kann der Bediener seinen Bagger und die Schaufel nicht mehr präzise führen“, erklärt Desmerger. Das Wackeln entsteht, wenn der Gelenkbolzen verschleißt und dadurch zu viel Spiel in der Gelenklagerung hat. „Früher mussten wir das Teil auseinandernehmen, das Problem durch Aufbohren und Schweißen beheben und natürlich alles wieder zusammenbauen. In der Folge war die Baumaschine mindestens einen Monat lang außer Betrieb. In dieser Zeit bringt uns das Gerät kein Geld ein“, fügt er hinzu. „Das teuerste an diesem Vorgang waren die Zerspanungsarbeiten, die wir nicht selbst erledigen konnten und die uns mit bis zu 2.000 Euro pro Gelenkbolzen ein kleines Vermögen kosteten.“

Verkürzung der Ausfallzeiten

Thomas Desmerger war bereits vor seiner Tätigkeit bei Pascal Guinot TP mit dem Expander System der Nord-Lock Group vertraut. „Ich arbeite seit mehr als

20 Jahren in dieser Branche und kenne natürlich die Produkte von Nord-Lock“, sagt er und schmunzelt. Und so schlug er die Expander System Gelenkbolzen als Lösung zur Verkürzung der Ausfallzeiten dieser Bagger vor. „Ich nahm Kontakt zur Nord-Lock Group auf, um unser Problem zu schildern, und erhielt eine Lösung.“

Sein Instandhaltungswerk konzentriert sich vor allem auf vorausschauende Wartungsarbeiten, damit die Bagger in den beiden saisonbedingt ruhigeren Phasen des Jahres (Januar und Februar wegen des Wetters und August, wenn viele im Urlaub sind) schnell repariert werden können. „Sobald der Bediener den Eindruck hat, dass sich der Gelenkbolzen lockert, nehmen wir alle erforderlichen Messungen vor, kommunizieren diese an Nord-Lock und erhalten dann eine Lösung dafür. Wir setzen das Expander System jetzt seit drei bis vier Jahren ein und erhalten immer zeitnah eine Antwort und entsprechende Hilfestellung. Die Nord-Lock Experten sind sehr professionell“, sagt er.

„Unser Ziel war es, die Lebensdauer unserer Maschinen zu verlängern und ihre Kosten zu senken.“

„Dank Expander System konnten wir die Ausfallzeiten unserer Maschinen um fast 70 % auf rund 10 Tage reduzieren. Das Geld ist also gut angelegt“, betont Desmerger.

TECHNISCHE ASPEKTE

Die Verbindungen zwischen Ausleger, Arm, Schaufel und Hydraulikzylinder an einem Bagger sind extrem anfällig für Verschleiß. Herkömmliche Reparaturmethoden sind teuer, kosten viel Zeit und müssen über die Lebensdauer der Maschine mehrfach wiederholt werden. Expander System ist eine dauerhafte Lösung für dieses Problem.

Das Expander System besteht aus einem Gelenkbolzen mit konischen Enden, zwei Spreizhülsen, zwei Spannscheiben und zwei Befestigungselementen. Nach dem Festziehen drückt die Sicherungsscheibe die geschlitzte Spreizhülse über die konischen Enden des Bolzens. Die Hülsen werden entsprechend dem Verschleißbild gespreizt und verriegeln das System in den Laschen der Gelenklagerung. Nach dem erneuten Festziehen wird das System an beiden Seiten verriegelt, wodurch die Stabilität deutlich zunimmt. Durch die Konusachse sind die Demontage und erneute Montage einfacher als bei herkömmlichen Zylinderbolzen.

Ein breites Produktsortiment für jede Maschine

Da die Bagger bei Pascal Guinot TP von unterschiedlichen Herstellern stammen, kommen keine einheitlichen Gelenkbolzen zum Einsatz. Wenn ein Bolzentausch ansteht, müssen nur noch die Gelenkdaten in ein Online-Maßblatt im Expander Webshop eingegeben werden. Daraufhin kontaktiert ein Sachbearbeiter der Nord-Lock Group den Kunden mit einem Lösungsvorschlag. Im Jahr 2019 erteilte Pascal Guinot TP acht Aufträge über mehr als 30 Gelenkbolzen sowie Ersatzteile.



KUNDE
PASCAL GUINOT TP

ORT
MONTCHANIN, FRANKREICH

BRANCHE
ÖFFENTLICHE ARBEITEN UND TIEFBAU

ANWENDUNG
BAGGERARME

DIE LÖSUNG
NORD-LOCK
EXPANDER SYSTEM

DIE ERGEBNISSE
VERLÄNGERUNG DER LEBENSDAUER DER
MASCHINEN, KOSTENSENKUNG, DEUTLICHE
REDUZIERUNG DER AUSFALLZEITEN



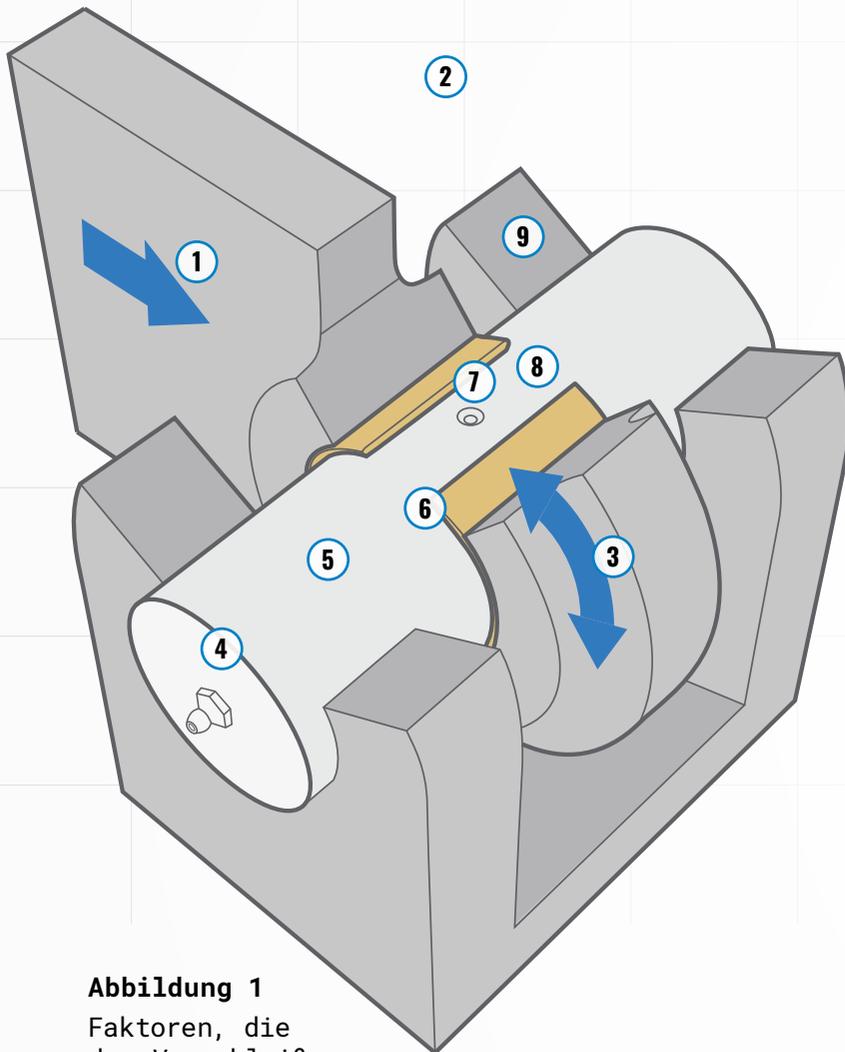
Thomas Desmerger
WERKSTATTLLEITER BEI
PASCAL GUINOT TP

Was beeinflusst den Verschleiß von Gelenkbolzen?

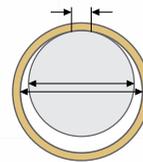


Mathias Olofsson
PRODUCT MANAGER,
EXPANDER DIVISION,
NORD-LOCK GROUP

Schicken Sie Ihre Fragen zum Thema Schraubenverbindungen per E-Mail an experts@nord-lock.com

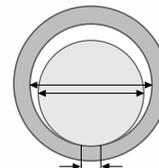


- 1 Belastung**
 - Dauer
 - Häufigkeit
 - Richtung
- 2 Umgebung**
 - Temperatur
 - Partikelgröße und -art
 - Feuchtigkeit
- 3 Drehbewegung**
 - Geschwindigkeit
 - Länge
 - Häufigkeit
- 4 Achsen-/Bolzenmaterial**
 - Metallurgie
 - Mechanische Eigenschaften
 - Abmessungen
- 5 Achsen-/Bolzenoberfläche**
 - Härte und Tiefe
 - Rauheit
 - Metallurgie
 - Korrosionseigenschaften
- 6 Lager (Hülse)**
 - Metallurgie
 - Mechanische Eigenschaften
 - Schmiermittelverteilung
 - Abmessungen
- 7 Schmierung**
 - Zusammensetzung
 - Viskosität
 - Menge
 - Häufigkeit
 - Einlage Feststoffschmierung



Kontaktfläche Bolzen/Hülse

- 8 Kontaktfläche Bewegung**
 - Belastungsbereich
 - Toleranz/Lücke Bohrung und Bolzen



Kontaktfläche Bolzen/ Gelenklagerung

- 9 Gelenklagerung**
 - Mechanische Eigenschaften
 - Belastungsbereich
 - Toleranz/Lücke Bohrung und Bolzen
 - Abmessungen

Abbildung 1
 Faktoren, die den Verschleiß von Gelenkbolzen beeinflussen

Für einen Maschinenbauer gibt es viele Faktoren, die sich auf den Verschleiß von Gelenkbolzen auswirken.

Der Verschleiß von Gelenkbolzen ist das Ergebnis abgenutzter Hülsen, Achsen und Gelenklagerungen, und es gibt viele Faktoren, die diesen Verschleiß beeinflussen. Während ein Maschinenbauer Verschleiß konstruktionsbedingt vorbeugen kann, haben Endanwender weniger Möglichkeiten, um Betriebszeit und Servicekosten einfach und kosteneffizient zu optimieren. An diesem Punkt kann nur selten Einfluss auf die Belastung, die Größe des Gelenkbolzens, die Geschwindigkeit und die Frequenz der Bewegung oder die Umgebung der Maschine genommen werden. Was sich allerdings ändern lässt:

- Ob und wie geschmiert wird
- Art des Materials, Härte und Oberflächengüte von Achse und Hülse
- Fixierung der Achse in den Gelenklagerungen

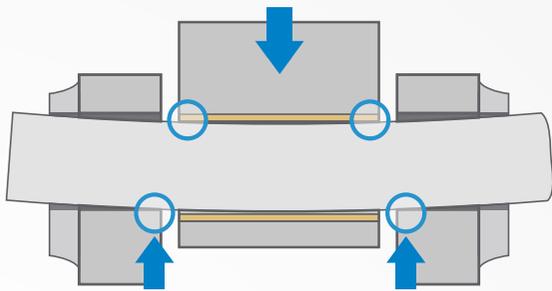


Abbildung 2 Herkömmlicher Zylinderbolzen

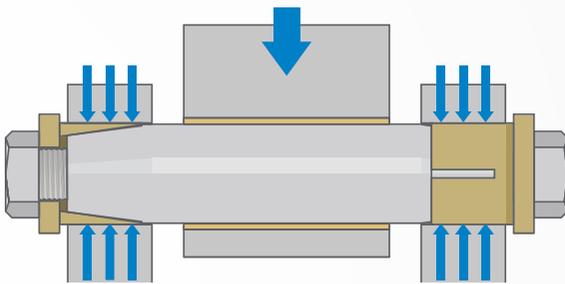
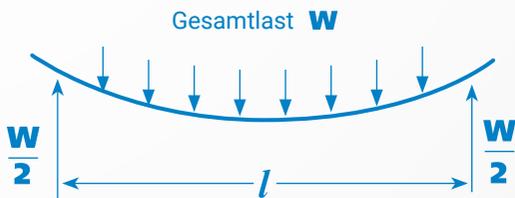


Abbildung 3 Expander System

z.B. herkömmlicher Zylinderbolzen Die Achsenden werden aufgrund des notwendigen Spiels bei der Montage nur von unten abgestützt
 Lastfall: Einfache Abstützung



Maximale Durchbiegung bei $l/2$

$$\delta_{\max} = \frac{5 W l^3}{384 E I}$$

So wenig Biegung wie möglich

Der Faktor, der den Verschleiß von Gelenkbolzen am meisten beeinflusst, ist der Belastungsbereich im Verhältnis zur Belastung/Kraft, die Flächenpressung. Bei ausreichend hoher Flächenpressung gibt es keine Schmierung, kein Material und keine Härtung, mit der bzw. dem eine dauerhafte Beschädigung der Hülse, Achse (Bolzen) oder Gelenklagerung verhindert werden könnte. Wenn die Belastung gleich bleibt, aber die Fläche, auf die diese Belastung einwirkt, kleiner wird, nimmt die Flächenpressung zu. Bei der Belastung eines Gelenks biegt sich die Achse (der Bolzen) zwar nur geringfügig, allerdings ausreichend, um die Kontaktfläche zwischen Achse/Lager und Achse/Gelenklagerung zu verändern. Bei geringer Belastung des Gelenks wird die Last über die gesamte Länge des Lagers und der Gelenklagerungen verteilt. Wenn sich die Achse bei steigender Last biegt, ändern sich die Flächen und die Pressung nimmt zu (Abbildung 2).

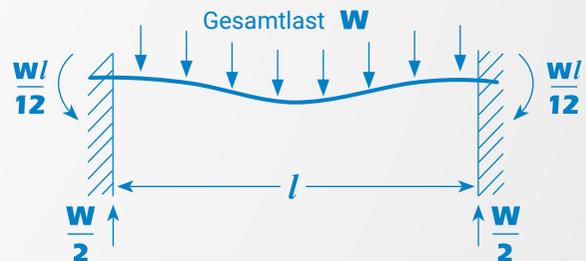
Wie stark sich die Flächenpressung verändert, hängt nicht nur von der Belastung, der Länge und dem Durchmesser des Bolzens ab, sondern auch von den mechanischen Eigenschaften der Hülse. Eine elastischere Hülse hilft, die Last zu einem gewissen Grad zu verteilen, bis entweder eine plastische (dauerhafte) Verformung und/oder eine Umverteilung der Kraft stattfindet.

Vorteile der Achsfixierung

Wie stark sich die Achse (der Bolzen) biegt, hängt auch davon ab, ob die Enden fixiert oder locker sind. Ein herkömmlicher Zylinderbolzen, der nur von der Unterseite der Gelenklagerungen gehalten wird, ist locker und biegt sich wie ein Träger mit einfacher Abstützung. Das Expander System (Abbildung 3) ist in den Gelenklagerungen fixiert und biegt sich wie ein Träger mit fester Abstützung.

Je nach Lastfall biegt sich eine fest abgestützte Achse bei gleicher Belastung bis zu fünfmal weniger als eine Achse mit einfacher Abstützung (Abbildung 4).

z.B. Expander System Die Achsenden werden durch die Spreizhülsen in den Gelenklagerungen fixiert
 Lastfall: Feste Abstützung



Maximale Durchbiegung bei $l/2$

$$\delta_{\max} = \frac{W l^3}{384 E I}$$

Abbildung 4 Beispiele ursprünglicher Lastfall

Die Fixierung der Achsenden begrenzt außerdem die freie radiale Bewegung des Bolzens auf das Spiel zwischen Hülse und Achse. Dies hilft, die Beschleunigung der Masse sowie hohe Stoßkräfte auf Hülse und Bolzen zu begrenzen. Das Expander System beseitigt den Verschleiß der Gelenklagerungen und verringert die Abnutzung der Hülsen bzw. Achsen.

SICHERHEIT IN FREIZEITPARKS: NICHTS DEM ZUFALL ÜBERLASSEN

Bei Fahrgeschäften in Freizeitparks steht die Sicherheit an allererster Stelle. Die Wartung der Konstruktionen kann allerdings teuer und zeitaufwändig sein. Glücklicherweise gibt es eine Lösung für verschlissene Achsen und Lager, mit der sich das Problem beheben lässt, und zwar dauerhaft.

Manche lieben sie und können gar nicht genug bekommen. Andere schauen lieber von unten zu. Freizeitparks bieten viele Möglichkeiten für den ultimativen Nervenkitzel – ob im freien Fall aus 80 Metern Höhe, bei hoher Geschwindigkeit auf dem Kopf und im Slalom oder bei G-Kräften jenseits von Gut und Böse. Aber mal ganz ehrlich: Sie würden sich niemals in ein solches Fahrgeschäft wagen, wenn Sie sich nicht voll und ganz auf die Sicherheit verlassen könnten.

Die meisten Attraktionen bewegen eine enorme Masse bei hoher Geschwindigkeit, wodurch hohe Kräfte im Spiel sind. Dadurch werden die überwiegend aus Stahl errichteten Konstruktionen und die Wagen extremen Belastungen ausgesetzt. Um Zwischenfälle oder gar Unfälle zu verhindern, sind die Sicherheit und Zuverlässigkeit also von größter Bedeutung.

Strenge Anforderungen in der gesamten Wertschöpfungskette

Auch wenn die Zahl der Unfälle in Europa relativ niedrig ist, hat das Europäische Komitee für Normung (CEN) im Mai 2019 eine neue Europäische Norm eingeführt, die EN 13814 Sicherheit von Fahrgeschäften und Vergnügungsanlagen. Sie umfasst alles von der Planung und Entwicklung einer Attraktion über Betrieb und Wartung bis hin zu Überwachung und Inspektion.

Die neue Norm stellt hohe Anforderungen an die Hersteller sowie die Betreiber von Freizeitparks. Peter Andersson:

„Sicherheit ist ein wesentlicher Bestandteil unseres Geschäfts, das gilt sowohl für unsere Besucher als auch für unsere Mitarbeiter. Wir gehen hier absolut keine Kompromisse ein.“



Andersson ist Wartungsleiter für Fahrgeschäfte im Freizeitpark Gröna Lund im Zentrum von Stockholm sowie bei Parks and Resorts Scandinavia, Inhaber und Betreiber von Gröna Lund und einigen der beliebtesten Freizeitparks in Schweden.

Die Wartungsteams von Parks and Resorts an den jeweiligen Standorten unterziehen sowohl die Schienen als auch die einzelnen Wagen täglich einer sorgfältigen Kontrolle, um frühzeitig Anzeichen von Verschleiß oder Schäden zu erkennen. Einmal im Jahr werden die Fahrzeuge auseinandergenommen und alle Teile sorgfältig geröntgt. Gemäß den Vorschriften der Zulassungsbehörden werden alle fünf Jahre ausführliche Kontrollen durchgeführt, bei denen die Fahrgeschäfte in ihre Einzelteile zerlegt werden.

Austausch der Sicherungsscheiben oft ausreichend

Wie in allen technischen Bereichen stellt das Lösen von Schraubenverbindungen ein Sicherheitsrisiko dar. Allein die Attraktion Eclipse in Gröna Lund besteht zum Beispiel aus 910 Tonnen Stahl und Beton sowie über 80.000 Schrauben. Das sind viele potenzielle Probleme.

„Wenn wir eine gelöste Schraube feststellen, führen wir oft eine Ursachenanalyse durch. In der Regel reicht es, auf Nord-Lock Keilsicherungsscheiben umzustellen“, sagt Andersson, der die Nord-Lock Keilsicherungsscheiben 1998 kennengelernt hat, als sie nach einer Sichtprüfung zur Sicherung der Schienen eines Fahrgeschäfts eingesetzt wurden.

„Als ich sah, wie gut diese Lösung funktioniert, gab es kein Zurück mehr“, erinnert er sich.

„Wann immer wir nun lose Schrauben vorfinden, bestellen wir umgehend Nord-Lock Keilsicherungsscheiben.“ Viele Hersteller von Fahrgeschäften geben bereits bei der Planung den Einsatz von Nord-Lock Keilsicherungsscheiben vor. Sie finden sich meist in großen Schraubenverbindungen, in Anwendungen wie Schienen und Stahlkonstruktionen oder auch an beweglichen Teilen von Wagenbremsen.

Eine Lösung, die Zeit und Geld spart

Neben Nord-Lock Keilsicherungsscheiben setzt Parks and Resorts auch auf das Expander System, um dem Verschleiß von Gelenklagerungen vorzubeugen. Dadurch spart das Unternehmen viel Zeit und Geld gegenüber herkömmlichen Reparaturverfahren wie dem Aufbohren. Aber auch die allgemeine Lebensdauer der Fahrgeschäfte konnte so deutlich verlängert werden, was enorme Einsparungen bedeutet, zumal eine neue große Attraktion bis zu 900.000 Euro kosten kann.

Auch vom Expander System erfuhr Andersson erstmals in den 1990er Jahren: „Wir hatten verschiedene Reparaturlösungen ausprobiert, aber mein Gefühl sagte mir, dass es noch etwas Besseres geben musste. Dann sind wir auf das Expander System gestoßen.“ 



Peter Andersson

WARTUNGSLEITER FÜR
FAHRGESCHÄFTE, GRÖNA LUND



KUNDE
PARKS AND RESORTS
SCANDINAVIA AB

ANZAHL BESUCHER
CA. 3 MILLIONEN
PRO JAHR

ANWENDUNGEN
VERSCHIEDENE, Z. B. SICHERUNG VON SCHIENEN,
BREMSEN UND STAHLKONSTRUKTIONEN

BRANCHE
INHABER UND BETREIBER VON VIER DER
BELIEBTESTEN FREIZEITPARKS IN SCHWEDEN: SKARA
SOMMARLAND, GRÖNA LUND, KOLMÅRDEN UND FURUVIK

DIE LÖSUNG
EXPANDER SYSTEM UND NORD-LOCK
KEILSICHERUNGSSCHEIBEN

Seitdem kommt es bei zahlreichen Attraktionen in Gröna Lund wie dem Octopussy zum Einsatz. Im Jahr 2009 wurde das Expander System an allen Armen des Fahrgeschäfts installiert, welches seitdem einwandfrei seinen Dienst verrichtet. Eine weitere spannende Attraktion ist der Fliegende Teppich – die älteste in Gröna Lund.

„Der fliegende Teppich hat einen historischen Wert, und ist aus dem Freizeitpark eigentlich nicht wegzudenken“, erklärt Andersson. „Vor ungefähr acht Jahren bemerkten wir allerdings Verschleiß an einer kritischen Stelle. Die Behebung des Problems hätte eigentlich eine Neuberechnung mit vollständiger Inspektion bedeutet, was voraussichtlich zur Außerbetriebnahme des Fahrgeschäfts geführt hätte.“ Schließlich ersetzte das Expander System die verschlissenen Achsen und Schrauben. Das Ergebnis: Der Fliegende Teppich kann weiterhin sicher betrieben werden.

Einsatz von Expander System ausgeweitet

Auch andere Standorte von Parks and Resorts setzen auf das Expander System. Als das Wartungsteam des Wild- und Freizeitparks Kolmården wegen eines Verschleißproblems auf Andersson zukam, konnte er das Expander System guten Gewissens weiterempfehlen.

Die Radaufhängungen der Fahrgeschäfte sind in den meisten Fällen eine Schwachstelle, da sie unter besonders großer Belastung stehen. Aufgrund von Verschleiß an den Achsen weiten sich die Bohrungen im Fahrgestell aus, wodurch sie manchmal innerhalb weniger Jahre außerhalb der zulässigen Toleranzen liegen.

Fredrik Johansson, Mechaniker bei Kolmården, sagt: „Wenn man wie ich schon seit 30 Jahren dabei ist, dann weiß man, dass man ein Problem hat, sobald sich etwas lockert. Und da unsere Sicherheitsstandards sehr hoch sind, gibt es bei uns keine provisorischen Lösungen. Selbst wenn es einer höheren Investition bedarf, dann ist das okay.“

Langfristige Einsparungen

Auf den ersten Blick mag das Expander System teurer erscheinen, aber angesichts des längeren Lebenszyklus der Anwendung lässt sich laut Johansson unter dem Strich Geld sparen. „Wenn man den Kaufpreis des Expander System mit den Kosten und dem Aufwand für die Demontage des gesamten Fahrgeschäfts und dem Versand von Einzelteilen zum Aufbohren vergleicht, ist die herkömmliche Vorgehensweise sowohl teurer als auch zeitaufwändiger.“

Als Mechaniker schätzt Johansson vor allem, wie einfach das Expander System zu montieren ist. Nichts muss aufgebohrt oder verschweißt werden, stattdessen können alle Arbeiten vor Ort direkt an den verschlissenen Teilen stattfinden.

*„Das ist eine geniale Lösung“, findet er.
„Wir haben sie jetzt seit einer Saison
im Einsatz, und ich muss sagen,
es funktioniert. Problem gelöst.“*

Text Ulf Wiman
Fotos Justin Garvanovic/Parks and Resorts
Gröna Lund/Parks and Resorts
Magnus Glans/Parks and Resorts



SUPERBOLT TOOL

BESTES PRODUKTDESIGN 2020



Lange Zeit wurde die Entwicklung eines Werkzeuges, das mehrere Druckschrauben gleichzeitig auf die korrekte Vorspannung anziehen kann, für eine unüberwindbare Herausforderung gehalten. Bis den Ingenieuren der Nord-Lock Group das scheinbar Unmögliche gelang.

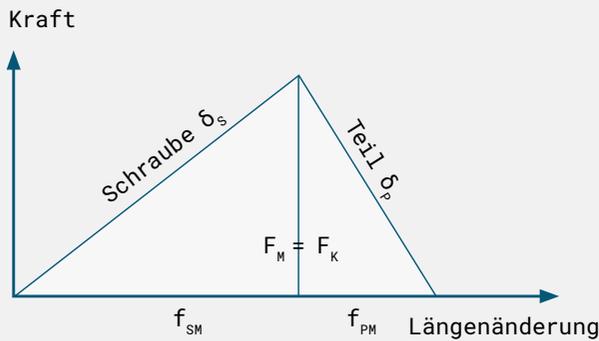
Diese Innovation, das Superbolt Tool, findet immer mehr Anerkennung und wurde nun mit einem der weltweit renommiertesten Designpreise ausgezeichnet: dem **Red Dot Award**. Das Superbolt Tool erhielt das Prädikat **Bestes Produktdesign 2020** in der Kategorie **Innovation**.



reddot winner 2020

Was passiert mit der Vorspann- und Klemmkraft, wenn Betriebskräfte angreifen?

Schicken Sie Ihre Fragen zum Thema Schraubenverbindungen per E-Mail an experts@nord-lock.com



- δ_S : Nachgiebigkeit Schraube ($f_{SM} / F_M = \delta_S$)
- δ_P : Nachgiebigkeit Teil ($f_{PM} / F_M = \delta_P$)
- F_M : Montagevorspannkraft
- F_K : Klemmkraft
- f_{SM} : Längenänderung der Schraube (+)
- f_{PM} : Längenänderung der Bauteile (-)

In der Regel wird mithilfe eines Schraubenschlüssels ein Drehmoment auf die Schraube oder Mutter aufgebracht, um die erforderliche Vorspannkraft zu erzielen. Diese Vorspannkraft ist die Zugkraft, die beim Anziehen im Verbindungselement entsteht. Diese Zugkraft wiederum erzeugt eine Klemmkraft in den verspannten Bauteilen. Die Klemmkraft dient dazu, dass sich die Bauteile weder zueinander bewegen noch aufklaffen.

Wenn externe Kräfte auf die Verbindungen einwirken, muss jedes Element, das Kraft überträgt, analysiert werden. Das Verhalten einer Verbindung lässt sich anhand ihrer Reaktion auf externe Kräfte vorhersagen.

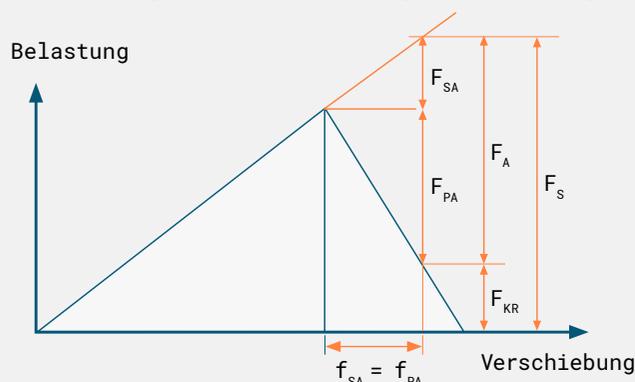
Die Berechnung einer einfachen Schraubenverbindung basiert auf dem elastischen Verhalten der Schraubenverbindung. Dies hat einen erheblichen Einfluss auf die Verformung und die Belastung der Schraube.

Die bei der Montage in der Schraube erzeugte Montagevorspannkraft F_M resultiert in den Bauteilen als Klemmkraft F_K . Entscheidenden Einfluß auf die Montagevorspannkraft und die Klemmkraft haben die Nachgiebigkeiten von Schraube und Bauteilen.

Siehe Verspannungsschaubild (Rötscher-Diagramm).

Anschließend wird eine axiale Betriebslast F_A , die über die verspannten Teile eingebracht wird, auf die Bauteile und die Schraube übertragen. Der Anteil dieser sogenannten Betriebskraft, der neben der Vorspannung auf die Schraube wirkt, wird als Schraubenzusatzkraft F_{SA} bezeichnet. F_{PA} ist hingegen die Plattenzusatzkraft, d.h. der Anteil der Axialkraft, der die Belastung der verspannten Bauteile verändert. Der Anteil dieser Verteilung ist abhängig vom elastischen Verhalten der Schraube bzw. des Bolzens.

Die Kräfte und Verschiebungen, die in der Schraubenverbindung auftreten, lassen sich im Verspannungsschaubild veranschaulichen. Dementsprechend sieht das vorherige Schaubild wie folgt aus:



- F_S : Max. Schraubkraft
($F_S = F_A + F_{KR} = F_{SA} + F_{PA} + F_{KR}$)

F_A : Axiale Betriebskraft

- F_{SA} : Schraubenzusatzkraft
 $= n \times \{ \delta_P / (\delta_S + \delta_P) \} \times F_A$
 $= \lambda \times F_A$ mit λ ,
 Lastfaktor $\lambda = n \times \{ \delta_P / (\delta_S + \delta_P) \}$

(n: Lasteinleitungsfaktor, der die Wirkung des Einleitungspunktes von F_A beschreibt)

- F_{PA} : Plattenzusatzkraft
 $= (1 - \lambda) \times F_A$

F_{KR} : Restklemmkraft

f_{SA} : Verlängerung der Schraube durch F_{SA}

f_{PA} : Elastische lineare Verformung der verspannten Teile durch F_{PA}



Luke Jun
APPLICATION ENGINEER,
NORD-LOCK GROUP KOREA

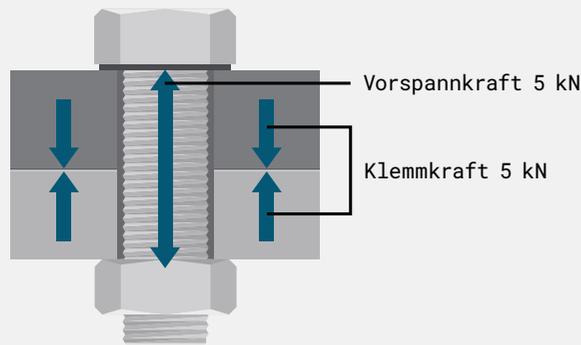


Masato Takenaka
ENGINEERING MANAGER,
NORD-LOCK GROUP ASIA PACIFIC

Die vorherigen Formeln lassen sich anhand des folgenden Beispiels überprüfen

Schritt 1

Die Schraubenverbindung wird auf 5 kN angezogen. Es wird keine externe Last angelegt.



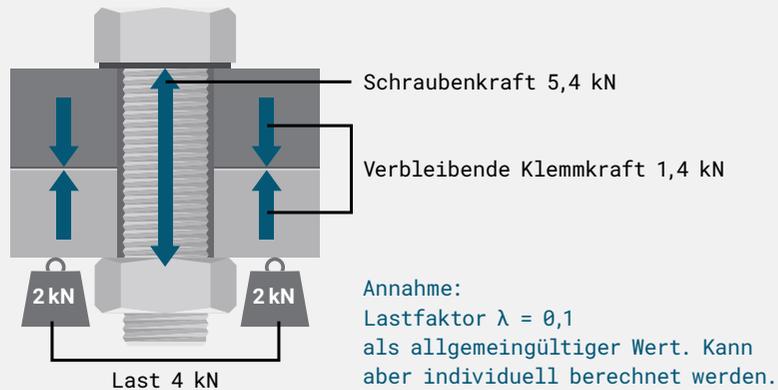
Schritt 2

Externe statische Lasten (4 kN) werden angelegt, diese sind geringer als die vorhandene Vorspannkraft. Durch die zusätzlichen Lasten wird aus der anfänglichen Vorspannkraft die verbleibende Vorspannkraft. Die max. Schraubenkraft ergibt 5,4 kN, die Klemmkraft verringert sich auf 1,4 kN.

$$F_A = 4 \text{ kN}, F_{SA} = \lambda \times F_A = 0,4 \text{ kN}$$

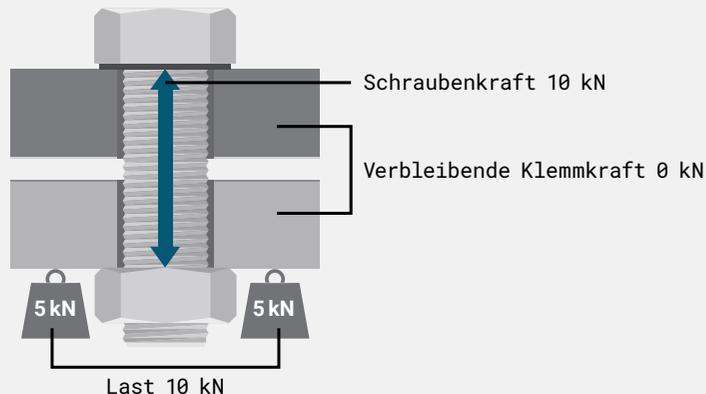
$$F_S = 5,4 \text{ kN} = F_A + F_{KR}$$

$$F_{KR} = 1,4 \text{ kN}$$



Schritt 3

Es werden zusätzlich externe Lasten (10 kN) angelegt. Da diese Last höher ist als die vorhandene Vorspannkraft, werden die Bauteile getrennt und die Last in der Schraube steigt auf 10 kN (100% der externen Last).



Somit wurde das elastische Verhalten der Komponenten beim Entstehen der Axialkräfte in der Schraubenverbindung überprüft. Darüber hinaus gibt es weitere externe Faktoren, die für eine genaue Vorhersage der erforderlichen Vorspannkraft zu berücksichtigen sind, wie zum Beispiel Scherkräfte, Temperatur, Vibration und dynamische Lasten. Für weitere Informationen wenden Sie sich gerne an Ihre Nord-Lock Niederlassung vor Ort.

