

## Seismisches Testprogramm

### Testüberblick

An genuteten mechanischen Victaulic Rohrkupplungen und Formteilen der Größen 4"/DN100, 8"/DN200 und 16"/DN400, die an Rohren aus Kohlenstoffstahl mit Standardwänden installiert waren, wurden seismische Tests durchgeführt. Die Tests haben bestätigt, dass Victaulic Kupplungen für Rohrleitungssysteme in erdbebengefährdeten Gebieten bestens geeignet sind. Das Testprogramm wurde anhand einer international anerkannten aktuellen Norm für Rütteltische zur Prüfung von nichttragenden Bauteilen entwickelt. Das Leitungssystem wurde Eingangsamplituden von  $\pm 3"/76$  mm in horizontaler x- und y-Richtung, Eingangsbeschleunigungen bis zu 1,3 g und einem Frequenzbereich von 1,3 bis 33 Hz ausgesetzt. Verstrebt starr und flexible Abschnitte verhielten sich einwandfrei unter den Testbedingungen, bei denen Spitzenbeschleunigungen der Rohrleitung von über 7 g verzeichnet wurden. Die mit Wasser befüllten Einheiten wurden über den gesamten Verlauf aller Tests hinweg mit einem Druck von 200 psi/1375 kPa beaufschlagt, und während keinem der Tests wurden Druckverluste oder Leckagen festgestellt.

### Victaulic Company



Das 1925 gegründete Unternehmen Victaulic ist weltweit führend im Bereich mechanischer Rohrverbindungssysteme. Victaulic hat ein fundamentales Konzept zur Verbindung von Rohren eingeführt – eine mechanisch verschraubte Kupplung, die in Nuten eingreift und bei der zur Abdichtung der Verbindungsstelle eine Elastomerdichtung verwendet wird.

Die Methode mit genuteten Rohrleitungen, bei der die Installationszeit im Vergleich zu Schweißen, Gewindeschneiden oder Flanschen drastisch reduziert wird, wird ausgiebig in der Heizungs- und Klimatechnik, für Sanitär-, Brandschutz-, und Bergbauanwendungen, industrielle Rohrleitungssysteme, Ölfeldrohre sowie für Wasser- und Abwasseranlagen eingesetzt.

Produkte von Victaulic finden sich in bedeutenden Sehenswürdigkeiten und Gebäuden in der ganzen Welt. Dank seiner Fähigkeit, sowohl starre als auch flexible Verbindungen herzustellen, bietet das Victaulic System vielfältige Planungsmöglichkeiten, die sich mit anderen Arten von Rohrverbindungssystemen nicht erreichen lassen.

### Victaulic bei Erdbebenbedingungen

Die Verwendung von flexiblen genuteten Kupplungen von Victaulic in erdbebengefährdeten Gegenden kann bis in die frühen 1940er Jahre zurückverfolgt werden, wo die Kupplungen zur Spannungsentlastung an Anlagenverbindungen eingesetzt wurden. Seitdem sind genutete Produkte wegen ihrer einzigartigen Konstruktionsvorteile zu einer standardmäßigen Verbindungsmethode geworden, weil mit ihnen je nach den speziellen Anforderungen eines Systems sowohl starre als auch flexible Rohrverbindungen hergestellt werden können. Produkte von Victaulic bewähren sich seit vielen Jahren in erdbebengefährdeten Gegenden und sind dort bei vielen Projekten zur Standardmethode für die Verbindung von Rohren geworden. Es wurden auch mehrere betriebsinterne Tests und Prüfungen durch Dritte vorgenommen, um die Leistungsfähigkeit von Victaulic Produkten zu bestimmen, wenn sie ungünstigen Bedingungen wie Erdbeben ausgesetzt oder in Rohrleitungssystemen auf Schiffen oder für Hochdruckzyklen eingesetzt werden. Die Ergebnisse dieser unterschiedlichen Tests haben die Zuverlässigkeit und Intaktheit von Victaulic Produkten unter diesen ungünstigen Bedingungen bestätigt.

### Zweck der Tests

Victaulic hat die Notwendigkeit für hochentwickelte Tests an unseren Produkten erkannt, um die Konformität mit den Anforderungen neuer Verordnungen zu demonstrieren und um zu beweisen, dass unsere Produkte ein nachhaltiges System darstellen, das den während eines Erdbebens erzeugten Kräften standhält und unversehrt bleibt, wenn es seismischen Ereignissen in Echtzeit ausgesetzt wird. Die Tests wurden zusammengestellt, um ergänzend zu der erfolgreichen Leistung bei vergangenen echten Erdbeben zusätzliche analytische Daten zu erhalten.

Zu Schäden an Rohrleitungen oder Gebäuden kommt es durch unterschiedliche Bewegungen zwischen dem Rohr und dem Gebäude sowie an den Stellen, an denen Leitungen eine seismische Verbindung des Gebäudes kreuzen, an denen sie zwischen zwei separaten Strukturen hindurch treten, oder wenn Leitungen in einem Gebäude von unabhängigen Tragstrukturen gestützt werden oder daran befestigt sind (z. B. sind sie am Dachstuhl befestigt und werden von dort auf Gestelle heruntergelassen). Das erste Problem lässt sich lösen, indem das Rohr in einem bestimmten „strukturellen Bereich“ an der Gebäudestruktur befestigt wird (seismische Verstrebung), damit es sich zusammen mit dem Gebäude bewegt. Die Verstrebungen und Abstände müssen für die spezifischen seismischen Beschleunigungen und Bewegungsamplituden ausgelegt werden. Beim zweiten Problem geht es um die Stellen, an denen eine Leitung von einem „strukturellen Bereich“ in einen anderen übergeht. Die Leitung sollte zusammen mit einer flexiblen Komponente (seismische Isolierungseinheit) installiert werden, die ausreicht, um die unterschiedlichen Bewegungen zwischen Rohren aufzunehmen, die miteinander verbunden sind, die aber von unterschiedlichen „seismischen Strukturen“ gestützt werden bzw. daran befestigt sind. Das flexible Element ermöglicht diesen Strukturen und den an jeder Struktur befestigten Leitungen, sich bei einem Erdbeben unabhängig voneinander im Gebäude zu bewegen, ohne sich gegenseitig oder andere Anlagen zu beschädigen.

Das Ziel dieser Tests bestand darin, die Eignung von genuteten mechanischen Kupplungen und Formteilen von Victaulic zu demonstrieren, die betriebliche Unversehrtheit von Rohrleitungssystemen herzustellen und während Erdbeben beizubehalten. Das Testprogramm wurde gestaltet, um die seismische Leistung unter den beiden oben aufgeführten Bedingungen zu zeigen. Zuerst wurden Tests durchgeführt, um zu bestätigen, dass starre oder flexible Kupplungen von Victaulic, die an ordnungsgemäß verstrebt Leitungen installiert sind, im Fall eines Erdbebens ihre volle Leistung beibehalten. Danach wurden Tests durchgeführt, um die Fähigkeit unserer flexiblen Kupplungen zu bestätigen, in seismischen schwingenden Verbindungen oder in versetzten Rohrkonfigurationen ausreichende Bewegungsfreiheit zu bieten, um die unterschiedlichen Bewegungen von Rohren zwischen Strukturen oder an seismischen Trennfugen von Gebäuden aufzunehmen.

## Seismische Tests

### ATLSS-Testeinrichtung



Zur Durchführung der erforderlichen Tests wurde das ATLSS-Labor (Advanced Technology for Large Structural Systems), ein technisches Forschungszentrum der amerikanischen Lehigh-Universität, gewählt. Das ATLSS-Zentrum ist Mitglied des „Network for Earthquake Engineering Simulation“ (NEES), das von der „US National Science Foundation“ als nationales vernetztes Kooperationsprojekt von gemeinsam genutzten experimentellen Forschungsanlagen in unterschiedlichen geographischen Regionen eingerichtet wurde. Der NEES-Standort der Lehigh-Universität wurde mit der Möglichkeit entwickelt, Echtzeittests mit der Wirkungskraftmethode, der pseudodynamischen Testmethode oder der pseudodynamischen hybriden Testmethode zum Test von großen strukturellen Komponenten, strukturellen Unterbaugruppen und Überbaugruppen bei der Einwirkung von Erdbeben durchzuführen. Er ist daher gut dafür geeignet, simulierte multidirektionale Erdbebeneffekte auf Rohrleitungssysteme in Echtzeit durchzuführen und zu analysieren. Victaulic und die Lehigh-Universität haben einen international renommierten Konstrukteur und Anbieter von erdbebensicheren Verstrebungssystemen zurate gezogen, der die Konstruktion der Aufhängungen und Verstrebungen für die Rohrtesteinrichtungen übernahm.

### Testanforderungen

Das Testprogramm wurde anhand aktueller Prüfnormen für Rütteltische entwickelt. Für dieses Testprogramm wurden künstliche Bodenbewegungen entwickelt. Diese zufällig erzeugten Bodenbewegungen wurden benutzt, um ein vorgegebenes Mindestspektrum an Reaktionen zu erhalten.

Zur Entwicklung des Testprotokolls wurde der Bericht „Acceptance Criteria for Seismic Qualification by Shake-table Testing of Nonstructural Components and Systems“ (Abnahmekriterien für seismische Qualifizierung durch Rütteltischprüfung von nichttragenden Komponenten und Systemen) AC156 von „ICC Evaluation Service, Inc.“ verwendet. In diesem Dokument werden die Mindestanforderungen für Rütteltischprüfungen von nichttragenden Komponenten, zu denen Rohrleitungen gehören, festgelegt. In dem Dokument wird ein Mindestspektrum für Reaktionen angegeben, das von der verordnungskonformen seismischen Konstruktionsbelastung für nichttragende Komponenten abgeleitet wurde. Das Reaktionsspektrum der Eingangsbewegung für den Rütteltest war größer als das in AC156 angegebene Mindestspektrum.

Die in AC156 spezifizierten Mindest-Reaktionsspektren basierten auf den seismischen Konstruktionsbelastungen der aktuellen Bauvorschriften. Für dieses Testprogramm wurde die internationale Bauvorschrift (International Building Code, IBC) 2006 verwendet. Die IBC 2006 nimmt auf seismische Belastungen entsprechend den Angaben in ASCE 7-05 „Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures“ der „American Society of Civil Engineers“ Bezug. Die Bemessung der Leitungen und anderer nichttragender Komponenten basierte auf der äquivalenten statischen Belastungsmethode, ähnlich wie bei der Gebäudeplanung.

### Testkonfiguration

Es wurde eine Testkonfiguration entwickelt, die eine große Rohrleitung aufnehmen und sie den erforderlichen Bewegungen aussetzen konnte. Für die Tests war es erforderlich, hohe Beschleunigungen, Verschiebungen und Geschwindigkeiten an den Leitungen und Kupplungen zu erzeugen. Ein horizontales Fachwerk wurde als starrer Verband oder „Gebäudedecke“ konzipiert, von dem die Leitungen gehalten wurden. Diese „Decke“ wurde einer seismischen Bewegung ausgesetzt, die auf die Leitungen übertragen wurde. Es wurden drei NEES-Antriebe verwendet, um die erforderliche seismische Bewegung sowohl in Längs- als auch in Querrichtung zu erzeugen. Um alle relevanten Testdaten aufzuzeichnen, wurden Beschleunigungsmesser, Weggeber und Dehnungsmessgeräte an vorbestimmten Stellen strategisch platziert, um eine präzise Aufzeichnung des Testprogramms zu erhalten.

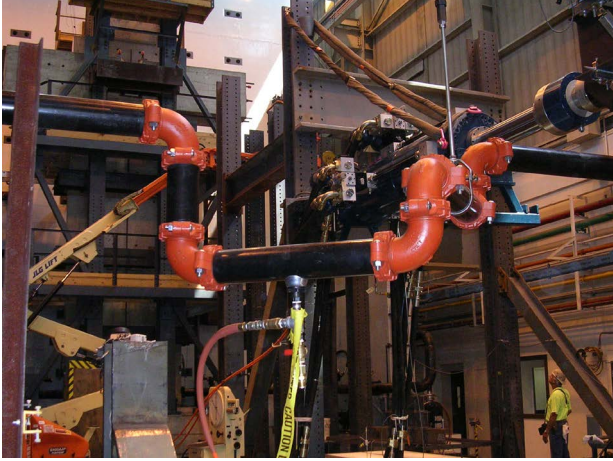
Die Leitungsanordnung bestand aus einer 40/12 m langen Rohrleitung (bestehend aus zwei 20/6 m langen Rohrstücken) mit einem 90°-Bogen und dann einer 10/3 m langen Rohrleitung an jedem Ende. Für die Verbindungen wurden starre Victaulic Kupplungen des Typs O7 oder W07 verwendet. Dieser Leitungsabschnitt wurde entsprechend den branchenüblichen Anforderungen seismisch verstrebt und als „verstrebt starrer Bereich“ bezeichnet. An jedem Ende des „verstrebt starr Bereichs“ war ein „flexibler Bereich“, der eine seismische Isolierungseinheit von Victaulic umfasste. Diese Verschiebungseinheiten wurden dann mit der ATLSS-Reaktionswand verbunden, die keine Bewegung zuließ. Daher erzeugten Bewegungen der Leitung im „starr Bereich“ relative Verschiebungen in den seismischen Isolierungseinheiten.

### Leitung im starren Bereich

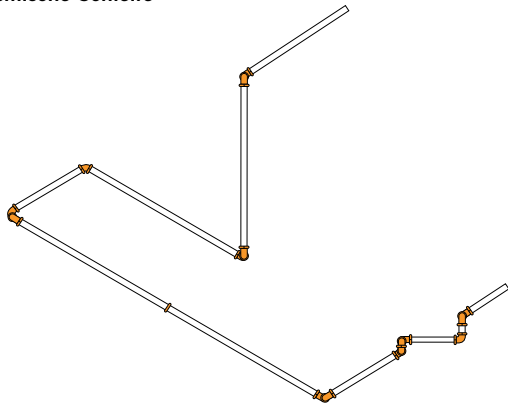


## Seismische Tests

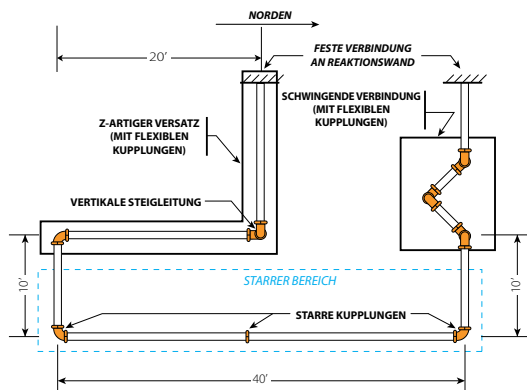
### Seismische schwingende Verbindung



### Seismische Schleife



### Seismische Schleife – starrer/flexibler Bereich

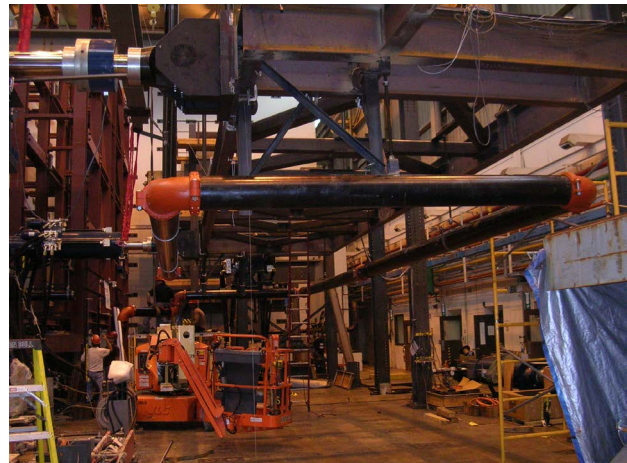


Es wurden zwei unterschiedliche seismische Isolierungseinheiten verwendet, eine an jedem Ende des „starreren Bereichs“. Eine Einheit bestand aus einer Z-artigen versetzten Konfiguration und die andere war eine seismische schwingende Verbindung. Bei beiden Konfigurationen wurden die Abwinklungs- und Rotationseigenschaften der flexiblen Victaulic Kupplungen vom Typ 77 und W77 ausgenutzt, um die unterschiedliche Leitungsbewegung zwischen dem „starreren Bereich“ und der Reaktionswand aufzunehmen.

### 4"/DN100-Testanordnung



### 8"/DN200-Testanordnung



### 16"/DN400-Testanordnung



## Seismische Tests

Für die Tests wurden drei Rohrgrößen gewählt: 4"/DN100, 8"/DN200 und 16"/DN400. Jede Größe wurde einzeln als komplette Anordnung getestet. An jeder Leitungsanordnung wurde eine Reihe von Tests durchgeführt, um die Fähigkeit von Victaulic Kupplungen zu demonstrieren, mit unterschiedlichen seismischen Belastungen fertig zu werden. Für alle drei Tests wurden dieselben Kupplungen und Rohrleitungen verwendet. Diese Tests umfassten eine statische Verschiebungsprüfung, einen harmonischen Schwingversuch und Schüttelprüfungen. Die Leitungen waren während der gesamten Dauer aller Tests mit Wasser gefüllt und mit einem Druck von 200 psi/1375 kPa beaufschlagt.

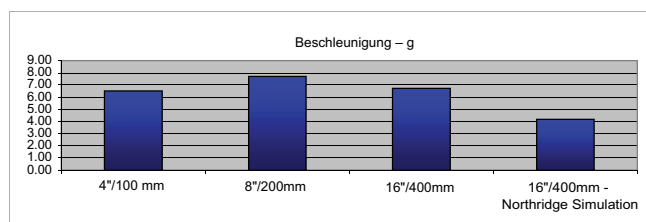
Bei der statischen Verschiebungsprüfung wurde jede Einheit einer Bewegung von  $\pm 4"/102$  mm in der horizontalen x- und y-Richtung ausgesetzt. Beim harmonischen Schwingversuch wurde jede Einheit einer sinusförmigen Beschleunigung mit einem Frequenzbereich von 1,3 Hz bis 33 Hz ausgesetzt. Bei den Schüttelprüfungen wurde jede Einheit drei Stufen seismischer Bewegung unterzogen. Die maximalen Eingangswerte während der Schüttelprüfungen waren  $\pm 3"/76$  mm horizontale Bewegung und 1,3 g Beschleunigung.

Es wurden zwei zusätzliche Tests durchgeführt. Der erste umfasste die 8"/DN200-Rohrleitungseinheit. Nach den Schüttelprüfungen wurden die starren Kupplungen gegen flexible Kupplungen ausgetauscht, und alle Tests wurden erneut ausgeführt. Der zweite Test umfasste die 16"/DN400-Rohrleitungseinheit. Nach den Tests des Standardprogramms wurde eine multidirektionale Hybridsimulation des Northridge-Erdbebens in Echtzeit durchgeführt. Diese Prüfung wurde vorgenommen, um die Reaktion des in einem dreistöckigen Gebäude installierten Rohrleitungssystems bei einem echten Erdbeben zu untersuchen. Dabei wurden zwei Tests durchgeführt. Zuerst wurde die Einheit der halben berechneten Amplitude des Northridge-Erdbebens ausgesetzt. Dann wurde die Einheit der 1,07-fachen berechneten Amplitude ausgesetzt.

### Testergebnisse

Das Verhalten der Victaulic Kupplungen war ausgezeichnet. Während der gesamten Tests gab es keine Anzeichen undichter Rohrverbindungen. Der Innendruck von 200 psi/1375 kPa wurde immer beibehalten. Die Rohrleitungen und Kupplungen wiesen sogar nach dem Ausfall einer großen Anzahl seismischer Verstrebungselemente ein sehr robustes Verhalten auf.

Pro Einheit wurden die folgenden Spitzenbeschleunigungen aufgezeichnet:



**4"/DN100-Einheit – 6,51 g**

**8"/DN200-Einheit – 7,70g**

**16"/DN400-Einheit – 6,71g**

**16"/DN400, Northridge-Erdbebensimulation – 4,17 g**

Das Verhalten der seismischen Isolierungseinheiten war ebenfalls ausgezeichnet. Alle unterschiedlichen Bewegungen wurden aufgenommen. Es ist zu beachten, dass die in den Antrieben gemessenen Belastungen sehr niedrig waren, was darauf hinweist, dass die Steifheit der Isolierungseinheiten minimal war. Dies ist wünschenswert, um die an den seismischen Verstrebungen oder Verankerungen erzeugten Belastungen und Spannungen minimal zu halten.

### Werte der Richter-Skala

Obwohl viele von uns die „Richter-Skala“ mit Erdbeben in Verbindung bringen, handelt es sich dabei tatsächlich um eine Messung der während des seismischen Ereignisses freigesetzten Energie, und nicht um eine Planungshilfe für Gebäude oder Rohrleitungssysteme. Die Skala ist eine nützliche Hilfe zum Vergleich der relativen Stärken unterschiedlicher seismischer Ereignisse, sie kann jedoch nicht verwendet werden, um Bewegungen oder Kräfte direkt vorherzusagen, denen ein bestimmtes Gebäude oder Rohrleitungssystem während eines seismischen Ereignisses ausgesetzt sein wird.

Bauingenieure entwerfen Gebäude und Rohrleitungssysteme, die den Verschiebungen und Beschleunigungen standhalten sollen, die durch Bewegungen des Bodens bei einem Erdbeben erzeugt werden. Diese Bewegungen sind nicht nur die Folge der freigesetzten Energie, sondern hängen auch von anderen Faktoren ab. Dazu gehören die Bodenbeschaffenheit am Standort, die Art/Konstruktion des Gebäudes, die Nähe zum Epizentrum des Bebens u. a. Die Bewegungen der Gebäude selbst und der Einrichtungen in den Gebäuden infolge der Bodenbewegung können je nach Größe und Form des Gebäudes, der Konstruktionsart (z. B. Stahl, Beton, Holzgerüst), den Eigenschwingungen und den jeweiligen Stellen innerhalb des Gebäudes sehr unterschiedlich ausfallen. Rohrleitungssysteme werden entsprechend den vom Bauingenieur spezifizierten Verschiebungen und Kräften entworfen und verlegt. Diese Konstruktionsparameter hängen von den Eigenschwingungen des Gebäudes, der seismischen Aktivität am Standort und der geplanten Verlegung des Rohrleitungssystem innerhalb der Struktur ab. Aus diesem Grund basierten unsere Prüfungsparameter auf einem Frequenzbereich, der historische Aufzeichnungen und Beschleunigungen umfasste, die über den gewöhnlich aufgezeichneten Werten lagen. Sie basierten nicht auf einem bestimmten Wert der „Richter-Skala“ und können nicht mit einem solchen Wert in Verbindung gebracht werden.

Das Ausmaß der Beschleunigungen/Verschiebungen, das von einem bestimmten Erdbeben an einem bestimmten Standort erwartet werden kann, hängt nicht nur von der Höhe der freigesetzten Energie (der Richter-Magnitude) ab, sondern auch von Folgendem:

1. Der Entfernung zum Epizentrum (eine kleinere Entfernung bedeutet höhere Kräfte/Verschiebungen)
2. Der Bodenbeschaffenheit (ein weicherer Boden bedeutet oft höhere Kräfte/Verschiebungen)
3. Der Gebäudeart (die Bauart und die Höhe/Breite des Gebäudes wirken sich auf die Eigenschwingungen aus, die für die Reaktion des Gebäudes/ Rohrleitungssystems auf das Erdbeben verantwortlich sind)



WCAS-7E6M77

Alle Kontaktdaten für Victaulic finden Sie unter [www.victaulic.com](http://www.victaulic.com)

26.13-GER 5273 REV A AKTUALISIERT 5/2008

VICTAULIC IST EINE EINGETRAGENE MARKE DER FIRMA VICTAULIC. © 2008 VICTAULIC COMPANY. ALLE RECHTE VORBEHALTEN.

26.13-GER

