

Bau einer Gashochdruckleitung quer durch eine Großstadt

Von Stanislav Dashevski und Steffen Päßler

Aufgrund der hohen Siedlungsdichte in Deutschland und der notwendigen Versorgungssicherheit führen Gashochdruckleitungen unweigerlich mitunter dicht an bebauten Gebieten und an Verkehrsflächen heran bzw. kreuzen diese. Bei Planung, Bau und Betrieb von Gashochdruckleitungen müssen deshalb Sicherheit und damit der Schutz von Mensch und Umwelt an erster Stelle stehen.

Die Bemessung von Gashochdruckleitungen erfolgt weltweit nach deterministischen Verfahren, die aus festgelegten Systemgrößen und Sicherheiten bestehen. Im deutschen Normenraum sind für Gashochdruckleitungen die Regelwerke des Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) und die Normen des Deutschen Institut für Normung e. V. (DIN) sowie die daran anschließenden Regeln und Richtlinien zu berücksichtigen.

Einwirkungen, wie beispielsweise Unfälle von Fahrzeugen oder fahrlässiger Eingriff von Baumaschinen, die eine Gashochdruckleitung beschädigen können, lassen sich deterministisch nicht sinnvoll in die Bemessung einbinden. Hierfür existiert die probabilistische Bemessung, die mit der DIN EN ISO 16708 rechtsverbindlich in Deutschland vorliegt.

Für den Bau einer Gashochdruckleitung quer durch eine Großstadt wird neben dem deterministischen Verfahren auch das probabilistische Bemessungsverfahren angewendet. Dadurch kann ein hohes Sicherheitsniveau der Gashochdruckleitung nachgewiesen werden, dass die zuständigen Normen und Regelwerke erfüllt und damit für eine hohe Sicherheit für Mensch und Umwelt sorgt.

Am Beispiel einer geplanten Gashochdruckleitung von ca. 9,6 km Länge durch den Berliner Stadtteil Marzahn werden sowohl die zuständigen Rechtsvorschriften, Bemessungsverfahren als auch die Sicherheitsmaßnahmen aufgezeigt, der es für eine solche Planungs- und Durchführungsmaßnahme bedarf.

Kurzbeschreibung der Gashochdruckleitung

Bei der im Weiteren beschriebenen Gashochdruckleitung handelt es sich um die projektierte Gasanbindungsleitung Marzahn (GAM) der ONTRAS Gastransport GmbH (ONTRAS). Die Gashochdruckleitung befindet sich derzeit im Genehmigungsverfahren und wird nach dem Bau das Heizkraftwerk (HKW) Marzahn der Vattenfall Wärme Berlin AG (Vattenfall) mit dem Fernleitungsnetz der ONTRAS am Netzanschlusspunkt (NAP) Ahrensfelde verbinden.

Die GAM aus dem Werkstoff L360 mit einem Nenndurchmesser DN 400 und einer Wanddicke von 12,5 mm dient dem HKW Marzahn zur Belieferung mit Erdgas und soll mit einem Betriebsdruck von 63 bar betrieben werden.

Die Trasse der GAM liegt überwiegend im innerstädtischen Bereich (siehe **Bild 1**) und soll in der Regel in offener Bauweise verlegt/gebaut werden, in Ausnahmefällen in geschlossener Bauweise. Dabei wird die Trasse hauptsächlich im Straßenverlauf von Haupt- und Nebenverkehrswegen verlegt.

Technische Sicherheit von Gashochdruckleitungen

Bemessung nach dem Stand der Technik

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Energieversorgung werden im Energiewirtschaftsgesetz in § 49 „Anforderungen an Energieanlagen“ definiert. Absatz 1 besagt: „... Energieanlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.“ Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird vermutet, wenn nach Absatz 2 „... bei Anlagen zur Erzeugung die Fortleitung und Abgabe von ... Gas die technischen Regeln der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) eingehalten worden sind.“

Für Gashochdruckleitungen erfolgt die Bemessung gemäß Normen und Regelwerken nach dem deterministischen Verfahren. Bindend für die Bemessung und den Betrieb sind die Regelwerke des DVGW und die Normen des DIN. Im Speziellen sind für die Bemessung von

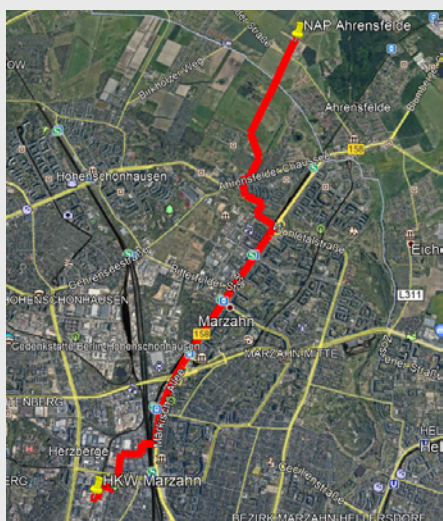


Bild 1: Trassenverlauf der projektierten Gasanbindungsleitung Marzahn (GAM)

Gashochdruckleitungen die DIN EN 1594 [1] und das DVGW G 463 [2] zu berücksichtigen.

Gemäß [1] und [2] werden Gashochdruckleitungen mit Sicherheitsbeiwerten bemessen. Am Beispiel der GAM ist die Bemessung um den Faktor 2,2 gegenüber dem geforderten Sicherheitsbeiwert von 1,6 überbemessen. Die Regeln der Technik und die damit einhergehenden Sicherheitsaspekte werden damit erfüllt und übertroffen.

Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen

Ziel jeder sicherheitstechnischen Betrachtung ist vorrangig der Schutz menschlichen Lebens. Es wird erwartet, dass jedes technische System (hier: Gasleitung) menschliches Leben sowie bedeutende Sachwerte nicht gefährdet. Um dieses Ziel zu erreichen, sind zahlreiche Vorschriften und Bestimmungen - sowohl für die Errichtung als auch für den Betrieb einer Leitung - aufgestellt worden. Diese Vorschriften und Bestimmungen gehören zu den allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Die Beschreibung und Bewertung eines verbleibenden Risikos, das jedes technische System hat, erfolgt mit probabilistischen Verfahren zur Berechnung einer Versagenswahrscheinlichkeit des Systems, mithilfe der Struktur-Zuverlässigkeitsanalyse (engl. structural reliability analysis – SRA) sowie der betragsmäßigen Quantifizierung der Folgen dieses Versagens, mithilfe der Quantitativen Risikoanalyse (engl. quantitative risk assessment – QRA), in Gegenüberstellung zulässiger Grenzwerte.

Als bestimmendes Versagen zur Beschreibung der technischen Sicherheit einer Gasleitung ist die „Undichte“, d. h. der Austritt des Mediums aus der Gasleitung.

Struktur-Zuverlässigkeitsanalyse

In Ergänzung zur deterministischen Bemessung wird die Sicherheit der GAM im Rahmen der SRA untersucht.

Bei der SRA werden, entgegen der deterministischen Bemessung, sämtliche mögliche Lastfälle mit der jeweiligen Auftretenswahrscheinlichkeit berücksichtigt und die Tragfähigkeit der Struktur in einer Zuverlässigkeitsanalyse bewertet. Bei den Berechnungen wird über die Streuung der Parameter die Zuverlässigkeit des Systems in Form einer berechneten Versagenswahrscheinlichkeit ermittelt. Diese Bewertung erfolgt ergänzend zur Bemessung und ersetzt diese nicht. Die Aussagen der SRA dienen der Quantifizierung des Sicherheitsniveaus der Gashochdruckleitung unter Berücksichtigung äußerer Einflüsse sowie zusätzlicher Sicherungsmaßnahmen, welche in der deterministischen Bemessung nach Vorschriften nicht quantifiziert sind.

Im Rahmen der SRA wird unter Verwendung der Rechenalgorithmen nach einer Versagenswahrscheinlichkeit infolge der Gefährdung durch Dritte und nach einer Versagenswahrscheinlichkeit infolge mechanischer Beanspruchung unterschieden. Die Algorithmen stützen sich auf anerkannte Berechnungsmodelle der Statik und der Statistik und sind damit eindeutig reproduzierbar.

Bei der Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit infolge der Gefährdung durch Dritte ist das Versagen gleichgesetzt mit dem Auftreten einer Undichte. Hierbei ist es unerheblich, ob es sich bei

dieser Undichte um ein Loch, aus dem nur begrenzte Gasmengen austreten, oder um einen Totalabriss der Leitung handelt. Die ermittelten Ergebnisse sind konservativ, da sie immer den Totalabriss abdecken, auch wenn es lediglich zu punktuellen Gasaustritten kommt.

Bei der Ermittlung des Versagens infolge mechanischer Beanspruchung wird als Versagen das Erreichen der Materialstreckgrenze definiert. Das heißt, die im Werkstoff hervorgerufenen Beanspruchungen liegen über der Werkstoffstreckgrenze. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass der Werkstoff auch über die Streckgrenze hinaus, unter Inkaufnahme plastischer Verformungen, beansprucht werden kann, ohne dass es zu einer Beschädigung oder einem Gasaustritt kommt. Die Bewertung ist daher als konservativ zu betrachten.

Quantitative Risikoanalyse

Bei der QRA handelt es sich um ein Verfahren zur Berechnung und Bewertung des Risikos bzw. der Folgen eines Versagens für Mensch und Umwelt, das von einer technischen Anlage – im vorliegenden Fall Gasleitung – ausgeht. Auch hier muss eine Verkettung von weiteren Ereignissen oder Umständen stattfinden, damit eine tatsächliche Beeinträchtigung vorliegt.

Zur Beurteilung der Folgen eines Leitungsschadens müssen der Austritt des Gases aus der Leitung, die Ausbreitung des Gases im Umfeld der Leitung und die Einwirkung auf die im Umfeld der Leitung anwesenden Personen modelliert und berechnet werden.

Aus der Verknüpfung der SRA- und QRA-Bewertungen lässt sich im Ergebnis ein Risiko berechnen und bewerten, welches für den Einzelnen und für die Gesellschaft von der Leitung ausgeht. Man spricht hierbei von einem individuellen Risiko und einem gesellschaftlichen Risiko. Das Ergebnis einer QRA ist somit keine absolute Aussage über das Sicherheitsniveau einer Leitung, sondern eine Aussage über das von der Leitung ausgehende Risiko und dessen Zulässigkeit im Vergleich zu entsprechenden Grenzwerten.

Das Risiko wird durch das Verfahren quantifiziert und die Zulässigkeit des berechneten Risikos wird anschließend anhand festgelegter Grenzwerte bestimmt.

Bautechnische und betriebliche Sicherheitsmaßnahmen

Um für die GAM eine hohe Sicherheit während des Baus und des Betriebes zu gewährleisten, sind die Umsetzung einer entsprechenden Instandhaltungsstrategie sowie bautechnischer und betrieblicher Sicherheitsmaßnahmen notwendig.

Bautechnisch werden folgende Maßnahmen zur Prüfung und zum Nachweis der Sicherheit angewendet:

- » erhöhte Rohrwanddicke auf 12,5 mm,
- » erhöhte Regelüberdeckung auf 1,2 m,
- » Verlegung eines Warnbandes ca. 40 cm oberhalb der Leitung,
- » Verwendung von passivem Korrosionsschutz (Außenummhüllung aus Polyethylen nach DIN 30670),
- » molchbare Ausführung der Gasleitung,
- » doppelte Schweißnahtprüfung (Röntgen und Ultraschall)
- » Druckprüfung im Stressverfahren sowie
- » Sicherheitsarmaturen am Anfang und Ende des bebauten Gebietes.

Die Überwachung des Betriebes erfolgt durch kontinuierliche Aufzeichnung der Betriebs- und Prozessparameter des Gastransportes. Die Daten werden in eine ständig besetzte Leitwarte übertragen und bei Grenzwertüberschreitungen wird Alarm ausgelöst. Diese Art der Fernüberwachung wird zusätzlich in periodischen Abständen durch Sichtkontrollen ergänzt.

Die aktiven betrieblichen Sicherheitsmaßnahmen bestehen konkret aus:

- » Einsatz von aktivem Korrosionsschutz mit Kathodenschutzanlagen (KKS),
- » Überwachung der KKS-Betriebsgrößen in Echtzeit und Detektion von Beschädigungen in Echtzeit,
- » permanente Druck- und Durchflussüberwachung durch die Dispatchingzentrale der ONTRAS,
- » wiederkehrende Begehung und/oder Befliegung der Leitung,
- » wiederkehrende Inspektion der Leitung mit Inspektionsgerät (Molch) sowie
- » wiederkehrende SRA und QRA mit aktuellen Zustandsdaten aus Molchung und Betriebsdatenaufzeichnung der Leitung.

Erweiterte Sicherheitsmaßnahmen für die Gasanbindungsleitung Marzahn

Allgemeines

Im Rahmen der Planung wurden technische Aspekte betrachtet, die Aussagen zum Systemverhalten bei Leckage oder bei Havarie geben und diese mit anderen technischen Systemen des Energietransportes verglichen. Hierzu sind die nachfolgenden technischen Aspekte untersucht worden.

Druckverlustberechnung

Unter dem Aspekt der Erhöhung des Sicherheitsniveaus wurde die Möglichkeit der Trassenteilung in Leitungssegmente, die durch selbstschließende Sicherheitsarmaturen getrennt sind, untersucht. Eine durchgeführte Druckverlustberechnung untersuchte dabei die Auswirkungen von theoretisch unterstellten Leckagen auf die Funktionalität von selbstschließenden Sicherheitsarmaturen.

Im Ergebnis wurde unter den vorliegenden Randbedingungen ein rechnerischer Druckverlust zwischen ca. 0,13 bar und 0,68 bar über die gesamte Transportstrecke ermittelt. Bei kurzen Transportstrecken, z. B. 500 m, liegt der Druckverlust und damit die Detektionsgrenze der äquivalenten Leckgrößen unterhalb der Fehlerbandbreite klassischer Drucksensoren von 0,1 % zum Nennwert. Wird die gesamte Leitungsstrecke als ein Leitungsabschnitt betrachtet, so sind die Druckverluste der äquivalenten Leckagen durch die Messtechnik gut erfassbar.

Ein „plötzliches“ Öffnen der Regelstrecke zur Versorgung der nachgelagerten Gas- und Dampfturbine (GuD) würde kurzzeitige Druckgradienten in einer 500 m entfernten, theoretisch angenommenen, selbstschließenden Sicherheitsarmatur erzeugen, welche weitaus größer wären als die einzustellenden Drucktoleranzgrenzen zur Erkennung einer Leckage. Ohne dynamische Anpassung der Drucktoleranzgrenzen der selbstschließenden Sicherheitsarmatur ist ein plötzliches Schließen der Sicherheitsarmatur beim plötzlichen Öffnen der Regelstrecke der GuD-Versorgungsschiene zu erwarten.

Risikovergleich

Im Rahmen eines von der Berliner Energieaufsichtsbehörde angelegten qualitativen Risikovergleiches wurde das von einer Gashochdruckleitung ausgehende Risiko dem Risiko einer Havarie eines Tanklastwagens im innerstädtischen Bereich gegenübergestellt.

Im Ergebnis wurde gezeigt, dass die Gashochdruckleitung ein rund 490-fach (Leck) bzw. rund elffach (Vollabriss) geringeres Risiko gegenüber dem Tanklastwagen für lebensbedrohliche bzw. schädliche Auswirkungen darstellt. Somit ist das von einer Gashochdruckleitung ausgehende Risiko um ein Vielfaches geringer als das derzeit zulässige Risiko einer Havarie eines Tanklastwagens im innerstädtischen Bereich.

Sicherheitsanalyse der GAM auf Basis einer SRA und QRA

Allgemein

Für die GAM sind das SRA- und QRA-Verfahren im Rahmen einer Sicherheitsanalyse angewendet worden. Es sind Versagenswahrscheinlichkeiten eines möglichen Leitungsschadens ermittelt worden, sowie Folgen und Auswirkungen eines möglichen Leitungsschadens berechnet und bewertet worden.

SRA

Im Rahmen der SRA wird - wie eingangs - beschrieben nach einem mechanischen Versagen und einem Versagen durch Dritte unterschieden. In der DIN EN ISO 16708 [3] sind Grenzwerte für mechanische Versagen nach Klassen definiert. Folgende Klassen werden demnach definiert:

- » Sicherheitsklasse 1 (niedrig),
- » Sicherheitsklasse 2 (mittel),
- » Sicherheitsklasse 3 (hoch) und
- » Sicherheitsklasse 4 (sehr hoch).

Die Klasse „sehr hoch“ wird gemäß [3] als zulässiger Grenzwert für die SRA herangezogen. Versagenswahrscheinlichkeiten für Gasleitungen werden in Ereignisse pro km und Jahr angegeben. Eine Versagenswahrscheinlichkeit von 1,00 bedeutet somit, dass mit dem Auftreten eines Schadensfalles pro Jahr und Kilometer zu rechnen ist und ein Wert von $1,00 \cdot 10^{-6}$ bedeutet, dass mit einem Ereignis in 1 Mio. Jahre pro km zu rechnen ist.

Für die GAM sind folgende Versagenswahrscheinlichkeiten (P_i) im Mittelwert und Maximalwert berechnet worden (**Tabelle 1**):

Tabelle 1: Versagenswahrscheinlichkeiten der GAM

Versagensart	Versagenswahrscheinlichkeit [Ereignisse pro km und Jahr]		
	Grenzwert/Referenzwert	Maximum	Mittelwert
mechanisches Versagen	$1,18 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-20}$	$1,00 \cdot 10^{-20}$
Versagen durch Dritte	$8,00 \cdot 10^{-6}$	$1,97 \cdot 10^{-7}$	$2,25 \cdot 10^{-8}$

Die Ergebnisse zeigen, dass die Nachweise gegenüber den zulässigen Grenzwerten erbracht werden und mit einer sehr hohen Sicherheit der GAM in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit eines Versagens zu rechnen ist.

QRA

Das Verfahren der SRA mit der Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeit ist durch die Definitionen und Sicherheitsklassen der DIN EN ISO 16708 im deutschsprachigen Raum etabliert und anerkannt. Obwohl mit der DIN EN ISO 16708 [3] einzuhaltende Grenzwerte vorliegen, ist das auf der SRA aufbauende Verfahren der QRA in Deutschland noch nicht verbreitet.

In der DIN EN ISO 16708 werden lediglich Richtwerte und mögliche Definitionen eines Risikos benannt. Verschiedene europäische Nachbarländer haben das Verfahren der QRA weiterentwickelt und im technischen Regelwerk sowie in Gesetzen verankert. Für die GAM wurde sich daher an Grenzwerten und Richtwerten nach dem Schweizer Rahmenbericht [4] und dem Purple Book [5] orientiert.

Im Rahmen der QRA wird – wie eingangs beschrieben – nach einem individualen und einem gesellschaftlichen Risiko unterschieden. Das Risiko wird dabei in Ereignisse pro Jahr angegeben. Das Risiko bezieht sich dabei auf die Gesamtheit einer technischen Anlage. Der Kilometerbezug bei einer Gasleitung entfällt dadurch. Berechnete Ergebnisse gelten dadurch für die gesamte Leitungstrasse.

Für die GAM sind folgende Risiken berechnet worden:

Tabelle 2: Risiken der Gasanbindungsleitung Marzahn

Risikokriterium	Risiko [Ereignisse pro Jahr]	
	Grenzwert	Maximum
Individual-Risiko	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-9}$
gesellschaftliches Risiko	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-7}$

Auch im QRA-Verfahren zeigt sich, dass die zulässigen Nachweise gegenüber den Grenzwerten erfüllt worden. Das berechnete Risiko für die Trasse der Gasleitung in Bezug auf eine Leckage mit anschließenden Folgen und Auswirkungen auf Personen ist sehr gering, wodurch eine hohe Sicherheit der Gasleitung gegeben ist.

Fazit

Die GAM ist hinsichtlich ihrer technischen Planung, Ausführung und ihres künftigen Betriebes als sicher zu bewerten, da sie nach den zuständigen Regelwerken und Normen ausgelegt worden ist. Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen in dicht besiedelten Gebieten ist die Gasleitung entsprechend den geltenden Regelwerken überbemessen, wodurch ein hohes Sicherheitsniveau erreicht wird.

Darüber hinaus ist die Gasleitung mit einem Zuverlässigkeits- und einem Risikoverfahren bewertet worden, wodurch zusätzlich mögliche Versagen der Gasleitung und deren Folgen für die nahe Umgebung in der Bewertung mit abgebildet worden sind. Zulässige Grenzwerte für Versagenswahrscheinlichkeiten und sowie individuelle und gesellschaftliche Risiken werden erfüllt.

Zusammenfassung

Bei der Planung und dem Bau von Gashochdruckleitungen müssen die Integrität der Gasleitung sowie der Schutz und die Sicherheit von Mensch und Umwelt an erster Stelle stehen. Neben den gesetzlichen und normativen Anforderungen an die Planung von

Gashochdruckleitungen sind darüber hinausgehende Sicherheitsmaßnahmen anzuwenden, welche die Sicherheit und Integrität der Gasleitung und der Umgebung auch in Gebieten mit hohem Schutzbedürfnis gewährleisten.

Die GAM verläuft überwiegend im dicht besiedelten Berliner Stadtteil Marzahn und stellt somit ein Gebiet mit hohem Schutzbedürfnis dar. Für die betriebliche und bauliche Sicherheit der Gasleitung sind über die deterministische Bemessung hinausgehende Maßnahmen angewendet worden. Damit wird ein hohes Sicherheitsniveau der Gasleitung gewährleistet.

Für die GAM kommen neben den gesetzlich geforderten Bemessungsrichtlinien Verfahren für Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen, in Form einer Struktur-Zuverlässigkeitsanalyse (SRA) und einer Quantitativen Risikoanalyse (QRA), zum Einsatz. Im Rahmen dieser Berechnungen werden Versagenswahrscheinlichkeiten (SRA) und Risiken (QRA) ermittelt. Die Zulässigkeit der Verfahren und Ergebnisse richtet sich bei der SRA nach nationalen Normen und bei der QRA nach etablierten anerkannten Regelwerken aus europäischen Nachbarländern.

Die berechneten Ergebnisse der Zuverlässigkeits- und Risikobewertung der GAM liegen unterhalb der zulässigen Grenz- und Referenzwerte. Damit ist eine hohe Sicherheit der Gasleitung in Bezug auf mögliches Versagen in Form von Leckagen und deren Auswirkungen auf die nahe Umgebung gewährleistet.

Literatur

- [1] DIN EN 1594 „Gasversorgungssysteme – Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar – Funktionale Anforderungen“ (2013/06)
- [2] Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW G 463 „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Errichtung“ (2016/07)
- [3] DIN EN ISO 16708 „Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems – Reliability based limit state methods“ (2006/08)
- [4] Swissgas: „Rahmenbericht zur standardisierten Ausmaßschätzung und Risikoermittlung“, Schweiz, Revision (2010)
- [5] Guidelines for quantitative risk assessment, „Purple Book“, CPR 18E, Committee for the Prevention of Disasters, The Hague

SCHLAGWÖRTER: Gashochdruckleitung, Pipelinesicherheit

AUTOREN



M. Eng. **STANISLAV DASCHEVSKI**
 Prokurist, Projektleiter, Dr.-Ing. Veenker
 Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
 Tel. +49 511 284 99-36
 stanislav.daschewski@veenkerghb.de



Dr.-Ing. habil. **STEFFEN PÄSSLER**
 Leiter Netzbereich Mitte
 ONTRAS Gastransport GmbH, Ketzin
 Tel. +49 341 27111-6620
 steffen.paessler@ontras.com