

# LNG-ANLAGEN- RISIKOANALYSE

Verflüssigtes Erdgas (LNG) wird als Energieträger für Industrieanlagen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Da LNG in der Schweiz bisher noch nicht weitverbreitet ist, ist Expertenwissen für eine korrekte Risikoanalyse sehr wichtig. Die Firma U-Risk GmbH konnte im Rahmen der Risikoanalyse für eine LNG-Satellitenstation neue Erkenntnisse in der praktischen Anwendung des SVGW-Rahmenberichts «LNG-Satellitenanlagen» gewinnen.

Patrick Krähenbühl\*, U-Risk GmbH

## RÉSUMÉ

### INSTALLATIONS DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ – ANALYSE DES RISQUES

Le gaz naturel est une source énergétique idéale pour l'industrie. Les installations qui ne sont pas raccordées au réseau de gaz public utilisent du gaz naturel liquéfié (GNL). Le GNL est également de plus en plus utilisé comme carburant pour le transport routier et la navigation. Sous forme liquide, le gaz naturel n'occupe que 0,16% du volume, ce qui le rend plus facile à transporter. Comme l'importance économique du GNL va fortement augmenter en Suisse ces prochaines années, des procédures harmonisées sont donc essentielles. La SSIge a mis en place une base solide avec le rapport-cadre des installations satellites de GNL. Le rapport-cadre sur la procédure standardisée concernant la prévention des accidents dans les installations satellites de GNL a été rédigé sous forme d'annexe des directives G20 de la SSIge. Il servira à l'avenir de guide pour l'analyse des risques des installations satellites de GNL. L'utilisation pratique a révélé que le rapport-cadre pouvait parfaitement être mis en œuvre sous forme de compte-rendu dans le cadre de la prévention des accidents. Au niveau de l'évaluation du risque, les connaissances d'experts sont indispensables. Un logiciel spécial permet de déterminer efficacement le risque. Parallèlement, ces évaluations peuvent servir de base à d'autres investigations. Le GNL est une source d'énergie très sûre et économique. Un cas pratique a permis de montrer que la mise en place d'installations satellites de GNL était également possible sur des sites industriels de taille moyenne.

## EINLEITUNG

Als Energieträger wird *Liquefied Natural Gas*, kurz LNG, eine zunehmende Bedeutung vorhergesagt (Box 1). Während in früheren Publikationen [1] vor allem die CO<sub>2</sub>-Reduktion hervorgehoben wurde, die erzielt wird, wenn ein anderer fossiler Energieträger durch LNG ersetzt wird, steht heute die Preisentwicklung im Vordergrund [2]. LNG zur lokalen Versorgung von Industrieanlagen oder als Treibstoff gilt heute noch als Nischenmarkt. Dies könnte sich aber bald ändern, denn als Energieträger ist LNG bereits profitabel [2].

### LNG-SATELLITENANLAGEN

Der für die Schweiz wichtigste Anlagentyp sind LNG-Satellitenstationen. Dabei handelt es sich typischerweise um Anlagen mit einer Kapazität von 5 bis 200 Tonnen [3]. Gespeichert wird LNG in Kryobehältern unter einem Druck von bis zu 20 bar. Es handelt sich bei LNG-Satellitenanlagen um sogenannte *small-scale LNG(ssLNG)*-Anlagen.

LNG-Satellitenanlagen bestehen üblicherweise aus vakuumisolierten doppelwandigen Drucktanks, einer Einrichtung zur Befüllung des Tanks, einem Verdampfer und den Einrichtungen zur Regulierung für den Endverbraucher. Typischerweise werden diese Anlagen als Energieversorgung von Industrieanlagen verwendet (Fig. 1).

\* Kontakt: pk@urisk.ch

## WAS IST LNG?

LNG oder Flüssigerdgas ist eine einfach und bequem zu handhabende Form von Erdgas. LNG besteht hauptsächlich aus Methan mit kleineren Anteilen anderer Kohlenwasserstoffe. Der Methananteil liegt üblicherweise zwischen 85 und 99,5%.

Die Dichte liegt normalerweise zwischen  $430 \text{ kg/m}^3$  und  $470 \text{ kg/m}^3$  [4]. Bei Atmosphärendruck liegt Erdgas unterhalb von minus  $161^\circ\text{C}$  in flüssiger Form als LNG vor. Gegenüber Erdgas reduziert sich das Volumen um den Faktor 600. Es handelt sich bei LNG um eine tiefkalte Flüssigkeit. Als Flüssigkeit brennt LNG nicht. Es kann nur in gasförmigem Zustand entzündet werden. Eine Zündung ist im Bereich von 5 bis 15% des Volumens möglich [3].

Erdgas kann nicht durch Druck verflüssigt werden, sondern nur durch Abkühlung. Das bedeutet, dass LNG in einem Behälter ohne Belüftung unter Wärmeeinwirkung verdampft. Flüssigerdgas darf nicht verwechselt werden mit Flüssiggas. Flüssiggas besteht hauptsächlich aus dem schwereren Propan und Butan (und nicht aus Methan).

### Box 1

Zwischen der Aussen- und Innenhaut aus Stahl wird eine Vakuum-Perlit- oder Stickstoff-Perlit-Isolation zum Schutz vor Wärmeeinwirkung verwendet. Die Kryptobehälter sind dadurch gut vor mechanischen und thermischen Einwirkungen geschützt.

Im Auftrag des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfachs SVGW wurde unter Mitarbeit von Behördenvertretern der Rahmenbericht «LNG-Satellitenanlagen» (Box 2) als Anhang zur Richtlinie G20 erarbeitet [5]. Dadurch soll ein standardisierter und einheitlicher Vollzug gefördert werden.

## ANWENDUNGSGEBIETE VON LNG

LNG wird vor allem als Lkw-Treibstoff, als Brennstoff für die Industrie und als Treibstoff in der Schifffahrt eingesetzt. In allen Sparten wird bis 2030 ein LNG-Marktanteil von je einem Drittel prognostiziert [2].

### LNG ALS ENERGIETRÄGER FÜR DIE INDUSTRIE

Erdgas ist ein idealer Energieträger für die Industrie. Als Ersatz von Erdöl kann eine erhebliche  $\text{CO}_2$ -Einsparung und eine deutliche Reduktion der Umweltbelastung durch Abgabe erreicht werden. Durch die Verwendung von Methan aus erneuerbaren Energiequellen ist in Zukunft eine weitere Verbesserung der Energiebilanz denkbar.

Für Industriebetriebe, die nicht ans Erdgasnetz angeschlossen sind, ist LNG eine sehr gute Lösung. Die Lagerung und Vergasung geschieht in LNG-Satellitenstationen. LNG eignet sich besonders als Bandenergie.

In der Schweiz steht die Verwendung von LNG als Energieträger für Industriebetriebe im Vordergrund.

### LNG ALS TREIBSTOFF IM TRANSPORT

Viele Lkw-Hersteller sehen in LNG eine Möglichkeit, um in Zukunft einen  $\text{CO}_2$ -neutralen Warentransport anzubieten. Dies durch die Verwendung von LNG aus Biogas [6, 7]. Ein zusätzli-

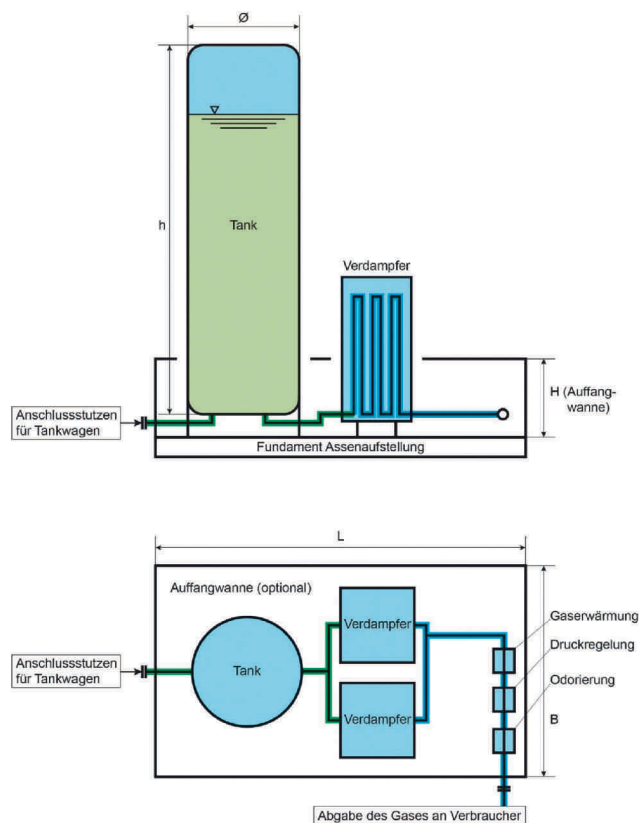


Fig. 1 Schema eines typischen Anlagendesigns für im Freien erstellte LNG-Satellitenanlagen. (Quelle: Rahmenbericht [5])

Schéma d'une conception typique d'installations satellites de GNL construites en plein air.

ches Argument für eine Umstellung der Flotte auf LNG ist, dass aufgrund der Preisentwicklung oft Treibstoffkosten gespart werden können [8]. Neben der besseren  $\text{CO}_2$ -Bilanz stellt auch die geringere Lärmbelastung [1] einen entscheidenden Vorteil dar. Speziell in Innenstädten gewinnen Faktoren wie reduzierte Partikel- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen sowie die tiefere Lärmbelastung zunehmend an Bedeutung [9].

Die grossen Lkw-Hersteller bieten mittlerweile LNG-Lastwagen auch für den Langstreckentransport an. LNG-Lastwagen erreichen Reichweiten von bis zu 1000 km [6, 10]. In einigen Regionen von Europa besteht schon heute ein gutes Netz an LNG-Tankstellen. Der Aufbau eines Tankstellen-Netztes schreitet auch im übrigen Europa voran [9].

### LNG ALS TREIBSTOFF FÜR DIE SCHIFFFAHRT

Als Treibstoff gewinnt LNG in der Schifffahrt immer mehr an Bedeutung. Eine Pionierrolle hat hierbei die Gesellschaft *Viking Line* inne. Sie betreibt das Schiff *Viking Grace* mit LNG [11]. Dadurch kann die Abgasbelastung in den Schären vor Stockholm reduziert werden. Zunehmend setzen sich mit LNG betriebene Schiffe auch auf Binnengewässern und in der Flussschifffahrt durch.



**RAHMENBERICHT LNG-SATELLITENANLAGEN**

Ziel des Rahmenberichts ist eine standardisierte und praktikable Vollzugspraxis der Störfallverordnung (StFV) für LNG-Satellitenanlagen zu schaffen. Er beinhaltet die Grundlagen, damit schweizweit die Ausmasseinschätzung gemäss StFV nach einer einheitlichen Berechnungsmethodik durchgeführt werden kann [5].

Der Rahmenbericht zum standardisierten Verfahren bezüglich der Störfallvorsorge bei LNG-Satellitenanlagen wurde als Anhang zur Richtlinie G20 des SVGW verfasst. Er umfasst den Anlagebeschrieb und die sicherheitstechnischen Elemente für typische LNG-Satellitenanlagen.

Basierend auf einer Diskussion der Schadensereignisse wird die Wahl des Worst-Case-Szenarios begründet. Als Worst-Case-Szenario wird ein Freistrahbrand (*Jet Fire*) definiert:

Schadensszenarien	Worst-Case-Szenario	Begründung
Gaswolkenbrand (Flash Fire)	-	Gefährdungsbereich kleiner als beim Freistrahbrand.
Gaswolkenexplosion (VCE)	-	Nur in verdämmter oder teilverdämmter Umgebung möglich. Im Rahmenbericht werden nur Anlagen in unverdämmter Umgebung berücksichtigt.
Feuerball (Fire Ball)/BLEVE	-	Ein Feuerball ist nur bei spontaner Freisetzung möglich, spontane Freisetzung wird nicht als realistisch eingestuft. Die Isolierung des Tanks verhindert einen starken Temperaturanstieg im Innern; somit ist ein BLEVE infolge einer Unterfeuerung nicht realistisch.
Freistrahbrand (Jet Fire)	X	
Lachenbrand (Pool Fire)	-	Infolge von kontinuierlicher Freisetzung möglich, jedoch kleinerer Gefährdungsbereich als beim Freistrahbrand.

Tab. 1 Begründung der Auswahl des Worst-Case Szenarios

(Quelle: [5])

*Justification du choix du scénario du pire des cas*

Basierend auf dem definierten Worst-Case-Szenario erlaubt der Rahmenbericht eine vereinfachte Ausmasseinschätzung auf Stufe Kurzbericht.

Aufgrund des maximalen Betriebsdrucks und des maximalen Rohrdurchmessers lässt sich der 1%-Letalitätsradius ermitteln. Dies erlaubt eine vereinfachte Abschätzung mittels eines kreisförmigen Gefährdungsbereichs. In der Praxis häufiger verwendet wird die detailliertere Ausmasseinschätzung.

Die detailliertere Ausmasseinschätzung erlaubt die Darstellung der Gefährdungsbereiche und Letalitätsgrenzen als Rechteck (Fig. 2). Aufgrund der örtlichen Situation lässt sich das Ausmass ermitteln. Auf Stufe Risikoermittlung liefert der Rahmenbericht Grundlagen zur Häufigkeitsermittlung. Zur Erstellung einer Risikoermittlung ist jedoch Expertenwissen und eine geeignete Softwarelösung notwendig.

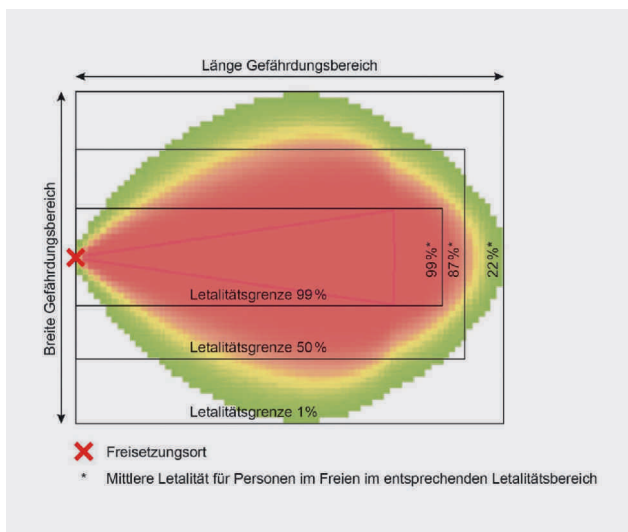


Fig. 2 Gefährdungsbereiche für die detaillierte Ausmasseinschätzung

*Zones dangereuses pour l'évaluation détaillée des mesures*  
(Quelle: [5])

Box 2

**GEFAHREN VON LNG**

Eine Gefährdung für Personen besteht hauptsächlich durch Brand und Explosionsereignisse. Relevante Unfallszenarien und die daraus resultierenden Störfallszenarien sind auf Basis der Norm ISO/TS 16901 [12] zu ermitteln.

Die Definitionen für Schadensereignisse und Worst-Case-Szenarien sind im Rahmenbericht vorgegeben. Dies dient vor allem zur Evaluation der auf Ebene Kurzbericht relevanten Ereignisse. Die Ursachen von LNG-Freisetzungen sind oft Lecks der unter Druck stehenden Teile der Anlage. Eine Freisetzung von LNG beinhaltet folgende Gefahren:

**GASWOLKENBRAND**

LNG ist viel kälter als die Umgebungstemperatur. Daher verdampft freigesetztes LNG sofort. Falls nun das entstehende Gas nicht sofort gezündet wird, entsteht eine Gaswolke. Diese Gaswolke kann gegebenenfalls auch vom Wind verfrachtet werden. Sobald diese Wolke gezündet wird, brennt diese schnell vom Rand her ab. Dies wird Gaswolkenbrand (*Flash Fire*) genannt. Alles, was sich innerhalb der Gaswolke befindet, ist den Flammen ausgesetzt.

**GASWOLKENEXPLOSION**

Eine Gaswolkenexplosion (*Vapour Cloud Explosion, VCE*) bedeutet, dass bei Zündung einer Gaswolke die Abbrandgeschwindigkeit so gross wird, dass dadurch ein Überdruck entsteht. Experimentell konnte gezeigt werden, dass dies nur in verdämmten oder teilverdämmten Umgebungen vorkommt [13]. Wenn eine Gaswolke in einen geschlossenen Raum eindringt, kann eine Explosion erfolgen. Nach dem Stand der Technik werden LNG-Satellitenanlagen daher so gebaut, dass Gas nicht in Schächte, Kanäle oder geschlossene Räume eindringen kann.

**BLEVE**

Ein BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) entsteht durch externe Hitzeeinwirkung auf einen Gastank. BLEVE bei Flüssiggasanlagen (LPG) ist ein sehr gefürchtetes Ereignis. Die dadurch entstehenden Feuerbälle können Durchmesser von mehreren hundert Metern erreichen. Im Gegensatz zu Flüssiggas sind LNG-Tanks durch die isolierte Tankwand und die doppelte Stahlhülle geschützt. Die Isolierung verhindert ei-

nen starken Temperaturanstieg im Inneren. Dadurch erfolgt eine langsame und stetige Freisetzung. Ein BLEVE infolge einer Unterfeuerung ist somit ein unrealistisches Szenario [5].

#### **FREISTRABLBRAND**

Der Freistrahlbland (*Jet Fire*) stellt bei einer LNG-Satellitenanlage das Worst-Case-Szenario dar [5]. Beim Bruch oder Abriss einer unter Druck stehenden Leitung tritt LNG als Flüssigkeitsstrahl aus. Infolge Zündung des Gases, welches durch die Verdampfung des LNG entsteht, bildet sich ein brennender Strahl. Infolge des Drucks bei einer LNG-Satellitenanlage kann ein Freistrahlbland eine beachtliche Länge annehmen. Das Ausmass der Flamme hängt vom Druck, dem Durchmesser der Leitung und der Länge der Leitung ab.

#### **LACHENBRAND**

Falls LNG als Flüssigkeit austritt, so kann sich eine LNG-Lache bilden. Durch Zündung des verdampften LNG bildet sich ein Lachenbrand (*Pool Fire*). Ein Lachenbrand kann daher eine beachtliche Hitzeeinwirkung auf die darunterliegende LNG-Lache zur Folge haben. Durch die Hitzeeinwirkung des Feuers steigt wiederum die Verdampfungsrate. Mittels Schaumglas oder speziellem Löschschaum lässt sich die Hitzeeinwirkung auf die LNG-Lache und daher auch die Grösse der Flamme um bis zu 85% reduzieren. Eine Intervention durch die Feuerwehr ist daher bei einem Lachenbrand von grosser Bedeutung.

#### **WEITERE GEFAHREN**

Durch LNG besteht auch eine Erstickungsgefahr. Zudem kann LNG aufgrund der extremen Kälte zu Erfrierungen führen. Da diese Gefahren nur in unmittelbarer Umgebung herrschen, ist die Bedeutung in der Störfallvorsorge gering.

#### **BRANDBEKÄMPFUNG**

Bei Zwischenfällen mit LNG sollen Brände in der Regel nicht gelöscht werden. So wirkt man der Gefahr, die durch das noch nicht gezündete Gas entsteht, entgegen. Soll ein Feuer gelöscht werden, so ist dies mittels Löschpulver möglich. Daher müssen gemäss einschlägigen Normen Pulverlöscher vor Ort vorhanden sein [3]. Bei Lachenbränden (*Pool Fire*) ist der Einsatz von Schaum das Mittel der Wahl. Schaum mindert die Intensität des Feuers, es löscht das Feuer jedoch nicht. Die

Minderung der Intensität des Feuers ist wichtig, da der Wärmeeintrag in die Umgebung beim Brand von LNG ein Mehrfaches von vergleichbaren anderen Bränden beträgt.

Als Schaum soll nur spezieller Schaum (*high-expansion foam*) verwendet werden. Dieser kann mit speziellen Schaumgeneratoren erzeugt werden. Die Spezifikation von solchen Schäumen ist durch die US-amerikanische *National Fire Protection Association* (NFPA) in der Richtlinie NFPA 11 [14] gegeben.

Wasser soll nicht direkt auf das LNG gelangen. Auch die Anlage selbst sollte nicht mit Wasser gekühlt werden, da sicherheitsrelevante Teile einfrieren können. Hingegen kann Wasser zum Schutz der Umgebung verwendet werden. Die Blaulichtorganisationen müssen daher gezielt geschult werden.

### **RISIKOANALYSE**

#### **METHODISCHE UND FACHLICHE GRUNDLAGEN**

In der Schweiz existieren heute gute Ausgangsbedingungen, um mit geringen Projektrisiken auf LNG als Energieträger zu wechseln. Als Anhang zur G20 hat der SVGW den Rahmenbericht [5] zur Risikoanalyse bei LNG-Satellitenanlagen erstellt. Dieser bildet die Basis für eine einheitliche und harmonisierte Anwendung im Rahmen der Störfallvorsorge. Ebenso schafft die Übernahme europäischer

Normen durch die Schweiz eine wichtige Grundlage für die Definition des Stands der Technik.

#### **ERSTELLUNG EINER RISIKOANALYSE IN DER PRAXIS**

Die Firma *U-Risk GmbH* hatte die Gelegenheit, den Rahmenbericht in der Praxis anzuwenden. Dies im Rahmen einer Risikoanalyse für eine LNG-Satellitenanlage, die als Energieversorgung für eine Industrieanlage geplant ist.

Es wurde entschieden, dass nach dem Erfassen der Grunddaten zuerst ein Kurzbericht verfasst wird. Dieser wurde dann zu einer Risikoermittlung erweitert.

Zuerst wurden die Grunddaten der Anlage und der Umgebung erhoben. Die Sicherheitsmassnahmen und die Gefahrenpotenziale wurden erfasst. Es wäre auf Ebene Kurzbericht nicht notwendig, dass die Sicherheitsmassnahmen erfasst werden. Hingegen muss sichergestellt werden, dass die Anlage dem Stand der Technik entspricht. Dafür ist das Erfassen der Sicherheitsmassnahmen notwendig. Das Erfassen der Gefahrenpotenziale ermöglichte die Verifizierung des Worst-Case-Szenarios gemäss Rahmenbericht.

#### **RISIKOANALYSE EINER GEPLANTEN ANLAGE**

Technisch handelt sich um eine typische LNG-Satellitenanlage mit einem liegenden oberirdischen Tank. Die LNG-

#### **STÖRFALLVORSORGE**

Die Störfallverordnung definiert, welche Risikoanalysen Betriebe mit potenziell gefährlichen Stoffen durchführen müssen und wie diese zu interpretieren sind. Die Störfallverordnung (StFV) [15] wurde infolge des Zwischenfalls bei Schweizerhalle im Jahre 1986 erlassen. Sie stützt sich hauptsächlich auf Artikel 10 des Umweltschutzgesetzes.

LNG-Anlagen unterstehen in der Schweiz ab einer Menge von 20 Tonnen LNG (Methan) der Störfallverordnung. Die Risikoanalyse im Rahmen der Störfallverordnung geschieht in einem zweistufigen Verfahren.

In einer ersten Stufe muss ein Kurzbericht eingereicht werden. Im Kurzbericht wird der Worst Case beurteilt. Es wird ermittelt, ob eine schwere Schädigung der Bevölkerung möglich ist. Als schwere Schädigung gilt ein Störfallwert über 0,3 – dies entspricht 10 oder mehr toten Personen.

In einer zweiten Stufe wird eine Risikoermittlung erstellt. Im Rahmen der Risikoermittlung ist zu prüfen, ob das von einem Betrieb ausgehende Risiko tragbar ist. Das Risiko wird hierbei im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm (W-A-Diagramm) dargestellt. In eine Risikoermittlung werden mittels einer Fehler-/Ereignisbaumanalyse alle verfügbaren Daten einbezogen.

Alle Gefahrenpotenziale, die Sicherheitsmassnahmen und deren Ausfallswahrscheinlichkeiten werden in die Fehlerbaumanalyse einbezogen. Mittels der Ereignisbaumanalyse wird anschliessend die durch die Anlage resultierende Gefährdung der Bevölkerung ermittelt.

Anlage besteht im Wesentlichen aus dem Speicherbehälter, zwei Luftverdampfern, einem elektrisch betriebenen Nachheizger, einer Druckreduzierung und den Sicherheits- und Steuerungselementen. Der Behälter selbst ist ein Doppelmantelbehälter. Der Hohlraum zwischen den Behältern ist vakuumisoliert. Um im Falle einer Leckage des äusseren Behälters eine ausreichende Isolation zu gewährleisten, ist zusätzlich eine hochwertige Isolation zwischen den Behälterwänden vorhanden.

Die geplante LNG-Satellitenanlage befindet sich am Dorfrand einer grösseren Ortschaft. Auf einer Seite der Anlage befindet sich in einer Entfernung von einigen Metern eine kleinere Strasse. Knapp im Einflussbereich der Anlage liegt eine Bauparzelle mit einem bewilligten Bauprojekt (Fig. 3).

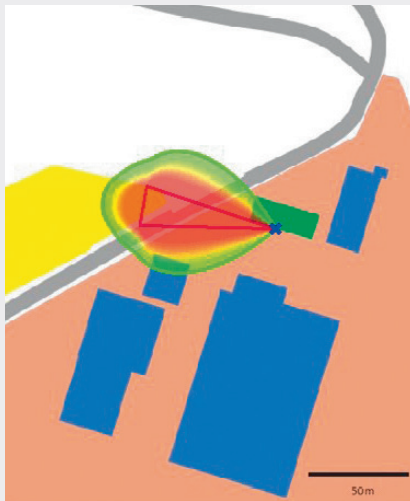


Fig. 3 Darstellung Freistrahlsbrand: LNG-Anlage (grün), Werksgebäude (blau), Bauparzelle (gelb), Strasse (grau)  
Un jet de flammes: installation GNL (vert), bâtiments de l'usine (bleu), parcelle constructible (jaune), rue (gris)

Die geplante Anlage entspricht der Konfiguration der Standardanlage im Rahmenbericht [5] respektive der Norm SN-EN13645 [3]. Man darf daher davon ausgehen, dass auch die Sicherheitsmassnahmen mindestens dieser Norm entsprechen.

Die wichtigsten Elemente sind: Es werden Einschweissarmaturen anstelle von Flanschen verwendet, Tank und Leitungen sind mit einer äusseren Ummantelung aus Stahl versehen, es werden nur für tiefkalte Flüssigkeiten geeignete Materialien verwendet. Zudem wird die ganze Anlage auf einem Fundament gebaut.



Fig. 4 Für Industriebetriebe, die nicht an das Erdgasnetz angeschlossen sind, aber gleichwohl von den Vorteilen von Erdgas profitieren möchten, ist LNG die ideale Lösung.

Le GNL est la solution idéale pour les entreprises industrielles qui ne sont pas raccordées au réseau de gaz naturel mais qui veulent tout de même bénéficier des ses avantages.

Dieses gewährleistet die Erdbebensicherheit. Die Anlage ist von einer 30 cm hohen Begrenzungsmauer umgeben. Diese dient als Auffangwanne für allfällig ausfliessendes LNG. Alle Schächte in der Umgebung der Anlage sind so verschlossen, dass kein flüssiges LNG ins Abwassersystem oder in Versorgungsschächte gelangen kann.

Die Anlage selbst ist mit einer Umzäunung versehen. Dadurch kann ein Betreten durch Unbefugte verhindert werden. Auf der Seite des Wendeparkplatzes ist die Anlage durch einen Anfahrtschutz geschützt. Das grösste Gefahrenpotenzial stellt der Werksverkehr mit gelegentlichen Anlieferungen durch Lkw dar. Die Lastwagen passieren bei der Fahrt zum Abladeplatz die Anlage.

#### BERECHNUNGEN AUF EBENE KURZBERICHT

Gemäss dem Rahmenbericht [13] wurde eine Schätzung des Gefährdungsbereichs gemacht. Der Durchmesser der grössten am Tank angeschlossenen Leitung beträgt DN40. Der maximale Betriebsdruck beträgt 8 bar. Die Länge des 1%-Letalitätsbereichs beträgt demnach 85 m. Die Länge des 99%-Letalitätsbereichs ist 72 m und die Breite des 99%-Letalitätsbereichs misst 37 m.

Die detailliertere Abschätzung des Gefährdungsbereichs gemäss Rahmenbericht ergab, dass sowohl die angrenzende Strasse wie auch teilweise die Bauparzelle im Gefährdungsbereich der Anlage liegt. Der Gefährdungsbereich wurde daher zur Überprüfung mittels *Effects*,

einer Software von TNO, berechnet. Die Überprüfung bestätigte die Abschätzung nach Rahmenbericht.

Obwohl die angrenzende Strasse nur einen durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) von weniger als 5000 Fahrzeugen hat, ist sie für die Berechnung des Ausmasses relevant. Die Strasse ist ein viel benutzter Schulweg. Eine Besichtigung vor Ort ergab, dass die Schüler die besagte Stelle oft in Gruppen passieren. Dies sowohl auf Fahrrädern wie auch zu Fuss. Die Ausmassschätzung ergab, dass der Störfallwert klar über 0,3 liegt. Es sind also potenziell mehr als zehn Tote möglich. Es war daher angebracht, eine Risikoermittlung zu erstellen.

#### RISIKOERMITTLUNG

Aufgrund der örtlichen Situation waren die meisten Angaben zur Bevölkerung schon im Rahmen des Kurzberichtes erhoben worden. Da die Anlage erst in Planung ist, sind die detaillierten Sicherheitsmassnahmen noch nicht bekannt. Es wurde daher angenommen, dass die Anlage die technischen Sicherheitsmassnahmen gemäss geltenden Normen erfüllt. In der Praxis wird eine neue Anlage wesentlich sicherer gebaut werden.

Die in der (kommenden) Richtlinie G20 vorgesehenen organisatorischen Sicherheitsmassnahmen werden getroffen. Dies sind unter anderem die Koordination und Einsatzplanung der Feuerwehr und Ereignisdienste sowie die Ausbildung der Mitarbeiter. Für die Entladung werden genaue Checklisten und Anweisungen



ausgearbeitet. Es besteht ein Brandschutzkonzept und ein Unterhaltsplan. Die heute schon auf dem Werksgelände geltenden Massnahmen und Vorschriften werden auch für die LNG-Anlage gelten. Die darüber hinausgehenden Sicherheitsmassnahmen konnten jedoch nicht im Detail berücksichtigt werden, da diese zum Teil noch nicht bekannt sind. Dies heisst, dass die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten von einer sehr konservativen Annahme ausgeht. Die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt eines Ereignisses wird also tendenziell überschätzt. Eine Präzisierung wird im Rahmen der Detailplanung respektive der Inbetriebnahme möglich sein.

Die Definition der Schadensereignisse und Worst-Case-Szenarien entspricht dem Vorgehen nach dem Rahmenbericht für LNG-Satellitenanlagen [5]. Dieses Vorgehen ist adäquat, da es sich um eine LNG-Satellitenanlage im Freien und in unverdämmter Umgebung handelt. Die Grundlage zur Ausarbeitung der Szenarien sind die in Kapitel 3 des Rahmenberichts dargestellten Szenarien. Mittels der Norm ISO/TS 160901 [12] wurden die berücksichtigten Szenarien überprüft und ergänzt.

Die Fehlerbaumanalyse ergab, dass zwei Gefahrenpotenziale dominierend sind.

Dies sind einerseits Fehler im Rahmen des Betankungsvorganges, andererseits mechanische Beschädigung der Anlage. Gefahrenpotenziale, die zu einer mechanischen Beschädigung führen können, sind vor allem Flugzeugabstürze und Unfälle im Zusammenhang mit dem Werksverkehr.

Naturgefahren stellen kein grosses Gefahrenpotenzial dar. Die Anlage liegt am Rand eines potenziellen Überschwemmungsgebietes. Am Standort ist jedoch der maximal mögliche Wasserstand nur noch sehr gering. Zudem liegt der Anfahrtsweg für die Feuerwehr nicht im überschwemmungsgefährdeten Gebiet. Weder der Betrieb der Anlage noch die Anlage selbst wären von einem Hochwasser betroffen. Bezüglich Umweltschäden stellt die LNG-Anlage gegenüber der bestehenden Lösung mit Erdöl als Energieträger eine wesentlich geringere Gefährdung dar.

Der grösste Teil der Ereignisbaumanalyse wurde mittels der Software *Riskcurves* (TNO) gemacht. Dies ermöglicht es zum Beispiel, die verschiedenen meteorologischen Bedingungen viel detaillierter zu berücksichtigen, als dies bei einer konventionellen Ereignisbaumanalyse möglich wäre. Für die Erstellung der Risikoermittlung wurde die Berechnung soweit

möglich über professionelle Softwarelösungen gemacht. Dies gilt auch für die Fehlerbaumanalyse. Es wird daher mit geringem Aufwand möglich sein, die Risikoermittlung im Rahmen der Umsetzung des Bauvorhabens zu präzisieren.

Wie im W/A-Diagramm in *Figur 5* dargestellt, liegt die Risikosummenkurve vollständig im akzeptablen Bereich. Für diese Anlage wird aufgrund der Nähe zur Strasse der Störfallwert von 0,3 deutlich überschritten. Da es sich bei neuen LNG-Anlagen um sehr sichere Anlagen handelt, liegt die Wahrscheinlichkeit für einen Störfall sehr tief. Daher liegt die Risikosummenkurve vollständig im grünen Bereich.

#### WEITERGEHENDE UNTERSUCHUNGEN

Risikoanalysen sind nicht nur im Rahmen der Störfallvorsorge durchzuführen. Risikoanalysen und Ausmassabschätzungen empfehlen sich für Betriebe auch zur Einschätzung der Gefahren für den Betrieb selbst.

Der Betrieb ist im Rahmen der Arbeitgeberfürsorge (Art. 328 OR) für den Schutz seiner Mitarbeiter verantwortlich. Er hat alle notwendigen Massnahmen zum Schutz seiner Mitarbeiter zu treffen (Art. 82 Abs. 1 und 2 UVG) (Art. 6 Abs. 1 und 3 ArG). Entspricht eine Anlage dem Stand

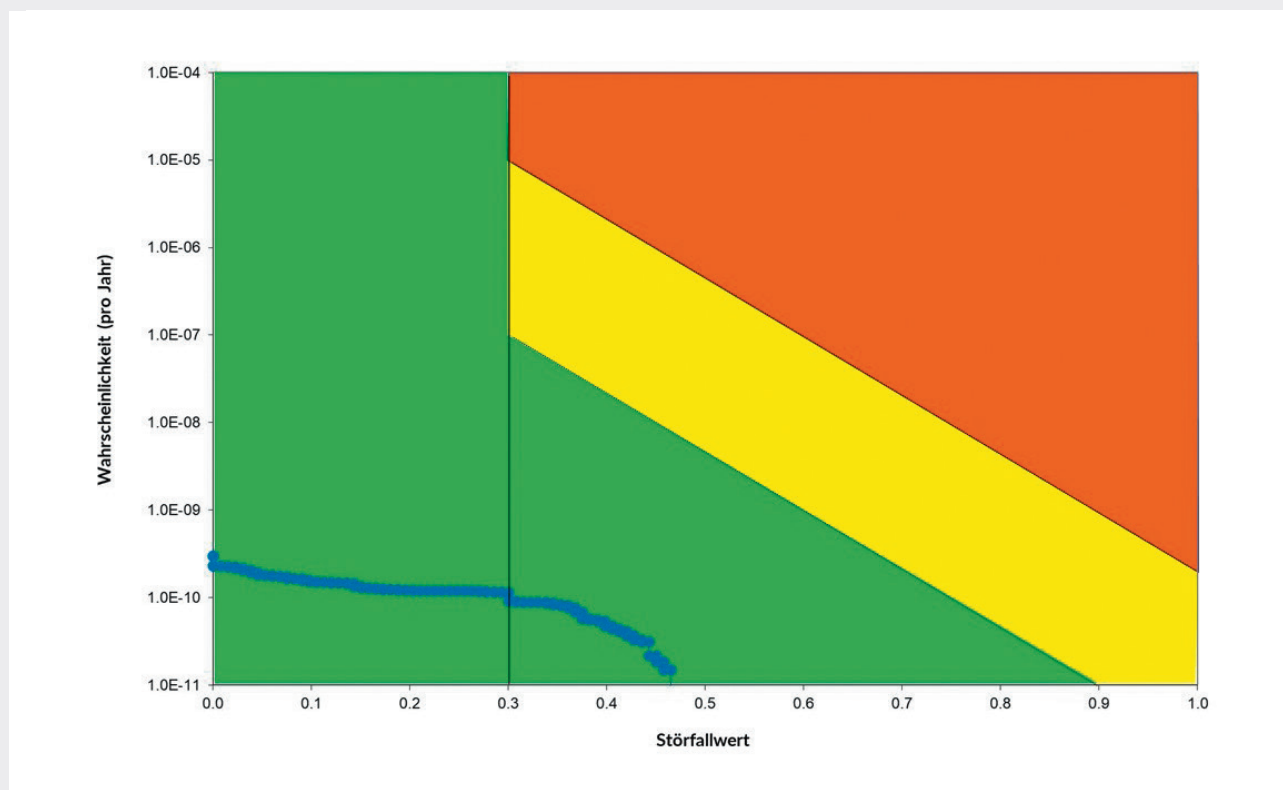


Fig. 5 W/A-Diagramm, Summenkurve (Blau), akzeptabler Bereich (Grün), Übergangsbereich (Gelb), nicht akzeptabler Bereich (Rot)  
Diagramme W/A, courbe cumulative (bleu), domaine acceptable (vert), zone de transition (jaune), domaine non acceptable (rouge)



Fig. 6 Aufgrund hoher Sicherheitsstandards ist die Wahrscheinlichkeit eines Zwischenfalls bei einer LNG-Anlage sehr klein.

En raison des normes de sécurité élevées, la probabilité d'un incident dans une installation de GNL est très faible.

der Technik, so ist meist auch die Fürsorgepflicht des Arbeitgebers erfüllt. Beachtung muss insbesondere der zur Verfügung gestellten Schutzausrüstung (PSA) geschenkt werden. Zu beachten ist, dass es sich bei LNG um eine tiefkalte, brennbare und explosive Flüssigkeit handelt. Um die Projektrisiken einer LNG-Anlage abzuschätzen, ist auch eine Analyse der Gefahren von Brandereignissen auf die Infrastruktur empfohlen. Wenn die Risikoanalysen im Rahmen der Störfallvorsorge mittels Spezialsoftware durchgeführt wird, so ist der Zusatzaufwand für diese Analysen meist sehr gering. *U-Risk* verwendet für Berechnungen die Software *Effects/Riskcurves* von *TNO*. Mittels dieser Software lassen sich das Kollektivrisiko und das Individualrisiko in derselben Berechnung bestimmen. Während für Risikoermittlungen im Rahmen der Störfallvorsorge das Kollektivrisiko ermittelt werden muss, ist für den Arbeitnehmerschutz das Individualrisiko aussagekräftiger.

Auch im vorgängig geschilderten Praxisbeispiel wurde das Risiko für die Mitarbeiter und die Infrastruktur beurteilt. Die LNG-Anlage stellt für die Mitarbeiter kein wesentliches zusätzliches Risiko dar. Dies ist einerseits durch die massive Bauwei-

se der umliegenden Gebäude begründet, andererseits, dass keine Fluchtwege in Richtung der LNG-Anlage führen.

## FAZIT

LNG ist ein sehr sicherer und wirtschaftlicher Energieträger. Er ermöglicht, die Vorteile von Erdgas auch dezentral nutzen zu können.

In der Praxis hat sich der Rahmenbericht des SVGW als sehr gute Basis für die Erstellung des Kurzberichtes herausgestellt. Auch bei der Risikoermittlung ist er von grossem Nutzen. Im bearbeiteten Praxisfall hat sich gezeigt, dass auch auf mittelgrossen Industriearealen der Bau einer LNG-Satellitenanlage problemlos möglich ist. Durch die hohen Sicherheitsstandards bei LNG-Satellitenanlagen ist die Wahrscheinlichkeit eines Zwischenfalls meist sehr klein.

Das heisst, dass wenn für eine LNG-Anlage eine Risikoermittlung erstellt werden muss, die Verwirklichung in vielen Fällen problemlos möglich ist. Durch den Einsatz moderner Softwarelösungen ist für einen Spezialisten eine Risikoermittlung effizient und wirtschaftlich durchzuführen. Es können von der Standortevaluation bis zur allfälligen Risikoermittlung

dieselben Softwarelösungen angewendet werden. Die Kenntnisse über LNG und seine spezifischen Gefahren sind in der Schweiz noch nicht weitverbreitet. Daher wird in vielen Fällen der Beizug von Spezialisten nötig sein. Die Sicherheitsmassnahmen bei LNG-Anlagen zu kennen, ist auch eine unabdingbare Grundlage um wirtschaftliche und sichere Anlagen zu konzipieren.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gerstein, D. (2016): *LNG als Treibstoff – Situation in Europa und speziell in Deutschland sowie Perspektiven*. Aqua & Gas 3
- [2] PWC (2017): *Small going big, Why small-scale*
- [3] Schweizerische Normenvereinigung (2002): *SN EN 13645:2001 de*
- [4] British Standard (1997): *BS EN 1160:1997; Installations and equipment for liquefied natural gas – General characteristics of liquefied natural gas*
- [5] Basler&Hofmann; Marugg, C.; Krähenbühl, P.; Jaus, S. (2016): *Anhang 1 zur Richtlinie G20; LNG-Satellitenanlagen; Rahmenbericht, Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfachs SVGW*
- [6] Volvo (2018): *Volvo FH LNG*. Available: [www.volvotrucks.com/en-en/trucks/volvo-fh-series/volvo-fh-lng.html](http://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/volvo-fh-series/volvo-fh-lng.html) [Zugriff am 13.4.2018]
- [7] TIRtransNews (2018): *Volvo Trucks LNG auch für die Langdistanz*. Available: [www.tir-transnews.ch/gas-powered-auch-fuer-die-langdistanz/](http://www.tir-transnews.ch/gas-powered-auch-fuer-die-langdistanz/) [Zugriff am 13.4.2018]
- [8] Volvo Trucks: *Volvo Trucks GLOBAL*. Available: [www.volvotrucks.com/en-en/trucks/volvo-fh-series/volvo-fh-lng.html](http://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/volvo-fh-series/volvo-fh-lng.html) [Zugriff am 13.4.2018]
- [9] LIQVIS: *Der Kraftstoff LNG und Emissionen*. Available: [www.liqvis.com/de/lng-emissionen](http://www.liqvis.com/de/lng-emissionen) [Zugriff am 13.4.2018]
- [10] Scania Schweiz: [www.scania.com/ch/de/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2017/11/Weltpremiere\\_Scania-praesentiert-einen-leistungsstarken-13-Liter-Gasmotor1.html](http://www.scania.com/ch/de/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2017/11/Weltpremiere_Scania-praesentiert-einen-leistungsstarken-13-Liter-Gasmotor1.html) [Zugriff am 25.4.2018]
- [11] Vikingline: [www.vikingline.com/en/environment/lng](http://www.vikingline.com/en/environment/lng) [Zugriff am 25.4.2018]
- [12] ISO (2015): *ISO/TS 16901*
- [13] John, R. M. P.; Woodward, L. (2010): *LNG Risk Based Safety, Modeling and Consequence Analysis*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc.
- [14] NFPA (2016): *NFPA 11*
- [15] Schweizerische Eidgenossenschaft (2015): *Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV)*