



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Technische Sicherheit



KATHASTROPHENSCHUTZ

Sicherer Erdbebenschutz
für Unternehmen

GEWÄSSERSCHUTZ

Schutz von Boden und
Grundwasser

TA ABSTAND

Risikobetrachtungen von
Störfallbetrieben

Technische Sicherheit jetzt upgraden: **MIT DEM E-PAPER-ABO!**

**JETZT
ABO-UPGRADE
E-PAPER
SICHERN:
43 EUR***



IHRE E-PAPER VORTEILE:

- Downloadfunktion
- Volltext-Suche
- Lesezeichen
- mobiloptimiertes Design
- Zugriff auf das Archiv

TECHNISCHE SICHERHEIT INFORMIERT SIE ÜBER:

- Anlagensicherheit und betrieblichen Umweltschutz
- Brand-, Explosions-, Gewässerschutz
- Internetsicherheit

* Preis inklusive MwSt.

Sie wollen jederzeit und überall Zugriff auf Technische Sicherheit, die einzige unabhängige und themenübergreifende Fachzeitschrift für Sicherheits-, Prüf- und Regeltechnik, die sich betriebsübergreifend auch mit Fragen des Arbeitsschutzes und betrieblichen Umweltschutzes beschäftigt?

Dann sichern Sie sich jetzt zusätzlich zu den 6 Technische Sicherheit Printausgaben pro Jahr auch Ihr Abo-Upgrade E-Paper: 43 EUR*. **Einfach auf e-paper.vdi-fachmedien.de/upgrade gehen und bestellen.**

Bitte Abstand halten!

Nein, dies wird kein weiterer Beitrag über die Pandemie. Ausreichende Abstände gehören aber zu den ältesten Sicherheitsmaßnahmen nicht nur bei der Konfrontation mit Krankheitserregern, sondern auch bei dem Umgang mit Gefahrstoffen. Für Planungen im Umfeld von Betriebsbereichen nach Störfall-Verordnung spielt der „angemessene Sicherheitsabstand“ eine entscheidende Rolle. Wie viel Abstand ist aber im Einzelfall nötig? Die Ermittlung des angemessenen Sicherheitsabstands erfolgt bislang auf der Basis des Leitfadens KAS-18. Dies ist eine rechtlich nicht bindende Empfehlung eines Fachgremiums. Die Vorgaben sind zudem so weit gefasst, dass unterschiedliche Gutachter zu erheblich voneinander abweichenden Ergebnissen kommen können. Trotz dieser Schwächen sind nach KAS-18 bestimmte Sicherheitsabstände wesentliche Grundlagen für Entscheidungen der Baubehörden und von Gerichten. Dabei gibt es eine rechtlich und fachlich gebotene Arbeitsteilung. Die Immissionsschutzbehörden bestimmen ausgehend von der Verfahrens- und Sicherheitstechnik sowie den Stoffeigenschaften den angemessenen Sicherheitsabstand. Die Baubehörden bewerten, ob z. B. ein Investitionsvorhaben dennoch innerhalb dieses Abstands realisiert werden kann. In diese Abwägung gehen ein u. a. die „sozio-ökonomische“ Bedeutung des Projekts und Maßnahmen am Projekt selbst zur Risikominimierung. Auf Letzteres wird im Beitrag „Risikobetrachtungen im angemessenen Sicherheitsabstand von Störfallbetrieben“ auf Seite elf eingegangen.

Es geht hier um eine Beschränkung von Eigentumsrechten und oft um viel Geld. Daher wären eine bessere Rechtsgrundlage und eine Begrenzung des Einflusses der Gutachter zweifellos sinnvoll. Dies sind wesentliche Ziele der vom Bundesumweltministerium geplanten Technischen Anleitung (TA) Abstand. Seit 2016 befasst sich ein Bund-Länder-Arbeitskreis mit diesem Projekt. Erwartungsgemäß wurde die Präzisierung der Vorgaben für Gutachter kontrovers diskutiert. Es hätte daher ein Befreiungsschlag sein können, als das Bundesumweltministerium 2019 einen eigenen, völlig neuen Vorschlag einbrachte. Basis ist ein einfaches Rechenmodell. Für z. B. gesundheitsgefährliche Stoffe gehen ein die größte zusammenhängende Masse des gefährlichen Stoffes (GZM), dessen für Störfälle relevanter Beurteilungswert (z. B. AEGL-2) und sein Dampfdruck. Dies führt zu einer Einstufung der Anlage in eine von neun Kategorien mit Abständen zwischen 100 und 2000 Metern. In einem zweiten Schritt können „ausbreitungsmindernde Maßnahmen“ berücksichtigt werden und führen zu einer Herabstufung um eine oder zwei Kategorien. Namentlich genannt werden automatisch und schnell schließende Absperreinrichtungen sowie Einhausung. Der Ansatz ist also grob und die Messlatte liegt hoch. Mit dem weitgehenden Ausklammern von Verfahrensbedingungen und Sicherheitstechnik wurde ein Ziel der TA Abstand sogar übererfüllt: Man würde keine Gutachten und keine vertiefte fachliche Prüfung durch die Immissionsschutzbehörden zur Festsetzung des angemessenen Sicherheitsabstands mehr benötigen. Wer immer sich durch diese vereinfachende Festlegung belastet fühlt, müsste seine Argumente dann in der Abwägung durch die Baubehörde einbringen.

Der Vorschlag des Bundesumweltministeriums wurde 2020 in einem Planspiel getestet und erwies sich in dieser Form als nicht durchsetzbar (UBA-Text 48/2021). Dies gibt Hoffnung, dass dieser Ansatz nicht realisiert wird. Sollen in Zukunft Bauingenieure sicherheitstechnische Gutachten bewerten und den nach einer Rechenformel definierten angemessenen Sicherheitsabstand korrigieren? Ganz sicher werden diese wieder die Expertise der dann aber nur beratend tätigen Immissionsschutzbehörden anfordern. Kann die Reduzierung des Problems auf eine einfache Formel Konflikte verhindern, wenn Eigentumsrechte und damit viel Geld auf dem Spiel steht? Gerade dann wird wieder die Stunde der Gutachter schlagen, denen man aber nach diesem Konzept keine Leitplanken gibt. Da erscheint es weitaus sinnvoller, die akzeptierte Methodik des KAS-18 weiterzuentwickeln und die bekannten Schwächen zu minimieren.



Prof. Dr.
Christian Jochum

Unternehmensberatung Jochum,
Bad Soden.
Foto: Autor

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



42

Auch für die Sicherheitstechnik werden in zunehmendem Maße werden technische Systeme mit Künstlicher Intelligenz (KI) entwickelt und betrieben. Foto: PantherMedia / Jakub Mrocek



45

Sirenen können die Bevölkerung vor Erdbeben warnen. Über digitales Gebäudemanagement werden die Techniker frühzeitig informiert und können Schäden eingrenzen. Foto: Secty electronics

Standpunkt

3 TA ABSTAND Bitte Abstand halten!
B. Jochum

Anlagensicherheit

11 TA ABSTAND Risikobetrachtungen im angemessenen Sicherheitsabstand von Störfallbetrieben
E. Neuhalfen, P. Gamer, A. Arizal

18 MASCHINENSICHERHEIT Neue Prüfkonzepte bei überwachungsbedürftigen Anlagen
R. Zöllner

20 BETRIEBSSICHERHEIT Mit Volldampf in die Katastrophe – Wenn die Inspektoren ein Auge zudrücken
R. Konersmann

33 BEHÄLTERSICHERHEIT Quaderförmige flüssigkeitsgefüllte Metallbehälter und -wannen unter Erdbebenbelastung
H. Gehrig

Digitale Sicherheit

42 IOT-MUSTERERKENNUNG Gesichtserkennung mit Künstlicher Intelligenz
R. Rupprecht

45 KATHASTROPHENSCHUTZ Sicherer Erdbebenschutz für Unternehmen
J. Przbylak

Gewässerschutz

47 SICHERER WASSERSPEICHER Woher nehmen in Zeiten der Dürre?
K. W. König

51 GEWÄSSERSCHUTZ Schutz von Boden und Grundwasser
T. Kionka

Brandschutz/Exschutz

53 BUNDESWEHR Amtshilfe bei Waldbränden
M. Arich

55 BETRIEBSSICHERHEIT Erfahrungen aus der Prüfung einer Kernfusionsanlage als Ex-Anlage nach BetrSichV - Teil 2 Torus und Vakuumpumpensystem
S. Kilian, V. Rohde, J. Hübner, F. Stelzer, M. Uhlmann

68 BERECHNUNGSVERFAHREN Ein halbempirisches Modell zur Berechnung der Explosionsgrenzen und der Sauerstoffgrenzkonzentration – Teil 2: Die Sauerstoffgrenzkonzentration von Methan, Ethan und Propan
H.-H. Vogel



Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Ihr Beitrag auch auf www.technische-sicherheit.de



53

Reicht die Hilfe durch die Feuerwehr vor Ort nicht aus, kann **Amtshilfe bei der Bundeswehr** beantragt werden, z.B. zur Unterstützung beim Löschen von Waldbränden. Foto: Bundeswehr/Heyn

Rubriken

6, 63, 68 Aktuelles

33 Literatur

70 Veranstaltungen

70 Vorschau

70 Impressum

Diese Ausgabe enthält eine Beilage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz



Titelseite
Sirenen zur Bevölkerungswarnung vor Erdbeben. (Projekt für die Stadtverwaltung in Manila/ Philippinen). Foto: Secty electronics

Einzigartige Reichweite!
Qualifizierte Zielgruppe!



In unserer Fachzeitschrift ist ein Beitrag von Ihnen erschienen? Oder wurde über Sie, Ihre Produkte und Systeme berichtet? Stellen Sie Ihren Fachbeitrag einem noch breiteren Publikum zur Verfügung und lassen Sie die hochkarätige Zielgruppe des Online-Portals von Ihrem Know-how profitieren.

- **Erweiterte Leserschaft:** Ihr Beitrag erscheint öffentlich zugänglich auf www.technische-sicherheit.de und ist somit für das breite Fachpublikum und auch für Nicht-Abonnenten erreichbar.
- **Große Reichweite:** Ihr Beitrag wird zusätzlich auf der Startseite von www.ingenieur.de, dem reichweitenstärksten Ingenieurportal Deutschlands, ausgespielt. **1.378.733 Visits ingenieur.de pro Monat**, IWW 8/2020.
- Der Artikel wird individuell nach Ihren Wünschen modifiziert oder ergänzt und um Logo und Kontaktdaten erweitert.



Wir beraten Sie gerne. Ihr direkter Kontakt für Informationen:
Joanna Klingbiel | Telefon: +49 40 881449-370
jklingbiel@cmc-web.de

TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEURE.
www.vdi-fachmedien.de

VDI fachmedien

KURZ NOTIERT

Nach den Überschwemmungen durch Tief „Bernd“ in NRW und Rheinland-Pfalz unterstützen die internationalen Katastrophenhelfer*innen von @fire aktuell die örtlichen Einsatzkräfte und Kommunen. Einsatzschwerpunkte sind derzeit die Ortsgemeinden Rech, Mayschoß und Kalenborn im Landkreis Ahrweiler (Rheinland-Pfalz), wo diese bei der Versorgung der Bevölkerung mit Hilfsgütern und Strom, der medizinischen Versorgung, der Evakuierung und dem Einsatz von Pumpen bei vollgelaufenen Gebäuden helfen. Zudem unterstützen die erfahrenen Helferinnen und Helfer mit einem Meldekopf und der Erkundung von Anfahrtswegen die Technische Einsatzleitung (TEL). Dabei kommen auch mehrere geländegängige Unimogs und einem ARGO Amphibienfahrzeug sowie All-Terrain-Vehicles (ATV) zum Einsatz. Aufgrund der zusammengebrochenen Kommunikationswege über Mobil- und BOS-Funk werden Satelliten-Telefone aus dem internationalen Einsatzequipment eingesetzt.

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) haben in den vergangenen 20 Jahren rasante Fortschritte gemacht. UAS finden heute bei Rettungsdiensten und Feuerwehren, in Gewerbe und Industrie sowie im Freizeit- und Hobbybereich Anwendung. Die Einsatzgebiete von UAVs werden immer umfangreicher. Laut der Autorinnen und Autoren um die Vorsitzenden des VDI-Fachausschusses UAV – Friedrich Wilhelm Bauer, André Scholz und Norbert Rosner – müsse man zukünftig die Erfassung von Umgebungsdaten, aus denen Lagebilder für die Erhöhung der Betriebssicherheit erstellt werden können, vorantreiben und daraus Sicherheitsempfehlungen ableiten.

Tipps für sicheres Arbeiten in der Höhe

Pro Jahr ereignen sich in Deutschland etwa 100000 Unfälle auf Baustellen. Somit erleidet etwa jeder zwanzigste Arbeiter einen meldepflichtigen Unfall, darunter besonders viele Maler. ZARGES, Unternehmen für Steigtechnik, hat sich zum Ziel gesetzt, das Bewusstsein für die Bedeutung von Arbeitssicherheit zu stärken und gibt Tipps, worauf Maler, aber auch Trockenbauer und Verputzer bei ihrer täglichen Arbeit achten sollten. Eine wichtige Voraussetzung, um Gefahren vorzubeugen, ist die Auswahl des passenden Equipments. Mit Steiggeräten vom Fachmann haben Anwender noch ein Sicherheitsplus mehr: Sie entsprechen in jedem Fall den gesetzlichen Vorgaben und DIN-Normen. Das Arbeiten auf Gerüsten, in Höhen, an schlecht zugänglichen Stellen oder auch mit gefährlichen Arbeitsmaterialien gehört für Viele zum Berufsalltag. Um etwa Häuserwände oder hohe Treppenhäuser zu streichen, können Maler auf Leitern und Gerüste als ständige Begleiter nicht verzichten. Nicht selten sind dafür improvisierte und unsichere Konstruktionen im Einsatz. Kommt dann noch leichtsinniges Verhalten hinzu, ist die Unfallgefahr erheblich erhöht. Doch das muss nicht sein. Jeder, der in der Höhe arbeitet, kann mit wenigen Schritten die Gefährdung analysieren und das passende Steiggerät auswählen. So lassen sich Unfälle effektiv vermeiden. ZARGES empfiehlt, im ersten Schritt zu bestimmen, ob das Steiggerät für den Zugang zum Arbeitsplatz benötigt wird oder ob es selbst als Arbeitsplatz für einen längeren Aufenthalt dient. Als zweiter Schritt sollte die Beurteilung nach dem Grundsatz „Sicherheit zuerst“ folgen. Das heißt, es muss rechtzeitig analysiert werden, welche Gefährdung beim Arbeitseinsatz - und sei er noch so kurz - besteht. Dabei sollten die Arbeitsmittel, die Art der Tätigkeit und der Gefährdung sowie die jeweilige Umgebung berücksichtigt werden, damit mit dem richtigen Steiggerät die maximale Sicherheit für alle Beteiligten erreicht werden kann. Das fordert auch der Gesetzgeber, etwa in der Betriebssicherheitsverordnung. Bei dieser Beurteilung sollten zum Beispiel folgende Kriterien eine Rolle spielen: der Höhenunterschied, der überwunden werden muss, wie kompliziert oder anstrengend die ausgeführte Tätigkeit ist und welche Fluchtmöglichkeit im Notfall besteht. Im dritten Schritt wird dann nach der Beurteilung möglicher Gefährdungen das richtige Steiggerät ausgewählt. Damit den spezifischen Anforderungen für alle Arbeiten in der Höhe entsprochen und gleichzeitig maximale Sicherheit für die Arbeiter gewährleistet werden kann, gibt es ganz unterschiedliche Gruppen von Steighilfen: von Tritten über Leitern und Arbeitsplattformen oder Liften bis hin zu maßgefertigter Industrierausstattung. Der vierte und letzte Schritt schließlich betrifft die richtige Anwendung des geeigneten Steiggeräts. Sicheres Arbeiten gewährleisten die Gefährdungsbeurteilung und die Verwendung eines richtigen Steiggeräts schließlich nur, wenn dieses auch in einem funktionstüchtigen Zustand ist. Steiggeräte sollten deshalb regelmäßig überprüft werden – auch dies schreibt der Gesetzgeber vor. Dafür muss jeder Unternehmer eine sogenannte „befähigte Person für Leitern und Fahrgerüste“ benennen, die regelmäßig den ordnungsgemäßen Zustand kritisch begutachtet. Simone Harrer, Produktmanagerin bei ZARGES, erklärt: „Da es viele Einsatzorte mit spezifischen Anforderungen gibt, bietet ZARGES ein umfangreiches Portfolio an Steighilfen. Dazu gehören Tritte, Leitern, Arbeitsplattformen, Fahrgerüste und Lifte. Im Bereich Industrierausstattung sind Podestleitern, Überstiege oder Treppen sowie kundenspezifische Lösungen erhältlich, die wir exakt nach den individuellen Kundenvorgaben anfertigen.“

www.zarges.com/de/



Die ZAP Neo S glänzt nicht nur mit einer großen Plattform, sondern auch mit besonderer Leichtigkeit und hält dabei Belastungen bis max. 150 Kilogramm stand. Foto: ZARGES GmbH

Prüfung von Energieanlagen auf Explosionssicherheit gemäß BetrSichV

Am 29. September 2021 findet der Online-Kongress zur „Prüfung von Energieanlagen auf Explosionssicherheit gemäß BetrSichV“ vom DVGW statt. Nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), §§ 15, 16 und Anhang 2, Abschnitt 3, Nrn. 4.1 und 5.1, sind Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen vor der erstmaligen Inbetriebnahme, nach prüfpflichtigen Änderungen und wiederkehrend mindestens alle sechs Jahre auf Explosionssicherheit zu prüfen. Das Ergebnis die-

ser Überprüfung ist zu dokumentieren und dem Explosionsschutzdokument beizufügen. In dieser Veranstaltung haben die Mitglieder des DVGW / BG ETEM Projektkreises „Explosionsschutz in der Gasversorgung“ die Anforderungen an die Prüfung von Energieanlagen der Gasversorgung zusammengestellt. Die Informationen sollen die Betreiber bei der Vorbereitung und Organisation der Prüfungen unterstützen. Gleichzeitig dient die Veranstaltung dem Erfahrungsaustausch von Be-



treibern und Prüfern mit dem Ziel, den Prüfungsablauf zu optimieren.
www.dvgw-kongress.de/veranstaltungen/gas/explosionsschutz

Schutzmaßnahmen zukünftig ein Muss

Nachdem der Deutsche Expertenrat Besuchersicherheit (DEB) bereits Anfang des Jahres eine Checkliste zur Erstellung von Hygienekonzepten für Veranstalter veröffentlichte, legt der bundesweit agierende Verein nun nach. Da sich die Veranstalter aufgrund der niedriger werdenden Inzidenzzahlen wieder intensiv mit der Durchführung von Events befassen können, stellt der DEB sein Musterhygienekonzept zur SARS-CoV-2-spezifischen Besuchersicherheit zur Verfügung. „Der Infektionsschutz gilt als gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Entsprechend sind in jeglichen Epidemie-/Pandemiephasen auch im Rahmen von Veranstaltungen, sofern überhaupt durchführbar, Schutzmaßnahmen zu treffen. Aufgrund asymptomatischer Verläufe und einer im Mittel mehrtägigen Inkubationszeit sind Maßnahmen zur Unterbrechung von Infektionsketten erforderlich, auch wenn Teilnehmer keine Symptome aufweisen“, erklärt Olaf Jastrob, Vorsitzender des DEB, die Bedeutsamkeit von Hygienekonzepten, die zukünftig ein Muss sein werden. Das Ziel eines Hygienekonzeptes ist es,

den Veranstalter bei der Durchführung der Veranstaltung unter Beachtung aller im Bundesland und bundesweit gültigen Auflagen zu unterstützen und die gegebenenfalls zusätzlich an die Veranstaltungen gestellten Forderungen zu erfüllen. Dadurch soll im Wesentlichen das Risiko einer Übertragung unter Künstlern, Besuchern sowie alle im Rahmen der Veranstaltung tätigen Personen minimiert werden, um so die Gesundheit aller Beteiligten zu schützen. Dabei sind u. a. die technischen, organisatorischen und persönlichen Schutzmaßnahmen zu beachten, die in dem Musterhygienekonzept ebenfalls wie die veranstaltungsspezifischen pandemiebezogenen rechtlichen Regelungen betrachtet werden. „Dieses Konzept dient der Orientierung. Es ersetzt nicht die veranstaltungsspezifische Risikoanalyse und die arbeitsplatzbezogene Gefährdungsbeurteilung“, so Olaf Jastrob. Er weist darauf hin, dass jede Veranstaltung ein individuelles Hygienekonzept haben muss.

www.expertenrat-besuchersicherheit.de

Beratung von DENIOS. Professionell und persönlich.

Die Planung und Entwicklung eines Gefahrstofflagers sind eine komplexe Herausforderung. Es gilt, neben strengen Vorschriften vor allem auch die individuellen Anforderungen vor Ort im Blick zu haben. Unsere projekterfahrenen Berater kommen für eine fundierte Analyse und Beratung zu Ihnen ins Unternehmen. Nur so entsteht ein Gesamtsystem, das sicher, gesetzeskonform und passgenau ist. Was können wir für Sie tun?
www.denios.de/gefahrstofflager



Philipp Weber,
Kundenberater DENIOS AG

E2S verbessert Alarmgeber der M-Serie

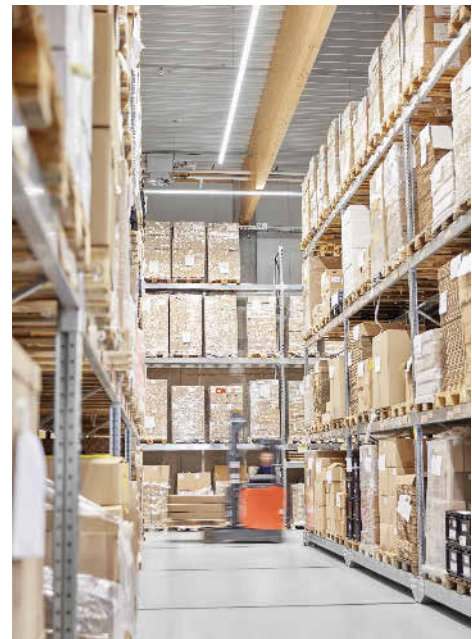
Die Firma E2S Warning Signals produziert akustische und optische Meldevorrichtungen, stellt die nächste Generation seiner Alarmgeber der M-Serie für industrielle Anwendungen vor. Die beiden neuen Produkte, MA1F und MA2F, weisen das gleiche Gehäuse und die gleiche Montageweise auf wie ihre Vorgängerversionen MA112 und MA121, doch ihre Elektronik wurde durch den Einsatz moderner Class-D-Verstärkertechnologie verbessert. Zu den Vorteilen der neuen Alarmgeber zählen ein geringerer Einschaltstrom, ein größerer Spannungsbereich, ein geringerer Stromverbrauch und eine verbesserte Auswahl und Steuerung des Alarmtons. MA1F verwendet ein standardmäßiges direktionales Signalhorn, während MA1R über das innovative omnidirektionale Signalhorn E2S „1R“ verfügt, das sich besonders für Anwendungen eignet, die eine kompakte Vorrichtung erfordern. Der DC-Bereich der Warnsignalgeber wurde von 10 auf 60 V Gleichspannung erweitert. Die AC-Versionen verfügen über ein Universalnetzteil, das Eingangsspannungen von 100 bis 240 V AC aufnimmt.

e2s.com

Whitepaper gibt Planungshilfen

Lager und Logistikgebäude sind sehr komplexe Objekte. Auf der einen Seite gibt es Lagerflächen und -systeme und deren unterschiedliche Umgebungsbedingungen, auf der anderen Seite gibt es Verwaltungs- und Bürobereiche, Kantinen, Kaffeeküchen und andere Sozialräume aber auch Technik- und Serverräume. Jede dieser Räumlichkeiten stellt andere Anforderungen an den anlagentechnischen Brandschutz, jede dieser Anforderungen lässt sich mit den richtigen Brandmeldern lösen. Das Whitepaper „Brandschutz für Lager- und Logistikgebäude“ von Hekatron Brandschutz bietet Planern, Fachrichtern und Facility Managern einen praktischen Überblick zum optimalen Einsatz des anlagentechnischen Brandschutzes für Lager- und Logistikgebäude.

hekatron-brandschutz.de/whitepaper-lager-pm



In Lager- und Logistikobjekten verursacht ein einzelner Brand schnell drei Millionen Euro Sachschaden. Foto: Hekatron Technik GmbH

Sicherheitsdatenblätter einfach einlesen

Die in Würzburg ansässige GeSi Software GmbH bietet Gefahrstoff-Managern jetzt die Möglichkeit, ihre Lieferanten-Sicherheitsdatenblätter automatisiert als PDF einzulesen und direkt für ihr Gefahrstoff-Verzeichnis, Gefährdungsbeurteilungen und Betriebsanweisungen zu nutzen. Lange Zeit bestand kaum eine andere Möglichkeit, als Daten aus dem Sicherheitsdatenblatt manuell in einer Datenbank zu erfassen. Diese bestand meist lediglich aus einer oder mehrerer Tabellen im Excel-Format. Mit SDScomXML gibt es zwar ein strukturiertes Format für Sicherheitsdatenblätter, das öffentlich zugänglich und von einigen Software-Herstellern (inkl. der GeSi Software GmbH) unterstützt wird. Jedoch ist es nach wie vor wenig verbreitet. Mit dem kostenfreien Online-Tool SDBcheck® können Sicherheitsdatenblätter jetzt als ganz normales PDF eingelese werden. So funktioniert es:

1. Hochladen des Sicherheitsdatenblatts auf SDBcheck® und Abgleich der Daten
2. Automatisierte Prüfung des Datenblatts auf Plausibilität
3. Import des Sicherheitsdatenblatts von SDBcheck® in die Gefahrstoff-Software GeSi³

Das Original-Sicherheitsdatenblatt wird direkt als Anhang zu einem Gefahrstoff archiviert und die für das Gefahrstoff-Management entscheidenden Daten ausgelesen. Die Inhalte müssen demnach nicht mehr händisch abgetippt werden, wodurch Arbeitszeit gespart und Tippfehler vermieden werden. Auf dieser Grundlage können Gefahrstoffverzeichnisse erstellt oder eine Gefährdungsbeurteilung nach EMKG (Einfaches Maßnahmenkonzept Gefahrstoffe) in die Wege geleitet werden. Auch können beispielsweise Gefahrstoffbetriebsanweisungen befüllt, Betriebsbereiche nach Störfall-Verordnung oder Kennzeichnungsetiketten erstellt werden. Laut der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) müssen Sicherheitsdatenblätter regelmäßig auf Aktualität, sowie unvollständige, widersprüchliche oder fehlerhafte Angaben überprüft werden. Mit dem Import von Sicherheitsdatenblättern über SDBcheck® werden fehlerhafte Sicherheitsdatenblätter sofort erkannt und direkt in der Lieferkette kommuniziert. Damit wird die Qualität der Sicherheitsdatenblätter für Gefahrstoff-Manager beständig verbessert.

www.gesi.de

Starkregen: Wuppertal hat die meisten hoch gefährdeten Häuser



Starkregenereignisse können zur Gefahr für Anwohner an Flüssen werden, wenn es zu Überflutungen kommt. Foto: PantherMedia/ Peter Vollmert

Die bergische Stadt Wuppertal hat aufgrund ihrer geografischen Lage bundesweit die meisten Gebäude, die bei unwetterartigem Regen hoch gefährdet sind. Jedes siebte Haus steht hier in einem Tal oder in der Nähe eines kleineren Gewässers und ist deshalb in die höchste Starkregengefährdungsklasse eingeordnet. In Kiel dagegen liegen nur 2,5 Prozent der Gebäude in der höchsten Gefährdungsklasse. Das zeigt ein Vergleich der 50 einwohnerstärksten Städte in Deutschland. „Neben der Intensität des Regens hat die Lage eines Gebäudes einen entscheidenden Einfluss auf das Ausmaß von Starkregenschäden“, sagt GDV-Hauptgeschäftsführer Jörg Asmussen. Dies werde nun mit den vom GDV entwickelten Starkregengefährdungsklassen (SGK) berücksichtigt. Abhängig von seiner Lage wird dabei jedes Gebäude einer von drei Gefährdungsklassen zugeordnet. Die Ermittlung der drei Starkregengefährdungsklassen ist ein Ergebnis des Forschungsprojekts Starkregen, das der GDV gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und dem Ingenieurbüro IAWG durchgeführt hat. „Wir wissen nun: Je tiefer ein Gebäude liegt, je länger das Wasser darin steht, desto höher ist der Schaden. Und wir können inzwischen für jedes Gebäude diese Gefährdung berechnen“, sagt Asmussen. In der SGK 1 (geringere Gefährdung) sind alle Gebäude, die auf einer Kuppe oder am oberen Bereich eines Hangs liegen. In der SGK 2 (mittlere Gefährdung) finden sich die Gebäude, die in der Ebene oder im unteren/mittleren Bereich eines Hangs, aber nicht in der Nähe eines Baches liegen. Und in der SGK 3 (hohe Gefährdung) werden alle Gebäude zusammengefasst, die im Tal oder in der Nähe eines Bachs liegen. „Eine geringere Gefährdung bedeutet jedoch nicht, dass hier kein Starkregenrisiko besteht. Unsere Statistiken zeigen: Starkregen kann überall, auch weit ab von Gewässern oder in Tallagen, zu Überschwemmungen führen und immense Schäden

anrichten.“ Deutschlandweit liegen knapp 12 Prozent aller Adressen in der SGK 3, etwa 66 Prozent in der SGK 2 und annähernd 23 Prozent in der SGK 1. In Thüringen sind fast ein Viertel der Gebäude in die SGK3 eingeordnet. Damit liegt der Freistaat im Ranking der Bundesländer auf Platz 1 vor Sachsen und Rheinland-Pfalz. In Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern ist der Anteil der Gebäude in der höchsten Risikoklasse am niedrigsten. Die Starkregengefährdungsklassen wurden in das Informationssystem ZÜRS Geo integriert. Die Unterschiede in der Schadenerwartung zwischen den einzelnen Starkregengefährdungsklassen sind jedoch geringer als die der Gefährdungsklassen für Hochwasser (ZÜRS-Zonen). In welcher Gefährdungsklasse sich ihr Wohngebäude befindet, können Verbraucher bei ihrem Versicherer erfragen. Darüber hinaus sind die Erkenntnisse auch für Städte und Gemeinden nützlich, von denen viele inzwischen lokale Starkregengefährdungskarten erstellen und veröffentlichen, um auf die Gefahr hinzuweisen. Die Starkregengefährdungsklassen können Versicherer für eine detaillierte Beratung ihrer Kunden zum Schutz vor Hochwasser und für eine individuelle Risikokalkulation nutzen. Zur Aufklärung über mögliche Schäden durch Starkregen hat der GDV den „Naturgefahren-Check“ entwickelt. Immobilienbesitzer und Mieter erfahren auf der Onlineplattform, welche Schäden Unwetter in der Vergangenheit in ihrem Wohnort verursacht haben.

www.gdv.de



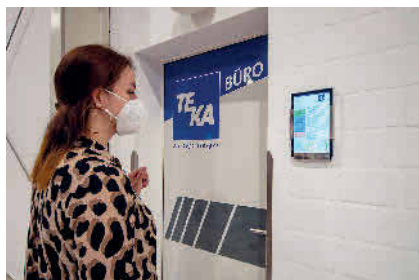
SensorGabelzinke SmartFork®: Arbeitssicherheit erhöhen und Schäden reduzieren

- ▶ Integrierte Kamera- und Sensortechnik in der Gabelzinke
- ▶ Beste Sicht vor und auf die Ware
- ▶ Präzises Einfahren in die Palettentasche
- ▶ Sichere Aufnahme von Ladungsträgern

VETTER Industrie GmbH · 57299 Burbach · +49 2736 4961-0
info@smartfork.com · WWW.SMARTFORK.COM

Digitalisierung und Prozessoptimierung bei TEKA

TEKA, Hersteller von Absaug- und Filteranlagen hat seine Digitalisierung und Prozessoptimierung verbessert und seinen Standort verlagert. Die Arbeitswelt 4.0 wird durch die Digitalisierung geprägt, z. B. durch eine neue App, die von jedem Gerät über den Browser für die Zeiterfassung aufgerufen werden kann. Auch beim Thema Gesundheitsschutz setzt TEKA auf digitales Controlling. So sind über die gesamte Hallenlänge Airtracker montiert, die die Raumluftqualität überprüfen und per Ampellicht signalisieren, wie es um die Belastung der Raumluft steht. Auf einem zentralen Dashboard werden alle Messungen in Echtzeit abgebildet. Auch hier ist eine mobile Fernabfrage bzw. Überwachung möglich. Für ein sicheres Gefühl in den Büroräumen sorgen zudem VIROLINE-Anlagen, die Aerosole wirksam entfernen. www.teka.eu



Die neuen TEKA-Büros werden von den Beschäftigten zum Großteil flexibel besetzt – ob als Einzelplatz oder in agilen Teams. Foto: TEKA Absaug- und Entsorgungstechnologie GmbH

Gemeinsames Engagement für saubere Gewässer



Mit Litter Traps wird im Wasser treibender Müll durch Wind und Wellen in ein Netz gespült. Jeden Monat wird so etwa ein Kubikmeter Müll gesammelt. Foto: Audi Stiftung für Umwelt GmbH

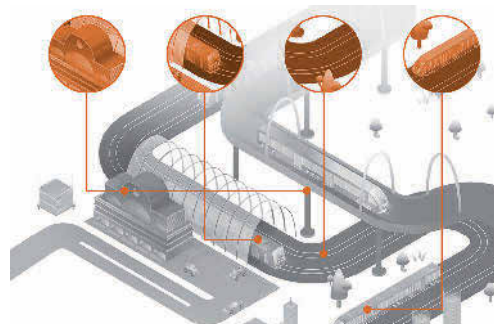
Im April 2021 hatte die Audi Stiftung für Umwelt zusammen mit dem grünen Start-up everwave und dem Kosmetikhersteller BABOR eine Cleanup-Aktion auf der Donau gestartet. Zum Auftakt der gemeinsamen Initiative rund um den Earth Day am 22. April 2021 sammelte ein CollectiX-Müllsammelboot von everwave den in der Donau treibenden Müll ein. Innerhalb von zehn Tagen kamen dabei allein 3200 Kilogramm reines Plastik zusammen. Das entspricht 110340 PET-Flaschen mit einem Volumen von jeweils 1,5 Litern. Für das Jahr 2021 planen die drei Partner weitere Informationsveranstaltungen, Aktionen an den Standorten der beteiligten Partner und Cleanup-Aktionen an verschiedenen Orten. Bereits seit 2018 kooperiert die Audi Stiftung für Umwelt mit dem gemeinnützigen Partner CLEAR RIVERS, um den Plastikmüll in den Meeren zu verringern. 2019 wurde eine Litter Trap im Hafen von Brüssel installiert, noch in diesem Jahr wird eine weitere Müllfalle in der Donau in Budapest in Betrieb genommen. www.audi-umweltstiftung.de

Mehr Effizienz auf der Schiene

Digitale Zwillinge bieten große Chancen für den Schienenverkehr: Durch die realistische Simulation von Betriebsabläufen könnte die Bahn noch effizienter und kundenfreundlicher werden. Smarte Sensorsysteme von ASC schaffen mit ihrer enormen Rechenkapazität die Grundlage für den Einsatz der Digital Twins.

Die Sensorsysteme wurden speziell für intelligente Monitoring-Lösungen wie die Zustandsüberwachung und die vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) entwickelt. Das Hauptmerkmal der smarten Sensorsysteme ist ihre Fähigkeit, die erfassten Daten auszuwerten und vordefinierte Merkmalsvektoren zu extrahieren. So können die Systeme selbständig Entscheidungen treffen und Vorhersagen erstellen. Für den Schienenverkehr bergen Digitale Zwillinge von Zügen, Gleisanlagen oder Gebäuden ein riesiges Potenzial: Mit ihrer Hilfe ist es u.a. möglich, physikalisch korrekte Live-Simulationen des Bahnsystems zu erzeugen. Auf diese Weise kann z. B. der optimale Fahrplan oder die ideale Umleitungsroute bei Störfällen berechnet werden. Darüber hinaus lassen sich durch Digitale Zwillinge die Auswirkungen geänderter Streckenführungen simulieren. So können die Planer etwaige Beeinträchtigungen von Anwohnern bereits im Vorfeld erkennen und die Route entsprechend anpassen. Durch Digitale Zwillinge kann zudem die Instandhaltung der Bahn-Infrastruktur optimiert werden. Die Rechenkapazität der smarten Sensorsysteme von ASC erlaubt die Überwachung von Zügen und Gleisen in Echtzeit. Problematische Komponenten können deshalb erkannt und ausgetauscht werden, bevor überhaupt ein Schaden entsteht. Die Simulation auf Basis Digitaler Zwillinge hat darüber hinaus den Vorteil, dass sich unterschiedliche Szenarien im Zeitraffer durchspielen lassen und dabei keine kritischen Ressourcen verbraucht werden.

www.asc-sensors.de



Smarte Sensorsysteme von ASC ermöglichen die Simulation zahlreicher Betriebsabläufe im Schienenverkehr. Foto: vectorpocket/AdobeStock

Risikobetrachtungen im angemessenen Sicherheitsabstand von Störfallbetrieben

Teil 1: Vorstellung einer neuen Semi-Quantitativen Risiko-Methode (SQRM)

Edgar Neuhalfen, Peter Gamer, Arizal Arizal

Spätestens seit dem Mücksch-Urteil 2012 [1] ist der angemessene Sicherheitsabstand von Störfallbetrieben ein sehr präsent Thema für Betreiber von Störfallanlagen, Kommunen und potenzielle Bauherren in der Nachbarschaft. Stand in den ersten Jahren die Ermittlung der Abstände im Vordergrund, stellt sich heute immer mehr die Frage, welche Entwicklungen in Betriebsbereichen und innerhalb des ermittelten Sicherheitsabstands möglich sind.

Sicherheitstechnisch fundierte Ansätze zur Lösung eines Abstandskonfliktes zwischen einem bestehenden Störfallbetrieb und schutzbedürftigen Nutzungen in dessen Umfeld sind derzeit nicht etabliert. Bisherige Lösungen sind häufig individuelle Ansätze einzelner Sachverständiger oder erfolgen auf Basis der kommunalen Abwägungsmöglichkeiten, die das o. g. Urteil aufzeigt. So hat z. B. der TÜV Rheinland im Rahmen eines gesamtstädtischen Konzeptes [2] schon früh einen ersten Ansatz entwickelt, um mit dem bestehenden Instrumentarium eine Lösung zu erarbeiten. Grundsätzlich fehlen jedoch bei allen bisherigen Ansätzen wesentliche Aspekte der Bewertung des sicherheitstechnischen Risikos und damit zur Konfliktbewältigung.

Im Rahmen von Ansiedlungen oder wesentlichen Änderungen von schutzbedürftigen Nutzungen im Umfeld von Betriebsbereichen fordert die Seveso-III-Richtlinie [3] nach Rechtsauffassung des Europäischen Gerichtshofes im Kern Risikobetrachtungen (EuGH, C53/10). Diese sind in einigen europäischen Ländern seit langem etabliert, jedoch nicht in Deutschland. Die Flächen im angemessenen Sicherheitsabstand zeichnen sich häufig durch intensive Gemengelage aus, in de-

nen der angemessene Sicherheitsabstand nicht eingehalten bzw. mit verhältnismäßigen Mitteln mittelfristig nicht erreicht werden kann. Die Bewertung des damit verbundenen Risikos bleibt mangels geeignetem Lösungsansatz offen.

Im Rahmen eines Mediationsprozesses unter Leitung von Prof. Dr. Jochum und in enger Abstimmung mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) als der zuständigen Überwachungsbehörde für die Belange Anlagensicherheit/Störfallvorsorge wurde die nachfolgende Methodik entwickelt. Wesentliche Grundlagen hierzu wurden zusammen mit TÜV Rheinland in [4] erarbeitet. Der nachfolgend vorgestellte sicherheitstechnische Ansatz bewertet die Flächen im angemessenen Sicherheitsabstand unter risikobasierten Aspekten. Insbesondere durch die Bewertung von Maßnahmen zur Risikominderung eröffnen sich neue Entwicklungsperspektiven für alle Beteiligten, wie an einem realen Beispiel im Teil 2 gezeigt werden soll.

Ausgangssituation

Für die Ermittlung eines angemessenen Sicherheitsabstandes steht mit dem Leitfaden KAS-18 [5] ein in der Praxis bewehrtes Instrumentarium zu Verfügung. Mit dem durch Ausbreitungsrechnung nach

diesem Leitfaden ermittelten Abstand wird aber „nur“ das mögliche Schadensausmaß ermittelt. Der Leitfaden KAS-18 enthält keine direkten Ansätze einer Risikobewertung. Das Risiko ist aber grundsätzlich das Produkt von Schadensausmaß (S) und Häufigkeit des Schadenseintrittes (H).

Da es keine anerkannten Risikogrenzwerte in Deutschland gibt, wird als Vergleichsmaßstab für ein heute toleriertes und damit allgemein auch weitgehend akzeptiertes Risiko der Bereich angesehen, der sich räumlich gesehen unmittelbar an den angemessenen Sicherheitsabstand anschließt.

Das Umfeld von Betriebsbereichen gliedert sich, ausgehend vom Betriebsbereich, unter idealisierten Bedingungen in nahezu konzentrische Räume mit abnehmendem Risiko. Unmittelbar angrenzend an den Betriebsbereich schließt sich ein Raum an, der durch die gesetzlich vorgegebenen Mindestmaßnahmen nach dem Stand der Sicherheitstechnik gekennzeichnet ist. Seine Umhüllende bildet das sog. „Grenzrisiko“. Das Grenzrisiko stellt somit das gesetzlich zulässige Risiko dar. Durch das Ausschöpfen aller möglichen Maßnahmen zur Risikominimierung, sowohl beim Betriebsbereich als auch bei den schutzbedürftigen Nutzungen, ergibt sich ein sich anschließender Raum mit einem verringerten Risiko, dessen Grenze durch das „verbleibende Restrisiko“ gebil-

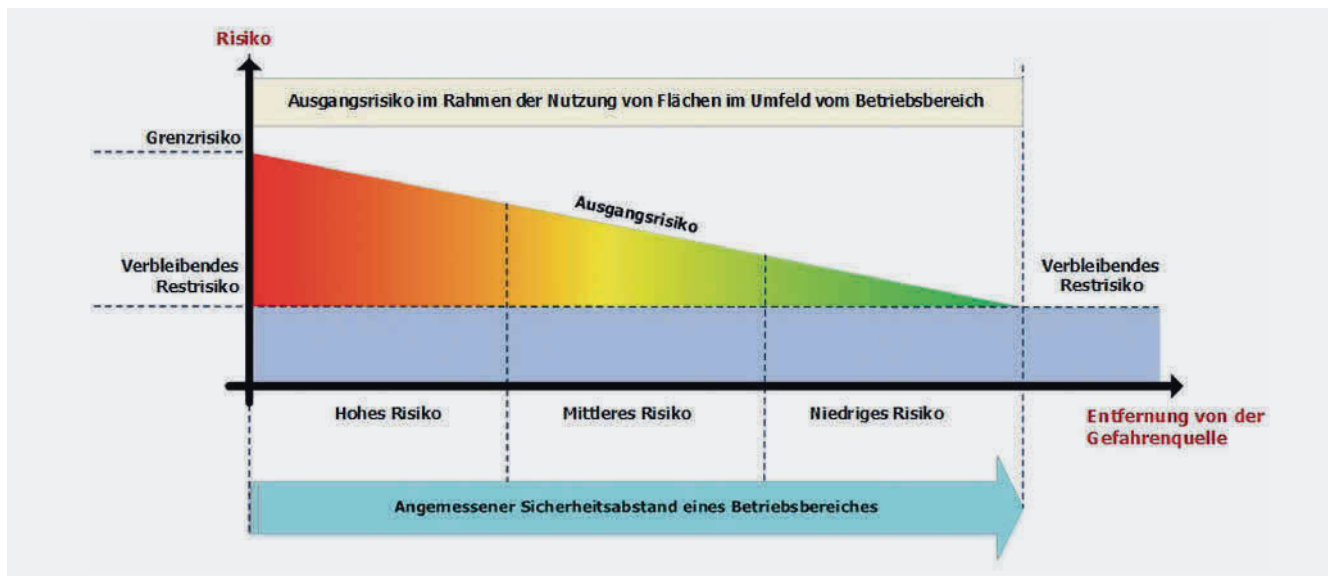


Bild 1 Schematische Illustration der Klassifizierung des Ausgangsrisikos im Rahmen der Nutzung von Flächen im Umfeld vom Betriebsbereich. Grafik: Autoren

det wird. Die Flächennutzung im Umfeld von Betriebsbereichen ist entsprechend dieser Unterteilung mit einem höheren oder niedrigeren Risiko verbunden.

In Bild 1 sind die Zusammenhänge räumlich dargestellt.

Die toxischen Auswirkungen durch Gase sind erfahrungsgemäß für das mit einer Flächennutzung verbundene Risiko maßgeblich. Die Brand- und Explosionsauswirkungen eines Störfalles treten demgegenüber in der Regel zurück und werden deshalb hier nicht weiter dargestellt.

Methodik zur Ermittlung des Risikos

Bei der entwickelten Methodik kommt ein semiquantitatives Verfahren mit Hilfe eines Risikographen zum Einsatz. Der Risikograph ist historisch gesehen im Bereich der Prozessleittechnik entstanden und ist heute ein in der Industrie etabliertes Element, um technische Risiken zu bewerten.

Aus einer Vielzahl möglicher Parameter, die Einfluss auf Sicherheitsanforderungen und auf Schutzmaßnahmen haben, wurden beim Risikographen zwei Hauptparameter ermittelt, die eine sinnvolle Risikoabstufung gestatten und die wesentlichen Aspekte der Risikobetrachtung umfassen, nämlich:

1. **Schadensausmaß (S)**, das durch das betrachtete Ereignis verursacht wird und mittels der Schwere der Verletzungen oder der Gesundheitsschäden bei Personen beschrieben wird

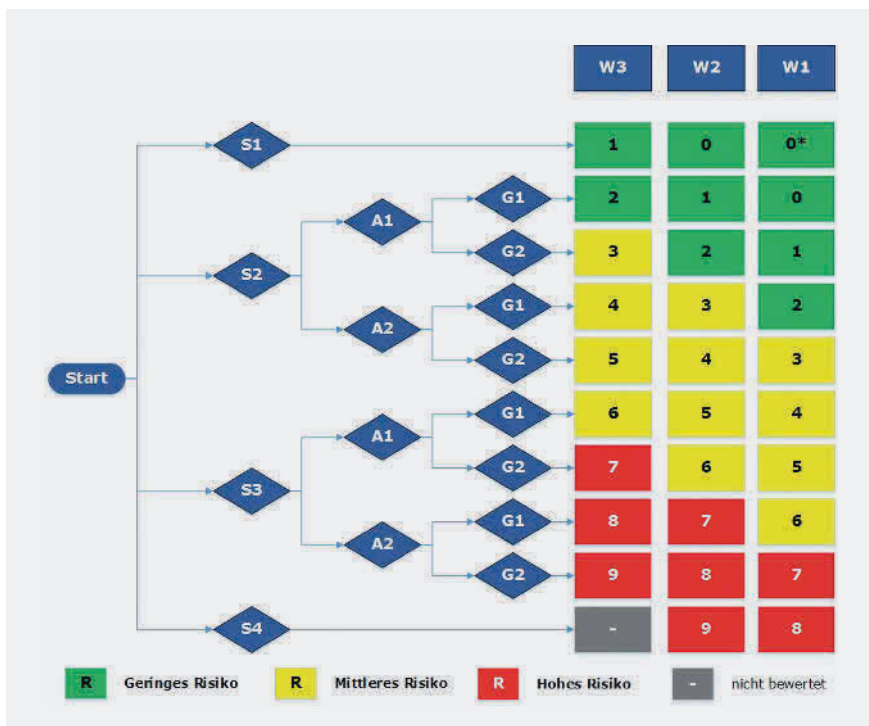


Bild 2 Risikograph mit der Klassifizierung der Risikoklassen. Grafik: Autoren

2. **Häufigkeit (H)** des Schadenseintritts, unterteilt in drei Parameter:

- A: Häufigkeit bzw. Dauer des Aufenthalts im Gefahrenbereich
- G: Technische und/oder organisatorische Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens (Gefahrenabwehr)
- W: Häufigkeit/Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses

Die einzelnen Parameter wurden für die hier erforderliche Aufgabenstellung

entsprechend modifiziert. Es ergeben sich zehn Risikozahlen, die mit R0 bis R9 bezeichnet sind. Das so beschriebene Risiko stellt letztendlich die Höhe des Individualrisikos einer Nutzung im angemessenen Sicherheitsabstand dar. Die Bewertung erfolgt differenziert für Gebäude und Freiflächen. Bild 2 zeigt den in der vorliegenden Methodik verwendeten Risikographen, wobei das Risiko mit zunehmender Risikozahl steigt.

Die Risikozahlen R_0 und R_0^* repräsentieren das akzeptierte Risiko, wobei die Risikozahl R_0^* die gleiche Bedeutung hat wie R_0 . Das Niveau von R_0^* liegt aufgrund der geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit (W_1 statt W_2) jedoch noch unterhalb von R_0 .

Schadensausmaß S

Bei der Ermittlung des Schadensausmaßes (S) greift die vorliegende Methodik auf den Ansatz des Leitfadens KAS-18 zurück, wobei zur besseren Differenzierung die AEGL-Werte mit den Stufen 2 und 3 und deren zeitlicher Verlauf (10, 30 und 60 Minuten) mit herangezogen werden. Damit ist es möglich, die Risikobewertung anhand unterschiedlicher Expositionszeiten durchzuführen und eine größere Differenzierung vorzunehmen.

Die Ausbreitungsberechnung ermittelt immer die Gaskonzentration im Freien. Für die Bewertung der Nutzung ist deshalb die natürliche Schutzwirkung des Gebäudes mit zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von seiner tatsächlichen Ausführung stellt jedes Gebäude eine „Barriere“ im Hinblick auf das Eindringen toxischer Gase dar. Dabei kommt der Luftwechselrate (LWR) eine entscheidende Bedeutung zu. Innerhalb eines Gebäudes ist in Abhängigkeit der Luftwechselrate die Immissionskonzentration der toxischen Stoffe geringer als außerhalb des Gebäudes.

In Abhängigkeit des Verhältnisses von Raumvolumen zu Fensterfläche und je nach Lüftungsverhalten können die in **Tabelle 1** dargestellten Luftwechselraten erreicht werden. Weiterhin enthält die Tabelle aktuelle Empfehlungen typischer technischer Lüftungsanlagen ausgewählter Nutzungen.

Das **Bild 3** zeigt die Illustration des zeitlichen Verlaufs der Konzentration außerhalb und innerhalb eines Gebäudes bei einem KAS-18 Szenario bei verschiedenen Luftwechselraten. Das Beispiel zeigt, dass auch bei einem deutlichen Überschreiten des AEGL-3-Wertes im Freien innerhalb eines Gebäudes bis zu einem zweifachen Luftwechsel pro Stunde noch keine Gefährdung von Personen gegeben ist.

Die Sicherstellung geringer Luftwechselraten im Ereignisfall ist somit die entscheidende Maßnahme zur Abwehr bzw. deutlichen Reduzierung der Gefahr. Die Festlegung des Schadensausmaßes kann somit für den Ausgangszustand und den Zustand nach Maßnahmen unter Berücksichtigung veränderter Konzentrationsbe-

Tabelle 1 Beispiel der typischen Luftwechselrate [6 bis 8].

Lüftungsverhalten	Luftwechselrate [1 / h]
Fenster gekippt (Spalllüftung)	0,3 bis 1,5-fach
Fenster kurzzeitig ganz geöffnet (Stoßlüftung)	0,3 bis 4-fach
Nutzung	Luftwechselrate [1 / h]
Versammlungsräume	5 bis 10-fach
Krankenhaus	5 bis 8-fach

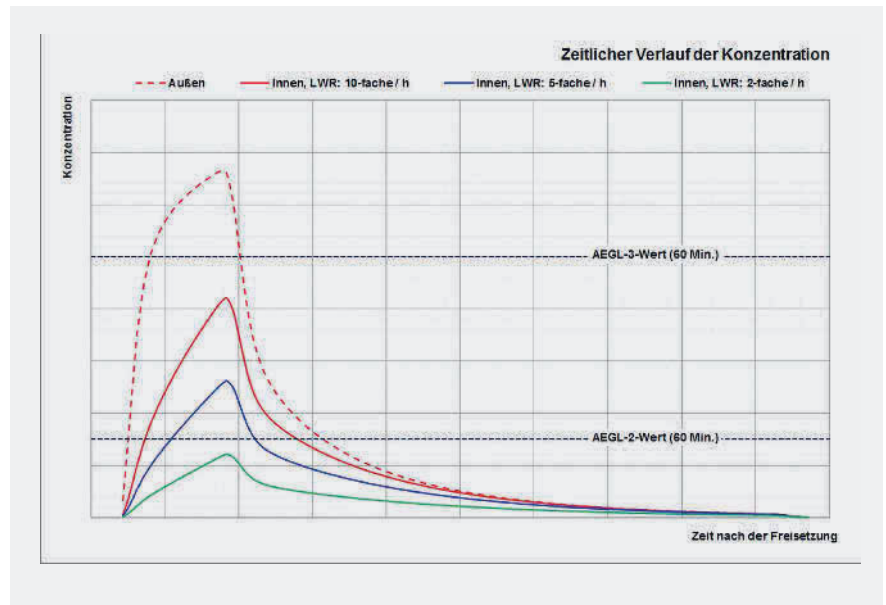


Bild 3 Vergleich des Konzentrationsverlaufs außerhalb und innerhalb des Gebäudes bei verschiedenen LWR. Grafik: Autoren

dingungen ermittelt werden. Personen, die sich auf Freiflächen aufhalten, sind der Exposition gegenüber Luftschadstoffen jedoch ungehindert ausgesetzt.

Im Rahmen der Methodik wird zudem eine differenzierte Bewertung in Abhängigkeit von der Expositionsdauer vorgenommen, was natürlich insbesondere für Freiflächen relevant ist.

Häufigkeit H mittels Parameter A, G und W

Die Referenzzeit zur Bewertung der Dauer des Aufenthalts von Personen, sowohl für Gebäude als auch für Freiflächen, ist 30 Minuten. Bei einem Aufenthalt ≥ 30 Minuten wird der Faktor A2 zugewiesen. Ansonsten gilt der Faktor A1.

Für die Gefahrenabwehr werden die nachfolgenden Kriterien herangezogen:

- Erkennbarkeit der Gefährdung mittels kognitiver Fähigkeiten (sehen, hören, riechen)
- Abwendung der Gefahr (z. B. durch Fluchtmöglichkeit, Schließen der Fens-

ter und/oder Türen, Abschaltung einer raumlüftungstechnischen Anlage)

- Entwicklung bzw. Entstehung der Gefahr (zeitlich)

Ein Faktor G1 kann zugewiesen werden, sofern die Erkennung der Gefahr für Personen sichergestellt ist und damit die Möglichkeit der Einleitung von Maßnahmen der Gefahrenabwehr (z. B. Schließen der Fenster bzw. Türen oder Abschaltung einer raumlüftungstechnischen Anlage) möglich ist. Wenn die Erkennbarkeit der Gefahr für Personen nicht sichergestellt werden kann, wird der Faktor G2 zugewiesen.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses wird in drei Kategorien W_1 , W_2 oder W_3 eingeteilt, die der Klassifizierung von Ereignissen in der Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung [9] zugeordnet werden. Gemäß dem Leitfaden KAS-18 wird das zu betrachtende Szenario im Bereich der „Dennoch Störfälle“ angesiedelt. Dabei

handelt es sich um Störfälle, die sich ereignen, obwohl eine Anlage dem Stand der Sicherheitstechnik entspricht und deshalb der Störfall an sich vernünftigerweise auszuschließen ist.

Die **Tabelle 2** fasst die Definitionen der Risikoparameter zusammen.

Tabelle 2 Definition der Risikoparameter.

Parameter	Klasse	Definition
S	S1	Leichte Verletzung von Personen $C < \text{AEGL-2-Wert (60 Min.)}$
	S2	Schwerwiegende Verletzung von Personen $\text{AEGL-2-Wert (60 Min.)} \leq C < \text{AEGL-3-Wert (60 Min.)}$
	S3	Schwerwiegende Verletzung von sehr vielen Personen oder tödliche Verletzung von Personen $C \geq \text{AEGL-3-Wert (60 Min.)}$
	S4	Tödliche Verletzung von sehr vielen Personen (sehr viele Tote)
A	A1	Personen halten sich selten bis öfter im Gefahrenbereich auf (kurze Exposition)
	A2	Personen halten sich häufig bis andauernd im Gefahrenbereich auf (lange Exposition)
G	G1	Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens sind vorhanden
	G2	Möglichkeiten zur Vermeidung oder Begrenzung des Schadens sind nicht vorhanden
W	W1	Dennoch Szenario mit einer sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit
	W2	Dennoch Szenario mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit
	W3	Denkbares Szenario, relativ hohe Eintrittswahrscheinlichkeit; zu verhindernder Störfall

C: Maximal mögliche Immissionskonzentration am betrachteten Aufschlagpunkt (Objekt) gemäß dem Ergebnis der Ausbreitungsrechnung

S: Schadensausgangsklasse

Wenn der AEGL-2-Wert (60 Min.) und der AEGL-3-Wert (30 Min.) überschritten wird, dann gilt die Schadenausmaßklasse S4. Bei einer ausschließlichen Überschreitung des AEGL-3-Wertes (60 Min.) gilt S3. Falls beide Werte gleichwertig sind, gilt S4.

Tabelle 3 Definition des Risikobereiches (im Sinne der vorliegenden Risikobewertung).

Bereich	Risiko-kategorie	Risiko-zahl	Definition
grün	niedriges Risiko	R0*, R0, R1, R2	Das Risiko für die Flächennutzung ist akzeptabel oder wird mit geringen Maßnahmen akzeptabel.
gelb	mittleres Risiko	R3, R4, R5, R6	Das Risiko für die Flächennutzung ist nur bedingt akzeptabel und sollte durch geeignete Maßnahmen auf ein akzeptables Maß reduziert werden.
rot	hohes Risiko	R7, R8, R9	Das Risiko für die Flächennutzung ist grundsätzlich nicht akzeptabel und sollte durch geeignete Maßnahmen deutlich reduziert werden, bestenfalls auf ein akzeptables Risiko.

In **Tabelle 3** ist die allgemeine Definition der oben genannten Risikobereiche dargelegt.

Auf dieser Basis lässt sich jede Nutzung (Gebäude/Freifläche) innerhalb des angemessenen Sicherheitsabstands mit Hilfe des Risikographen bewerten.

Vorstellung des Zonenkonzeptes

Zur Bewertung einer Gemengelage innerhalb des angemessenen Sicherheitsabstands wurde darüber hinaus ein Zonenkonzept entwickelt. Hierdurch werden insbesondere die Bereiche mit hohem Konfliktpotenzial (Zone A) herausgearbeitet und damit der Handlungsbedarf aufgezeigt.

Zur Zonierung der Fläche im Umfeld des Betriebsbereiches werden die Entfernungen bis zur Unterschreitung des AEGL-2-Wertes (60 Min.) und AEGL-3-Wertes (60 Min.) im Freien zugrunde gelegt. Daraus ergeben sich folgende drei Zonen:

- Zone A erstreckt sich vom Freisetzungsort bis zur Entfernung, bei der der AEGL-3-Wert (60 Min.) unterschritten wird. In dieser Zone wird i.d.R. der Einwirkungsbereich einer Wärmestrahlung bei Bränden und von Druckwellen bei Gaswolkenexplosionen mit abgedeckt.
- Zone B erstreckt sich von der Grenze der Zone A bis zur Entfernung, bei der der AEGL-2-Wert (60 Min.) unterschritten wird.
- Zone C schließt sich an Zone B an.

Die Zonierung der Fläche im Umfeld eines Betriebsbereiches wird in **Bild 4** verdeutlicht.

Bewertung des Ausgangsrisikos

Die vorliegende Methodik geht im Ansatz davon aus, dass das Ausgangsrisiko durch die bisher genehmigte bestehende Situation geprägt wird. Um die Ziele der Seveso-III-Richtlinie zu erreichen, darf dieses Ausgangsrisiko durch die Ansiedlung, Erweiterung oder wesentliche Änderung von Nutzungen im angemessenen Sicherheitsabstand bzw. durch Änderungen innerhalb des Betriebsbereiches nicht weiter ansteigen.

Bei einer Erhöhung des Ausgangsrisikos sollen geeignete Maßnahmen festgelegt werden, um diese Erhöhung zu reduzieren, mindestens auf das Niveau des Ausgangsrisikos. Es gilt somit folgende Beziehung bei der Bewertung des Gesamtnutzungsrisikos:

$$R_{\text{Nutzung}} = R_{\text{Ausgang}} + \Delta R \quad (1)$$

$$R'_{\text{Nutzung}} = R_{\text{Nutzung}} - R_{\text{Maßnahmen}} \leq R_{\text{Ausgang}} \quad (2)$$

mit

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

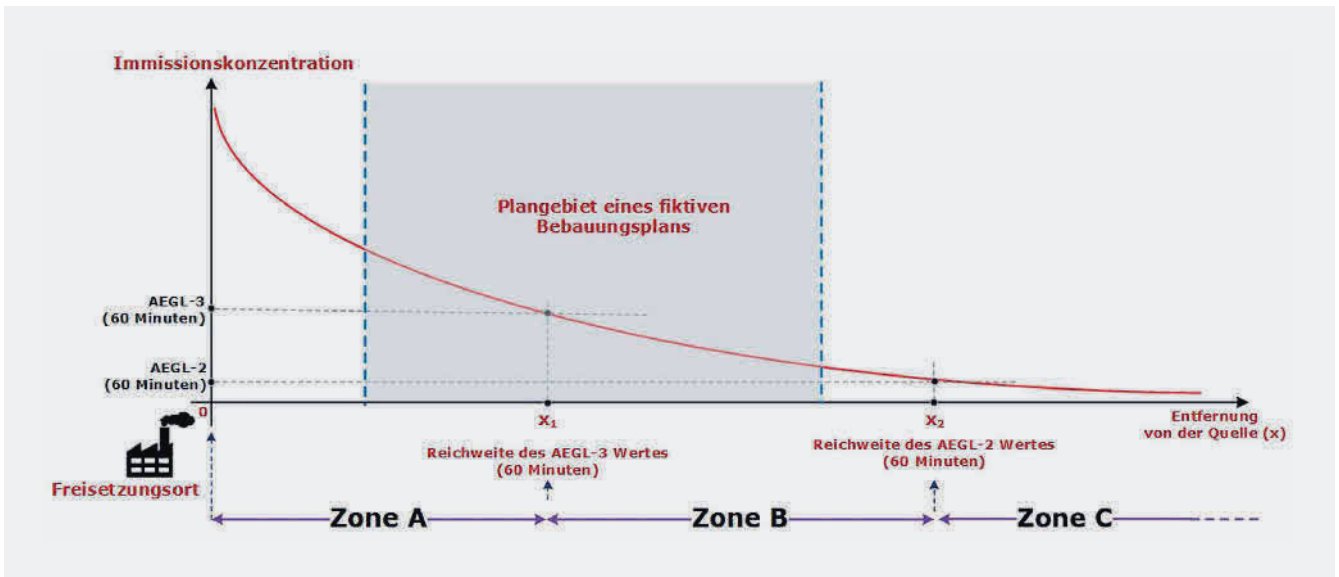


Bild 4 Zonierung der Fläche im Umfeld eines Betriebsbereiches mit Lage eines fiktiven Bebauungsplanes. Grafik: Autoren

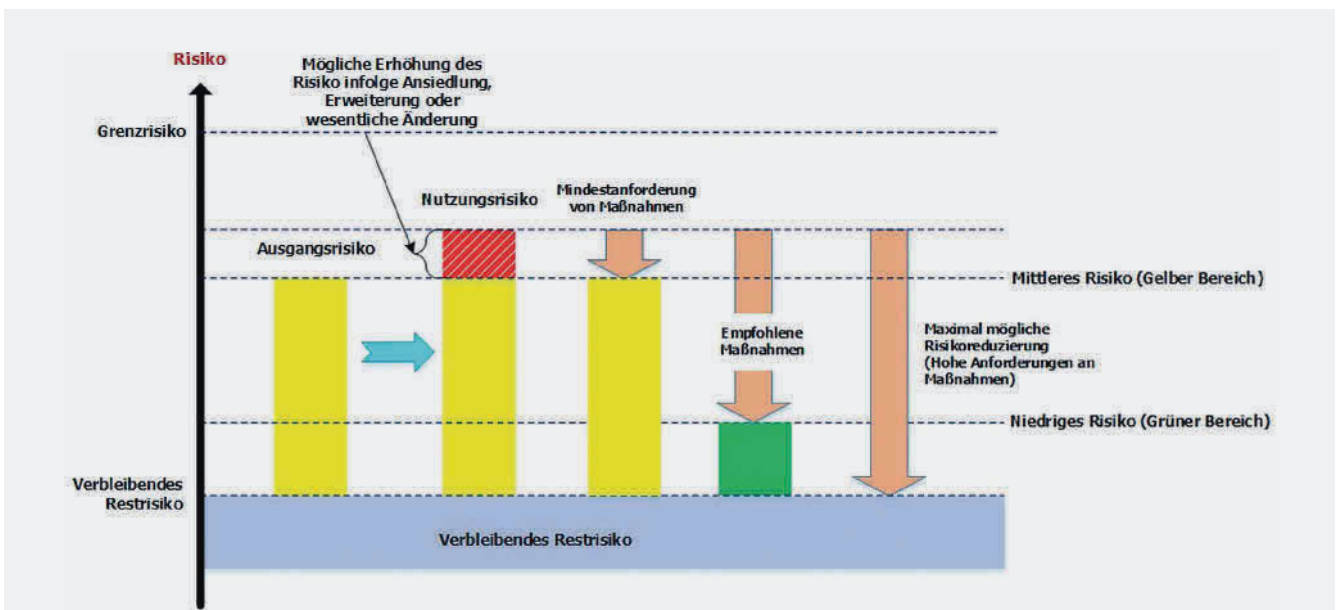


Bild 5 Bewertung der Ausgangsrisiko im gelben Bereich. Grafik: Autoren

- R_{Nutzung} = Nutzungsrisiko für die Fläche im Umfeld von Betriebsbereichen [1]
- R_{Ausgang} = Ausgangsrisiko [1]
- ΔR = Erhöhtes Ausgangsrisiko infolge der Ansiedlung oder wesentlichen Änderung von Nutzungen im Umfeld von Betriebsbereichen bzw. infolge störfallrelevanter Änderung innerhalb des Betriebsbereichs [1]
- R'_{Nutzung} = Gesamtnutzungsrisiko für die Fläche im Umfeld von Betriebsbereichen unter Berücksichtigung von Maßnahmen [1]

- $R_{\text{Maßnahmen}}$ = notwendige Risikominde- rung durch die Wirksamkeit der Maß- nahmen [1]
- Abhängig von der Höhe des Nutzungs- risikos können geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der möglichen Risikoerhö- hung aufgrund der geplanten Ansiedlung oder wesentlichen Änderung einer Nut- zung differenziert werden. Allgemein sind bauliche, technische und organisatorische Maßnahmen im Rahmen eines Bebau- ungsplanverfahrens [1].
- Es sind anlagenbezogene (Betriebs- bereich) und vorhabenbezogene

(schutzbedürftige Nutzung im Umfeld) Maßnahmen zu unterscheiden. Entspre- chen die Betriebsbereiche dem Stand der Sicherheitstechnik, sind die anla- genbezogenen Maßnahmen weiterge- hend ausgeschöpft. Vorhabenbezogene Maßnahmen sind heute noch nicht Standard bzw. im Regelwerk erfasst. Im Zentrum steht die Sicherstellung des Gebäudes als Barriere gegenüber dem Eindringen toxischer Gase.

Durch die Maßnahmen muss jedenfalls das zukünftige Gesamtnutzungsrisiko mindestens auf das gleiche Niveau wie

das Ausgangsrisiko reduziert werden. Darüber hinaus ist anzustreben und muss es Ziel sein, ein schon vergleichsweise hohes Ausgangsrisiko durch entsprechende bzw. weitergehende Maßnahmen deutlich zu reduzieren. Eine sehr zuverlässige Maßnahme bzw. Maßnahmenkette bedeutet eine geringe Ausfallwahrscheinlichkeit der Maßnahme im Anforderungsfall. Ein praktisches Beispiel dafür ist eine automatische Alarmierung der geplanten Nutzung im Fall eines Ereignisses in der Störfallanlage, verbunden mit einer entsprechenden Ausführung zur schnellen Abschaltung der Lüftungsanlage im Bauobjekt inkl. einer schnellen Alarmierung der betroffenen Personen im Gebäude und auf den betroffenen Freiflächen. Eine solche Maßnahme bzw. Maßnahmenkette kann auch ein hohes Risiko auf ein akzeptables Maß reduzieren.

Dieser Zusammenhang wird in **Bild 5** verdeutlicht.

Gesamtbewertung des Plangebiets anhand des Kollektivrisikos

Zur Bewertung eines Bebauungsplans ist neben der Betrachtung einzelner schutzbedürftiger Nutzungen auch das gesamte Plangebiet in Bezug auf die Risikoänderung zu betrachten. Wenn in Summe das Risiko unverändert bleibt oder sogar reduziert werden kann, z. B. durch umzusetzende Maßnahmen, steht einer entsprechenden Gebietsentwicklung im Sinne der Seveso-III-Richtlinie nichts entgegen.

Die beschriebene Risikobewertung mittels Risikograph zielt auf die Ermittlung des Individualrisikos ab. Das Individualrisiko gibt an, mit welcher Häufigkeit (Wahrscheinlichkeit) ein Mensch einen Schaden bei einem Störfallereignis erleidet. Damit wird das Individualrisiko im Rahmen dieser Methodik in Form von Risikozahlen ausgedrückt, die zwischen R0 bis R9 liegen können.

Zusätzlich ist für die umfassende Bewertung des gesamten Bebauungsplanes bzw. künftiger Planungen bzw. Vorhaben das Kollektivrisiko zu betrachten. So ist eine Betrachtung des Ausgangsrisikos sowie eine Betrachtung neuer Entwicklungen möglich, da die Schutzmaßnahmen in die Bewertung des Kollektivrisikos einfließen. Es wird davon ausgegangen, dass die anzutreffende Personenanzahl direkt mit der Nutzung von Gebäuden i.d.R. korreliert.

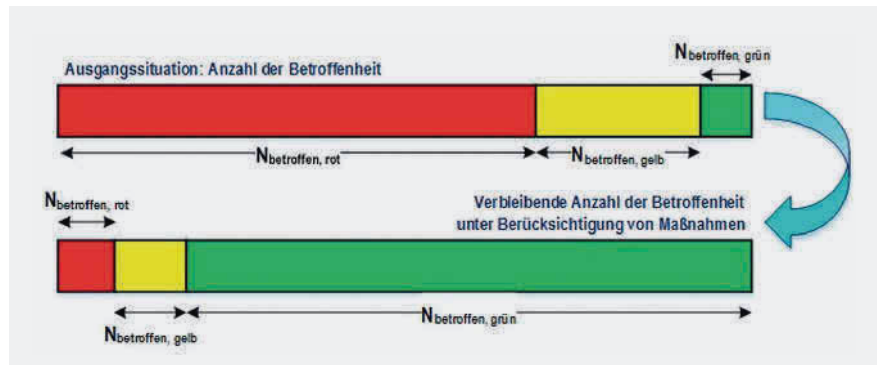


Bild 6 Schematische Illustration für die Anzahl der betroffenen Personen vor und nach der Berücksichtigung von Maßnahmen. Grafik: Autoren

Dieser Betrachtung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Im Sinne eines konservativen Ansatzes wird davon ausgegangen, dass das angenommene Störfallereignis zu gleichen Auswirkungen innerhalb eines Risikobereichs führt. Das heißt, dass sich für Personen, die sich zum Zeitpunkt des betrachteten Ereignisses in einem Gebäude mit gleichem Risikobereich aufhalten, die gleiche Schadenhöhe angenommen wird.
- Die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen gilt gleichermaßen für alle anwesenden Personen in einem Gebäude.

In diesem Zusammenhang wird eine Normierung der Personen in den Bereichen unterschiedlicher Risiken bzw. Risikozahlen, die auf unterschiedlichen Schadensausmaßklassen basieren, vorgestellt.

Das Kollektivrisiko hängt bei der Betrachtung nicht von der absoluten Zahl der anwesenden Personen in einem Gebäude ab, sondern wird als das Verhältnis zwischen der absoluten Personenzahl und dem Grad der Betroffenheit von Personen, der sich in den Risikozahlen ausdrückt, definiert.

In dem nachfolgenden **Bild 6** ist diese Vorgehensweise schematisch dargestellt.

Die Anzahl der betroffenen Personen ergibt sich aus

$$N_{\text{betroffen}}(i, j) = N_{\text{anwesend}}(i, j) * F_j$$

(j = 0 ... 9) (3)

mit:

- $N_{\text{betroffen}}(i, j)$: Anzahl der betroffenen Personen für Gebäude i, welches eine Risikozahl R_j hat.
- $N_{\text{anwesend}}(i, j)$: Anzahl der anwesenden Personen im Gebäude, welches eine Risikozahl R_j hat.
- F_j : Grad der Betroffenheit entsprechend der Risikozahl R_j

Durch den Faktor F_j soll das Ziel erreicht werden, die Bereiche gleichen Risikos (rot, gelb und grün), aber unterschiedlicher Schadensausmaßklassen und unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeiten des Störfallereignisses zu normieren und damit die betroffenen Personen im Rahmen des Kollektivrisikos summieren zu können. Im Rahmen der Ermittlung des Kollektivrisikos wird weiterhin folgende Annahme getroffen:

In der vorliegenden Risikobewertung wird der Grad der Betroffenheit quantifiziert und gewichtet. Im Sinne einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung wird dabei im Rahmen der entwickelten Methodik von den Verfassern unterstellt, dass 100%, 75%, 50% bzw. 25% der anwesenden Personen in Abhängigkeit der jeweiligen Risikoparameter betroffen sind. Hintergrund dieser Überlegung ist, dass erfahrungsgemäß nicht alle Personen in dem jeweiligen Risikobereich in gleicher Weise von dem jeweiligen Schadensausmaß betroffen sein werden. Je höher die Risikoklasse ist und damit die Wahrscheinlichkeit, einen Schaden zu erleiden, desto höher ist der Faktor.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Zusammenhänge zwischen Individualrisiko und Kollektivrisiko inkl. Quantifizierung und deren Gewichtungsfaktoren.

Die Bewertung des resultierenden Kollektivrisikos erfolgt durch die so sogenannte „Gewichtete Gesamtanzahl der betroffenen Personen“ im betrachteten Gebiet. Um die Gesamtanzahl der betroffenen Personen in den verschiedenen Risikobereichen miteinander vergleichen zu können, wird folgender Zusammenhang zur Normierung unterstellt:

1 betroffene Person im hohen Risikobereich entspricht 10 betroffenen Personen im mittleren Risikobereich bzw. 100 betroffenen Personen im grünen Bereich.

Tabelle 4 Grad der Betroffenheit für jeweilige Risikozahlen mit den entsprechenden Gewichtungsfaktoren nach den entsprechenden Schadensausmaßklassen.

Risikobereich und die verbundene Schadensausmaßklasse	Risikozahl (Individualrisiko)		Grad der Betroffenheit (Kollektivrisiko)				
	R _i	S nach Risikograph	Gewichtungsfaktor nach den entsprechenden Schadensausmaßklassen			F _j	
Hohes Risiko	– ^{a)}						
	R9	S3, S4	0,75	S3		75 %	S3
	R8	S3, S4	0,5	S3		50 %	S3
	R7	S3	0,25	S3		25 %	S3
Mittleres Risiko	R6	S3	0,1	S3	0,1 S3 = S2 ^{b)}	100 %	S2
	R5	S3, S2	0,75	S2		75 %	S2
	R4	S3, S2	0,5	S2		50 %	S2
	R3	S2	0,25	S2		25 %	S2
Niedriges Risiko	R2	S2	0,1	S2	0,1 S2 = S1 ^{c)}	100 %	S1
	R1	S2, S1	0,75	S1		75 %	S1
	R0	S2, S1	0,5	S1		50 %	S1
	R0*	S1	0,25	S1		25 %	S1

^{a)} Dieses Risikoniveau ist grundsätzlich gemäß dem Risikograph nicht zu bewerten.
^{b)} Die Risikozahl R6 ist nach dem Risikograph mit dem Schadensausmaßklasse S3 verbunden. In diesem Fall wird eine pragmatische Umrechnung zwischen den Schadensausmaßklassen S3/S2 vorgenommen.
^{c)} Die Risikozahl R2 ist nach dem Risikograph mit dem Schadensausmaßklasse S2 verbunden. In diesem Fall wird eine pragmatische Umrechnung zwischen den Schadensausmaßklassen S2/S1 vorgenommen.

Somit ist diese Normierung vergleichbar mit der Bewertung des Risikos mittels Störfallwert in der Schweiz [10].

Zusammenfassung

Mit der vorgestellten Methodik wird ein sicherheitstechnischer Ansatz zur Bewertung von Risiken im angemessenen Sicherheitsabstand von Störfallbetrieben vorgestellt.

Ein wesentlicher Eckpfeiler ist dabei die Bewertung der Barrierewirkung bzw. die Schutzwirkung des Gebäudes gegenüber dem Eindringen von toxischen Gasen. Durch die Quantifizierung ist es möglich, sowohl das Ausgangsrisiko als auch das Risiko nach Umsetzung von Schutzmaßnahmen bzw. Maßnahmenketten zu bewerten. Ein reales Beispiel wird hierzu in Teil 2 vorgestellt.

Schutzmaßnahmen beginnen immer mit einer schnellen Alarmierung durch den Störfallbetrieb bei einem Ereignis und bedingen die Einleitung geeigneter Maß-

nahmen am Schutzobjekt. Durch die vorgestellte Methodik können somit unmittelbar Handlungen zur Verbesserung der heutigen Situation abgeleitet werden. Hierdurch ist es möglich, auch komplexe Gemengelagen hinsichtlich ihres Risikos bzw. einer Risikoreduzierung zu bewerten. Durch entsprechende Schutzmaßnahmen werden sowohl für den Störfallbetrieb als auch für schutzbedürftige Nutzungen im Umfeld weitere Entwicklung möglich.

Diese praktische und systematische Methodik ergänzt für die verbindliche Bauleitplanung somit in nachvollziehbarer Weise die bisher ausschließlich deterministisch geprägten Verfahren bei der Abschätzung der Störfallauswirkungen. ■ TS911

Literatur

[1] BVerwG, Urteil vom 20.12.2012 - 4 C 12.11 [ECLI:DE:BVerwG:2012:201212U4C12.11.0].

[2] Gesamtstädtisches Gutachten der Stadt Leverkusen „Erstellung eines Konzeptes für die Stadtentwicklung unter dem Aspekt des §50 BImSchG und Artikel 12 der Seveso-II-Richtlinie (Seveso-II-Konzept)“; TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Köln, 11.08.2015.
 [3] Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen (Seveso-III-Richtlinie), zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 96/82/EG des Rates, Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012.
 [4] Vallery, H.: „Entwicklung einer praxisorientierten Methodik für die Risikobeurteilung von Flächen und Gebäuden innerhalb des angemessenen Sicherheitsabstands unter Berücksichtigung von Sicherheits- und Schutzmaßnahmen“ Masterarbeit, Institut für Rettungsingenieurwesen und Gefahrenabwehr der Technischen Hochschule Köln, 2020.
 [5] „Leitfaden: Empfehlungen für Abstände zwischen Betriebsbereichen nach der Störfall-Verordnung und schutzbedürftigen Gebieten im Rahmen der Bauleitplanung - Umsetzung § 50 BImSchG (KAS-18), 2. überarbeitete Fassung“ Hrsg.: Kommission für Anlagensicherheit, Bonn 2010.
 [6] „ASR A3.6 - Technische Regeln für Arbeitsstätten: Lüftung“, Ausgabe: Januar 2012, zuletzt geändert GMBI 2018, S. 474.
 [7] „VDI Richtlinie 2081: Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärminderung“, VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG), März 2019.
 [8] Bodenbender, G.; Gersch, D.: Technisches Handbuch: Praxis-Handbuch für die Luft- und Klimatechnik, HTH-Service GmbH, Januar 2009.
 [9] Vollzugshilfe zur Störfall-Verordnung, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, März 2004.
 [10] Beurteilungskriterien zur Störfallverordnung (StFV) – Ein Modul des Handbuchs zur Störfallverordnung (StFV). Hrsg.: Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, 2018.



Dipl. Geogr. Edgar Neuhaufen
 TÜV Rheinland Industrie Service GmbH.
 Foto: Autor

Dr. Arizal Arizal
 TÜV Rheinland Industrie Service GmbH.

Dipl.-Ing. (TH) Peter Gamer

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

Neue Prüfkonzeppte bei Überwachungsbedürftigen Anlagen

Rolf Zöllner

Auch bei Überwachungsbedürftigen Anlagen schreitet die Digitalisierung dynamisch voran: Mechanische Schutzeinrichtungen werden zunehmend durch digital gesteuerte Regelkreise ersetzt oder ergänzt. Die Folge sind veränderte Risiken mit Auswirkungen auf den Betrieb und die Prüfung der Anlage. TÜV SÜD zeigt, zu welchen Veränderungen eine digitalisierte Sicherheitstechnik bei Aufzügen führt.

Ein erhöhtes Gefährdungspotenzial ist das wesentliche Merkmal der Überwachungsbedürftigen Anlagen: Bei Aufzügen besteht u. a. das Risiko, dass sich die Kabine unkontrolliert in Bewegung setzt. Geschieht dies bei geöffneten Türen, besteht Verletzungsgefahr. Dies verhindert die UCM-Überwachung (Unintended Car Movement Protection) also der Schutz vor unkontrollierter Kabinenbewegung.

Ein Beispiel dazu: Neuere Aufzüge sind mit einer sogenannten digitalen Schachtkopierung ausgestattet. Das bedeutet, die Position, Beschleunigung und Geschwindigkeit der Kabine sowie viele weitere Parameter sind in der Software der Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) erfasst. Diese Technik überwacht u. a. die Position des Fahrkorbs während der Fahrt sowie in der Haltestelle und erkennt sofort, wenn er sich unbeabsichtigt in Bewegung setzt – bspw. aus der Haltestelle „wegtrudelt“. Bei solchen Systemen nimmt die SPS dann das Drehmoment des Frequenzumrichters weg, löst die Bremse aus und stellt sicher, dass der vertikale Abstand zwischen Kabinen- und Schachttürschwelle bzw. -kämpfer mindestens einen Meter beträgt. So bleibt den Benutzern genügend Raum, um gefährliche Scher- und Quetschverletzungen zu vermeiden und sich in Sicherheit zu bringen.

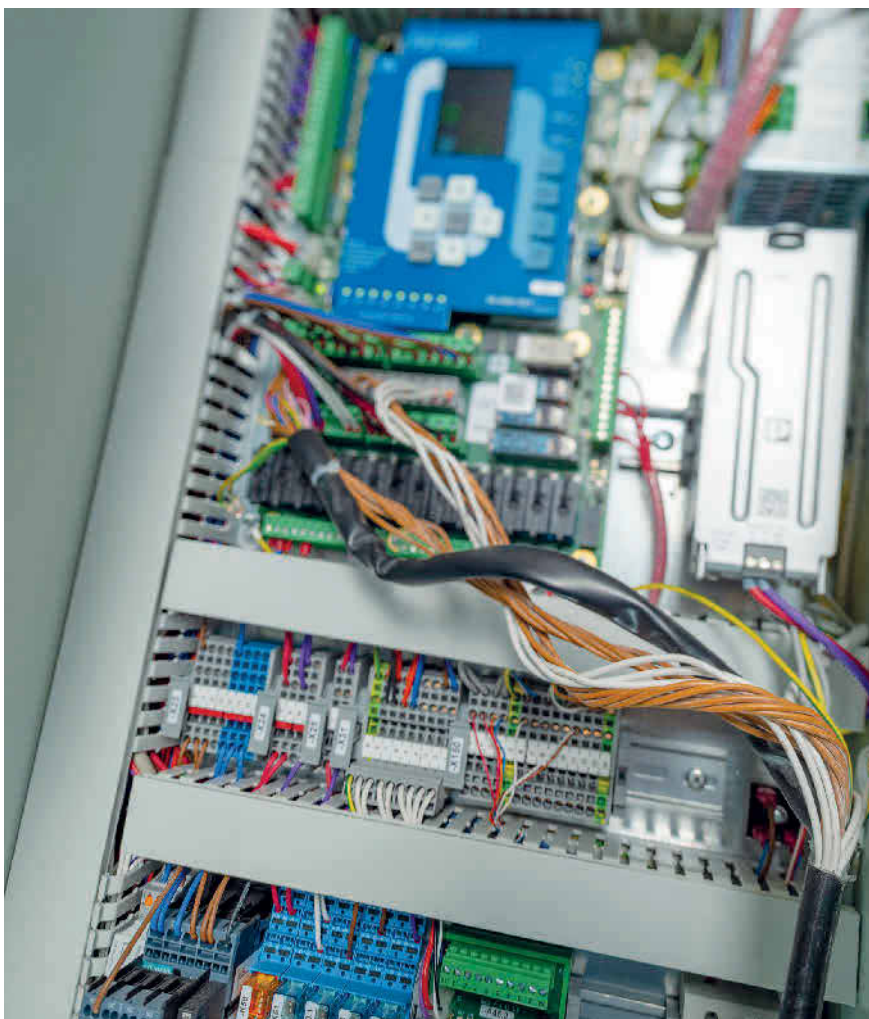


Bild 1 Speicherprogrammierbare Sicherheitssteuerungen sind günstig im Betrieb und in der Instandhaltung. Foto: TÜV SÜD

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Funktionale Sicherheit gewährleisten

So wird der Unterschied zu rein mechanischen Schutzvorrichtungen wie bei klassischen Fangvorrichtungen deutlich, die allein durch ihre physische Bauart selbst auslösen. Um das zu prüfen, genügt nach der Sichtkontrolle der nachvollziehbare Wirksamkeitstest. Bei der UCM-Überwachung stellen sich hingegen gleich mehrere, sicherheitsrelevante Fragen: Arbeiten die Sensoren zuverlässig? Ist die Software der SPS korrekt parametrierbar? Funktionieren die Bremsen und werden sie wirksam von der SPS angesteuert? Kurz: Funktioniert alles ordnungsgemäß, sodass keine Gefahr für die Nutzer besteht?

Vor allem die Software-Logiken einer SPS-Firmware sind für Aufzugstechniker, Sicherheitsingenieure und unabhängige Sachverständige mitunter schwierig oder kaum vollständig nachvollziehbar. Das bedeutet: Ob eine digitale Schutzvorrichtung vorhanden und funktionsbereit ist und ob sie auch wie beabsichtigt wirkt, lässt sich meist nicht unmittelbar erkennen und bewerten. Aus diesem Grund braucht es zusätzliche und neue Prüfkonzepte, die dem veränderten Gefährdungspotenzial von überwachungsbedürftigen Anlagen Rechnung tragen. (Bild 1)

Innovationen bei Prüfungen fördern

Die Sachverständigen von TÜV SÜD haben für Aufzüge und andere überwachungsbedürftige Anlagen teils eigene Prüfmittel und -methoden entwickelt, um mögliche Risiken zu erkennen, zu bewerten und zu reduzieren. So unterstützt das TÜV SÜD ADIASYSTEM die unabhängige Prüfung der Treibfähigkeit und der Wirksamkeit der Fangvorrichtung von Aufzügen. Hinzu kommen zahlreiche Assistenzsysteme wie die mobile TÜV SÜD Inspection App, die Routineaufgaben erleichtert.

Je nach anlagenbezogener Anwendung sind ebenso Kenntnisse der funktionalen Sicherheit und der IT-Sicherheit entscheidend. Um die Gesamtsituation angemessen bewerten zu können, sind vielmehr die Prüfabläufe zu hinterfragen und auf die konkreten Anlagen anzupassen. Das erfordert auch Know-how über die Wechselwirkungen aller sicherheitsrelevanten Teilsysteme, die beispielsweise aus der Vernetzung resultieren. Die TÜV SÜD-Experten unterstützen Betreiber von



Bild 2 Die mobile TÜV SÜD Inspection App führt den Sachverständigen durch die Prüfung.
Foto: TÜV SÜD

überwachungsbedürftigen Anlagen dabei, die spezifischen, technischen Regeln für die Betriebssicherheit weiterhin richtig anzuwenden. Denn bei den modernen, digital gesteuerten und überwachten Anlagen genügt bisheriges Vorgehen nicht mehr. (Bild 2)

Den Fokus auf die Schwachstellen richten

Auch diese Zusammenhänge lassen sich anhand der UCM-Überwachung einfach verdeutlichen. So verfügen die elektronischen Steuerungen zwar in der Regel über diverse Funktionen zur Fehler- und Eigendiagnose. Sie beschränken sich jedoch meist auf die elektrischen Systeme und Schaltkreise. Nur selten werden auch mechanische Bauteile fortlaufend überwacht und beispielsweise der Verschleiß der Bremsen an die SPS gemeldet. So gibt es oft einen „blinden Fleck“ bei der Sicherheitsbewertung: Die Status-LED der Selbsttestfunktion gibt zwar grünes Licht und suggeriert, dass alles einwandfrei funktioniert. Gleichzeitig erkennt die Steuerung nicht, dass die Bremsen verschlissen sind und die Si-

cherheitsfunktion im Anforderungsfall nicht funktioniert.

Vor allem bei der Prüfung zur Inbetriebnahme ist Erfahrung gefragt, um die digitalen Systeme sowie auch alle mechanischen Komponenten der Schutzvorrichtungen sorgfältig zu prüfen und die sichere Verwendung der Anlage im Sinne der alltäglichen Nutzung und des Arbeitsschutzes zu gewährleisten. Daher ist es wichtig, die gesamte überwachungsbedürftige Anlage und ihre Schutzvorrichtungen genau zu analysieren. Und auch später bei den wiederkehrenden Prüfungen sind die Sachverständigen stets gefordert, die gesamte Sicherheitskette in den Blick zu nehmen. Dafür müssen sie alle Komponenten testen, die Sicherheitsfunktionen auslösen und Messungen vornehmen, die von der Selbstdiagnose unabhängig sind. Nur so sind belastbare und sichere Prüfaussagen auch künftig weiterhin möglich. ■ TS903

Dr. Rolf Zöllner

Geschäftsfeld Fördertechnik, TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

www.tuvsud.com/aufzuege

Mit Volldampf in die Katastrophe – Wenn die Inspektoren ein Auge zudrücken

Rainer Konersmann

Der Beginn der technischen Überwachung von Maschinen und Industrieanlagen begann vor über 150 Jahren. Nach den ersten Dampfmaschinenexplosionen merkte man sehr schnell, dass der Schutz von Menschen, Sachwerten und Umwelt vor schädlichen Auswirkungen der Technik geregelt werden musste. Die Gefahren, die mit der Technik einhergehen können, waren den Beschäftigten mangels Aufklärung und Ausbildung weitgehend unbekannt.

Unfälle waren im damaligen Zeitalter fast an der Tagesordnung. Und da es keine 100%ige Sicherheit gibt, müssen wir auch heute noch damit leben, das es hin und wieder zu Unfällen kommt. Aber wir können zumindest verhindern, dass es nicht täglich passiert und die Anzahl der Opfer begrenzt bleibt, durch eine gründliche und wertneutrale Prüfung und Überwachung.

Prolog

Das erste Massenverkehrsmittel des Industriezeitalters war nicht die Eisenbahn, sondern das mit Dampfmaschinen betriebene Schiff. Und die meistbefahrenen Strecken waren keine Straßen, sondern Flüsse und Seen. Erst danach wagte man sich an die Überquerung der Ozeane. Die Komplexität von Sicherheitseinrichtungen auf Schiffen (Feuerlöscher, Rettungsboote, Sicherheitswesten usw.), brachte es mit sich, dass sich deren Eignung, augenblickliche Beschaffenheit und Lebensdauer nicht immer von dem Personal, das es im Ernstfall einsetzen muss, beurteilen lies. Dies ist auch heute oftmals nicht anders. Für derartige Aufgaben existieren Institutionen, Behörden und Überwachungsorganisationen, die die Produkte in- und auswendig kennen und deren Sicherheitsbeurteilung im öffentlichen Interesse wahrnehmen. Damit soll auch verhindert werden, dass Produkte, die sicherheitsrelevante Funktionen nicht erfüllen können, sich aber wegen ihres Preisvorteils am Markt halten können, nicht verwendet werden.

Aber Gesetze und Verordnungen können nur so gut sein, wie die Berufsauffassung des Personenkreises, der darüber

wachen soll. Es gibt zahlreiche Beispiele dafür, mit welchen Konsequenzen zu rechnen ist, wenn die Inspektion und Überwachung nachlässig gehandhabt wird. Dies lässt sich oftmals direkt an der Anzahl der Opfer feststellen. Die nachfolgenden Beispiele müssen im Zusammenhang mit den technischen und gesellschaftlichen Randbedingungen betrachtet werden. Sie sind darum etwas umfanglicher ausgeführt. Nur dadurch werden die hohen Opferzahlen verständlich und das Ausmaß des Fehlverhaltens der Verantwortlichen kann eindeutiger bewertet werden.

Beispiel I: Der Raddampfer General Slocum

Im Jahr 1832 wurden in den USA über 10 000 deutsche Einwanderer gezählt, 1837 waren es schon ca. 25 000. Zwischen 1852 und 1854 wanderten über eine halbe Million Deutsche in die USA aus. Viele blieben in New York. Um 1840 hatte sich in der Lower East Side ein deutsch-geprägtes Stadtteil gebildet, die sich um deren Mittelpunkt, der evangelisch-lutherischen Kirchengemeinde St. Mark's ansiedelte. Die Kirche St. Mark's war eine bedeutende Kirche in der größ-

ten deutschen Gemeinde Amerikas, genannt Little Germany. Gegenüber den Aussiedlern aus anderen Nationen hatten die Deutschen einen großen Trumpf im Ärmel: Fast alle hatten einen Beruf erlernt, der in der neuen Umgebung auch nachgefragt wurde. Für Einwanderer war es zweckmäßig, sich zu einer größeren Gemeinde zusammen zu schließen, sowohl in wirtschaftlicher als auch religiöser Hinsicht [1]. Dies erleichterte die Eingliederung in die neue Staatsbürgerschaft ungemünzt. Am 15. Juni 1904 hatte die deutsche St.-Markus-Kirchengemeinde für ihre Jahresfeier einen Ausflugsdampfer der Knickerbocker Steamboat Company, die General Slocum, für ihren jährlichen Picknickausflug nach Locust Grove auf Long Island gechartert. Es war die 17. Veranstaltung dieses traditionellen Ausflugs, der für die deutschstämmigen Auswanderer eine willkommene Gelegenheit war, sich besser in die Gemeinde zu integrieren und den Zusammenhalt zu festigen. Deshalb nahmen auch viele Neuankömmlinge an diesem Ausflug teil. Da er an einem Wochentag stattfand, nahmen jedoch hauptsächlich Frauen und Kinder daran teil, viele Männer wollten oder konnten sich einen Verdienstausschlag nicht leisten.

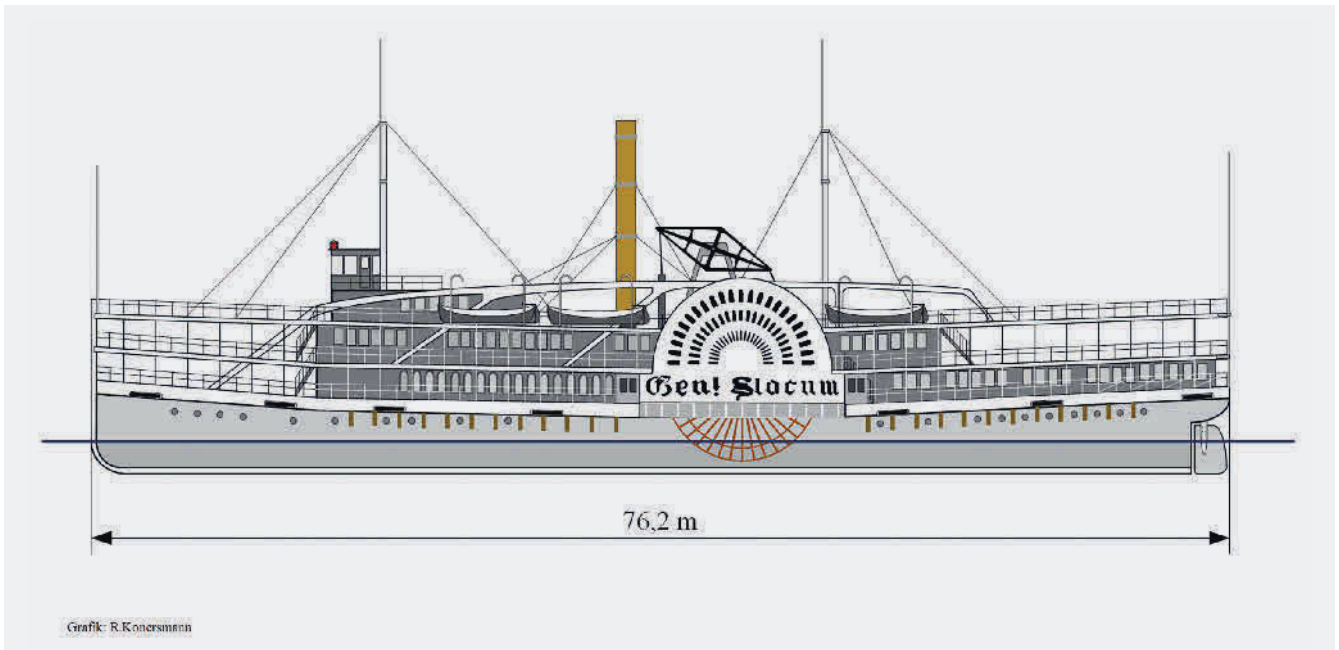


Bild 1 Seitenansicht des Schaufelraddampfers General Slocum. Foto: Autor

Die General Slocum

Der Schaufelraddampfer, getauft auf den Namen General Slocum¹⁾, wurde in den Jahren 1890–1891 auf der Werft Devine Burtis im Brooklyner Hafen Red Hook erbaut. Der Schiffskörper und die Aufbauten bestanden vollständig aus Holz. Er war 76 Meter lang, verdrängte 1 281 t und war mit drei Decks ausgestattet. Seine Schaufelräder, die mit je 26 Schaufeln bestückt waren, hatten einen Durchmesser von 9,4 m und waren 2,7 m breit. Der Stapellauf erfolgte am 18. April 1891. Auftraggeber war, wie schon erwähnt, die Knickerbocker Steamboat Company. Die General Slocum war für die Beförderung von 2 500 Passagieren zugelassen [2]. Ihre Dampfmaschine der W. & A. Fletcher Company aus Hoboken, ermöglichte eine Reisegeschwindigkeit von 15 Knoten. Die gewaltigen Schaufelräder und der offen sichtbare mechanische Antrieb trugen wesentlich zu ihrem Erscheinungsbild und der von ihr ausgehenden Faszination bei. In der Schiffsmitte, direkt hinter den zwei parallel zueinander stehenden, mattgelben Schornsteinen, befand sich ein Stahlurm, auf dem ein rautenförmiger Schwingbalken gelagert war. An einem Ende befand sich die sechs Meter lange, von der Dampfmaschine bewegte Pleuelstange, am anderen Ende die zwei Schubstangen, die die Bewegung auf die Schaufelräder übertrugen (Bild 1). Durch die luxuriöse Aus-

stattung mit Teppichbelägen und Gemälden, den technischen Parametern sowieso, galt die General Slocum in ihren ersten Jahren als das Nonplusultra des New Yorker Ausflugsverkehrs, sie war einer der beliebtesten Ausflugsdampfer der Stadt New York. Doch dieser Ruf hielt nicht lange an.

Bald wurde sie von jüngeren und moderneren Schiffen deklassiert. Diese hatten exklusive Speisesäle, Salons und Tanzflächen zu bieten und zogen die Schönen und Reichen nunmehr magisch an. Dadurch wurde die General Slocum in die zweite Reihe verbannt. Die Einnahmen der Reederei sanken drastisch und folglich wurde der einstige „Golddampfer“ nur noch so weit in Schuss gehalten, dass er seinen Dienst versehen konnte, er wurde fortan von ihren Eignern sträflich vernachlässigt. Die neue Klientel kam vorwiegend aus der Unterschicht, die sich ein Ticket kaum leisten konnte. Die Reederei sparte an fast allem. Zur Schiffswäsche, zum Abspülen der Decks, benutzte man zum Beispiel ausschließlich die „Landschläuche“, die an den Anlegestellen bereit gehalten wurden. Mit denen wurde das Brackwasser des East-Rivers angesaugt, um dann die Decks vom Umgebungsschmutz, Mövenkot, Kohlenstaub und sonst was zu befreien. Die an Bord vorhandenen Schläuche wurden geschont und nicht angetastet. Das war ein Fehler. Denn dann hätte man bemerken können,

dass sie kein Wasser mehr halten konnten, sie waren spröde und rissig. Auch die zweieinhalbtausend Schwimmwesten, die sich in Drahtnetzgestellen unter freiem Himmel befanden, waren unbrauchbar. Tagtäglich rieselten Unmengen feinen Korkstaubs aus der Gewebeumhüllung. Sie waren den täglichen und jahreszeitlichen Klimaschwankungen ungeschützt ausgesetzt und begannen sich langsam aufzulösen. Den Zusammenhang zwischen dem allgegenwärtigen Korkstaub und dem Zustand der Schwimmwesten nahm niemand zur Kenntnis. Die lebensrettenden Schwimmwesten waren anwesend, das reichte.

Der Kapitän, die Steamboat Company, ihr Geschäftsführer und die Vorschriften

Der Kapitän der General Slocum, William Henry Van Schaick (1837–1927), 67 Jahre alt, gebürtiger Amerikaner, war ein Schiffsführer, der von sich selbst behauptete, einer der besten Kapitäne überhaupt zu sein. Im Jahr 1903 hatte ihn die „American Association of Masters, Mates

¹⁾ Henry Warner Slocum (1827–1894) war ein US-amerikanischer Offizier und Politiker, der im Bürgerkrieg auf Seiten der Nordstaaten bis zum Generalmajor aufstieg. In seiner zivilen Laufbahn vertrat er den Bundesstaat New York im US-Repräsentantenhaus.

and Pilots“, ein Verband der Schiffskapitäne und Lotsen, einen Preis dafür verliehen, dass er ca. dreißig Millionen Passagiere jahrelang unfallfrei befördert hatte. Er vertrat die Ansicht, dass ein Kapitän über drei Dinge verfügen muss: Wissen, Intuition und Erfahrung. Amtliche Vorschriften, und seien sie noch so ausgeklügelt, könnten diese Persönlichkeitsmerkmale nicht ersetzen und seien deshalb nicht so wichtig. Van Schaick war über 13 Jahre Kapitän des Raddampfers. Er war der einzige Kapitän, den dieses Schiff je gehabt hatte. Für die Schiffsführung war dies sicherlich von Vorteil, denn die ununterbrochene jahrelange Vertrautheit erzeugt Erfahrungswissen, insbesondere über die Reaktionseigenschaften bei der Steuerung des Schiffes unter allen möglichen Witterungs- und Strömungsbedingungen. Nachteilig erwies sich später, dass er sich über den gesamten Zeitraum wenig, bzw. eher gar nicht, um die Sicherheit seines Schiffes kümmerte. Seinem Arbeitgeber, der Knickerbocker Steamboat Company, interessierte die Sicherheit des Schiffes auch nicht sonderlich. Auch deshalb passten sie wunderbar zusammen. Der Direktor der Schifffahrtsgesellschaft, Frank A. Barnaby, war ein Geschäftsmann, der jeden Cent dreimal umdrehte. Er sparte an allem, nur an einem nicht: An weißer Farbe. Er hatte verinnerlicht, dass sich ein gut aussehendes, frisch gestrichenes Schiff, viel besser vor zahlenden Passagieren und den Augen der Konkurrenz präsentiert, als ein vergrauter und vernachlässigter Seelenverkäufer. Auch aus diesem Grund befand sich die General Slocum am Tag der Exkursion in einem augenscheinlich vortrefflichen Zustand. Vorschriften erachte Barnaby als lästig und teuer. Und die gab es zur Genüge. Die Sicherheitsbestimmungen für Passagierdampfer, die vom United States Steam Boat Inspection Service (USSIS) vorgeschrieben wurden, schrieben eine bestimmte Anzahl von Rettungsbooten und Schwimmwesten vor. Des Weiteren mussten Feuerwehrschräume nebst Anschlüssen auf den Decks (Standrohre) vorhanden sein. Dass die Mannschaft mit dieser Ausrüstung auch klar kam, musste in regelmäßigen Feuerübungen bewiesen werden. Für einen Geschäftsmann wie Barnaby war klar, dass eine Kostenersparnis nur durch eine gewieft Lobbyarbeit unter den Beamten des USSIS möglich war. Merkwürdigerweise trübten sich die wachen Augen der Inspektoren beim An-

blick einiger Dollarnoten rasch und verkürzten das Prozedere der Überwachung merklich. Für einen Kapitän wie Van Schaick, der schon lange im Geschäft war, bedeutete jede Jahresinspektion zudem eine persönliche Demütigung, einen offenen Zweifel an seiner in der Berufsgilde gewürdigten herausragenden Kapitäns Persönlichkeit. Aber er hatte natürlich Erfahrungen gesammelt, wie mit den USSIS-Inspektoren umgegangen werden muss. So auch am 5. Mai 1904. An diesem Morgen tauchten plötzlich die USSIS-Inspektoren Lundberg und Fleming am Kai auf, jeder ausgerüstet mit einem Formular-Klemmbrett unter dem Arm und mit respekteinflößender, wichtiger Miene.

Die Inspektion

Inspektor Fleming, der Kesselinspekteur, war vergleichsweise harmlos. An der Maschine war nichts auszusetzen, dass wusste Van Schaick. Aber Lundberg, der war neu im Fach und für alles andere zuständig, also auch für die Rettungsmittel. Auf den musste man besonders aufpassen, auch bzw. gerade, weil er neu war. Die Chance stand 50:50, dass es sich um einen „Eiferer“ oder einen aus „Alter Schule“ handelte, der wusste, wie der Hase für alle am besten läuft, nämlich dann, wenn man keine Unruhe stiftet. Die „begleitete“ Inspektion verlief in Van Schaick's und Barnaby's Sinn: Die Offiziere der Slocum wussten, wo die noch vorzeigbaren Schwimmwesten lagen. Einige der „Kahnweiler's Never-Sink Life Preservers“ waren scheinbar dafür auserkoren, den Zustand der übrigen 2 500 Westen zu repräsentieren, und dafür einen Haken im Formular zu ergattern. Hätte Inspektor Lundberg genauer hingesehen, dann wäre ihm aufgefallen, dass auf den Westen das Herstellungsdatum 1891 aufgedruckt war, sie also schon 13 Jahre alt waren. Hätte er sie selbst in die Hand genommen, dann wäre ihm auch aufgefallen, dass der Kork zerbröselte und die Auftriebskräfte ihre Seele längst ausgehaucht hatten. Aber Lundberg begutachtete genau so, wie er es in seiner Probezeit an der Seite seiner Ausbilder vermittelt bekam: Ordentlich aufgeschichtete Korkwesten sind per se in Ordnung! Auch die akkurat aufgerollten Feuerwehrschräume erregten keinen Verdacht, da die Versprödungen nicht sichtbar waren. Dass die Standleitungen trocken waren wurde plausibel damit erklärt, weil die Pumpen nicht in Betrieb waren.

Eine Demonstration der Funktionalität war daher nicht möglich und eigentlich sowieso überflüssig. Der Inspektor quittierte der Feuerlöschanlage einen guten Zustand. Fertig. Eine „gutachterliche Meisterleistung“ war jedoch die Besichtigung der sechs Rettungsboote auf dem Oberdeck. Wie schon erwähnt, war weiße Farbe ein wesentliches Mittel zur Verschönerung verschlissener Oberflächen. Die Boote wurden, in nicht näher zu bestimmender Vergangenheit, mit ihren Halterungen und Auflagern durch Stricke und Draht untrennbar verbunden. Dadurch wurde jedes lästige betriebsbedingte Klappergeräusch unterbunden. Und alle Verbindungen wurden mit weißer Farbe überstrichen, so dass die Boote zuverlässig untrennbar mit ihren Davids verbunden waren. Nur die Anwesenheit zählte, nicht die Einsatzfähigkeit. Zu guter Letzt stieg Lundberg unter Deck, umging aber weitläufig die Problemzone, den Lampenraum. Dieser war nämlich, entgegen aller Vorschriften, mit brennbaren Lampenölkannistern, Segeltuch, dreckigen und öligen Putzlappen und ähnlichem Zeug vollgekrant. Jedenfalls bekam die General Slocum ihr OK für die nächste Saison, es war alles in bester Ordnung.

Die Katastrophe entwickelt sich

In den frühen Morgenstunden des 15. Juni 1904 begann die Mannschaft der General Slocum ihre übliche Routine. Ein Matrose, dessen Aufgabe es war, jeden Tag die Schiffslampen mit Petroleum zu füllen, betrat gegen 6:30 Uhr den besagten Lampenraum. Dieser befand sich ein Deck unterhalb des Ruderhauses, war fensterlos und verströmte den Charme einer Räuberhöhle. Am Vorabend hatte irgendjemand, in Vorbereitung des großen Ausflugs, drei große Fässer, in denen Gläser für das Picknick verpackt waren, hineingestellt. Dieser Irgendjemand oder ein anderer hatte schon darin herumgewühlt, wahrscheinlich aus Neugier, und hatte eine Menge Verpackungsstroh über den Boden verstreut. Mit dem wenig vorhandenen Licht entzündete der Matrose eine Lampe, pustete das Streichholz aus, und ließ es fallen, wie immer. Nach dem Schließen der Tür ging er nichts ahnend seinem weiteren Tagesgeschäft nach. Gegen 7:30 Uhr füllte sich das Ufer an der East Third Street, an der der Dampfer seine Gäste abholen sollte. Gegen 8:45 Uhr

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

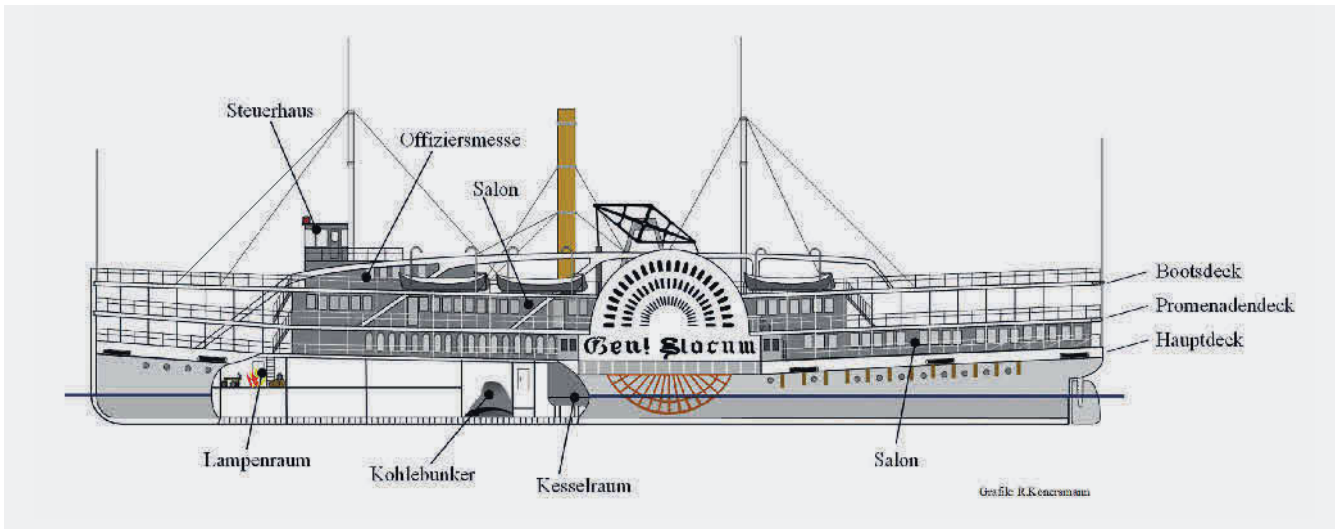


Bild 2 Lageplan der General Slocum. Foto: Autor

sollte das Schiff ablegen. Die Einschiffung begann gegen 8:30 Uhr. Laut Vorschrift musste jeder Passagier, der das Schiff betrat, gezählt werden, denn die zulässige Höchstzahl von 2 500 durfte auf keinen Fall überschritten werden. Eine Arbeit, die gern an den letzten in der Befehlskette delegiert wurde. Ein junger Matrose, gerade mal 18 Tage im Dienst, bediente das mechanische Zählgerät mit der ihm gegebenen Instruktion: Ein Klick für einen Erwachsenen, und einer für jeweils zwei Kinder nicht unter 14 Jahren. Daher bleibt die genaue Anzahl der Passagiere für immer ein Geheimnis. Der Matrose zählte 982 Personen, eine spätere Schätzung ergab eine Anzahl von 1 331 Personen, davon 800 weiblich und 531 männlich. Mehr als 500 sollen jünger als 20 Jahre alt gewesen sein. Die Abfahrt verzögerte sich wegen der Trödler noch um fast eine Stunde. Gegen 9:40 Uhr wurden die Leinen geworfen, und die Fahrt ging nun endlich los. Zuerst verlief die Route flussabwärts bis zur Williamsburg Bridge. Nach dieser Anlaufstrecke war genügend Fahrt vorhanden um zu wenden und dann flussaufwärts Richtung Long Island zu dampfen.

Der Lampenraum

Alle Literaturquellen sind sich darüber einig, dass es sehr schwierig ist, den genauen Ort des Feuersausbruchs zu identifizieren. Es besteht jedoch eine hohe Einigkeit darüber, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass das Feuer im sogen. Lampenraum entstanden ist. Wie schon kurz angeschnitten, lag der Raum unter Deck, hatte

keine Fenster, war sehr warm und trocken (**Bild 2**).

Er war vollgemüllt mit den besten Brandlasten, die sich ein Feuer wünschen kann: Kanister mit Petroleum, Krüge mit Politur für die Messingbeschläge, Ölfarben, Holzreste, alte Kleidungsstücke und drei Säcke Holzkohle. Aus den Transportfässern für die Picknickgläser war teilweise das Verpackungsstroh herausgezogen worden und lag nun am Boden. In dieser Umgebung bedurfte es nur eines vermeintlich ausgeblasenen Streichholzes, einer vermeintlich verloschenen Zigarettenkippe, um ein Feuer zu entfachen. An einer wichtigen Voraussetzung für ein ordentliches Feuer mangelte es noch, an Sauerstoff. Aber den bekam es bald zur Genüge. Zunächst bemerkte ein Kind, von denen es sehr viele an Bord gab, eine kleine Rauchwolke, die aus dem Treppenschacht zum Unterdeck nach oben flimmerte. Ein angesprochener Matrose machte sich knurrig auf einen Erkundungsgang in den Lampenraum, riss die Tür auf und eröffnete damit das Flammeninferno. Nun war genug Sauerstoff vorhanden. Da niemals Feuerübungen abgehalten wurden, wusste der Matrose auch nicht, dass eine Tür, hinter der ein Feuer vermutet wird, nicht plötzlich aufgerissen werden darf. Und er wusste auch nicht, dass diese Tür nach dem Öffnen wieder unbedingt geschlossen werden muss. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der Dampfer kurz vor dem Hell Gate, einer schwierig zu durchfahrenden Stelle des East Rivers, die schon viele Opfer forderte. Kapitän Van Schaick und der Steuermann widmeten ihre ganze Aufmerksam-

samkeit dieser Aufgabe. Just in dieser Situation, um 10:06 Uhr, sieben Minuten nach der Entdeckung des Feuers, erreichte die Feuermeldung das Ruderhaus. Für Van Schaick war ein Feueralarm höchst ärgerlich, zumal der Feuer-Ruf aus einer jungen Kehle kam. Es ist überliefert, dass Kapitän van Schaick sehr ungehalten reagierte und den Warnruf zuerst nicht ernst nahm.

Das Schiff brennt!

Die Versuche der Mannschaft, dem Feuersausbruch etwas entgegen zu setzen, erinnerten mehr an eine Slapstick-Einlage, als an eine zielgerichtete Brandbekämpfung. Der Dampfer hatte zwei Feuerstationen am Bug und am Heck. Sie bestanden, wie im Schrebergarten, aus je einem Standrohr mit einer Schlauchkupplung und einem Absperrventil. Die Schläuche lagerten unweit der Standrohre in aufgerolltem Zustand. Nach der gelungenen Kupplung mit dem Standrohr und dem Betätigen des Ventils schoss tatsächlich etwas Wasser aus dem Schlauch, das jedoch sofort zu einem Rinnsal verebte. Der 1891 angebrachte, billige Schlauch aus Segeltuch, konnte dem Wasserdruck nicht standhalten und löste sich kurz hinter der Kupplung am Standrohr in seine Bestandteile auf. Eilig wurde ein Gummischlauch besorgt. Doch die Ankupplung am Standrohr misslang. Die „Feuerwehnmänner“ hatten in ihrer Aufregung vergessen, die alte Segeltuchkupplung abzuschrauben. Es ist überliefert, dass den Matrosen in diesem Augenblick klar wurde, dass das Schiff verloren war. Von nun an

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

versuchte niemand mehr, den Brand zu bekämpfen. Zu dieser Zeit befand sich das Schiff in Höhe der Untiefe namens Sunken Meadow (Bild 3).

Kapitän Van Schaick fasste nun den folgenschweren Entschluss, mit voller Fahrt und brennendem Vorschiff, die Insel North Brother Island anzusteuern, um

es dort auf Grund zu setzen. Diese Entscheidung ist bis heute unerklärlich und kann nur mit psychologischen Barrikaden, seiner Arroganz o.ä. erklärt werden. Jedenfalls gelang es Niemandem, ihn dazu zu bewegen, die kürzeste Uferböschung anzusteuern. An Bord setzte ein Überlebenskampf ohne Gleichen ein. Fast niemand konnte schwimmen. Die mit Draht angebotenen Boote konnten nicht zu Wasser gelassen werden und das Gerangel um die Schwimmwesten nahm höllische Ausmaße an. Vielen wurde erst bei dieser Gelegenheit gewahrt, dass die Schwimmwesten unbrauchbar waren, banden sie sich aber trotzdem um und versanken damit in den Fluten. Die Mannschaft war inzwischen zu einem Teil der panischen Masse geworden und versagte auf ganzer Linie. Um 10:25 Uhr strandete die General Slocum vor der Insel. Gegen 12:20 Uhr waren nur noch einige Teile der Aufbauten zu erkennen. Nach dem Heben des Wracks wurde das Ausmaß der Zerstörung sichtbar: Alle drei Decks waren nicht mehr vorhanden. Die Mannschaft zerstreute sich im Durcheinander, wurde aber bald von Beauftragten der Reederei und ihres Präsidenten, Frank A. Barnaby, ausfindig gemacht und zur Abstimmung einheitlicher und sich nicht widersprechender Aussagen eingesammelt und vergattert. Gleichzeitig ergingen die ersten Mandate an die besten Anwaltskanzleien der Stadt.

Die Untersuchung

Die ersten Vernehmungen der Personen, die mit der Katastrophe in Verbindung standen, begannen schon am 16. Juni. Henry Lundberg, der USSIS-Inspektor, der der Slocum einst eine tadellose Sicherheitsausrüstung bescheinigt hatte, war der erste an der Reihe. Doch der verweigerte auf Anraten seines Anwalts die Aussage. Auch die Besatzung der Slocum hatten bei ihren Anhörungen die besten Anwälte dabei, die die Knickerbocker Steamboat Company in aller Eile hat aufreiben können. Der Zweite Offizier Corcoran und der Erste Offizier Edward Flanagan bestätigten in ihren Vernehmungen unbewusst, dass das Schiff mit einer unfähigen Besatzung und miserablen Sicherheitseinrichtungen ausgestattet war. Alle Matrosen sagten übereinstimmend aus, dass nie eine Feuerübung abgehalten wurde. Die Einübung einer einheitlichen Aussage hatte also funktioniert, nur der Inhalt

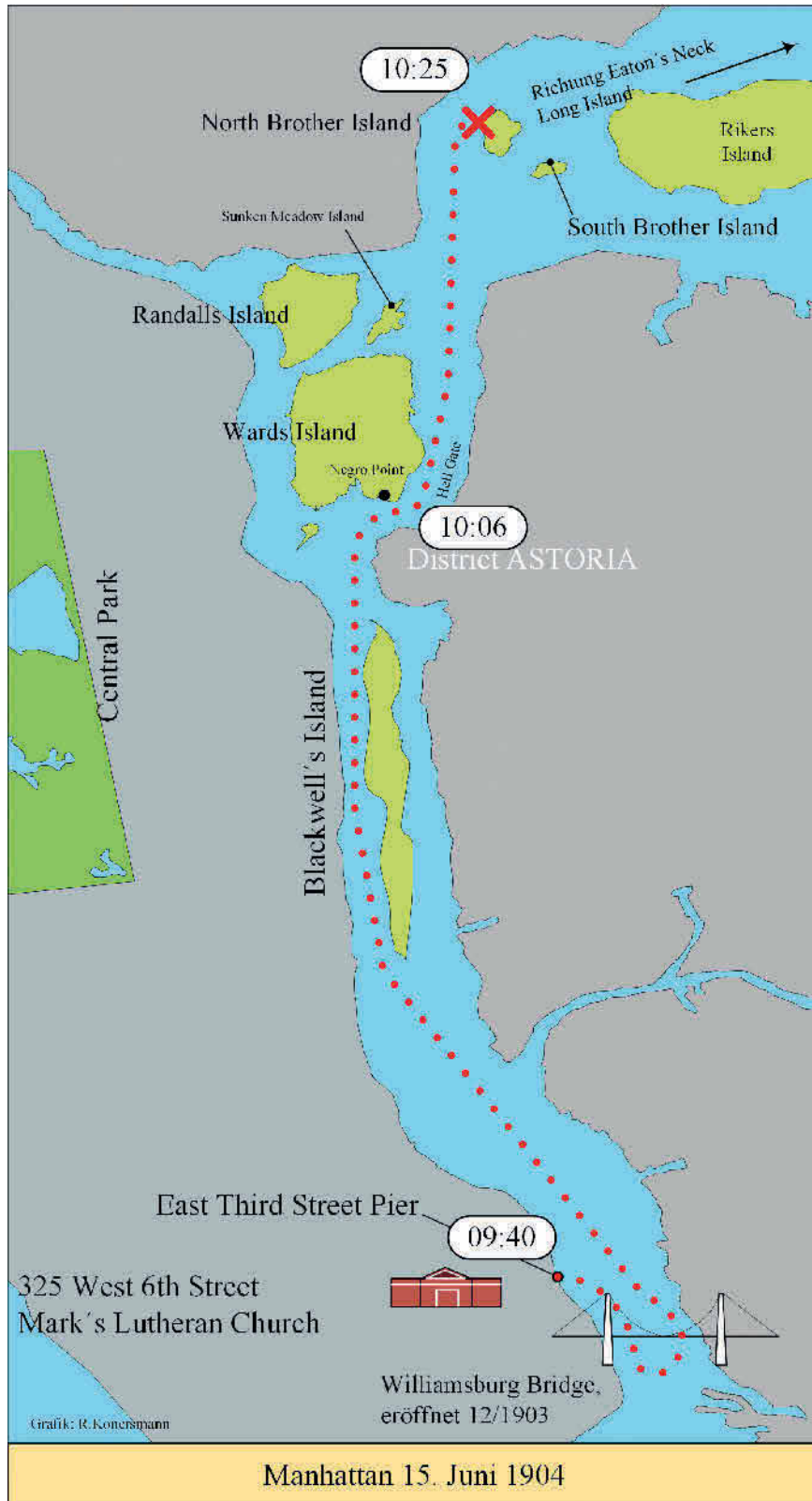


Bild 3 Die Fahrtroute der General Slocum am 15.06.1904. Foto: Autor



war für die Reederei nicht so günstig. Im Verlauf der Verhandlungen ersannen die Anwälte der Reederei jedoch eine geniale Verteidigungsstrategie. Zitat: „Wir haben nicht angenommen, dass neue (Schwimmwesten) gebraucht würden, sondern haben uns vollkommen auf die von den Bundesbehörden durchgeführten Inspektionen verlassen, die stets ergaben, dass alles an Bord in erstklassigem Zustand war.“ ([1], S. 361) Diese Aussage war für den Ausgang der gerichtlichen Aufarbeitung maßgeblich. Sie gibt unmissverständlich wieder, dass die Katastrophe durch eine behördliche Entscheidung ihren Lauf nehmen konnte. Damit saßen die Behörde bzw. der Gesetzgeber, plötzlich mit auf der Anklagebank, was im Prinzip völlig korrekt war.

Die Urteile

Frank A. Barnaby, James K. Atkinson und fünf weitere Direktoren der Knickerbocker Steamboat Company wurden der groben Fahrlässigkeit für schuldig befunden, ebenso Kapitän William Van Schaick und Inspektor Harry Lundberg und noch einige andere. Am 25. Mai 1905 verließ der USSIS-Hilfsinspektor Lundberg, zuständig für Schiffsrümpfe und Ausrüstung, das Bundesgericht als freier Mann. Unter den Geschworenen herrschte Uneinigkeit über seine Rolle. Am 16. Oktober veröffentlichte eine von Präsident Roosevelt und Minister Cortelyou berufene Untersuchungskommission den Abschlussbericht [2]. Darin wird das Verhalten von Kapitän Van Schaick und der Besatzung verurteilt und die Fahrlässigkeit der Knickerbocker Steamboat Company angeprangert. Außerdem wurde das New Yorker Büro des USSIS als korrupt und unfähig gebrandmarkt und die Entlassung dreier Mitarbeiter empfohlen. Unter allen Angeklagten traf es den Kapitän der Slocum, William Van Schaick, am stärksten. Als Kapitän war er am dichtesten mit der Katastrophe verwachsen. Der Company-Chef Barnaby hatte es aus Kostengründen versäumt, verwendbare Schwimmwesten anzuschaffen und auf dem Schiff zur Verfügung zu stellen, der Beamte Lundberg, den Dampfer ordnungsgemäß zu prüfen und seine Sicherheit zu testieren. Aber alles geschah unter den Augen des Kapitäns. Er hatte zudem eine unfähige Mannschaft angeheuert und nie Sicherheitsüberprüfungen oder Feuerübungen durchführen lassen. Darüber hinaus hatte er eine fol-

genschwere Entscheidung getroffen, nämlich unter voller Fahrt den entlegensten Ort, North Brother Island, anzusteuern, als die nächstbeste Uferböschung zur Anlandung zu wählen. Kapitän Van Schaick wurde zu zehn Jahren Haft verurteilt, die korrupten Eigner und Inspektoren, durch die die Katastrophe erst möglich wurde, wurden nicht belangt. Van Schaick's Inhaftierung wurde von der Öffentlichkeit als gerecht empfunden, angesichts des Freispruchs für die übrigen Beschuldigten, jedoch auch als ungerecht beurteilt. Zahlreiche Petitionen aus dem ganzen Land veranlassten Präsident William Howard Taft²⁾, ihn am 26. August 1911, nach drei Jahren Haft zu begnadigen. Er verstarb am 9. Dezember 1927, im Alter von neunzig Jahren.

Randnotizen

Die Katastrophe der Slocum versank schnell in der Bedeutungslosigkeit. Die Opfer stammten fast ausnahmslos aus einer einzigen, deutschen, örtlich begrenzten Einwanderungskolonie, der Rest New Yorks war nicht betroffen. Zum anderen nahm mit Beginn des Ersten Weltkriegs, 1914, jede Begeisterung für das „Deutschtum“ rapide ab. Die Anzahl der Opfer wurde behördlich auf 1 021 festgesetzt. Der Brand auf der Slocum war somit die Schiffskatastrophe mit den meisten Opfern in der Geschichte der USA in Friedenszeiten. Ende August 1905 nahm das Interesse an der Katastrophe noch einmal kurzzeitig zu, als bekannt wurde, dass ein Korkhersteller aus New Jersey in Korkblöcke, die er an den Schwimmwestenhersteller Kahnweiler verkauft hatte, Eisenspäne eingelegt hatte, in der Absicht das Gewicht auf das gesetzliche Minimum anzuheben. Es ist nicht bekannt, welche Konsequenzen dies für den Produzenten hatte.

Ein Zeitsprung

Nach dem Untergang der Titanic am 15. April 1912 war die Katastrophe der General Slocum vollends in Vergessenheit geraten. Aber die Titanic-Katastrophe hatte Folgen. Der offensichtliche Mangel an Rettungsbooten wurde als ein technischer Mangel an einer Sicherheitsausrüstung empfunden, der sich nie wieder wiederholen durfte. Darum wurden neue Vorschriften erlassen, die dies verhindern sollten. Aber auch dies ging schief, weil

niemand prüfte, ob es überhaupt sinnvoll und möglich war, jedes Schiff, ohne entsprechende Anpassungen, mit Rettungsbooten auszurüsten.

Beispiel II: Die Geschichte des Dampfers Eastland

Wir bleiben in den USA. Im Jahre 1900 lebten in der Stadt Chicago, am südöstlichen Ufer des Michigansees, ca. 1,7 Million Menschen. Darum stieß der Personen- und Warentransport ständig an seine Grenzen, sowohl über Land als auch per Schiff. Aus diesem Grund bestellte die Michigan Steamship Company, die täglich sowohl Personen als auch Fracht über den Michigansee von South Haven (Michigan) nach Chicago (Illinois) beförderte, Ende des Jahres 1902 bei der Jenks Ship Building Company ein neues Schiff. Dieses Schiff sollte neben der Fracht zugleich 2 000 Passagiere befördern können, von denen optional auch 500 in Kabinen, zur Übernachtung, untergebracht werden konnten. Es sollte ca. 80 m lang sein und zweimal täglich zwischen South Haven und Chicago pendeln. Diese Forderung hatte zur Folge, dass das Schiff auch eine angemessene Geschwindigkeit erreichen musste. Der Entwurf ist in **Bild 4** dargestellt. Die großen Seitenpforten waren zur schnellen Be- und Entladung gefordert worden. Eine weitere technische Bedingung war, dass das Schiff mit einem Wasserballastsystem ausgestattet sein musste das es erlaubte, den Tiefgang des Schiffes um mehr als einen Meter zu verringern.

Dies hatte einen besonderen Grund. Vor South Haven, einer kleinen Hafenstadt am südöstlichen Zipfel des Michigansees, die täglich angefahren werden sollte, befindet sich das Mündungsdelta des Black River, eines kleinen Flusses, der ständig Sedimente in das Delta bzw. den Hafenzugang beförderte. Die daraus entstandene Sandbank war ein ständiges Ärgernis für die Schifffahrt. Man hoffte, dies durch eine technische Lösung, durch eine Tiefgangregelung, mittels eines durch Pumpen gesteuerten Wasserballastsystems, in den Griff zu bekommen [3].

²⁾William Howard Taft (1857–1930) war vom 04.03.1909 bis zum 04.03.1913 der 27. Präsident der USA und gelernter Jurist. Auch diesem Umstand dürfte Van Schaick's Begnadigung zu verdanken sein.

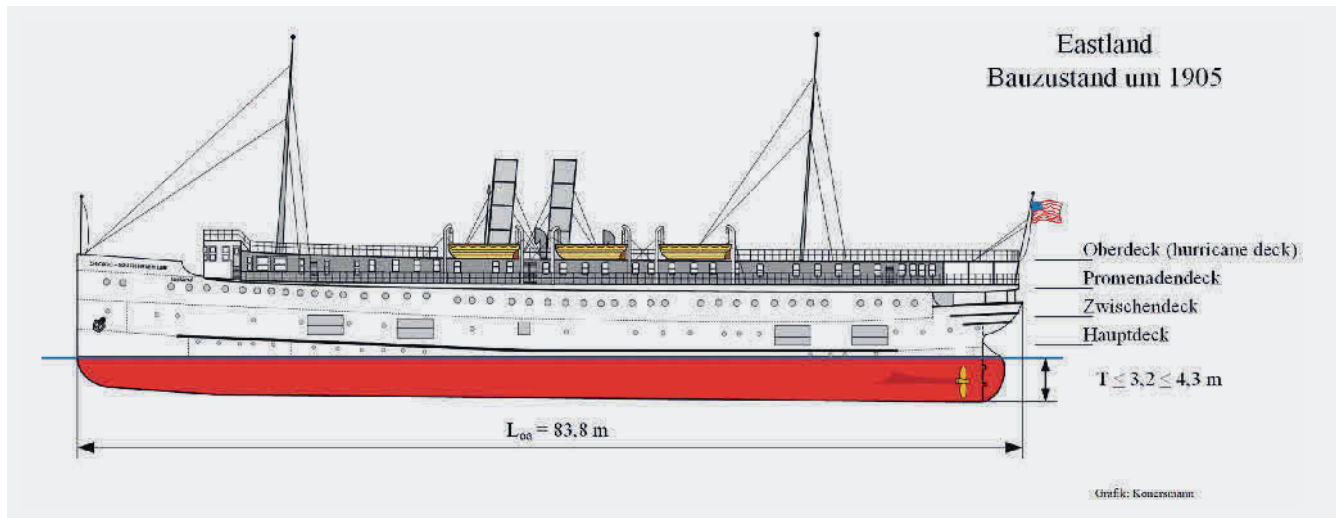


Bild 4 Dampfer Eastland um 1905. Foto: Autor

Stapellauf und erste Erfahrungen

Der Stapellauf, des auf den Namen Eastland getauften Schiffes, erfolgte am 6. Mai 1903. Der erste Zwischenfall ereignete sich schon am 16. Juli 1903. Beim Ablegen wickelte sich eine Festmacherleine um eine der zwei Schrauben und legte den Antrieb für einige Stunden lahm. Es war vermutlich ein Handhabungsfehler. Zu diesem Zeitpunkt glaubten die Eigentümer noch, sie hätten ein gutes und robustes Schiff erworben. Doch nach und nach kamen ihnen Zweifel, insbesondere wegen der Querstabilität. Auch die Passage der Sandbank, durch Verringerung des Tiefgangs, mit Hilfe des Wasserballastsystems funktionierte nicht wie erwartet. In den ersten vier Wochen, nach Aufnahme des Liniendienstes zwischen South Haven und Chicago, verlor das Schiff durch Grundberührung 22 Propellerblätter [4]. Am 19. Juli 1903, nachdem die Sandbankpassage halbwegs gelungen schien (durch Tiefgangverringern), krängte das Schiff so stark, das Wasser in die offenen Seitenpforten floss. Nachdem die Geschwindigkeit erhöht wurde, stabilisierte sich das Schiff jedoch wieder. Es regierte wie ein Fahrrad: Bei geringen Geschwindigkeiten hin- und herschwankend, nach Erreichen der Dienstgeschwindigkeit dann kursstabil. Kurz vor Saisonende, am 23. Juli 1903, passierte Kapitän Frances Pereue auf dem Chicago-River ein Missgeschick. Er navigierte unglücklich und kollidierte mit einem Schlepper. Er hatte zuvor noch nie ein Zwei-Schrauben-Schiff befehligt. Die mangelnde Übung rächte sich nun. Der Kapitän wurde ent-

lassen und durch Kpt. Frank A. Dority ersetzt. Da die angestrebte Geschwindigkeit von 20 kn, die ein Bestandteil des Pflichtenheftes für den Bauauftrag war, nicht erreicht werden konnte, einigte man sich mit der Werft auf eine Strafzahlung von 10 000 \$. Die Optimierungen an der Maschinenanlage und dem Wasserballastsystem blieben der Öffentlichkeit nicht verborgen. Im Zusammenhang mit den Vorkommnissen verbreiteten sich Gerüchte über die Unsicherheit des Zweischraubendampfers.

Die zweite Saison

Aus dem ersten Halbjahr 1904 sind keine berichtenswerten Ereignisse überliefert. Dann, am 17. Juli 1904 zeigte sich, dass die Gerüchte über die Stabilitätsprobleme der Eastland wohl doch auf einem wahren Kern beruhen. Das Schiff verließ den Hafen von South Haven mit 2 370 Passagieren an Bord. Die Anzahl ergab sich aus der Zählung der verkauften Karten. Es hätten noch mehr sein können, denn zu diesem Zeitpunkt war eine Passagierkapazität von 3 000 Personen behördlich erlaubt. Zur Erinnerung: Im Bauauftrag war eine Passagierkapazität von 2 000 Personen vereinbart worden. An diesem Tag war es sehr heiß und viele Passagiere strebten deshalb einen Aufenthaltsplatz auf dem Oberdeck („Hurricane deck“) an, um die kühle Seebreeze genießen zu können. Es wurde geschätzt, dass sich ca. 1 200 Passagiere, also fast die Hälfte, auf dem obersten Deck befanden. Als die Eastland den Hafen verließ, waren die Ballasttanks im vorderen Bereich des Schiffes mit Wasser gefüllt, denn es galt die Sandbank ohne einen Schrau-

benscha-den zu überwinden. Durch das Füllen der vorderen Tanks kam das Heck höher aus dem Wasser und die Schrauben waren vor einer Grundberührung geschützt. Für dieses Manöver war zwischenzeitlich schon ein Begriff kreiert worden: Man nannte die Prozedur „Jumping the Bar.“ Das Manöver gelang, allerdings hatte die Eastland nun eine Schlagseite von 12–15° nach Backbord, also in Fahrtrichtung nach links. Inzwischen war das Schiff ca. 2,7 km vom Ufer entfernt. Angesichts der plötzlichen Krängung wurden die Ballasttanks auf der Backbordseite geleert und die Steuerbordtanks befüllt. Die Krängung begann sich langsam auszugleichen und die Horizontlinie kam wieder in die Waagerechte. Nach ca. 10 Minuten neigte sich das Schiff nun nach Steuerbord, im selben Maß wie vorher. Daraufhin ordnete der Kapitän an, sofort das Oberdeck zu räumen. Alle Passagiere mussten sich eiligst auf das untere Hauptdeck zurückziehen. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Eastland schon eine Krängung von 25° nach Steuerbord, so dass Wasser in die offenen Seitenpforten schwappte. Es dauerte ca. eine halbe Stunde, bis sich das Schiff halbwegs stabilisiert hatte. Dieser Vorfall ruinierte den Ruf des Schiffes nun vollends. Es gab viele Zeugen an Land, die angesichts dieses Vorfalls mit Kreislaufproblemen zu kämpfen hatten. Einige sollen bei der Betrachtung des schiefe im Wasser liegenden Schiffes in Ohnmacht gefallen sein. Kurzum: Danach gab nicht mehr viele Passagiere, die mit diesem Schiff fahren wollten, der turbulente Zwischenfall sprach sich rum. Die Reederei musste reagieren. In der Saison 1904 durften sich nur noch 500 Passagiere auf dem Oberdeck aufhalten, in der nächsten

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Saison, 1905, war es sogar verboten das Oberdeck zu betreten. Mit Wirkung vom 26. Juli 1905 wurde die Passagierzahl auf 2 800 begrenzt. Die Saison endete ohne weitere Zwischenfälle, wahrscheinlich auf Grund der abnehmenden Anzahl mutiger Fahrgäste. Durch das zweimal täglich erforderliche „Überspringen der Sandbank“ und den normalen Verschleiß wurde der Winter 1904/05 für Werftreparaturen genutzt. Neben der Ausbesserung der Schäden am Rumpf wurden im achteren Bereich 49 Kabinen und eine Gangway zum Oberdeck entfernt. Ein Aufenthaltsraum wurde vergrößert und einige Toiletten hinzugefügt. Ein zusätzlicher Niedergang zum Hauptdeck wurde eingerichtet sowie ein viertes Paar an Rettungsbooten auf dem Oberdeck aufgestellt (für je 18 Personen). Kosten: 50 000 \$.

Unruhige Zeiten beginnen

Nach dem Fast-Kenter-Unfall von 1904 brach der Ticketverkauf dramatisch ein. Die Michigan Steamship Company konnte die Kosten für die Werftreparaturen nicht mehr aufbringen. Das Schiff wurde im Dezember 1905 für 100 000 \$ an einen Anteilseigner verkauft. Von nun an hieß die Gesellschaft „Michigan Transportation“ mit Sitz im Bundesstaat Indiana. Am 5. August 1906 gab es einen weiteren Zwischenfall. Die Eastland, mit 2530 Passagieren an Bord, manövrierte sich durch den stark befahrenen Chicago River. Viele Passagiere hielten sich auf der Steuerbordseite auf. Dort war die Aussicht auf die pulsierende Stadt wahrscheinlich am aufregendsten. Folglich krängte der Dampfer wieder über, so dass der Hafenmeister sich genötigt sah, die bislang erlaubte Passagieranzahl von 3 000 auf 2 400 zu reduzieren. Der neue Eigner sah Probleme auf sich zukommen und verkaufte das Schiff mit Gewinn für 150 000 \$ an die Lake Shore Navigation Company.

Auf dem Eriesee

Die neuen Eigentümer merkten bald, dass das Schiff in der Region des Michigansees auf Grund seiner Vergangenheit nur noch Verluste einfahren würde. Konsequenter verlegten sie das Fahrwasser in den Eriesee, Bundesstaat Ohio (**Bild 5**).

Cleveland war zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine aufstrebende Industriestadt am südlichen Ufer des Eriesees. 1870 wurde in der Nachbarschaft, auf einer Landzunge, die sich weit in den See er-

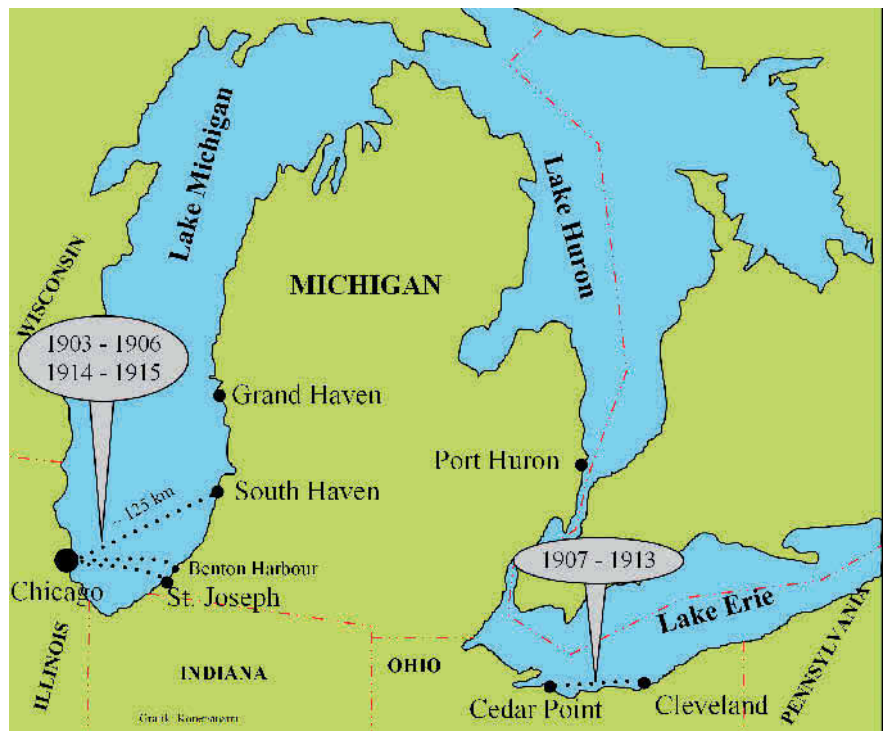


Bild 5 Die Fahrtrouten der Eastland 1903–1915. Foto: Autor

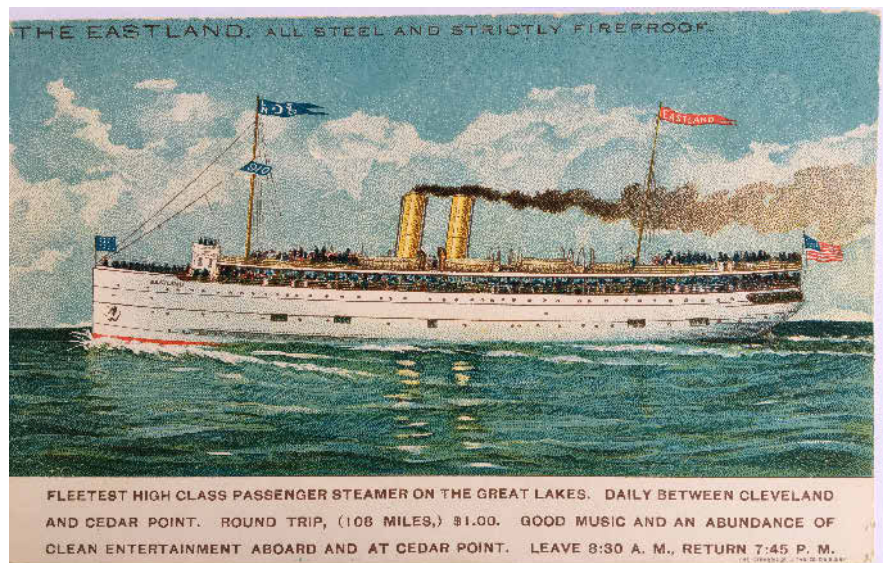


Bild 6 Die Eastland im Einsatz zwischen Cleveland und Cedar Point, Lithografie auf zeitgen. Postkarte. Foto: Autor

streckte, der Freizeitpark Cedar Point eröffnet, der noch heute existiert. Die Schifffahrtslinie zwischen Cleveland und Cedar Point versprach für die Eastland eine hohe Auslastung. Um das Schiff leichter zu machen, wurden die letzten 39 Kabinen ausgebaut. Das Schiff machte ohnehin keine Nachtfahrten mehr, also waren die Kabinen entbehrlich. Die neuen Besitzer kümmerten sich nicht weiter um den Ruf des Schiffes, den es sich auf dem Mi-

chigansee erworben hatte. Der Verkehr zwischen Cleveland und Cedar Point verlief ereignislos, bis auf zwei Grundberührungen in der Sandusky-Bay im September 1909 und Juli 1912 und eine Kollision mit der Hafentmole am 25. Juli 1912. Der große wirtschaftliche Erfolg blieb, trotz heftigen Schlagens der Werbetrommel, jedoch aus (**Bild 6**). Deshalb musste die Eastland Navigation Company das Schiff Anfang 1914 für 150 000 \$ an die

St. Joseph-Chicago Steamship Company verkaufen. Damit wurde der „Heimathafen“ wieder in den Michigansee verlegt. Die Company verfügte bislang nur über ein kleineres Schiff, mit dem der wachsende Gütertransport nach Chicago nicht mehr bewältigt werden konnte. Die neuen Eigentümer kannten das Schiff. Sie waren mit der Eastland im Spätsommer 1913 gefahren und hatten scheinbar keine schlechten Erfahrungen gemacht, bzw. keine Kenntnisse über die „unrühmliche“ Vergangenheit erlangt, was zwar unwahrscheinlich, aber nicht zu widerlegen ist.

Am 5. Juni 1914 wurde das „neue“ Schiff in St. Joseph mit großem Brimborium begrüßt. Erstaunlich ist, dass die Vorgeschichte des Schiffes in der örtlichen Presse mit keinem Wort erwähnt wurde. Dies könnte dafür sprechen, dass den neuen Eigentümern sehr wohl bekannt war, dass die Handhabung des Schiffes in der Vergangenheit problematisch war. Wie sie die allgegenwärtige Presse, ein Massenmedium par excellence, von einer Berichterstattung abhalten konnten, kann nur vermutet werden. Auch die Inspektion des Schiffes durch die Marinebehörde in Benton Harbour ergab keine Beanstandungen. Die Zertifizierung ergab, dass das Schiff für die Saison 1914 maximal 2 045 Passagiere befördern durfte. Die einstige Anordnung, aus Stabilitätsgründen das Oberdeck für Passagiere zu sperren, war plötzlich gegenstandslos. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich auf dem Schiff 8 Rettungsboote, 31 Rettungsflöße und 1 Arbeitsboot. Die Saison 1914 verlief ereignislos bis auf den Umstand, dass ab 26. Juni 1914 ein neuer Kapitän, Harry Pederson, bestellt wurde. Der hatte noch nie ein Passagierschiff befohlen und über das sehr spezielle Wasserballastsystem wusste er nichts. Im Winter 1914/15 wurde die Eastland wieder ins Trockendock geschickt. Neben einigen Umbauten wurden auf dem Zwischen- und Hauptdeck einige Quadratmeter der maroden Holzplanken entfernt und durch einen Betonbelag ersetzt. Im Bereich des Speisesaals, auf dem Zwischendeck, war der ursprüngliche Holzbelag mit einem Linoleumbelag abgedeckt worden. Dies sollte das Holz vor verschütteten Flüssigkeiten schützen, was offensichtlich keine gute Idee war. Unter dem Linoleum war das Holz inzwischen verrottet. Auf dem darunter liegenden Hauptdeck, im Bereich der hinteren Gangway, hatte überlaufendes Seewasser den Holzbelag ruiniert. Auch hier wurde

eine ca. 5 cm dicke Betonschicht aufgebracht. Das zusätzliche Gewicht wurde seinerzeit nicht protokolliert, man schätzt, dass alles in allem ca. 30 – 57 t Beton verarbeitet wurden ([4], S. 72). Das dadurch zusätzliche Gewicht an Bord kam und das Stabilitätsproblem damit noch verschlimmerte, schien niemanden zu stören. Kpt. Pederson wird zu diesem Punkt später aussagen, dass ihm sehr wohl bewusst war, dass zusätzliches Gewicht an Bord kam, er aber nicht glaubte, dass sich dies auf die Stabilität auswirken würde. Marineinspektor Robert Reid aus Grand Haven (Michigan), der bei den Ausbesserungsarbeiten zugegen war, war durch das zusätzliche Gewicht scheinbar auch nicht beunruhigt, einen Krängungsversuch ordnete er nicht an. Nach den Umbau- und Ausbesserungsarbeiten war das Schiff für 2 183 Passagiere und 70 Mann Besatzung zertifiziert.

Neue Vorschriften

Im Jahr 1915 trat eine neue Vorschrift in Kraft. Nach dem Untergang der Titanic, am 15. April 1912, war die halbe Welt darüber entsetzt, dass die Anzahl der Plätze in den Rettungsbooten nicht mit der Anzahl der beförderten Personen übereinstimmte. Das die Anzahl der Rettungsboote auf der Titanic durchaus dem seinerzeit gültigen Regelwerk entsprach, nahm kaum jemand zur Kenntnis. Dies durfte jedenfalls nie wieder passieren. Im März 1915 wurde von US-Präsident Woodrow Wilson³⁾ der sogen. La Follette Seamen's Act⁴⁾ unterzeichnet [5]. Dieses Gesetz sollte vor allen Dingen die Lebens- und Arbeitsbedingungen amerikanischer Seeleute verbessern. Es galt für alle Schiffe größer 100 BRT und forderte u.a., dass eine ausreichende Zahl von Rettungsbooten mitgeführt werden muss. Für die Eastland bedeutete dies, dass die Anzahl der Rettungsboote von 8 auf 11 und die Anzahl der Rettungsflöße von 31 auf 37 erhöht werden musste. Diese zusätzliche Rettungsausrüstung wurde am 2. Juli 1915 installiert, dort wo Platz war, auf dem Oberdeck (Bild 7).

Die zusätzliche Gewichtsbelastung wird in den Quellen mit 10–14 t angegeben [6]. Ob diese zusätzliche Ausrüstung für den speziellen Fall, für die schon „betonverstärkte“ Eastland, überhaupt sinnvoll war, machte sich niemand Gedanken, obwohl das Missverhältnis offensichtlich war. Hilton ([4] Seite 77) bemerkt dazu,

Zitat: „The ship, which, it should be remembered, was designed with 6 lifeboats with a total of 120 seats for an initial licensed capacity of 2 800 passengers, now carried 11 lifeboats and 37 life rafts with an aggregate capacity of 776 places for 2 500 passengers – a good demonstration of what the changes in inspection requirements since the Titanic disaster had accomplished.“⁵⁾ Die Saison 1915 drohte auf Grund des schlechten Wetters und fehlender Transportaufträge zum Verlustgeschäft zu werden. Die Aufstockung der Rettungsboote und -flöße kam dem Reederei-Management daher nicht ungelegen, da sie seit Juni 1915 ohnehin bemüht war, die Auslastung des Schiffes zu erhöhen. Mit zusätzlichen Rettungsmitteln konnten mehr Passagiere befördert werden. Ende Juli 1915 wurde für die Eastland ein neues Zertifikat ausgestellt. Nunmehr war es amtlich, dass 2 500 Passagiere befördert werden durften. Über das zusätzliche Gewicht, das die Stabilität des Schiffes maßgeblich beeinflusste, machte man sich scheinbar keine Gedanken. Wozu auch, der letzte ernste Zwischenfall lag knapp 10 Jahre zurück.

Der große Ausflug

Die in Chicago ansässige Western Electric Company war zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein führender Hersteller von Elektrogeräten. Auch durch die weitere Verbreitung des Telefons und der Entwicklung der Filmindustrie mit unzähligen Kinobetreibern entstand ein neuer Wirtschaftszweig mit einem enormen Ar-

³⁾ Thomas Woodrow Wilson (1856–1924) war der 28. Präsident der USA. Auch auf seine Initiative wurde der Völkerbund gegründet. 1919 wurde ihm der Friedensnobelpreis verliehen.

⁴⁾ Seamen's Act, formell bekannt als Gesetz zur Förderung des Wohlergehens amerikanischer Seeleute in der Handelsmarine der Vereinigten Staaten, wurde maßgeblich vom US-Senator für Wisconsin Robert M. La Follette (1855–1925) gefördert und durchgesetzt. Robert Marion La Follette (1855–1925) war ein amerikanischer Anwalt und Politiker. Er vertrat den US-Bundesstaat Wisconsin in beiden Kammern des Kongresses und war Gouverneur von Wisconsin.

⁵⁾ „Das Schiff, man erinnere sich, war ursprünglich mit 6 Rettungsbooten mit insgesamt 120 Sitzplätzen für eine zugelassene Kapazität von 2 800 Passagieren ausgelegt. Nun führte es 11 Rettungsboote und 37 Rettungsinseln mit einer Gesamtkapazität von 776 Sitzplätzen für 2 500 Passagiere mit sich – eine gute Demonstration dafür, was die Änderungen der Inspektionsanforderungen infolge der Titanic-Katastrophe bewirkt hatten.“

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

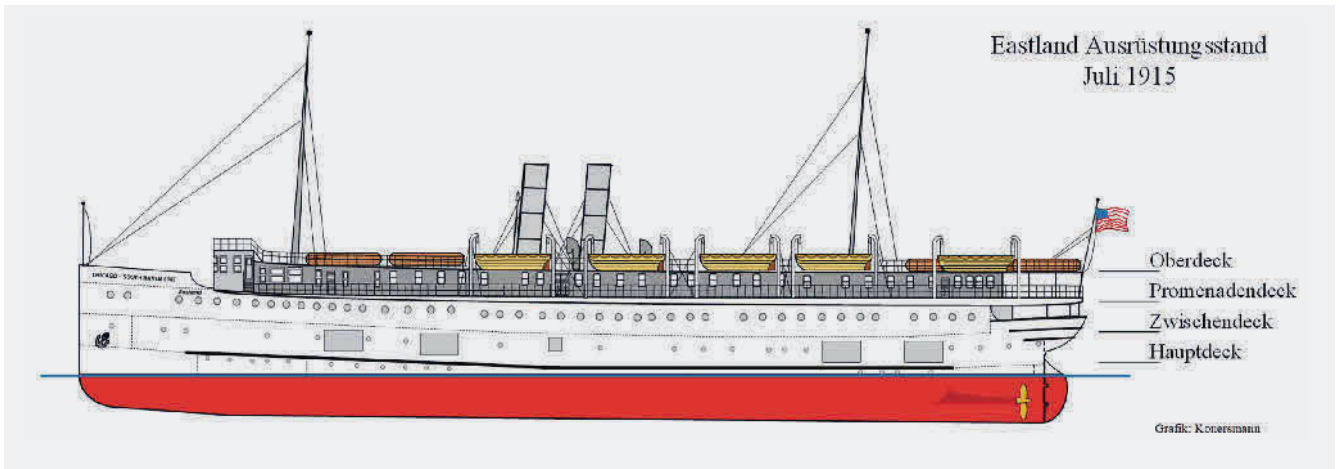


Bild 7 Die Eastland im Ausrüstungszustand 1915. Foto: Autor

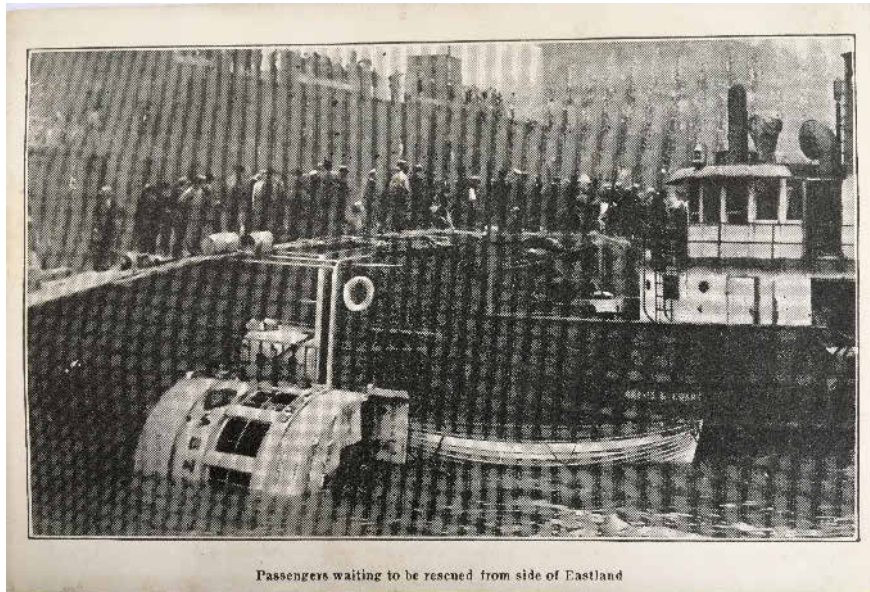
beitskräftebedarf. Seinerzeit war es nicht unüblich, dass der Arbeitgeber auch die Freizeit seiner Arbeitnehmer zu regeln versuchte, z. B. durch gemeinsame Ausflüge und Freizeitveranstaltungen. In dieser paternalistischen Atmosphäre sollte der Zusammenhalt der Angestellten und Arbeiter gefestigt werden. Das Teamwork sollte nicht nur innerhalb, sondern auch außerhalb des Fabrikgeländes gepflegt werden. Dies hatte einen guten Grund. Die Beschäftigten der Western Electric rekrutierten sich aus vielen Ethnien. In der Region in und um Chicago lebten Gruppen deutscher, polnischer, schwedischer, russischer und tschechischer Einwanderer. Ihre Stadtviertel waren durch ihre Kultur und Bräuche geprägt. Sie hatten eigene Kirchen, eigene Friedhöfe, Wirtshäuser und sonstige Organisationen. Für eine behutsame Assimilation der Einwanderer in das amerikanische Staatsbürgertum war es erforderlich, ein Zusammengehörigkeitsgefühl zu erzeugen. Der Paternalismus der Western Electric unterstützte diese Entwicklung. Beginnend 1911, sponserte Western Electric ein jährliches Picknick für alle Mitarbeiter. Dazu wurden auch Passagierdampfer gechartert, die zu einem Ausflugsziel fuhren, wo Rummelbuden, Kegelbahnen und alle denkbaren Unterhaltungsmöglichkeiten vorzufinden waren. Das jährliche Picknick war ein akribisch geplanter und generalstabsmäßig vorbereiteter Höhepunkt des Arbeitsjahres. Für das Jahr 1915 erwartete der „Picknick-Programmausschuss“ eine deutlich höhere Anzahl von Teilnehmern. Es wurden ca. 7 000 Meldungen registriert, die höchste Anzahl, die jemals verzeichnet wurde. Aus diesem Grund musste für das Veranstaltungsjahr 1915 auch die East-

land gechartert werden. Man wusste allerdings, dass das Schiff immer Schwierigkeiten hatte, seinen Fahrplan einzuhalten und meistens zu spät kam. Darum wurde mit der Reederei vereinbart, dass die Eastland das erste Schiff sein sollte, das am Morgen des 24. Juli 1915, die Ausflügler aufnehmen sollte. Sie musste also beim Eintreffen der Passagiere schon am Passagierkai des Chicagoer Stadthafens festgemacht haben.

Eine Katastrophe im Minutentakt

Einen Tag vor dem großen Event, am 23. Juli 1915, kurz vor Mitternacht, machte die Eastland am Passagierkai im Stadthafen Chicago, zwischen Clark- und LaSalle Street, fest. Sofort wurde begonnen, das Schiff mit Kohle zu beladen. Die erforderliche Menge wurde abgeschätzt und ergab sich aus dem Verbrauch der Vortage. Dabei war man sich jedoch uneinig. Der Cheffingenieur wollte noch 55 t an Bord nehmen, der Kapitän hielt 25 t für ausreichend. Wer sich schließlich durchsetzen konnte, ist nicht überliefert. Untersuchungen nach dem Kenternunfall ergaben, dass wohl 104 t Kohle an Bord waren. Doch die waren ungleich verteilt: 79 t auf der Backbordseite und 25 t auf der Steuerbordseite ([4] S. 90). Die ungleiche Verteilung sollte sich bald als fatal erweisen. Die Eastland hatte mit ihrer Steuerbordseite am Kai festgemacht. Als die Passagiere am Morgen des 24. Juli, gegen 6:41 Uhr, das Schiff erwartungsfroh betraten, begann es sich alsbald langsam nach Steuerbord zu neigen [7]. Dies war zu erwarten, da die Ausflügler über die Steuerbordseite an Bord kamen, noch eine

Weile dort verweilten, und sich erst nach und nach über das Schiff verteilten. Nach Umpumpen von Ballastwasser, gegen 6:53 Uhr, richtete sich das Schiff wieder auf. Dann krängte es auf einmal nach Backbord, wahrscheinlich auf Grund der nachrückenden Fahrgäste. Wieder wurde Wasser umgepumpt bis das Schiff gerade im Wasser lag. Pro Minute strömten ca. 50 Passagiere auf das Schiff. Als ca. 1 000 Personen an Bord waren, neigte sich das Schiff wieder leicht nach Backbord. Nachdem alle 2 500 Passagiere an Bord waren, gegen 7:10 Uhr, wurde das Einschiffen abgeschlossen und die Laufplanken eingeholt. Nun wurde versucht, die Passagiere zu bewegen, sich mehr auf der Steuerbordseite zu verteilen, allerdings mit geringem Erfolg. Gegen 7:20 Uhr hatte die Schlagseite Richtung Backbord ungefähr 10 bis 15° erreicht. Daraufhin wurden Versuche unternommen, die Ballasttanks Nr. 2 und 3 auf der Steuerbordseite zu fluten, aber in den ersten Minuten tat sich nichts. Die Eastland richtete sich trotzdem noch einmal von selbst auf. Dann neigte sie sich wieder nach Backbord, obwohl sich viele Passagiere nunmehr an der Steuerbordreling befanden, um sich von den an Land gebliebenen Familienmitgliedern zu verabschieden. Trotzdem nahm nun die Schlagseite Richtung Backbord zu. In Höhe des Hauptdecks lief nun über die offenen Seitenpforten Wasser ins Schiff. Gegen 7:24 Uhr wurden die Passagiere auf dem Hauptdeck angewiesen, zur Steuerbordseite zu wechseln. Das Schiff driftete langsam von der Kaimauer ab. Gegen 7:27 Uhr betrug die Schlagseite 25–30°. Wieder wurden die Passagiere aufgefordert, auf die Steuerbordseite zu wechseln. Sie reagierten nur zögerlich



Passengers waiting to be rescued from side of Eastland

Bild 8 Die Eastland, gekentert am 24.07.1915, liegt auf der Backbordseite im Chicago-River, zeitgen. Postkarte. Foto: Autor

bzw. überhaupt nicht. Um 7:28 Uhr beträgt die Schlagseite 45°, jetzt ist alles vorbei. Das Schiff läuft voll Wasser und sinkt mit seiner Backbordseite auf den Grund des Chicago-Rivers (**Bild 8**).

Unmittelbar nach dem Kentern nimmt die Chicagoer Polizei die Mannschaft in Schutzhaft um sie vor Lynchjustiz zu bewahren. Es starben 844 Personen, 70 % davon waren jünger als 25 Jahre. Das Durchschnittsalter der Opfer lag bei 23 Jahre.

Die Ursachen

Die Bauwerft, die Jenks Ship Building Company, hatte vor allen Dingen Erfahrungen im Bau von Frachtschiffen. Die Eastland war das erste und einzige Passagierschiff, das auf dieser Werft jemals gebaut wurde. Für die Werft war dies Neuland. Frachtschiffe haben eine statische Ladung, die sich während der Fahrt normalerweise nicht bewegt. Bei Passagierschiffen ist anzunehmen, dass eine bestimmte Anzahl von Passagieren ständig auf dem Schiff unterwegs ist und das Schiff daher eine höhere Stabilitätsreserve aufweisen muss. Dies ist für die Berechnung der Querstabilität und des Krängungsverhaltens zu berücksichtigen. Das Schiff sollte vielfältig einsetzbar sein, sowohl zum Transport für Fracht (Obst und Gemüse) als auch für Passagiere. Dabei sollte der Tiefgang eine Höhe von 12 Fuß (3,65 m) nicht überschreiten, denn das war genau die Wassertiefe des

Hafens von South Haven. Außerdem lag vor dem Hafen eine Sandbank, die ebenfalls nur eine Überdeckungshöhe von 12 Fuß hatte. Und diese Sandbank musste irgendwie überwunden werden. Der geringe Tiefgang und die geforderte Ladungskapazität führten dazu, dass die Eastland mit seinen vier Decks sehr hoch aufragte. Der geringe Tiefgang bedeutete zwar eine höhere Geschwindigkeit, verringerte aber dadurch die Querstabilität. Zum schnellen beiderseitigen Aus- und Einstieg der Passagiere und zum schnellen Frachtumschlag, war die Eastland, wie schon erwähnt, an jeder Seite mit vier Seitenpforten ausgerüstet, die bei gutem Wetter auch meistens offen blieben. In unbeladenem Zustand lagen diese Pforten ungefähr 1,2 m über der Wasseroberfläche. In beladenem Zustand reduzierte sich der Abstand auf 50–60 cm, auch oftmals auf nur 30–35 cm, je nach Frachtzuladung. Der Seitengang auf dem Hauptdeck konnte bei Wellengang also durchaus nass werden, ganz zu schweigen bei einer Neigung. Dies hatte man durchaus erkannt. Deshalb wurden sogenannten Halbtüren bereit gehalten, die in die Öffnungen eingesetzt werden konnten. Die Crux war nur, dass die Dichtungen nie richtig dicht waren. Schon eine Neigung von 7,5 – 10° konnte ausreichen, um das Deck unter Wasser zu setzen. Das Ballastsystem, bestehend aus 12 separaten Tanks, war dafür ausgelegt von einem hohen Tiefgang zu einem niedrigen Tiefgang wechseln zu können, um

die Sandbank vor dem Black River zu überwinden. Es war nicht dafür konzipiert, übermäßige Krängungen nach Backbord oder Steuerbord auszugleichen, also die Bewegungen der Passagiere auf den Decks zu kompensieren. Die Krängung des Schiffes, hervorgerufen durch die sich bewegenden Passagiere, stellte sich relativ schnell ein. Der Krängungsausgleich musste manuell, über Ventile, bewerkstelligt werden und konnte daher nur langsam erfolgen und hinkte darum immer hinter den Erfordernissen hinterher. Nach dem Bau und der Inbetriebnahme des Schiffes wurden zahlreiche Änderungen vorgenommen, um es schneller, komfortabler und gesetzeskonform zu machen. Die wirtschaftlichen Vorgaben mussten also durch ingenieurtechnische Leistungen erfüllt werden, die aber nie sicherheitstechnisch hinterfragt wurden. Vor der Katastrophe, nach den offensichtlichen und erkennbaren Mängeln, den vielen Fast-Katastrophen, wurden von der Aufsichtsbehörde keine Tests angeordnet, um die tatsächliche metazentrische Höhe der Eastland zu ermitteln (**Bild 9**). Neben den offensichtlichen Konstruktionsmängeln am Wasserballastsystem wurde die Hauptmaschine überarbeitet, um eine höhere Geschwindigkeit zu erzielen. Um den Aufenthalt unter Deck erträglicher zu gestalten, wurde auch eine Klimaanlage nachgerüstet und der marode Holzfußboden durch einen Betonbelag substituiert. Diese nachträglichen Maßnahmen machten das Schiff noch instabiler, als es schon war. Den „Todesstoß“ erhielt die Eastland durch den Seamen's Act vom 4. März 1915. Nach diesem Gesetz mussten Rettungsboote und -flöße, die sich nach der Anzahl der beförderten Passagiere und der Mannschaft an Bord richtete, verfügbar sein. Am 2. Juli 1915 wurden drei Rettungsboote und sechs Rettungsflöße auf dem Oberdeck der Eastland aufgestellt, wodurch sich die metazentrische Höhe weiter verringerte [8]. Die Eastland wurde im Oktober 1915 gehoben und versteigert.

Sie wurde 1917/18 zu einem Kanonenboot umgebaut und am 20. September 1918 von der US Navy unter dem Namen US-Wilmette in Dienst gestellt. Sie wurde seefähig gemacht. Dazu wurde das oberste Deck völlig entfernt und die Seitenpforten zugeschweißt. Sie wurde auf den großen Seen von der Navy als Ausbildungsschiff verwendet, im November

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

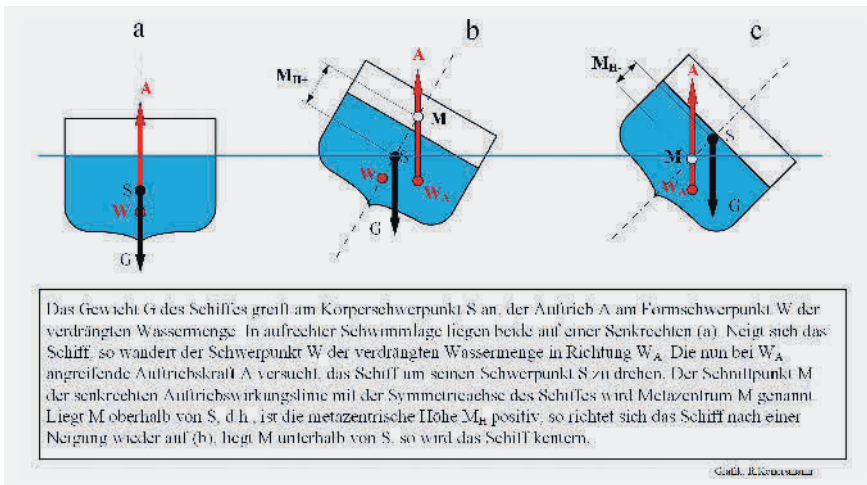


Bild 8 Zusammenhang zwischen Neigung und metazentrischer Höhe. Foto: Autor

1945 außer Dienst gestellt und 1947 verschrottet. Über Stabilitätsprobleme wurde nie wieder berichtet. Die gerichtliche Aufarbeitung der Eastland-Katastrophe zog sich jahrelang hin. Im Dezember 1933 wurde per Gerichtsbeschluss festgelegt, dass die Eastland seetüchtig war und das Kentern durch den unsachgemäßen Betrieb der Ballasttanks verursacht wurde. Joseph Erickson, der dafür verantwortliche Chefingenieur, war 1919 an einer

Herzerkrankung gestorben. Das Management wurde von jeglicher Mitschuld freigesprochen.

Fazit

Nach dem Untergang der Titanic wurde heftig darüber diskutiert, warum nicht mehr Passagiere gerettet werden konnten. Es wurde bemängelt, dass zu wenige Rettungsboote an Bord waren. Dies sollte nie

wieder vorkommen. Also griff der Gesetzgeber ein und forderte eine Nachrüstung für alle Schiffe ab einer bestimmten Größe. Was er nicht regelte war, Prüfungen anzuordnen, die sicherstellten, dass diese Nachrüstung überhaupt sicherheitstechnisch umsetzbar bzw. sinnvoll war. Demzufolge war auch die gerichtliche Aufarbeitung der Katastrophe unbefriedigend. Die wahren Ursachen, die gegenüber der Auftragstellung ständig gesteigerte Passagierkapazität und die laufenden Umbauten, die das Stabilitätsverhalten negativ beeinflussten, wurden nicht bzw. nur oberflächlich untersucht. Die Eastland wird in einigen Quellen als Fehlkonstruktion bezeichnet. In Hinsicht auf das träge reagierende Ballastsystem kann dies vielleicht zutreffend sein, andere Gründe können dafür jedoch nicht angeführt werden. Zur Erinnerung: Die Konstrukteure hatten den Auftrag, ein Schiff zu konstruieren, das sowohl statische Fracht (Früchte und Gemüse) als auch bewegliche Fracht (2000 Passagiere, mehr nicht!) befördern konnte. Die tatsächliche Belastung, die zwischenzeitlich von den Schiffsbehörden genehmigten höheren Passagierzahlen, waren die Hauptursache da-

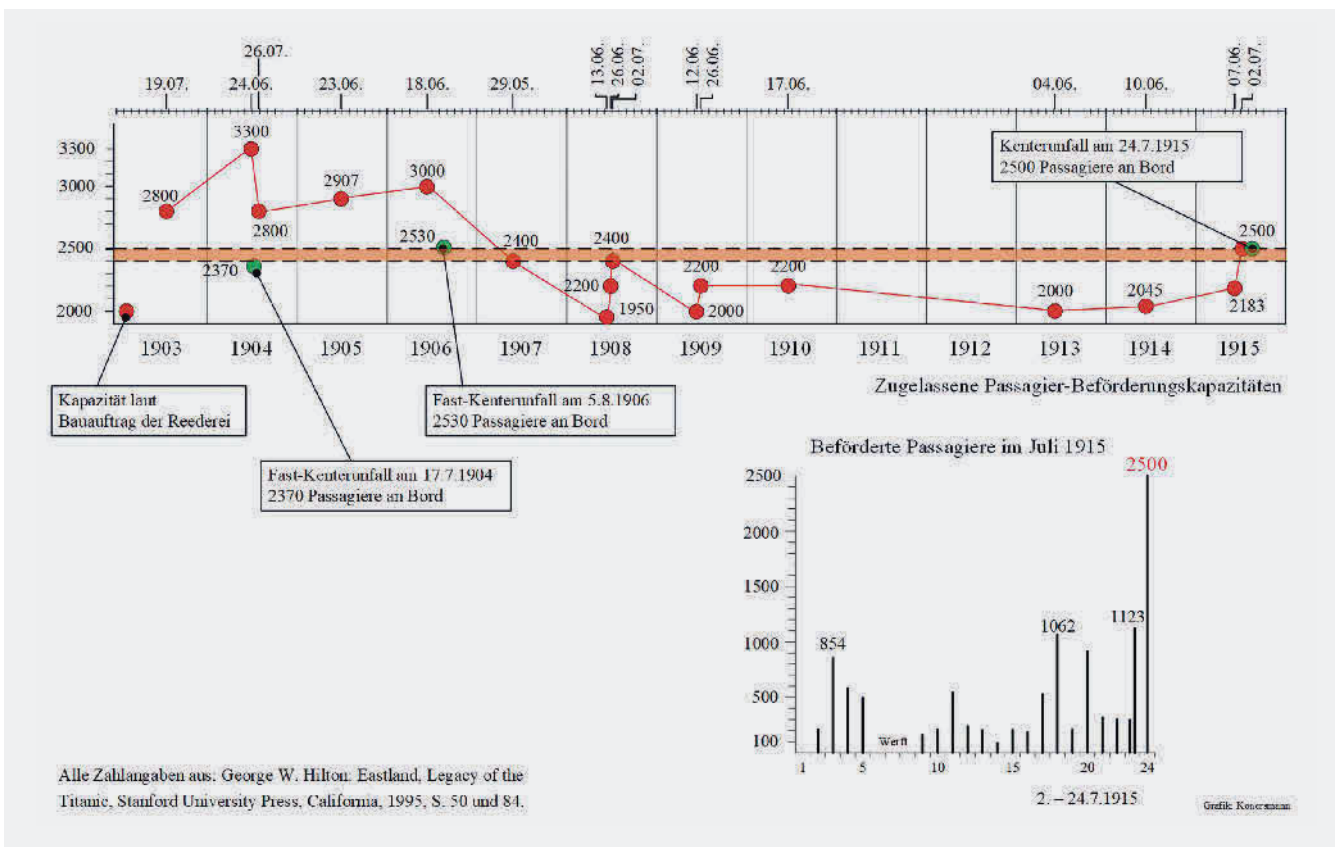


Bild 10 Zugelassene Beförderungskapazitäten 1903–1915. Foto: Autor

für, dass es schließlich zu dem dramatischen Kenterunfall vom 24. Juli 1915 kommen konnte (Bild 9). Nach den ersten erfolgreichen Fahrten im Jahr 1903 wurde die zulässige Passagierkapazität von 2 000 auf 2 800 Passagiere angehoben. Nach dem Kapitänswechsel (Pereue/Dority) infolge des Zwischenfalls im Stadthafen von Chicago 1904 wurde die Passagierkapazität auf Initiative des neuen Kapitäns sogar auf 3 300 erhöht ([4], S. 50). Dieser Optimismus erhielt einen Dämpfer, als das Schiff mit 2 370 Passagieren an Bord, fast kenterte. Die maximale Passagierzahl wurde wieder von 3 300 auf 2 800 reduziert. Diese Logik erschließt sich nicht, eine Absenkung der Passagierzahl auf 2 400 würde man verstehen. Nach dem Ausbau von 49 Kabinen stieg die Passagierzahl von 2 800 auf den krummen Wert von 2 907 an. Wahrscheinlich auf Grund irgendeiner Dreisatz-Abschätzung. Auf Einlassung des Reederei-Managements wurde diese Anzahl am 18. Juni 1906 wieder auf 3 000 erhöht. Nach dem Fast-Kenterunfall vom 5. August 1906, mit 2 530 Passagieren an Bord, wurden die Verantwortlichen wieder nervös. Eine erneute Zertifizierung, jetzt in der Cleveland-Phase, ergab am 13. Juni 1908, dass maximal 1 950 Passagiere verträglich sein würden. Durch verschiedene Berechnungstricks hob man die Pas-

sagierzahl wieder auf 2 400 an, um kurz darauf wieder auf 2 000 bis 2 200 abgesenkt zu werden.

Auffallend ist, dass die Eastland immer dann Stabilitätsprobleme bekam, wenn 2 400 – 2 500 Passagiere an Bord waren. Dies war aber nur selten der Fall, wie das Diagramm in **Bild 10** zeigt. Im Juli 1915 waren kaum mehr als über 1 000 Passagiere an Bord. In diesen Fällen hatte das Schiff keinerlei Probleme. Vermutlich lagen die Beförderungszahlen auch im Zeitraum von 1907 bis zum tragischen Ende, am 24. Juli 1915, kaum oberhalb dieses Bereichs, denn es gab keine Hinweise für Fast-Unfälle. Bedenklich ist, dass die zuständigen und oft kontaktierten Schifffahrtsinspektoren nach den Ereignissen von 1904 und 1906 nicht erkannt hatten, dass die überhöhte Passagieranzahl zu den Problemen geführt hatte. Die zur Verfügung stehenden Zeitdokumente nähren die Vermutung, dass es dem Reederei-Management nie schwergefallen ist, dem Schiff eine höhere Passagieranzahl attestieren zu lassen, als es ihm lt. Konstruktionsauftrag erlaubt war. Die Situation hätte nicht eskalieren müssen, wenn alle Beteiligten zumindest einmal im sprichwörtlich selben Boot gesessen hätten. Oder, einfacher gesagt, wenn man nicht versucht hätte, dem Schiff mehr Passagiere zuzumuten, als es ihm konstruktiv mög-

lich war. Oder, um beim Titel zu bleiben, wenn die Inspektoren kein Auge zuge-drückt hätten. ■ TS900

Literatur

- [1] O'Donnell, E.: Der Ausflug, Das Ende von Little Germany, NewYork. Hamburg 2006.
- [2] Report of the United States Commission of Investigation upon the Disaster to the Steamer „General Slocum.“ Washington, 1904.
- [3] Dial, C.: „Only the River Remains: History and Memory of the Eastland Disaster in the Great Lakes Region, 1915-2015“ (2016). Dissertation, Western Michigan University.
- [4] Eastland, G.: Legacy of the Titanic, Stanford University Press, California, 1995.
- [5] www.britannica.com/topic/La-Follette-Sea-man-Act.
- [6] www.eastlanddisaster.org/history/design-construction.
- [7] www.eastlanddisaster.org/history/timeline.
- [8] www.eastlanddisaster.org/history/the-cause.



Dr.-Ing. Rainer Konersmann
ehem. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Berlin.
Foto: Autor



Anlagensicherheit

Als junger Ingenieur stellt man sich Anlagensicherheit in erster Linie als technische Aufgabe vor. Es sind natürlich Dinge wie Druckfestigkeit der Bauteile, Sicher-

heitsventile, sicherheitstechnische Kennzahlen wie Explosionsgrenzen etc. zu betrachten. Erst nach einer gewissen Zeit wird einem bewusst, dass genehmigungsrechtliche Anforderungen wie das Bundes-Immissionsschutzgesetz, Störfallrecht, Managementpflichten sowohl in der Planungs- als auch in Realisierungsphase den größeren zeitlichen Aufwand bedeuten. Das vorliegende Buch, verfasst von zwei Schwerge-wichten der Regulierungs-landschaft, Fr. Prof. Dr. Ursula Stephan, Chemikerin und Toxikologin, sowie Prof. Dr. Bernd Schulz-Forberg, Ingenieur Leiter der Abteilung III, Gefahrgutum-

schließungen bei der BAM bis zu seiner Pensionierung. Beide waren und sind in der „Szene“ sehr gut bekannt und auch wohl gelitten. Dieses Werk verbindet in gelungener Weise die Vorgaben des Gesetzgebers im Hinblick auf Genehmigungserfordernisse, Sicherheitstechnik, Managementaufgaben u.a. im Hinblick auf den Bau und Betrieb von Anlagen, die dem BImSchG und der StörfallVO unterliegen. Der einzige Schwachpunkt dieses Werks ist die Tatsache, dass mit dem Erscheinen natürlich einige Regelungen schon wieder neu gefasst worden sein dürften, was aber keinen Abbruch am mit dem Werk gewonne-

nen Überblick bedeutet. Der Blick in die Zukunft ist dafür gut gelungen, auch mit dem Vorschlag, in EU-Europa einmal zu überlegen, keine neue Seveso-Richtlinie, sondern eine Seveso-Verordnung herauszugeben. In jedem Fall sollte in Deutschland der Beachtungsgrad der aufwendig erstellten Papiere der KAS gesteigert werden, ggf. sogar der Versuch unternommen werden, diese Papiere als Basis für EN-Normen bei CEN einzu-reichen. Anlagensicherheit Autoren: Prof. Dr. Ursula Stephan, Prof. Dr. Bernd Schulz-Forberg, Hardcover, 109,99 € VDI-Buch, Springer Vieweg.
Dr. Heinrich Lienkamp

Quaderförmige flüssigkeitsgefüllte Metallbehälter und -wannen unter Erdbebenbelastung

Hans Gehrig

Dieser Beitrag behandelt kastenförmige Behälter und Wannen, die einer Bodenbeschleunigung aus Erdbeben unterliegen und in denen eine Flüssigkeit gelagert ist. Nach Vorstellung verschiedener Bauformen werden drei Berechnungsverfahren aus der Literatur im Hinblick auf ihre Praxistauglichkeit kurz diskutiert. Danach wird ein auf einer indischen Erdbebenrichtlinie basierendes Berechnungsverfahren vorgestellt, das nach Ansicht des Verfassers sehr praxistauglich ist, da bei ihm nur wenige Vorwerte berechnet werden müssen, deren Ermittlung dazu noch übersichtlich aufbereitet ist. Abschließend werden zwei Beispiele durchgerechnet, ein geschlossener Behälter zur Lagerung von Heizöl und eine Auffangwanne unter einer Maschine. Die derzeit geltende deutsche Erdbebennorm DIN 4149 Ausgabe 2005 wird spätestens wohl im Jahr 2022 durch den nationalen Anhang zum Eurocode 8 abgelöst, wodurch sich zum Teil erheblich höhere Lasten ergeben werden. Hierauf wird beim Heizölbehälter kurz eingegangen.

1 Einleitung

Zur Speicherung von Flüssigkeiten aller Art werden hauptsächlich stehende zylindrische Behälter mit großem Erfolg verwendet. Jeder kennt zum Beispiel die in Raffinerien stehenden Großbehälter oder die in Brauereien vorhandenen Gär- und Lagertanks für Bier.

Möchte man einen zur Verfügung stehenden Raum mit rechteckiger oder quadratischer Grundfläche möglichst weitgehend nutzen, ist ein kreisförmiger Tankquerschnitt weniger gut geeignet, da dann in den Raumecken „Zwickel“ entstehen, die einen Verlust an Grundfläche und damit an Lagervolumen bedeuten. Ein Behälter mit rechteckiger bzw. quadratischer Grundform nutzt die zur Verfügung stehende Fläche deutlich besser aus.

Eine praktische Anwendung der genannten kastenförmigen Behälter sind zum Beispiel die noch in vielen Gebäuden im Tankraum stehenden standortgefertigten Heizöllagerbehälter. Aber auch in Fabriken kommen sie als Auffangwannen zum Beispiel unter Maschinen zur Anwendung, um im Havariefall auslaufende wassergefährdende Flüssigkeiten aufzufangen. Für diese Wannan wird zum Teil durch den TÜV ein statischer Nachweis gefordert.

Neben den Beanspruchungen aus Eigenlast, Füllung, Wartungs- bzw. Nutzlasten (falls das Dach begehbar ist) und Wind und Schnee (bei Außenaufstellung) sind je nach Aufstellort auch Lasten aus Bodenbeschleunigung im Erdbebenfall zu berücksichtigen.

2 Geometrie, Formelzeichen

Mögliche Bauformen sind in **Bild 1** und **2** für Stahlbetonbehälter in Wannan- und Kastenform dargestellt.

Das jeweils rechte Teilbild zeigt eingeeerdete Massivbehälter. Diese Behälterart lässt sich mit den nachfolgend gezeigten Rechenmethoden aufgrund der Erdanschüttung eigentlich nicht behandeln. In diesen Fällen muss ingenieurmäßig abgeschätzt werden, dabei kann das hier vorgestellte Berechnungsverfahren einen Anhalt für die anzusetzenden globalen und lokalen Lasten geben. Kastenförmige Metallbehälter werden im Allgemeinen nicht eingeeerdet (hohe Wand- und Deckenlasten infolge Erddruck), sie kommen fast ausschließlich in oberirdischer Aufstellung vor, entweder im Freien (dann eventuell mit Wärmedämmung und Bekleidung) oder in Innenaufstellung in Gebäuden. **Bild 3** zeigt Metallbehälter in Wannan- und Kastenform (links: Wanne, rechts: (geschlossener) Kasten).

Bei Wannan aus Metall ist in **Bild 4** der obere Wannanrand ohne bzw. mit Versteifungsprofilen gezeigt. **Bild 5** zeigt mögliche Bauformen des unteren Bodens bei Wannan und kastenförmigen Metallbehältern. Man kann Flachstahlstreifen unterlegen (rechtes Teilbild), oder den Boden mit L-Profilen, U-Profilen oder auch mit Quadrat-Hohlprofilen (linkes Teilbild) versehen. Die hohen Profile werden verwendet, damit der Zwischenraum gut inspiziert werden kann, außerdem können auf den Profilen die Bodenbleche gestoßen werden.

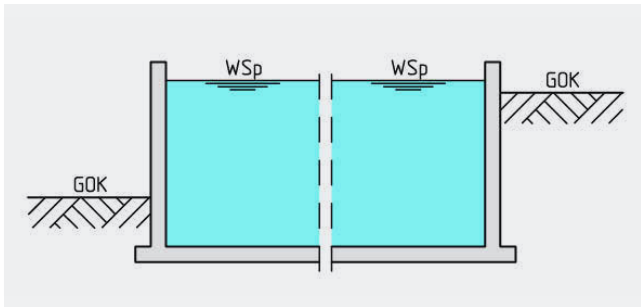


Bild 1 Stahlbetonwannen. Foto: Autor

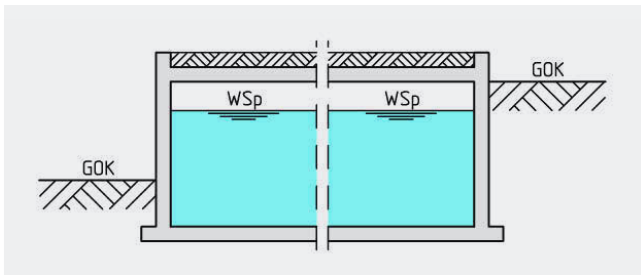


Bild 2 Stahlbetonbehälter. Foto: Autor

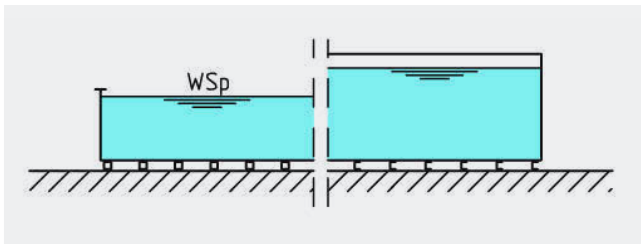


Bild 3 Metallwannen und -behälter. Foto: Autor

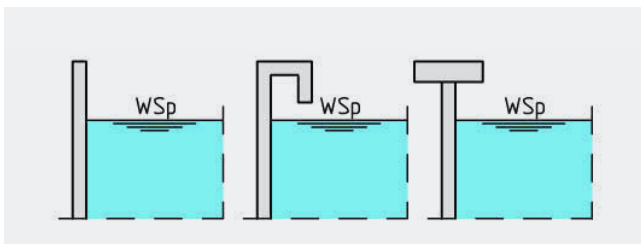


Bild 4 Wannenrand bei Metallbehältern. Foto: Autor

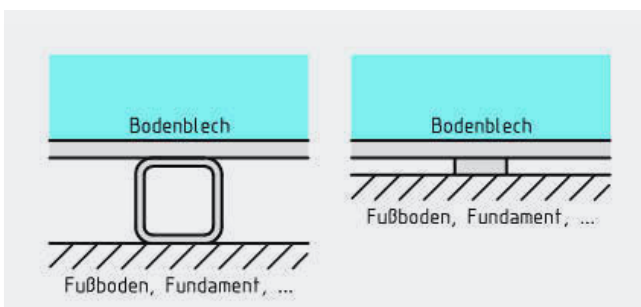


Bild 5 Bodenformen bei Metallbehältern. Foto: Autor

3 Untersuchungen von Westergaard und Housner, EC8-Regelungen

Mit der Bestimmung der dynamischen Drücke auf ebene Wandungen haben sich schon vor langer Zeit einige Wissenschaftler befasst, unter anderem *Westergaard* [1] und natürlich *George W. Housner* [2], der viel Pionierarbeit auf dem Gebiet dynamisch beanspruchter Flüssigkeitsbehälter geleistet hat. Beiden Arbeiten ist eigen, dass sie eher historisch interessant sind, als dass sie sich für eine praktische Berechnung eignen. Auf sie wird trotzdem kurz eingegangen.

3.1 Annäherung nach Westergaard

Westergaard untersuchte den dynamischen Flüssigkeitsdruck auf die Staumauer in Staubecken. Er ermittelt Verlauf und Größe der mit der Staumauer mitschwingenden Wassermasse. Für eine senkrechte Wand (bei Behältern kann man dies voraussetzen) wird der Verlauf der Zusatzmasse des Wassers über die Höhe wie folgt beschrieben [1] (Gleichung 1):

$$\Delta m(z) = \frac{7}{8} \cdot \rho_L \cdot \sqrt{h \cdot z} \quad (1)$$

In vorstehender Gleichung ist h die Stauhöhe, ρ_L ist die Flüssigkeitsdichte und z ist die laufende Koordinate, gemessen ab Wasserspiegel (Wasserspiegel: $z = 0$, Sperrgrund: $z = h$).

Aus der Steifigkeit des Mauerquerschnittes und der Gesamtmasse aus Mauermasse und mitschwingender Wassermasse lässt sich die Eigenfrequenz des Mauer-Wassermassen-Systems ermitteln. Aus der Landeserdbebennorm (in Deutschland ist dies derzeit DIN 4149:2005) erhält man dann den Bemessungswert der Erdbebenbeschleunigung S_d . Aus diesem und den Massen lässt sich der Erdbebedruck bestimmen, die Wand kann unter dieser Beanspruchung dann nachgewiesen werden. In erster grober Näherung könnte dieses Verfahren auch bei kastenförmigen Behältern verwendet werden (Behälterwand = Staumauer).

3.2 Methode nach Housner

Neben Kreiszyklindern hat *Housner* auch Behälter anderer Form untersucht, unter anderem Rechteckbehälter. Allerdings berücksichtigt er bei allen Behälterformen nicht den Einfluss der Nachgiebigkeit der Behälterwände, sodass sein Verfahren zu geringe resultierende Erdbebenlasten liefert. Auf diesen Umstand wurde u. a. von *Gehrig* ([3]; [4]) und *Meskouris et. al.* [5] für stehende zylindrische Behälter hingewiesen, das *Housner-Verfahren* wird daher hier nicht vorgestellt. Wer an genaueren Informationen zur *Housner-Methode* interessiert ist, findet Angaben in englischer Sprache in [2], eine gute und kurz gefasste Übersicht mit Angabe der benötigten Berechnungsformeln ist im Buch von *Meskouris et. al.* [5] angegeben.

3.3 Verfahren nach Eurocode 8

Teil 4 des Eurocode 8 [6] behandelt zylindrische und kastenförmige Behälter sowie Rohrleitungen unter Erdbebenbelastung. Für die kastenförmigen Tanks werden Kurventafeln zur Bestimmung der Wanddrücke angegeben, aus denen die benötigten Werte abgelesen werden sollen. Tafeln oder Tabellen für die resultierenden Drücke fehlen. Das Kapitel ist sehr kurz und nach Ansicht des Verfassers zur praktischen Berechnung der hier behandelten Tankgeometrien nicht geeignet.

4 itk-gsdma Richtlinie zur Erdbebenberechnung von Behältern

Wie bereits beschrieben, sind ein Teil der Verfahren nicht direkt anwendbar (*Westergaard*), veraltet (*Housner*) oder in der Praxis nur schwerfällig zu verwenden (Eurocode 8).

Im Jahr 2008 hat der Verfasser ein auf einer indischen Richtlinie [7] basierendes Verfahren zur Berechnung von Erdbebenlasten kreiszylindrischer Behälter vorgestellt [4], das in der DIBt-Richtlinie 40-B3 [8] als genaues Verfahren zitiert wurde. In der Richtlinie [7] werden neben den zylindrischen auch kastenförmige Behälter behandelt, auch für diese ist das Berechnungsverfahren übersichtlich aufbereitet.

Nach Ansicht des Verfassers ist die Richtlinie [7] gut geeignet, die resultierenden Erdbebenbeanspruchungen flüssigkeitsgefüllter kastenförmiger Behälter auf einfache Art in einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit relativ schnell zu ermitteln. Nachfolgend werden die hierzu benötigten Gleichungen angegeben, der Rechenweg wird aufgezeigt.

4.1 Geometrie, Bezeichnungen

In **Bild 6** sind die im weiteren Verlauf benötigten geometrischen Größen graphisch dargestellt, im oberen Teilbild für Mas-

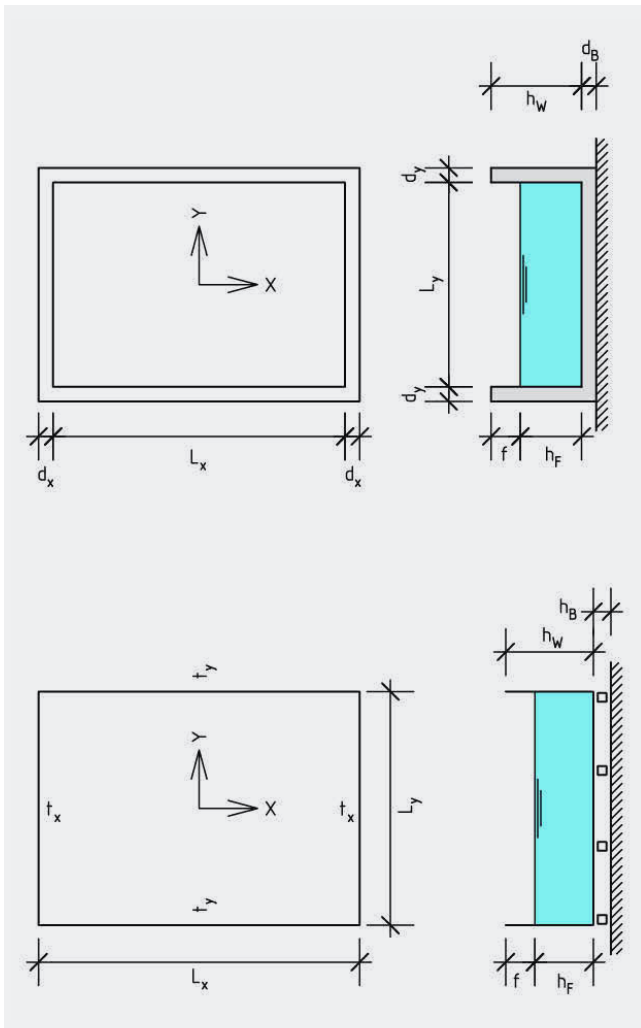


Bild 6 Bezeichnungen bei Metall- und Massivbehältern. Foto: Autor

sivbehälter und im unteren Teilbild für Metallbehälter. Die Bezeichnungen haben folgende Bedeutung:

- L_y, L_x : Seitenlängen des Behälters, bei Betonbehältern die lichte Weite.
- d_x, d_y : Die Wanddicken bei Betonbehältern.
- t_x, t_y : Die Blechdicken bei Metallbehältern.
- h_W : Wandhöhe (bei Behältern mit Dach: lichte Höhe).
- h_f : Füllhöhe der Flüssigkeit.
- f : Freibord. Wird wegen der „Schwapphöhe“ benötigt.
- d_B : Dicke der Bodenplatte (Stahlbetonbehälter).
- t_B : Dicke des Bodenblechs (Metallbehälter).
- h_B : Dicke der evtl. vorhandenen Unterkonstruktion (U- oder I-Profile, Flachstähle, QHP) bei Metallbehältern.

Neben den genannten geometrischen Größen werden für die Berechnung noch weitere Werte benötigt:

- ρ : Die Dichte des Behälterwerkstoffes, für z. B. Stahl $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.
- ρ_f : Die Dichte der Behälterfüllung, für z. B. Wasser $\rho_f = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- E_{mod} : Elastizitätsmodul des verwendeten Werkstoffes bei Berechnungstemperatur.
- M_D : Die Masse der Behälterdecke, falls vorhanden.
- M_W : Die Masse aller Behälterwände (Summenwert).
- M_B : Die Masse des Behälterbodens, bei Metallbehältern einschließlich der evtl. vorhandenen Unterfütterung aus z. B. Walzprofilen oder Flachblechen.
- M_F : Masse der Behälterfüllung: $M_F = L_x \cdot L_y \cdot h_f \cdot \rho_f$
- M_G : Gesamtmasse der Behälterkonstruktion: $M_G = M_D + M_W + M_B$

Grundsätzlich sollten für die Zahlenrechnung folgende Einheiten verwendet werden:

- Alle Maße (Seitenlängen, Wand- und Füllhöhe, Wand- bzw. Blechdicken) in Meter („m“), daraus abgeleitete Größen in Vielfachen davon (z. B. Trägheitsmoment in „m⁴“)
- Alle Massen in Kilogramm („kg“)
- Alle Beschleunigungen in „m/sek²“

Die sich ergebenden Horizontalkräfte haben dann die Einheit „N“, alle Momente die Einheit „Nm“ und die Wanddrücke die Einheit „N/m²“.

4.2 Massenanteile und zugehörige Hebelarme

Bei Rechteckbehältern müssen sowohl die Längs- als auch die Querrichtung untersucht werden, bei Quadratbehältern genügt die Betrachtung einer Richtung. Zu Beginn der Berechnung sind die Seitenlängen L und B zu bestimmen: Wird die x -Richtung untersucht, so ist $L = L_x$ und $B = L_y$, bei Betrachtung der y -Richtung ist $L = L_y$ und $B = L_x$. In beiden Fällen ist $h = h_f$. Vgl. auch Bild 6.

4.2.1 Werte für den impulsiven Massenanteil

Sowohl der impulsive als auch der konvektive Anteil werden aus der Gesamtmasse der Behälterfüllung ermittelt, da diese im hier vorgestellten Verfahren in die beiden genannten Anteile gesplittet wird. Mit dem dimensionslosen Vorwert (Gleichung 2)

$$v_1 = 0,866 \cdot \frac{L}{h} \quad (2)$$

folgt der impulsive Massenanteil zu (Gleichung 3)

$$M_{\text{imp}} = M_F \cdot \frac{\tan h(v_1)}{v_1} \quad (3)$$

Bei der Berechnung des Momentes in Höhe Unterkante Wand gehen nur die Wanddrücke ein, bei einem Schnitt unterhalb der Bodenplatte wirken zusätzlich noch die Bodendrucke, siehe **Bild 7**.

Um diesen Effekt zu berücksichtigen, werden zwei unterschiedliche fiktive Angriffshöhen der impulsiven Masse eingeführt, die Höhe h_{imp} für die Bestimmung des Wandmoments und die Höhe $h_{imp,OM}$ für die Berechnung des Fundamentmoments. Die Höhe zur Berechnung des Wandmomentes ist (Gleichung 4)

$$\frac{h}{L} \leq 0,75 : h_{imp} = 0,375 \cdot h \quad (4)$$

$$\frac{h}{L} > 0,75 : h_{imp} = \left(0,5 - \frac{0,09375}{h/L} \right) \cdot h$$

und für das Fundamentmoment („Overturning moment“, auch Umsturzmoment genannt) folgt (Gleichung 5)

$$\frac{h}{L} \leq 1,33 : h_{imp,OM} = h \cdot \left(\frac{v_1}{2 \cdot \tanh h(v_1)} - 0,125 \right) \quad (5)$$

$$\frac{h}{L} > 1,33 : h_{imp,OM} = 0,45 \cdot h$$

Damit sind alle zur Bestimmung des Einflusses des impulsiven Massenanteils benötigten Werte ermittelt.

4.2.2 Werte für den konvektiven Massenanteil

Das Vorgehen zur Bestimmung der Werte des konvektiven Anteils entspricht dem Vorgehen beim impulsiven Anteil. Mit dem dimensionslosen Vorwert (Gleichung 6)

$$v_2 = 3,16 \cdot \frac{h}{L} \quad (6)$$

folgt der konvektive Massenanteil zu (Gleichung 7)

$$M_{con} = M_F \cdot \left(0,264 \cdot \frac{\tanh h(v_2)}{h/L} \right) \quad (7)$$

Auch hier werden wieder zwei unterschiedliche fiktive Angriffshöhen der konvektiven Masse eingeführt, die Höhe h_{con} für das Wandmoment (Gleichung 8)

$$h_{con} = h \cdot \left(1 - \frac{\cosh h(v_2) - 1,00}{v_2 \cdot \sinh h(v_2)} \right) \quad (8)$$

und die Höhe $h_{con,OM}$ für das Fundamentmoment (Gleichung 9):

$$h_{con,OM} = h \cdot \left(1 - \frac{\cosh h(v_2) - 2,01}{v_2 \cdot \sinh h(v_2)} \right) \quad (9)$$

Der Quotient in Gleichung (9) kann negativ werden, sodass in der Klammer nicht subtrahiert, sondern addiert wird. Daraus folgt eine entsprechend große fiktive Höhe $h_{con,OM}$, die in der Folge dann ein entsprechend großes Fundamentmoment erzeugt. Dies ist verständlich, wenn man Bild 7 betrachtet: Bei einem langgestreckten Behälter überwiegt der Momentenanteil des Bodendruckes, somit ergibt sich ein entsprechend großes resultierendes Moment.

Damit sind alle zur Bestimmung des Einflusses des konvektiven Massenanteils benötigten Werte ermittelt.

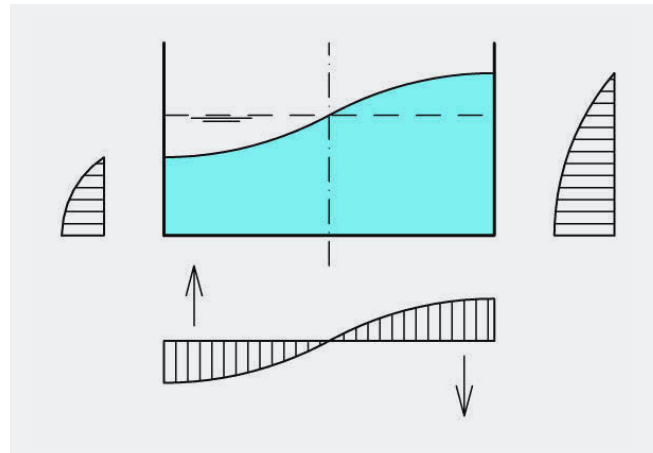


Bild 7 Dynamische Wand- und Bodendrucke. Foto: Autor

4.3 Bestimmung der Schwingzeiten

Zur Bestimmung der Bemessungsbeschleunigungen werden noch die Schwingzeiten des impulsiven und konvektiven Massenanteils benötigt.

4.3.1 Konvektiver Anteil

Mit dem dimensionslosen Vorwert (Gleichung 10)

$$C_c = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{3,16 \cdot \tanh(v_2)}} \quad (10)$$

folgt für die Eigenschwingzeit des konvektiven Massenanteils der Wert (Gleichung 11)

$$T_{con} = C_c \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (11)$$

worin $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$ den Wert der Erdbeschleunigung bedeutet.

4.3.2 Impulsiver Anteil

Die Bestimmung der Eigenschwingzeit des impulsiven Anteils gestaltet sich etwas aufwendiger, da die Wandverformung eingegangen. Man erhält die Eigenschwingzeit zu (Erläuterung folgt) (Gleichung 12)

$$T_{imp} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d}{g}} \quad (12)$$

worin d die horizontale Verformung senkrecht zur Wandebene in Wandmitte, also in $B/2$, ist. Die Wandverformung d wird unter der konstanten Flächenlast q nach Gleichung (13) berechnet

$$q = \frac{(M_{imp} + 2 \cdot M_{W,1}) \cdot g}{2 \cdot B \cdot h} \quad (13)$$

In voriger Gleichung ist $M_{W,1}$ die Masse einer Wand senkrecht zur betrachteten Erdbebenrichtung: Bei Beben in x -Richtung (mit $L = L_x$) ist $M_{W,1} = L_y \cdot h_w \cdot t_x \cdot \rho$, bei Beben in y -Richtung (mit $L = L_y$) ist $M_{W,1} = L_x \cdot h_w \cdot t_y \cdot \rho$. Bei Stahlbetonbehältern wird t_x durch d_x und t_y durch d_y ersetzt. Das weitere Vorgehen hängt von der Ausbildung des oberen Randes des Behälters ab.

Wannenförmige Behälter: Bei Wannen ohne oder mit einer schwachen oberen Versteifung (siehe Bild 4) wird die Behälterwand als Kragarm angesehen, wobei ein senkrechter Wandstreifen der Breite 1,0 m betrachtet wird. Entsprechend der Kommentarspalte zu Kapitel 4.3.1.2 aus [7] erhält man als rechnerische Angriffshöhe h_e der Ersatzlast den Wert (Gleichung 14)

$$h_e = \frac{M_{imp} \cdot h_{imp} + M_{W,1} \cdot h}{M_{imp} + 2 \cdot M_{W,1}} \quad (14)$$

Die Ersatzlast selbst ermittelt man zu $P = q \cdot h \cdot 1,0 \text{ m}$, das Trägheitsmoment des betrachteten Wandstreifens ist $I_{W,1} = 1,00 \text{ m} \cdot t^3 / 12$. Die Wanddicke t (in Meter) ist dabei bei Metallbehältern entweder t_x oder t_y , bei Stahlbetonbehältern entsprechend entweder d_x oder d_y . Der benötigte Wert der Wandverformung ermittelt sich damit aus folgender Gleichung (15):

$$d = \frac{1}{3} \cdot \frac{P \cdot (h_e)^3}{E_{mod} \cdot I_{W,1}} \quad (15)$$

Behälter mit Dach (Decke): Bei geschlossenen Behältern (also Tanks mit Dach) und bei Wannen mit einer kräftigen oberen Versteifung wird die Wand als vierseitig gelagerte Platte betrachtet. Diese Platte wird durch die konstante Flächenlast aus Gleichung (13) belastet. Die Plattendurchbiegung unter dieser Last ist mit den üblichen Mitteln der Baustatik zu berechnen.

4.4 Bestimmung der Bemessungsbeschleunigungen

Für die weitere Rechnung werden die aus den Schwingzeiten T_{imp} und T_{con} resultierenden Bemessungsbeschleunigungen ermittelt (T_{imp} liefert $S_{d,imp}$ und T_{con} liefert $S_{d,con}$). Diese ergeben sich aus der Landeserdbebennorm, bei Aufstellung des Behälters in Deutschland gilt derzeit DIN 4149:2005, die allerdings voraussichtlich Ende 2021 bzw. Anfang 2022 durch den Eurocode 8 [6] in Verbindung mit dem neuen nationalen Anhang [13] abgelöst werden wird, der für viele Gegenden, u. a. in der „Rheinschiene“ zwischen Mannheim und Wyhl, zum Teil deutlich größere Erdbebenersatzlasten liefert. Für die Ermittlung der Ersatzlasten ist zu beachten, dass die DIBt-Richtlinie 40-B3 [8] bei Füllung mit einer wassergefährdenden Flüssigkeit den Bedeutungsbeiwert mit $\gamma_1 = 1,6$ ansetzt. Dem VCI-Leitfaden zum Lastfall Erdbeben im Anlagenbau [9] können weitere Werte des Bedeutungsbeiwertes entnommen werden, die zugehörigen Erläuterungen [10] sind zu beachten.

4.5 Berechnung der resultierenden Erdbebenlasten

4.5.1 Bezugsniveau 1: Unterkante Seitenwände

Die Horizontalkraftanteile H_{imp} und H_{con} sowie die daraus entstehenden Momentenanteile MM_{imp} und MM_{con} in Höhe UK Seitenwand (= OK Bodenblech bzw. OK Bodenplatte) erhält man zu (Gleichung 16)

$$\begin{aligned} H_{imp} &= S_{d,imp} \cdot (M_{imp} + M_D + M_W) \\ H_{con} &= S_{d,con} \cdot M_{con} \\ MM_{imp} &= S_{d,imp} \cdot (M_{imp} \cdot h_{imp} + M_D \cdot h_W + M_W \cdot h_W / 2) \\ MM_{con} &= S_{d,con} \cdot M_{con} \cdot h_{con} \end{aligned} \quad (16)$$

Die resultierende Horizontalkraft H_{dyn} und das resultierende Biegemoment M_{dyn} werden im Erdbebenfall aus der SRSS-Regel ermittelt (Gleichung 17):

$$\begin{aligned} H_{dyn} &= \sqrt{(H_{imp})^2 + (H_{con})^2} \\ M_{dyn} &= \sqrt{(MM_{imp})^2 + (MM_{con})^2} \end{aligned} \quad (17)$$

Die zugehörigen Ersatzwanddrücke werden in Kapitel 4.5.3 bestimmt.

4.5.2 Bezugsniveau 2: Unterkante Behälterbasis

Die Horizontalkraftanteile $H_{imp,OM}$ und $H_{con,OM}$ sowie die daraus entstehenden Momentenanteile $MM_{imp,OM}$ und $MM_{con,OM}$ in Höhe der Behälterunterkante, also unterhalb von h_B bzw. d_B (siehe auch Bild 6) erhält man zu (Gleichung 18)

$$\begin{aligned} H_{imp,OM} &= S_{d,imp} \cdot (M_{imp} + M_G) \\ H_{con,OM} &= S_{d,con} \cdot M_{con} \end{aligned} \quad (18)$$

Bei den Einzelanteilen der Biegemomente $MM_{imp,OM}$ und $MM_{con,OM}$ ist der neue Höhenbezug zu beachten, da die Dicke der Bodenplatte (bei Stahlbetonbehältern) bzw. die Dicke der Unterkonstruktion (bei Stahlbehältern) mit in die Hebelarme eingeht. Mit der neu eingeführten Höhe $\Delta h = t_B + h_B$ für Metallbehälter und $\Delta h = d_B$ für Massivbehälter erhält man als Einzelwerte (Gleichung 19)

$$\begin{aligned} \text{Dach: } MM_1 &= M_D \cdot (h_W + \Delta h) \\ \text{Wand: } MM_2 &= M_W \cdot (h_W / 2 + \Delta h) \\ \text{Boden: } MM_3 &= M_B \cdot \Delta h \\ \text{Gesamt: } \Sigma MM &= MM_1 + MM_2 + MM_3 \end{aligned} \quad (19)$$

Das impulsive und konvektive Biegemoment („Umsturzmoment“) ergibt sich zu (Gleichung 20)

$$\begin{aligned} MM_{imp,OM} &= S_{d,imp} \cdot (M_{imp} \cdot (\Delta h + h_{imp,OM}) + \Sigma MM) \\ MM_{con,OM} &= S_{d,con} \cdot M_{con} \cdot (\Delta h + h_{con,OM}) \end{aligned} \quad (20)$$

Auch hier werden die resultierende Horizontalkraft $H_{dyn,OM}$ und das resultierende Biegemoment $M_{dyn,OM}$ im Erdbebenfall aus der SRSS-Regel ermittelt (Gleichung 21):

$$\begin{aligned} H_{dyn,OM} &= \sqrt{(H_{imp,OM})^2 + (H_{con,OM})^2} \\ M_{dyn,OM} &= \sqrt{(MM_{imp,OM})^2 + (MM_{con,OM})^2} \end{aligned} \quad (21)$$

4.5.3 Linearisierte Wanddruckverteilungen

Zur Bemessung der Behälterwände werden noch die durch die Erdbebenbeschleunigung geweckten dynamischen Wanddrücke benötigt. Die iitk-Richtlinie [7] gibt hierfür Ersatz-Trapezlasten an, die für die genannte Bemessung baupraktisch ausreichend genau sind.

Impulsiver Ersatzwanddruck: Aus der Resultierenden des impulsiven Massenanteils (Gleichung 22)

$$q_{imp} = \frac{S_{d,imp} \cdot M_{imp}}{2 \cdot B} \quad (22)$$

ergeben sich die Wanddrücke zu (Gleichung 23)

$$\begin{aligned} a_{\text{imp}} &= \frac{q_{\text{imp}}}{h^2} \cdot (4 \cdot h - 6 \cdot h_{\text{imp}}) \\ b_{\text{imp}} &= \frac{q_{\text{imp}}}{h^2} \cdot (6 \cdot h_{\text{imp}} - 2 \cdot h) \end{aligned} \quad (23)$$

Konvektiver Ersatzwanddruck: Das Vorgehen hier ist wie beim impulsiven Anteil (Gleichung 24):

$$\begin{aligned} q_{\text{con}} &= \frac{S_{\text{d,con}} \cdot M_{\text{con}}}{2 \cdot B} \\ a_{\text{con}} &= \frac{q_{\text{con}}}{h^2} \cdot (4 \cdot h - 6 \cdot h_{\text{con}}) \\ b_{\text{con}} &= \frac{q_{\text{con}}}{h^2} \cdot (6 \cdot h_{\text{con}} - 2 \cdot h) \end{aligned} \quad (24)$$

Die Wanddrücke wirken wie folgt: a wirkt unten (am Wandfuß), b wirkt oben (in Höhe des Flüssigkeitsspiegels), dazwischen linearer Verlauf. Bei dem gezeigten Vorgehen können negative Wanddrücke entstehen, nach Ansicht des Verfassers sollten diese Anteile für die weitere Rechnung auf Null gesetzt werden, da sie sonst entlastend eingingen.

4.5.4 Resultierender Wanddruck

Zusätzlich zu den Wanddrücken aus Kapitel 4.5.3 wirkt noch der aus der Wandeigenlast resultierende dynamische Druck, der konstant über die Wandhöhe verläuft (Gleichung 25):

$$q_W = S_{\text{d,imp}} \cdot t \cdot \rho \quad (25)$$

In vorstehender Gleichung ist t die Wanddicke.

Die resultierenden dynamischen Wanddrücke am Wandfuß a_{dyn} und in Höhe des Flüssigkeitsspiegels b_{dyn} erhält man zu (Gleichung 26)

$$\begin{aligned} a_{\text{dyn}} &= \sqrt{(a_{\text{imp}} + q_W)^2 + a_{\text{con}}^2} \\ b_{\text{dyn}} &= \sqrt{(b_{\text{imp}} + q_W)^2 + b_{\text{con}}^2} \end{aligned} \quad (26)$$

Der gesamte Wanddruck ergibt sich zu (Gleichung 27)

$$\begin{aligned} p_{\text{unten}} &= a_{\text{dyn}} + \rho_F \cdot h_F \cdot g \\ p_{\text{oben}} &= b_{\text{dyn}} \end{aligned} \quad (27)$$

Der Druckverlauf zwischen Wandfuß p_{unten} und Flüssigkeitsspiegel p_{oben} ist linear, wie bereits erwähnt. Für den Druckverlauf aus Gleichung (27) ist die Wand zu bemessen, dabei dürfen die aus evtl. vorhandener Dach- bzw. Deckenlast entstehenden Längsdruckkräfte nicht vergessen werden (Beulnachweis der Wandbleche bei Metallbehältern).

4.6 Schwapphöhe

Neben der Horizontalkraft $H_{\text{dyn,OM}}$ und dem Umsturzmoment $M_{\text{dyn,OM}}$, die beide zum Nachweis der globalen Standsicherheit dienen, und den Wanddrücken p_{unten} und p_{oben} , mit denen die Behälterwände bemessen werden (lokale Standsicherheit), muss zusätzlich noch die Schwapphöhe ermittelt werden, damit die ausreichende Freibordhöhe überprüft werden kann. Dies ist besonders bei Wannen wichtig, die ja oben offen sind, da sonst die zu lagernde oder aufzufangende Flüssigkeit aus dem Behälter herausschwappen und, falls wasser-

gefährdend, zu Umweltschäden führen kann. Bei geschlossenen Behältern prallt die Flüssigkeit gegen das Dach, was, zumindest bei zylindrischen Behältern, schon zu Schäden geführt hat. Die Schwapphöhe erhält man zu [7] (Gleichung 28):

$$h_S = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \frac{S_{\text{d,con}}}{g} \cdot L \quad (28)$$

Mit q = Bedeutungsbeiwert.

Folgende Bedingung ist einzuhalten (Gleichung 29):

$$h_W \geq h_F + h_S \quad (29)$$

Da die Stärke eines zukünftigen Erdbebens stark unsicher ist, sollte in Gleichung (29) die rechnerische Wandhöhe um einen Sicherheitszuschlag vergrößert werden.

5 Beispiele

Die Zahlenrechnung in den Beispielen erfolgt in den Einheiten kg (alle Massenanteile), m (alle Maße, wie Längen und Dicken) und m/sek² (alle Beschleunigungen), wobei die Einheiten aus Platzgründen nicht immer angeschrieben werden, auch nicht die verwendeten Formelnummern. In den Beispielen wird für die Erdbeschleunigung der Wert $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ verwendet. Man kann natürlich auch mit $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ rechnen, wie im Bauwesen sonst üblich.

5.1 Beispiel 1: Heizöllagertank in Karlsruhe (Fiktives Beispiel)

Dieser geschlossene Behälter ist ein Bestandstank, der als kellergeschweißter Heizöltank ausgeführt wurde und für Erdbeben nachgerechnet werden soll. Der Tank hat die Abmessungen 3,00 m Länge, 2,50 m Breite und 1,25 m Wandhöhe, bei einem maximalen Füllstand von 1,10 m ergibt sich ein nutzbarer Inhalt von 8 250 Litern Heizöl. Wände und Dach sind 6 mm dick, der 5 mm dicke Tankboden ist mit unterseitig angeschweißten 10 mm dicken Flachblechstreifen versehen. Gefertigt wurde der Tank in „Normalstahl“ der Güte S235, er wird bei Raumtemperatur betrieben, die Dichte des Heizöls beträgt $\rho_F = 1 000 \text{ kg/m}^3$.

Behältermassen: Dach $M_D = 400 \text{ kg}$, Wände $M_W = 650 \text{ kg}$, Boden gesamt $M_B = 350 \text{ kg}$.

Summen:

Dach + Wand: $M_{D,W} = 400 \text{ kg} + 650 \text{ kg} = 1 050 \text{ kg}$

Tank gesamt: $M_G = 400 \text{ kg} + 650 \text{ kg} + 350 \text{ kg} = 1 400 \text{ kg}$

5.1.1 Berechnung in Längsrichtung

Vorwerte: $L = 3,0 \text{ m}$; $B = 2,5 \text{ m}$; $h = 1,1 \text{ m} = h_F$; $h_W = 1,25 \text{ m}$

Impulsiver Anteil: Massen, Hebelarme

Dimensionslose Eingangswerte: $h/L = 0,367$; $v_1 = 0,866 \cdot L/h = 2,362$; $\tanh(v_1) = 0,982$

Masse der gelagerten Flüssigkeit: $M_F = (3,0 \cdot 2,5 \cdot 1,1) \cdot 1 000 = 8 250 \text{ kg}$

Impulsiver Massenanteil, zugehörige Hebelarme (Gleichung 30):

$$\begin{aligned} M_{\text{imp}} &= 8 250 \text{ kg} \cdot \frac{0,982}{2,362} = 3 430 \text{ kg} \\ h_{\text{imp}} &= 0,375 \cdot 1,10 \text{ m} = 0,413 \text{ m} \\ h_{\text{imp,OM}} &= 1,10 \text{ m} \cdot \left(\frac{2,362}{2 \cdot 0,982} - 0,125 \right) = 1,185 \text{ m} \end{aligned} \quad (30)$$

Konvektiver Anteil: Massen, Hebelarme

Dimensionslose Eingangswerte (Gleichung 31):

$$\begin{aligned} h/L &= 0,367 \\ v_2 &= 3,16 \cdot 0,367 = 1,159 \\ \sin h(v_2) &= 1,436 \\ \cos h(v_2) &= 1,750 \\ \tan h(v_2) &= 0,821 \\ \cot h(v_2) &= 1,219 \end{aligned} \quad (31)$$

Konvektiver Massenanteil, zugehörige Hebelarme (Gleichung 32):

$$\begin{aligned} M_{\text{con}} &= 8250 \text{ kg} \cdot \left(0,264 \cdot \frac{0,821}{0,367}\right) = 4872 \text{ kg} \\ h_{\text{con}} &= 1,10 \text{ m} \cdot \left(1,00 - \frac{1,75 - 1,00}{1,159 \cdot 1,436}\right) = 0,604 \text{ m} \\ h_{\text{con,OM}} &= 1,10 \text{ m} \cdot \left(1,00 - \frac{1,75 - 2,01}{1,159 \cdot 1,436}\right) = 1,272 \text{ m} \end{aligned} \quad (32)$$

Impulsiver Anteil: Schwingzeit, Bemessungsbeschleunigung

Die Behälterwand ist allseitig gestützt (Dach, Boden, Seitenwände) und wirkt daher als vierseitig gelagerte Platte, die mit der Ersatzbelastung nach Gleichung (13) beansprucht wird. Die Plattenmaße sind $L_{x,p} = 2,5 \text{ m}$ und $L_{y,p} = h_W = 1,25 \text{ m}$. Das Spannweitenverhältnis $\epsilon = L_{x,p}/L_{y,p} = 2$ übersteigt den üblicherweise angesetzten Grenzwert von $\epsilon_{\text{Grenz}} = 1,50$, sodass die zweiachsige Tragwirkung bei dieser Wand nicht zum tragen kommt – sie verhält sich wie ein Einfeldträger. Die benötigte Wandverformung in horizontaler Richtung wird daher am Einfeldträger unter Gleichlast berechnet. Dabei wird der geringe Bereich von $0,15 \text{ m}$, der unbelastet ist (Freibord, unbenetzt) nachfolgend vernachlässigt.

Trägheitsmoment des Wandstreifens: $I_W = 1,0 \cdot 0,006^3 / 12 = 18 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$

Biegesteifigkeit: $E \cdot I_W = 210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot 18 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 = 3780 \text{ Nm}^2$

Masse einer Querwand: $M_{W,1} = (2,5 \cdot 1,25 \cdot 0,006) \cdot 7850 = 147,2 \text{ kg}$

Ersatz-Flächenlast und Durchbiegung (Streifenbreite 1 m):
 $q = \left\{ \left((3430 \text{ kg} + 2 \cdot 147,2 \text{ kg}) \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \right) / (2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 1,1 \text{ m}) \right\} \cdot 1,0 \text{ m} = 6643 \text{ N/m}$

$d = 5/384 \cdot ((6643 \text{ N/m} \cdot (1,25 \text{ m})^4) / 3780 \text{ Nm}^2) = 0,0559 \text{ m}$

Die zugehörige Schwingzeit erhält man zu (Gleichung 33)

$$T_{\text{imp}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{0,0559}{9,81}} = 0,474 \text{ s} \quad (33)$$

Die Bemessungsbeschleunigung erhält man aus DIN 4149:2005 [11], Angaben zum Baugrund können der Landeserdbebenkarte von Baden-Württemberg [12] entnommen werden. Der im Beispiel gewählte Aufstellort Karlsruhe liegt in der Erdbebenzone 1 (Hierfür $a_g = 0,4 \text{ m/s}^2$) mit der Untergrundklasse S. Es liegt kein Baugrundgutachten vor, daher folgt als Untergrund-Baugrund-Kombination C-S. Der Bedeutungsbeiwert γ_1 wird aufgrund der Heizölfüllung (wassergefährdende Flüssigkeit) mit $1,6$ angenommen (DIBt-Richtlinie [8]), der Duktilitätsbeiwert q wird zu $1,0$ angesetzt. Die Schwingzeit liegt im Plateaubereich, man erhält als Wert der Bemessungsbeschleunigung

$$S_d(T_{\text{imp}}) = S_{d,\text{imp}} = 0,4 \text{ m/s}^2 \cdot 1,6 \cdot 0,75 \cdot (2,5 / 1,0) = 1,20 \text{ m/s}^2$$

Konvektiver Anteil: Schwingzeit, Bemessungsbeschleunigung

Beiwert C_C und Schwingzeit T_{con} (Gleichung 34 und 35):

$$C_C = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{3,16 \cdot 0,821}} = 3,901 \quad (34)$$

$$T_{\text{con}} = 3,901 \cdot \sqrt{\frac{3,0}{9,81}} = 2,157 \text{ s} \quad (35)$$

Die Eigenschwingzeit liegt im zweiten abfallenden Ast der Erdbebenkurve, als Wert der zugehörigen Bemessungsbeschleunigung folgt (Gleichung 36)

$$S_d(T_{\text{con}}) = S_{d,\text{con}} = 1,2 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{0,5 \cdot 2,0}{2,157^2} = 0,258 \text{ m/s}^2 \quad (36)$$

Aufgrund der geringen Dämpfung (Heizöl wird hier wie Wasser angesetzt) muss der konvektive Anteil um 35% erhöht werden, siehe auch [3] bzw. [4]

$$S_{d,\text{con}} = 0,258 \text{ m/s}^2 \cdot 1,35 = 0,348 \text{ m/s}^2$$

Erdbebenlasten in Höhe UK Wand

Resultierende Horizontallast H_{dyn} (Gleichung 37):

$$H_{\text{imp}} = 1,20 \text{ m/s}^2 \cdot (3430 \text{ kg} + 1050 \text{ kg}) = 5376 \text{ N} \quad (37)$$

$$H_{\text{con}} = 0,348 \text{ m/s}^2 \cdot 4872 \text{ kg} = 1696 \text{ N}$$

$$H_{\text{dyn}} = \sqrt{(5376 \text{ N})^2 + (1696 \text{ N})^2} = 5637 \text{ N}$$

Resultierendes Biegemoment M_{dyn} (Gleichung 38):

$$MM_1 = 3430 \text{ kg} \cdot 0,413 \text{ m} = 1417 \text{ kgm (Imp.Masse)} \quad (38)$$

$$MM_2 = 400 \text{ kg} \cdot 1,25 \text{ m} = 500 \text{ kgm (Dach)}$$

$$MM_3 = 650 \text{ kg} \cdot 1,25 \text{ m} = 406 \text{ kgm (Wand)}$$

$$MM_{\text{imp}} = 1,20 \text{ m/s}^2 \cdot (1417 + 500 + 406) \text{ kgm} = 2788 \text{ Nm}$$

$$MM_{\text{con}} = 0,348 \text{ m/s}^2 \cdot 4872 \text{ kg} \cdot 0,604 \text{ m} = 1024 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{dyn}} = \sqrt{(2788 \text{ Nm})^2 + (1024 \text{ Nm})^2} = 2970 \text{ Nm}$$

Erdbebenlasten auf Höhe UK Behälter

Resultierende Horizontallast $H_{\text{dyn,OM}}$ (Gleichung 39):

$$H_{\text{imp,OM}} = 1,20 \text{ m/s}^2 \cdot (3430 \text{ kg} + 1400 \text{ kg}) = 5796 \text{ N} \quad (39)$$

$$H_{\text{con,OM}} = 0,348 \text{ m/s}^2 \cdot 4872 \text{ kg} = 1696 \text{ N}$$

$$H_{\text{dyn,OM}} = \sqrt{(5796 \text{ N})^2 + (1696 \text{ N})^2} = 6039 \text{ N}$$

Das resultierende Biegemoment $M_{\text{dyn,OM}}$ beträgt, unter der Berücksichtigung der Zusatzhöhe von $\Delta h = 0,015 \text{ m}$ (5 mm Bodenblech + 10 mm Flachstahlstreifen) (Gleichung 40)

$$MM_1 = 3430 \text{ kg} \cdot (1,185 + 0,015) \text{ m} = 4116 \text{ kgm (Impulsive Masse)} \quad (40)$$

$$MM_2 = 400 \text{ kg} \cdot (1,25 + 0,015) \text{ m} = 506 \text{ kgm (Dach)}$$

$$MM_3 = 650 \text{ kg} \cdot (1,252 + 0,015) \text{ m} = 416 \text{ kgm (Wand)}$$

$$MM_4 = 350 \text{ kg} \cdot 0,015 \text{ m} = 5,25 \text{ kgm (Boden)}$$

$$MM_{\text{imp,OM}} = 1,20 \text{ m/s}^2 \cdot (4116 + 506 + 416 + 5,25) \text{ kgm} = 6052 \text{ Nm}$$

$$MM_{\text{con,OM}} = 0,348 \text{ m/s}^2 \cdot 4872 \text{ kg} \cdot 1,272 \text{ m} = 2157 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{dyn,OM}} = \sqrt{(6052 \text{ Nm})^2 + (2157 \text{ Nm})^2} = 6425 \text{ Nm}$$

Mit den Zahlenwerten für $H_{\text{dyn,OM}}$ und $M_{\text{dyn,OM}}$ lassen sich nun die globalen Standsicherheitsnachweise des Rechteckbehälters führen (Resultierende Ausmitte bzw. Umkippen, Gleitsicherheit, ...). Im betrachteten Erdbebenfall ist der Tank gefüllt, die wirkende Vertikallast ist also die Summe aus Tankeigengewicht und

Masse der Füllung, in diesem Fall hier $V_{\text{dyn}} = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (1\,400 \text{ kg} + 8\,250 \text{ kg}) \approx 94\,667 \text{ N}$.

Linearisierte Wanddruckverteilungen

Aus dem impulsiven Anteil erhält man

$$q_{\text{imp}} = (1,20 \text{ m/s}^2 \cdot 3\,430 \text{ kg}) / (2 \cdot 2,50 \text{ m}) = 823,2 \text{ N/m}$$

$$a_{\text{imp}} = 823,2 \text{ N/m} / (1,10 \text{ m})^2 / (4 \cdot 1,1 \text{ m} - 6 \cdot 0,413 \text{ m}) \approx 1\,308 \text{ N/m}^2$$

$$b_{\text{imp}} = (823,2 \text{ N/m} / 1,10 \text{ m})^2 / (6 \cdot 0,413 \text{ m} - 2 \cdot 1,10 \text{ m}) \approx 189 \text{ N/m}^2$$

Aus dem konvektiven Anteil erhält man

$$q_{\text{con}} = (0,348 \text{ m/s}^2 \cdot 4\,872 \text{ kg}) / (2 \cdot 2,50 \text{ m}) = 339,1 \text{ N/m}$$

$$a_{\text{con}} = 339,1 \text{ N/m} / (1,10 \text{ m})^2 / (4 \cdot 1,1 \text{ m} - 6 \cdot 0,604 \text{ m}) \approx 218 \text{ N/m}^2$$

$$b_{\text{con}} = 339,1 \text{ N/m} / (1,10 \text{ m})^2 / (6 \cdot 0,604 \text{ m} - 2 \cdot 1,10 \text{ m}) \approx 400 \text{ N/m}^2$$

Resultierende rechnerische Wanddrücke

Anteil aus dem Eigengewicht der Wand:

$$q_{\text{W}} = 1,20 \text{ m/s}^2 \cdot 0,006 \text{ m} \cdot 7\,850 \text{ kg/m}^3 = 57 \text{ N/m}^2$$

Resultierende dynamische Wanddrücke (Wandfuß: a_{dyn} , Flüssigkeitsspiegel: b_{dyn}) (Gleichung 41):

$$a_{\text{dyn}} = \sqrt{(1308 + 57)^2 + 218^2} \approx 1382 \text{ N/m}^2 \quad (41)$$

$$b_{\text{dyn}} = \sqrt{(189 + 57)^2 + 400^2} \approx 470 \text{ N/m}^2$$

Gesamter Wanddruck (dynamischer und hydrostatischer Anteil) (Gleichung 42):

$$p_{\text{unten}} = 1382 + 1000 \cdot 1,1 \cdot 9,81 = 12173 \text{ N/m}^2 \quad (42)$$

$$p_{\text{oben}} = 470 \text{ N/m}^2$$

In diesem Beispiel kann der obere gegen den unteren Wert vernachlässigt werden, die Wand wird also durch eine Dreieckslast beansprucht. Der Anteil des dynamischen Wanddruckes am gesamten Wanddruck beträgt hier $1382 / 12173 \cdot 100 = 11,4\%$.

Abschließend sei noch die beanspruchte kurze Wand vereinfacht nachgewiesen (Erdbebenfall: $\gamma_a = 1,0$). Das statische System ist ein Einfeldträger unter Dreieckslast:

$$\text{Grenzspannung für S 235: } \sigma_{\text{Rd}} = 23,5 \text{ kN/cm}^2 / 1,1 = 21,36 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Elastisches Widerstandsmoment: } W_{\text{y,el}} = 100 \text{ cm} \cdot (0,6 \text{ cm})^2 / 6 = 6,0 \text{ cm}^3$$

$$\text{Maximales Bemessungsmoment: } M_{\text{d,max}} = (12,173 \text{ kN/m} \cdot (1,25 \text{ m})^2) / 15,6 = 1,219 \text{ kNm}$$

$$\text{Spannungsnachweis: } \sigma_{\text{d}} = 121,9 \text{ kNcm} / 6,0 \text{ cm}^3 = 20,32 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{\text{Rd}}$$

Für Erdbeben parallel zur langen Behälterwand sind die Stirnwände ausreichend tragfähig.

Berechnung in Querrichtung

Die Zahlenrechnung wird für diese Richtung nicht mehr durchgeführt, die nachfolgend angegebenen Werte sind teils gerundet.

$$\text{Vorwerte: } L = 2,50 \text{ m; } B = 3,00 \text{ m; } h = 1,10 \text{ m; } h_{\text{W}} = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Impulsiver Massenanteil: } M_{\text{imp}} = 4\,031 \text{ kg; } h_{\text{imp}} = 0,412 \text{ m; } h_{\text{imp,OM}} = 0,988 \text{ m}$$

$$\text{Konvektiver Massenanteil: } M_{\text{con}} = 4\,373 \text{ kg; } h_{\text{con}} = 0,624 \text{ m; } h_{\text{con,OM}} = 1,048 \text{ m}$$

$$\text{Eigenschwingzeiten: } T_{\text{imp}} = 0,467 \text{ s; } T_{\text{con}} = 1,899 \text{ s}$$

Bemessungsbeschleunigungen (Erhöhung um 35% berücksichtigt): $S_{\text{d,imp}} = 1,20 \text{ m/s}^2$; $S_{\text{d,con}} = 0,427 \text{ m/s}^2$

Schnittkräfte in Höhe UK Wand: $H_{\text{dyn}} = 6\,377 \text{ N}$;

$$M_{\text{dyn}} = 3\,293 \text{ Nm}$$

Schnittkräfte in Höhe UK Behälter: $H_{\text{dyn,OM}} = 6\,773 \text{ N}$;

$$M_{\text{dyn,OM}} = 6\,320 \text{ Nm}$$

Linearisierte Wanddrücke:

$$a_{\text{imp}} = 1\,285 \text{ N/m}^2; b_{\text{imp}} = 181 \text{ N/m}^2; a_{\text{con}} = 169 \text{ N/m}^2;$$

$$b_{\text{con}} = 397 \text{ N/m}^2$$

Unter Berücksichtigung des Druckes infolge Wandeigenlast und des hydrostatischen Anteils folgen die endgültigen Werte zu $p_{\text{oben}} = 463 \text{ N/m}^2$ und $p_{\text{unten}} = 12\,143 \text{ N/m}^2$.

Erdbeben nach Eurocode

Die Tage der DIN 4149:2005 sind bereits gezählt. Seit Mai 2020 liegt der Weißdruck des nationalen Anhangs zum Eurocode 8 vor [13]. Die bisherigen Erdbebenzonen entfallen, den benötigten Eingangswert $S_{\text{aP,R}}$ für einen bestimmten Standort wird dann über einen Internetlink, der auf die Homepage des Geoforschungszentrums Potsdam führt, bestimmt (Stand 29.03.2021: www-app5.gfz-potsdam.de/d-eqhaz16/index.html). Besonders im Bereich der „Rheinschiene“ sind deutlich höhere Bemessungsbeschleunigungen zu erwarten, als nach bisheriger Norm.

Für den im Beispiel angenommenen Standort Karlsruhe ist der Spektralwert $S_{\text{aP,R}} = 1,3892 \text{ m/s}^2$, als Bemessungsbeschleunigungen erhält man daraus für Erdbeben parallel zur längeren Behälterseite $S_{\text{d,imp}} = 2,556 \text{ m/s}^2$ und $S_{\text{d,con}} = 1,35 \cdot 0,549 \text{ m/s}^2 = 0,741 \text{ m/s}^2$. Im Vergleich zur DIN 4149:2005 steigen die Beanspruchungen um den Faktor 2,14, im vorliegenden Fall also auf über das Doppelte! Die Erhöhung bei Erdbeben in Querrichtung ist ähnlich groß.

5.2 Beispiel 2: WHG-Wanne (Reales Projekt)

Dieser oben offene Behälter dient als Auffangwanne unter einer Maschine, bei der im Havariefall Kühlschmierstoff austreten kann. Die Fabrikationshalle steht in einem Wasserschutzgebiet, daher wurde seitens des TÜV ein statischer Nachweis der Wanne unter Berücksichtigung der Erdbebenlasten gefordert.

Die Wanne hat die Abmessungen 3,60 m Länge, 1,90 m Breite und 0,80 m Wandhöhe, der maximale Füllstand im Havariefall ist rechnerisch $h_{\text{F}} = 70 \text{ cm}$. Alle Bleche sind 3 mm dick, der Wannboden ist mit unterseitig angeschweißten 10 cm hohen Hohlprofilen versehen, damit evtl. Undichtigkeiten schnell erkannt werden. Der Wannrand ist mit einer umlaufenden schwachen Abkantung versehen. Werkstoff ist S 235, der Betrieb erfolgt bei Raumtemperatur, die Dichte des Kühlschmierstoffes wurde mit $\rho_{\text{F}} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$ seitens des Betreibers vorgegeben. Die Aufstellung erfolgt in Erdbebenzone 2 mit Untergrundklasse S, ein Baugrundgutachten liegt nicht vor (wie Beispiel 1: $q = 1,00$ und $\gamma_{\text{I}} = 1,60$ (WHG)). Die Massen der Behälterbauteile sind: Dach $M_{\text{D}} = 0 \text{ kg}$ (Wanne!), Wände $M_{\text{W}} = 200 \text{ kg}$, Boden einschließlich der Hohlprofile $M_{\text{B}} = 300 \text{ kg}$.

Erdbeben parallel zur langen Wannenseite

Die Berechnung erfolgt vom Grundsatz her wie in Beispiel 1, allerdings kann hier die Wandverformung entsprechend den Angaben in Kapitel 4.3.2 am statischen Modell des Kragarms durchgeführt werden. Die Zahlenrechnung wird im einzelnen nicht mehr durchgeführt, es werden nur die zum Teil gerundeten Endwerte angegeben.

Vorwerte: $L = 3,60 \text{ m}$; $B = 1,90 \text{ m}$; $h = h_F = 0,70 \text{ m}$;
 $h_W = 0,80 \text{ m}$
 Impulsiver Anteil: $M_{\text{imp}} = 1\,075,4 \text{ kg}$; $h_{\text{imp}} = 0,263 \text{ m}$;
 $h_{\text{imp,OM}} = 1,472 \text{ m}$
 Konvektiver Anteil: $M_{\text{con}} = 3\,559,4 \text{ kg}$; $h_{\text{con}} = 0,361 \text{ m}$;
 $h_{\text{con,OM}} = 2,121 \text{ m}$
 Wandmasse und Wandträgheitsmoment, Biegesteifigkeit:
 $M_{W,1} = (1,9 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 0,003 \text{ m}) \cdot 7\,850 \text{ kg/m}^3 = 35,8 \text{ kg}$
 $I_W = 1,00 \text{ m} \cdot (0,003 \text{ m})^3 / 12 = 2,25 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$
 $E_{\text{mod}} \cdot I_W = 210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \cdot 2,25 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4 = 472,5 \text{ Nm}^2$
 Fiktive Last, Durchbiegung (Streifenbreite 1,0 m):
 $q = (1\,075,4 + 2 \cdot 35,8) \cdot 9,81 / (2 \cdot 1,90 \cdot 0,70) \cdot 1,0$
 $= 4\,230 \text{ N/m}$
 $h_c = (1\,075,4 \cdot 0,263 + 35,8 \cdot 0,7) / (1\,075,4 + 2 \cdot 35,8)$
 $= 0,268 \text{ m}$
 $P = 4\,230 \text{ N/m} \cdot 0,70 \text{ m} = 2\,961 \text{ N}$
 $d = 1/3 \cdot (2\,961 \text{ N} \cdot (0,268 \text{ m})^3) / (472,5 \text{ Nm}^2) = 0,040 \text{ m}$
 Eigenschwingzeiten: $T_{\text{imp}} = 0,411 \text{ s}$; $T_{\text{con}} = 2,894 \text{ s}$
 Bemessungsbeschleunigungen: $S_{d,\text{imp}} = 1,80 \text{ m/s}^2$; $S_{d,\text{con}}$
 $= 0,29 \text{ m/s}^2$

Resultierende Kräfte und Momente in Höhe UK Wand und UK Behälter:

$H_{\text{dyn}} = 2\,517 \text{ N}$; $M_{\text{dyn}} = 752 \text{ Nm}$; $H_{\text{dyn,OM}} = 3\,018 \text{ N}$; $M_{\text{dyn,OM}}$
 $= 4\,037 \text{ Nm}$
 Linearisierte Wanddrücke:
 $a_{\text{imp}} = 1\,270 \text{ N/m}^2$; $b_{\text{imp}} = 185 \text{ N/m}^2$; $a_{\text{con}} = 351 \text{ N/m}^2$; b_{con}
 $= 425 \text{ N/m}^2$

Unter Berücksichtigung des Druckes infolge Wandeigenlast und des hydrostatischen Anteils folgen die endgültigen Werte zu $p_{\text{oben}} = 482 \text{ N/m}^2$ und $p_{\text{unten}} = 8\,226 \text{ N/m}^2$.

Ein händisch geführter Spannungsnachweis für das System *Kragarm unter Dreiecksbelastung* führt hier nicht zum Ziel, damit kann die ausreichende Tragfähigkeit der Wannenseite nicht nachgewiesen werden. Es muss eine aufwendigere Berechnung erfolgen (FEM, große Verformung, Plastizierung).

Schwapphöhe: $h_s = 1/2 \cdot 1 \cdot (0,29 / 9,81) \cdot 3,60 = 0,053 \text{ m}$

Der Freibord beträgt 10 cm und ist damit rechnerisch ausreichend.

Erdbeben parallel zur kurzen Wannenseite (Es werden nur die Endwerte mitgeteilt)

Resultierende Kräfte und Momente:
 $H_{\text{dyn}} = 4\,436 \text{ N}$; $M_{\text{dyn}} = 1\,335 \text{ Nm}$; $H_{\text{dyn,OM}} = 4\,925 \text{ N}$; $M_{\text{dyn,OM}}$
 $= 3\,822 \text{ Nm}$
 Resultierende Wanddrücke: $p_{\text{oben}} = 561 \text{ N/m}^2$; p_{unten}
 $= 8\,187 \text{ N/m}^2$

Werte nach Housner-Verfahren

Wendet man auf die Geometrie des Wannenseitebeispiels die Berechnungsschritte nach Housner an, wie in [5] vorgestellt, erhält man als resultierende Kräfte und Momente in Höhe Behälterunterkante die folgenden Werte:

Erdbeben in Längsrichtung: $H_{\text{dyn,OM}} = 2\,038 \text{ N}$;
 $M_{\text{dyn,OM}} = 3\,209 \text{ Nm}$

Erdbeben in Querrichtung: $H_{\text{dyn,OM}} = 3\,173 \text{ N}$;
 $M_{\text{dyn,OM}} = 2\,415 \text{ Nm}$

Man sieht an den Werten der Beispielwanne, dass das Housner-Verfahren (viel) zu geringe Schnittkräfte liefert, nämlich nur rund 2/3 der realen Werte, berechnet nach der iitk-gsdma-Richtlinie [7]. ■ TS899

Literatur

- [1] Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen. Merkblatt 58. Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen LUA, Düsseldorf. Essen 2006.
- [2] Selected earthquake engineering papers of George W. Housner. American Society of Civil Engineers, 1990. Hrsg.: ASCE, Virginia.
- [3] Gehrig, H.: Vereinfachte Berechnung flüssigkeitsgefüllter verankerter Kreiszyklinderschalen unter Erdbebenbelastung. Stahlbau 73 (2004) Heft 1.
- [4] Gehrig, H.: Berechnung erdbebenbeanspruchter stehender zylindrischer Flüssigkeitsbehälter aus Stahlblech. TÜ Bd. 49 (2008) Heft 6 und 7/8.
- [5] Meskouris / Hinzen / Butenweg / Mistler: Bauwerke und Erdbeben. 3. aktualisierte und erweiterte Auflage 2011. Vieweg + Teubner.
- [6] DIN EN 1998-4 Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen. Januar 2007.
- [7] iitk-gsdma Guidelines for seismic design of liquid storage tanks. Provisions with commentary and explanatory examples. Indian Institute of Technology Kanpur, Gujarat State Disaster Management Authority. August 2005.
- [8] Berechnungsempfehlungen für zylindrische Behälter und Silos – Berücksichtigung des Lastfalls Erdbeben. Richtlinie 40-B3. Hrsg.: Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Berlin, 2012.
- [9] Leitfaden – Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau. Entwurf, Bemessung und Konstruktion von Tragwerken und Komponenten in der chemischen Industrie in Anlehnung an die DIN EN 1998-1. Hrsg.: Verband der chemischen Industrie VCI. Frankfurt am Main, 2012.
- [10] Erläuterungen zum Leitfaden Der Lastfall Erdbeben im Anlagenbau. Hrsg.: Verband der chemischen Industrie VCI. Frankfurt am Main, 2012.
- [11] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Berlin, Beuth 2005.
- [12] Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg 1:350.000. 1. Hrsg.: Innenministerium Baden-Württemberg. Stuttgart, 2005.
- [13] DIN EN 1998-1/NA Nationaler Anhang Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. Mai 2020.

Dipl.-Ing. Hans Gehrig

Straubenhardt.



Eine junge Geschäftsfrau nutzt die Gesichtserkennung mittels künstlicher Intelligenz via Smartphone. Foto: PantherMedia / Jakub Mrocek

Gesichtserkennung mit Künstlicher Intelligenz

Reinhard Rupprecht

In zunehmendem Maße werden technische Systeme mit Künstlicher Intelligenz (KI) entwickelt und betrieben. Auch für die Sicherheitstechnik ist KI ein Innovationstreiber. Das gilt in besonderem Maße für die Video- und die Sensortechnik. Brandmeldesysteme ebenso wie Einbruchschutzsysteme nutzen KI bei der Entwicklung intelligenter Algorithmen vor allem in der Mustererkennung. Eine intelligente Videobildanalyse kann auf KI bei der durch machine learning sich selbst optimierende Mustererkennung nicht verzichten. Bildübersichten werden mit integrierter KI kombiniert, um vorausschauende Lösungen in Anwendungen zur weiträumigen Videoabdeckung zu unterstützen.

Hoher technologischer Standard der Gesichtserkennung (GE)

Ganz besonders angewiesen auf KI ist die Anwendung der Videotechnik zur GE. GE ist ja zunächst ein Ergebnis natürlicher menschlicher Intelligenz. Die Polizei setzt auf die besondere Fähigkeit von Mitarbeitern, sich Gesichter aufgrund bestimmter Merkmale einzuprägen und sie in einer größeren Anzahl von Menschen oder bei der manuellen Durchsicht einer Bilddatenbank mit einem ausreichenden Wahrscheinlichkeitsgrad wieder zu erkennen. KI ist in der GE aber der natürlichen menschlichen Intelligenz überlegen, weil sie eine Vielzahl von Vergleichspunkten und Vergleichsmaßen mittels spezifischer Algorithmen in real time auswerten kann. KI hat durch vielfältige Innovationen einen hohen Zuverlässigkeits-, Leistungs- und Qualitätsstandard erreicht. Maßgeblich ist der internationale Standard ISO/IEC 19794-5-2011, der in Teil 5 das biometrische Datenaustauschformat, basierend auf Gesichtsbildern, bestimmt. Die Erkennungssysteme nutzen neben dem 2D-Verfahren auch das für nicht-kooperative Gesichtsaufnahmen wichtige 3D-Verfahren. Die modernsten GE-Systeme basieren auf der Deep Learning-Technologie - bei der in einem neuronalen Netz die intelligenten Algorithmen selbst bestimmen, ob ihre Prognose richtig oder falsch ist - und Tracking Algorithmen. Dahua Technology, einer der bekanntesten Entwickler von GE-Verfahren, extrahiert aus dem Gesichtsausdruck acht Merkmale und fünf Ausdrücke, um ein optimales Ergebnis zu erreichen. Das Verfahren nutzt mehr als 100 Schichten und ermöglicht so eine neue Form des deep learning. Nach einem Bericht der Zeitschrift Protector (Sicherheit.info vom 19. Oktober 2017) erreichte das von Dahua entwickelte GE-System im renommierten Test Labeled Faces in the Wild schon im Jahr 2016 eine Genauigkeit in der GE von 99,78 %. Auch wenn das Gesicht zum Teil von einer Maske bedeckt ist, wird die GE immer genauer. Das National Institute of Standards and Technology der USA hat laut netzpolitik.org vom 3. Dezember 2020 insgesamt 152 GE-Algorithmen geprüft. Die genauesten Algorithmen hatten nur noch eine Fehlerquote von 5 %, selbst wenn 20 % des Gesichts mit einer Maske bedeckt waren.

Tests durch BAK und Bundespolizei

Das Bundeskriminalamt (BKA) hatte schon im Jahr 2007 im Rahmen eines Forschungsprojektes im Mainzer Hauptbahnhof mit Frontalaufnahmen bei Tageslicht Erkennungsleistungen von mehr als 70 % bei einer Falschalarmakzeptanzrate (FAR) von 0,4 % erreicht. Die Auswertung der Ergebnisse in diesem Forschungsprojekt verdeutlicht, dass es in der Bereichsüberwachung nicht nur auf die Qualität der eingesetzten biometrischen Algorithmen ankommt, sondern auch wesentlich auf die Möglichkeiten der eingesetztenameratechnik. Gerade in der Dämmerung wurden die Unterschiede zwischen den Herstellern der drei verwendeten Kamerasysteme deutlich. Die Unterschiede in der gelieferten Bildqualität beeinflussten die Erkennungsleistungen erheblich. Erfolgreiche Erkennungen waren bei der 2D-Gesichtserkennung nur mit Frontalaufnahmen des Gesichts zu erreichen. Inzwischen hat sich dieameratechnik innovativ weiterentwickelt.

In Jahr 2019 wurde in einem Pilotprojekt am Bahnhof Berlin Südkreuz je nach Umfang der Referenzdatenbank eine Trefferquote von über 91 % bei einer FAR von 0,21 - 0,25 % erzielt. In einer zweiten Testphase, bei der die Referenzdatenbank ausschließlich aus Bildern freiwilliger Teilnehmer bestanden hatte, die aus den Videostreamen der für die Phase eins genutzten drei Kamerasysteme extrahiert worden waren, wurde eine maximale Trefferrate für alle drei eingesetzten Systeme von durchschnittlich 91,2 %, bei einem System sogar von 91,7 %, erzielt.

GE zur „Rasterfahndung“

Nach Einschätzung der Bundespolizei könnten durch den Einsatz dieser Technik überall dort, wo polizeiliche Videoüberwachung im öffentlichen Raum stattfindet, mehr Fahndungserfolge erzielt werden. Obwohl Bundesinnenminister Seehofer zunächst im Bundespolizeigesetz die Möglichkeit der Fernidentifikation durch GE verankern und auf 135 Bahnhöfen sowie 14 Flughäfen solche Systeme installieren lassen wollte, sieht das am 10. Juni 2021 vom Bundestag beschlossene neue Bundespolizeigesetz diese Möglichkeit nicht mehr vor, vor al-

lem, weil wegen der festgestellten FAR abgewartet werden soll, bis die Technologie „ausgereift“ sei. Die Detektion eines Tatverdächtigen durch automatisierte GE zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort kann selbst dann fahndungsfördernd sein, wenn eine sofortige Personenüberprüfung und Festnahme nicht möglich ist, weil Polizeikräfte nicht anwesend und über den Treffer informiert sind, um sofort einzuschreiten. Das gilt auch für die Möglichkeit der Fernidentifikation eines als Gefährder eingestuften potenziellen Gewalttäters.

In China wird schon seit Jahren die GE zur Rasterfahndung im öffentlichen Raum eingesetzt. So berichtet dw.com am 29. März 2018, dass Polizisten im zentralchinesischen Zhengzhou Brillen mit Gesichtsscannern tragen, um Menschenströme am Ostbahnhof der Stadt zu durchleuchten. Verbunden mit einer riesigen Datenbank könnten sie gesuchte Personen mit hoher Wahrscheinlichkeit erkennen. Innerhalb eines Monats seien sieben mit Haftbefehl gesuchte Tatverdächtige verhaftet und 35 Menschen mit falschem Personalausweis identifiziert worden. Nach einem Bericht der Zeitschrift Forbes 2019 hat das chinesische Unternehmen Megvii eine Produktplattform für GE und KI entwickelt, die von mehr als 300 000 Entwicklern in 150 Ländern genutzt werde. Referenzdatenbanken gewaltigen Ausmaßes stehen auch in anderen Ländern zur Verfügung. Nach einem Bericht von ZEIT.de vom 2. Februar 2020 hat das Unternehmen Clearview Milliarden von Gesichtsfotos aus dem Internet in einer Datenbank gescannt, und das polnische Start-up-Unternehmen Pimeyes hat 900 Millionen Gesichtsaufnahmen gespeichert, die auch in einem Programm von EUROPOL verwendet werden. Polizei und Zoll in Deutschland haben Zugriff auf 5,8 Millionen Gesichtsbilder. Nach einem Bericht von spiegel.de vom 27. Mai haben den Zugang zu der Clearview-Datenbank allein in den USA 1 800 Behörden gekauft.

Regulierung der Fernidentifikation durch die EU-Kommission

Die EU-Kommission hat am 21. April 2021 den Entwurf einer Verordnung veröffentlicht, deren Ziel es ist, ei-

nen umfassenden einheitlichen Rechtsrahmen für die Entwicklung und Anwendung von KI in den Mitgliedstaaten zu schaffen. Zu den KI-Anwendungen „mit hohem Risiko“ (Risikoklasse im Weißbuch der EU-Kommission vom 19. Februar 2020) gehört die „real time“-biometrische Fernidentifikation durch GE im öffentlichen Raum. Sie unterliegt nach dem VO-Entwurf einem allgemeinen Verbot, von dem (nach Art. 5 Buchst. d des Entwurfs) nur Ausnahmen zur Abwehr eines Terrorangriffs und zur Verhinderung von immanen Gefahren für das Leben von Menschen, zur Suche nach Opfern solcher Angriffe und zur Täterverfolgung zugelassen werden sollen.

Es bleibt abzuwarten, ob die Diskussion der kommenden Monate im EU-Parlament und im EU-Rat zu weiteren Erschwerungen oder Erleichterungen der Identifikation durch GE im öffentlichen Raum führen wird. Kritik an der von der EU-Kommission beabsichtigten Regulierung bleibt nicht aus. Die Europaabgeordnete der GRÜNEN, Alexandra Geese bezeichnete das nicht gänzliche Verbot der GE im öffentlichen Raum als „Schlag ins Gesicht der Zivilgesellschaft“. Das Grundrecht auf Anonymität ist aber kein Wesensmerkmal der uneingeschränkten Menschenwürde, sondern Ausfluss des Allgemeinen Persönlichkeitsrechts, das ebenso wie das Recht auf den Schutz persönlicher Daten nach Art. 2 Abs. 2 GG unter den Bedingungen des Art. 19 GG gesetzlich eingeschränkt werden kann, soweit nicht andere Grundrechte verletzt werden, wobei die Einschränkungen im öffentlichen Interesse liegen und mit dem Gebot der Verhältnismäßigkeit vereinbar sein müssen.

Ein generelles Verbot der Fernidentifikation durch GE hat 2019 San Francisco als erste Stadt in den USA für ihre Behörden erlassen, weil der Einsatz rassistische Ungerechtigkeit zu verschärfen drohe und die Möglichkeit bedrohe, frei von ständiger Beobachtung durch die Regierung zu leben. Nach dem gewaltsamen Tod des Afroamerikaners George Floyd hat in den USA die Kritik an Ein-

sätzen der GE durch die Polizei zugenommen. Gefordert wird ein nationaler Dialog. Amazon, IBM und Microsoft liefern keine GE-Software mehr an die Polizei.

Das von der EU-Kommission beabsichtigte grundsätzliche, aber mit Ausnahmen versehene, Verbot der Fernidentifikation durch GE bezieht sich nur auf den öffentlichen Raum. Unberührt davon bleibt die Identifikation zur Verteidigung des Hausrechts, etwa zur Durchsetzung von Stadionverboten für gewaltbereite Hooligans oder zur Identifikation potenzieller Ladendiebe. So sucht eine US-Ladenkette nach einem Bericht von heise.online vom März 2019 mit dieser Technologie nach Personen, die in irgendeiner Filiale wegen Ladendiebstahls registriert wurden.

Authentifizierung durch GE

Von großer Bedeutung ist ferner die von der Regulierungsabsicht der EU-Kommission nicht erfasste Authentifizierung von Inhabern eines Berechtigungsdokuments lediglich aufgrund der biometrischen Merkmale dieses Inhabers mittels KI der GE. Hier wird also nicht das von der Videokamera erfasste Gesicht mit einer Vielzahl von in einer Datenbank hinterlegten Gesichtsbildern verglichen, sondern nur mit dem hinterlegten Gesichtsbild der einen zu authentifizierenden Person. Die Zutrittskontrolle am Werkstor und insbesondere die Berechtigung des Zutritts in Hochsicherheitsbereiche, Entwicklungslabors oder Rechenzentren kann durch automatisierte GE eindeutig überprüft werden. Das vom Karlsruher Unternehmen Inferics entwickelte GE-System „Concierge-Eye“ hinterlegt auf dem Sensor der GE-Einheit lediglich Zahlenkolonnen, die aus jedem Gesichtsausschnitt im Vergleichsbild hergeleitet werden und nicht als Bild rekonstruiert werden können. Die Zulässigkeit der GE für die Zutrittskontrolle wird auch in einem Urteil des LAG Berlin-Brandenburg aus dem Jahr 2020 bekräftigt, das allerdings den Einsatz als Zeiterfassungssystem von der Einwilligung des Arbeitnehmers oder

einer entsprechenden Betriebsvereinbarung abhängig macht. Als Authentifizierungsmethode ist GE deutlich sicherer als Passwort oder PIN. „Fotobetrug“ lässt sich durch „Lebendigkeitstests“ ausschließen. Dabei fängt der Scanner Mundbewegungen und Muskelregungen ein.

Schon 2018 wurde der Einsatz von GE beim Boarding bekannt (golem.de am 12. März). Passagiere der British Airways brauchten Flugticket und Ausweis an einigen Flughäfen nicht mehr vorzuzeigen. Mit der Authentifizierung durch GE effektivierte die Fluggesellschaft die Abfertigung am Gate und verkürzte die Einstiegszeit um über 50 Prozent. Auch der Luftfahrtverbund Star Alliance will den Boardingpass auf freiwilliger Basis durch GE ersetzen.

Aktuell wird befürchtet, dass der geplante Pass zum Nachweis der Covid 19-Impfung einem hohen Fälschungsrisiko ausgesetzt ist. Würde in einer zentralen Datenbank mit dem Impfpass das Gesichtsbild der Geimpften gespeichert, dann könnten die Authentizität des Passinhabers und die Echtheit des Impfpasses einwandfrei festgestellt werden.

Erkennen von Emotionen im Gesichtsausdruck ?

Die Entwicklung intelligenter Algorithmen zur GE und damit deren Zuverlässigkeit wird weiter voranschreiten. Die FAZ berichtet am 21. April 2021 über Versuche, mit KI die Emotionen in digital vermessenen und algorithmisch ausgewerteten Bildern von Gesichtern zu erkennen. Der Bericht verweist auf das chinesische Unternehmen Taigusys, das sich darauf spezialisiert habe, durch GE die Absicht zu gefährlichem Verhalten, zur Begehung eines Anschlags oder auch zum Suizid zu detektieren. Aber noch fehlen für diese Möglichkeit hinreichende wissenschaftliche Belege ■ TS904

Reinhard Rupprecht

MinDir. a. D.



Sirenen zur Bevölkerungswarnung vor Erdbeben. (Projekt für die Stadtverwaltung in Manila/ Philippinen). Foto: Secty electronics

Sicherer Erdbebenschutz für Unternehmen

Juergen Przybylak

Entdeckt Mutter Erde ihre archaische Natur, wird der Mensch ganz klein. Erdbeben sind eine elementare Naturgewalt, gegen die kaum ein Schutz möglich ist. Umso wichtiger, dass Betroffene möglichst rechtzeitig gewarnt werden und sich in Sicherheit bringen können oder in die Gebäudetechnik/in Industrieanlagen eingesetzt werden.

Das Erdbebenfrühwarnsystem wurde genau dafür entwickelt, dass die dafür entscheidende, wertvolle Zeit sicherstellen kann.

Jedes Erdbeben besteht aus einer Primär- und einer Sekundärwelle. Diese Wellenbewegungen der Erdoberfläche entstehen, wenn sich Spannungen in der Erdkruste lösen, sei es durch kontinentale Plattenbewegungen, Vulkanausbrüche, Ex-

plosionen oder auch bei Einstürzen großer Hohlräume. Dabei läuft die Primärwelle, die sogenannte **p**-Welle, stets voraus. Sie ist für den Menschen nicht wahrnehmbar. Erst die dann folgende Sekundär- oder **s**-Welle besitzt das zerstörerische Potenzial. Die **p**-Welle läuft dabei doppelt so schnell wie die **s**-Welle, erreicht den jeweiligen Standort also immer zuerst. Die Zeitdifferenz zwischen dem Erscheinen der harmlosen **p**-Welle und der zerstörerischen **s**-Welle hängt von der Entfernung zum Ort der Entstehung, dem Epizentrum, und der Tiefe des Bebens ab.

Bei dem Erdbeben in Chile 2010 hat das System 30 Sekunden vor dem Eintreffen der zerstörerischen **s**-Welle gewarnt. In zahllosen Versuchen und Studien hat man festgestellt, dass Menschen zwischen 10 und 16 Sekunden benötigen, bis sie überhaupt begreifen, dass ein schweres

Erdbeben eingesetzt hat. Erst dann versuchen sie, sich in Sicherheit zu bringen. Und das, während die **s**-Welle ihre zerstörerische Wirkung entfaltet, denn die **p**-Welle wurde ja nicht wahrgenommen. Darum ist die Zeit der **p**-Welle und die verloren Zeit der **s**-Welle die Vorwarnzeit.

Genau hier setzt die Wirkweise vom „secty lifePatron“ ein. Die **p**-Welle kann zuverlässig detektiert und analysiert werden. Zuverlässig bedeutet, dass Fehlerquellen wie vorbeirumpelnde Lkw herausgefiltert werden können. So kann anhand der **p**-Welle vorhergesagt werden, ob die folgende **s**-Welle tatsächlich gefährlich wird. Die Menschen sollen nicht in PANIK oder Produktionsabläufe bei einer kleineren Intensität gestoppt werden. Das kann weltweit kein anderes Gerät.

Selbst bei kleineren Vorwarnzeiten können automatische Sicherungssysteme

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

etwa die Gaszufuhr abriegeln, Fahrstühle sichern, Türsysteme freischalten angesteuert werden. Das kann direkt mit einem DC12V-Signal oder über eine Gebäudeleittechnik erfolgen. Viele Schäden entstehen erst nach dem Erdbeben, indem austretendes Gas Explosionen auslöst oder Stromleitungen zerstört und damit Versorgungseinrichtungen unbenutzbar werden, dass ein Unternehmen in Schwierigkeiten bringen kann. (Bild 1)

Aber wie wird die p-Welle gemessen?

2003 wurde mit dem Helmholtz Geoforschungszentrum Potsdam ein Pflichtenheft erstellt. Das GFZ stellte uns dafür den Algorithmus zur Analyse der p-Welle zur Verfügung. Und daraus wurde in Kooperation mit der Wissenschaft das secty lifePatron entwickelt.

Es war daher bekannt, dass starke Erdbeben eine Frequenz von 0 bis 15 Hertz aufweisen. Durch weitere Faktoren wie Beschleunigung und Intensität wird die



Bild 1 Projekt bei ROCHE in Basel/Schweiz. Foto: Secty electronics



Bild 2 Animationsbild; Projekt bei ROCHE in Basel/ Schweiz. Foto: Secty electronics

p-Welle analysierbar. 2005 war der erste Prototypen fertig, den wir in Projekten in Zusammenarbeit mit der deutschen Welthungerhilfe in Pakistan und Afghanistan realisiert und die ersten Informationen erhalten haben. Mittlerweile wird das System in 26 Ländern eingesetzt.

Fehlalarme sind gefährlich. Sie sorgen dafür, dass Menschen abstumpfen. Durch die Analyse der p-Welle werden andere Schwingungen wie ein vorbeifahrender Lkw ausgefiltert. Das secty lifePatron kann als Stand-alone-Lösung betrieben werden, also für eine höhere Sicherheit mit dem Master und einer Submaster genannten zweiten Einheit. Diese beiden Geräte überwachen sich permanent gegenseitig, um Fehlalarme etwa durch große Schwingungen auszuschließen.

Einsatz im Gebäudemanagement

Das System arbeitet mit einer 12/24 V DC- oder einer 110/230 V AC-Spannungsversorgung sowie einer Batterie-Notstromversorgung. Wichtig ist nur, dass die Geräte an Betonfundamenten angebracht werden. Das System ist erweiterbar, um größere Gebäude oder Gegenden abzusichern. Neben dem direkten Einsatz zur Warnung von Menschen kann das System natürlich auch in der Gebäudetechnik und in Industrieanlagen eingesetzt werden. So sichert secty life Patron zum Beispiel die Gasversorgung der Stadtwerke Basel, indem dortige Magnetventile mit dem System automatisch schließen. Oder die Leitstelle eines Kernkraftwerks, bei dem bei Alarm die Zuglüftung abgeschaltet wird. Über ein SMS-Modul können die Mitarbeiter „Alarm“ und Techniker „System Status“ informiert werden. (Bild 2)

Für das System keine wissenschaftlichen Vorkenntnisse von Erdbeben benötigt und kann von jedem Elektrotechniker installiert werden. PLUG & PLAY!

Der Bedarf für unser Gerät ist riesen-groß. Denn Mutter Erde schläft nie sehr tief. Und wenn sie erwacht, dann zählt jede Sekunde. ■ TS907

Juergen Przybylak
Secty electronics,
Castrop-Rauxel.



Bewässerung der Taunusanlage in Frankfurt/M. Demnächst auch in Trockenperioden Ressourcen schonend aus den ständigen Grundwasserhaltungen einiger Büro- und Bankhochhäuser, die bisher ungenutzt in die Regenwasserkanalisation eingeleitet werden? Foto: König

Woher nehmen in Zeiten der Dürre?

Wassermanagement für Parkanlagen und Sportrasenflächen: Sammlung und Bevorratung

Klaus W. König

Die Bewässerung von Park- und Sportrasen muss Anforderungen der Nutzer und des Umweltschutzes genügen. Technische Regelwerke, kommunale Satzungen, Nachhaltigkeitsaspekte und das Mikroklima vor Ort sind zu berücksichtigen. Zum Wassermanagement gehört ein Konzept, bei dem der Ressourceneinsatz von Trinkwasser und Betriebswasser nach den ökologischen und ökonomischen Möglichkeiten der Region erfolgt. Das gilt vor allem in Trockenperioden.

Wenn in der Wurzelschicht der Vegetation überdurchschnittlich lange Wassermangel herrscht, sprechen wir von Dürre. Diese für uns in Deutschland außergewöhnliche Situation hatten wir im Frühjahr und Sommer 2018 (**Kasten 1**). Folgen waren Niedrigwasser in den Flüssen, Ernteausfälle und Waldbrände. Ähnlich die Jahre 2019 und 2020: Einige Wasserversorger schlugen Alarm. Sie hatten weniger Trinkwasser verfügbar als für eine weiter anhaltende Dürre erforderlich. So gab es in deren Versorgungsgebieten das Verbot, Wasser aus Flüssen und Seen zu entnehmen oder mit Trinkwasser Außenanlagen und Sportflächen zu bewässern.

Bereits 2009 hatte die Europäische Umweltagentur gewarnt: „Die Wasserknappheit ist ein immer häufiger auftretendes und beunruhigendes Phänomen,

das mindestens 11 % der europäischen Bevölkerung und 17 % des EU-Gebiets betrifft“. Ballungsräume, auch in Deutschland, könnten ohne Fernwasserleitungen aus dem Umland selbst in normalen Jahren nicht mehr existieren. Doch wie geht es weiter, wenn die Ressourcen in deren Umland nach einigen trockenen Jahren erschöpft sind?

Sportstätten mit Betriebswasser, international

Australien ist bekannt für chronischen Wassermangel und Restriktionen. Dort kommt es regelmäßig zum Verbot, Rasenflächen aus dem öffentlichen Netz zu bewässern. Sydney präsentierte nach massivem Druck von Greenpeace im Jahr 2000 die erste Sommerolympiade mit konsequentem Einsatz von Betriebswasser. Das ist gefiltertes Regenwasser sowie aufbereitetes Grau- und Abwasser, dessen Qualität zur Bewässe-

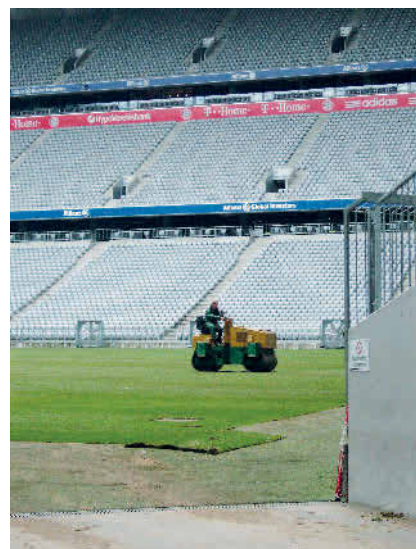


Bild 1 Zur Fußball-WM 2006 in Deutschland mussten sämtliche Spielstätten nach FIFA-Reglement die Sitzflächen überdachen und gemäß kommunalen Richtlinien das anfallende Regenwasser bewirtschaften.

Foto: Autor

KLIMAFOLGENANPASSUNG

Der regenarme und heiße Sommer 2018 hat uns, mehr noch als die Trockenphasen in den Jahren zuvor, die Grenzen der Sorglosigkeit gezeigt. In einigen ländlichen Gebieten Niedersachsens bekamen die Bewohner Einschränkungen bei der Trinkwasserversorgung zu spüren.

Bei anhaltender Dürre sind nach einiger Zeit natürlich auch die Regenspeicher leer. Doch Tatsache ist auch, dass konsequente Regen- und Grauwassernutzung, möglichst das ganze Jahr über, den jährlichen Trinkwasserbedarf und somit auch die Wassergebühren halbieren kann. Und bei anhaltendem Regen und vollen Speichern wird der Überlauf vor Ort nach Möglichkeit versickert, das Grundwasser damit angereichert.

BEGRIFFSDEFINITIONEN

Regenwassernutzung: Verwenden des atmosphärischen Niederschlags. Mindestanforderung ist eine Wasserqualität gemäß der europäischen Badegewässerrichtlinie. Bei Stichproben werden regelmäßig deutlich bessere Werte, als dort gefordert, gefunden. Eine Nachweispflicht besteht nicht.

Grauwassernutzung: Verwenden des häuslichen Schmutzwassers ohne Abwasser aus Toiletten und Urinalen. Mindestanforderung ist eine Wasserqualität gemäß Anhang D der DIN EN 16941-2, sobald diese veröffentlicht ist. Die Nachweispflicht (die es in Deutschland zuvor nicht gab) ist dort erstmals formuliert, abhängig von der Risikobewertung und Nutzungsart.

Regen- und Grauwassernutzungsanlagen: Sie bestehen aus den vier wesentlichen Elementen Sammlung, Behandlung, Speicherung und Verteilung. Eine Genehmigung ist in Deutschland nicht erforderlich. Allerdings besteht Anzeigepflicht vor dem Bau einer Anlage beim Wasserversorger und beim Gesundheitsamt.

Betriebswasser: Nicht-Trinkwasser, z. B. Brunnenwasser, gefiltertes Regenwasser und aufbereitetes Grau- oder Abwasser. Damit dürfen Sportflächen bewässert und Toiletten gespült werden.

runge und Toilettenspülung ausreicht (**Kasten 2**). 50 % des erforderlichen Trinkwassers konnte so auf den Sport- und Erholungsflächen des Olympiaparks Jahr für Jahr, auch nach der Veranstaltung, eingespart werden.

Diese Entwicklung setzte sich bei der Fußball-Weltmeisterschaft 2002 fort: Südkorea hatte ein Gesetz erlassen, das die Betreiber von Stadien mit mehr als 2 400 m² Dachfläche zur Sammlung des anfallenden Regenwassers verpflichtet. Daher wird es an den ehemaligen Austragungsstätten in bis zu 900 m³ großen unterirdischen Speichern gesammelt, was ca. 6 Wochen zur Bewässerung des Stadionrasens reicht. In Seoul, wo auch umliegende Rasenspielfelder und Außenanlagen sowie Toilettenspülungen in der Arena versorgt werden, wird Grundwasser eingesetzt. Allerdings handelt es sich dabei um ökologisch unbedenkliches Drainagewasser, das das ganze Jahr über von U-Bahn-Schächten abgepumpt werden muss. Und dazu kommt Grauwasser, welches als Beckenüberlauf in einer benachbarten Schwimmhalle ebenfalls ganzjährig anfällt.

Regenwassernutzung in deutschen WM-Stadien

Zur Fußball-WM 2006 in Deutschland mussten sämtliche Spielstätten nach FIFA-Reglement die Sitzflächen

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

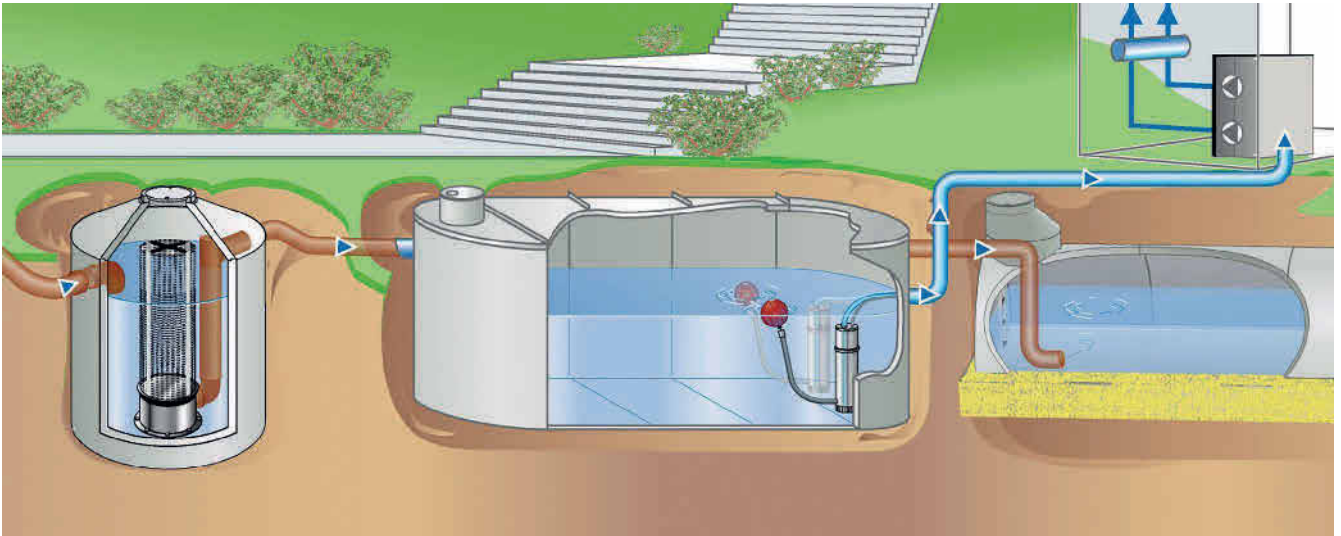


Bild 2 Regenwasserspeicher mit vorgelagerter Filterschicht im Zulauf (links) und unterirdischer Versickerung des Überlaufs. Entnahme mit Unterwassermotorpumpen, die das Regenwassercenter versorgen. *Grafik: Mall*

überdachen und gemäß neuen kommunalen Richtlinien das anfallende Regenwasser komplett auf den Stadion-Grundstücken bewirtschaften (**Bild 1**). Das Ableiten in den öffentlichen Kanal war laut Baugenehmigung bzw. Abwassersatzung der jeweiligen Kommune nicht mehr gestattet. In Berlin, Nürnberg und Stuttgart wird der Niederschlag seither vorwiegend genutzt, in Frankfurt komplett versickert. In Hamburg, Hannover, Köln und München wurden ähnliche Konzepte realisiert. Berlin hat 1 400 m³ nutzbares Speichervolumen, Nürnberg 900 m³ und Stuttgart 350 m³. War anfänglich noch großer Wasserbedarf für Toilettenspülung vorhanden, haben die meisten dieser Stadien heute wasserlose Urinale – und damit mehr Vorrat als zuvor für die Bewässerung. Falls in trockenen Zeiten die Regenmengen aufgebraucht sind, wird in der Regel aus eigenen Brunnen nachgespeist.

Interessant ist noch folgender Vergleich: Während Berlin mit 21 000 m² nur die Hälfte des Daches in den Speicher entwässert und die andere Hälfte direkt in Rigolen versickert, lässt Nürnberg den Niederschlag der kompletten Dachfläche von 37 000 m² über den Speicher laufen, und kommt so mit einem kleineren Volumen aus – weil sich dieses durch die wesentlich größere Sammelfläche bei einem vergleichbaren Niederschlagsereignis deutlich schneller füllt. Allerdings sind dafür längere Sammel- und Überlauf-Leitungen notwendig.



Bild 3 Regenwassercenter Tano XL zur Unterverteilung des Betriebswassers nahe bei den Verbrauchsstellen. Bei fehlendem Niederschlag erfolgt automatisch im Regenwassercenter die Nachspeisung gemäß DIN EN 1717. *Foto: Mall*

Kleiner Sportverein, wenig Dachfläche

Im Breitensport, bei kleinen Vereinen ohne Tribünendach oder bei Freizeitanrichtungen ohne Gebäude fehlen die typischen Regensammelflächen. Doch die Sportrasenflächen sind genauso groß wie z. B. im Olympiastadion von Berlin. Die Standardgröße eines Fußballfeldes beträgt hier wie dort 7 140 m². Und ein kleiner Verein muss wie ein Bundesligaclub je Bewässerung 100 - 150 m³ kalkulieren, um

im Interesse der Rasenfestigkeit ein möglichst weit nach unten reichendes Wurzelwachstum zu erzielen. Wenn aber die Dachfläche nicht 42 000 m², sondern nur 420 m² beträgt, was tun? Regenwasser von anderen Flächen sammeln und/oder andere Wasserquellen erschließen, so könnte das Motto lauten, falls Trinkwasser gespart werden soll und man in Trockenzeiten von Bewässerungsverboten der öffentlichen Wasserversorgung unabhängig sein möchte.

Eine alternative Wasserquelle für Sportvereine ist möglicherweise die Oberflächenentwässerung des eigenen Geländes sowie das Zurückführen des Wassers aus den Spielfeldrainagen. Das „Zuviel“ bei kräftigen Niederschlägen landet so im Regenspeicher. Beides geschieht seit dem Jahr 2000 in den „Sportanlagen im Hubland“ der Universität Würzburg, reicht aber nicht aus. Erst mit zusätzlichem Brunnenwasser wird eine optimale Bewässerung gewährleistet.

Ungenutzte Ressourcen für städtische Parkanlagen

Regenwasser von Dachflächen der Nachbarn ist eine Option, wenn es z. B. große Gebäude in unmittelbarer Nachbarschaft gibt und deren Regenwasser nicht genutzt wird. Mussten sie für die Regenableitung Niederschlagsgebühr bezahlen, weil eine Bewirtschaftung nicht möglich war, dürfte das Interesse der Nachbarn groß sein, dieses Wasser abzugeben. Das Institut für Siedlungs-

wasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) der Universität Stuttgart führt in enger Kooperation mit den Grünflächen- und Tiefbauämtern der Städte Stuttgart und Frankfurt/M. eine Gesamtschau der urbanen Wasserbilanz durch. Konkret werden im Projekt INTERESS-I Aufkommen, Verfügbarkeit und Qualität urbaner alternativer Wasserressourcen systematisch und flächendeckend erfasst. Dies sind z. B. Abläufe der (meist im Überlauf mit Trinkwasser betriebenen) mehr als 250 Wasserspiele und Springbrunnen in Stuttgart, eine Vielzahl von an die Kanalisation angeschlossenen kleinen Dränagen und Quellaustritten und ständige Grundwasserhaltungen für einige Büro- und Bankhochhäuser in Frankfurt, die bisher ungenutzt in die Regenwasserkanalisation eingeleitet werden.

Die Erhebungen zeigen, dass in beiden Städten ein großes Potenzial alternativer Wasserressourcen nicht nur ungenutzt vorhanden ist, sondern eher noch als Problem für die Stadtentwässerung auftritt, in dem diese „Abwässer“ die freien Kapazitäten der Kanalisation bei Starkregenereignissen verkleinern. Konkret wird im Rahmen des „Pilotgebietes Wallanlagen“ in Frankfurt die Nutzung von Wasser aus der Grundwasserhaltung eines Bankhochhauses im Umfang von 50 000 m³/Monat für die Bewässerung der Wallanlagen näher untersucht. Damit könnte eine nachhaltige Win-Win-Situation für den Hausbesitzer, die Stadtentwässerung Frankfurt, das Grünflächenamt und nicht zuletzt den urbanen Wasserhaushalt und das Stadtklima erreicht werden.

Besonderheiten alternativer Wasserquellen

Wird Regenwasser genutzt und dafür ein Speicher geplant, kann die wirtschaftlich sinnvolle Größe durch Computersimulation ermittelt werden. Die Berechnung bieten einige Speicherhersteller kostenfrei an. Wird mit Trinkwasser nachgespeist, ist zur Absicherung des Trinkwassernetzes der so genannte Freie Auslauf erforderlich. In

anderen Fällen, z. B. wenn bei leerem Regentank Brunnenwasser zum Einsatz kommt, genügt unter Umständen ein Rohrtrenner. Maßgeblich ist DIN EN 1717, Bewässerungsspezialisten geben dazu Auskunft (**Bild 2** und **3**). Weitere Besonderheiten:

- Regenwasserabfluss aus Dachbegrünung: Die Verdunstung (bei intensiv begrünten Dächern besonders hoch) steht im Interessenkonflikt zur Nutzung, da sich der Regenenertrag um den verdunsteten Anteil reduziert. Die Technische Regel DIN 1989-1 ist zu beachten; als Ersatz ist DIN EN 16941-1 in Verbindung mit DIN 1989-100 in Vorbereitung.
- Oberflächenwasser aus Bach, Fluss oder See: Normalerweise ist eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich. In Trockenzeiten drohen wie bei Trinkwasser Entnahmeverbote.
- Brunnenwasser: Das Fördern von Grundwasser, selbst auf dem eigenen Grundstück, bedarf in den meisten Fällen ebenfalls einer wasserrechtlichen Erlaubnis. Die gelösten Bestandteile des Grundwassers sollten im Labor festgestellt und mit den Grenzwerten für Rasenbewässerung gemäß DIN 18035-2 verglichen werden.
- Grauwasser: Herkunft in Sportstätten und Freizeiteinrichtungen überwiegend von Duschen oder von Schwimmbecken-Überläufen. Im Gegensatz zur Verwendung von Regenwasser ist eine Aufbereitungstechnik erforderlich, die in vorgefertigten Modulen verfügbar ist. Die technische Regel fbr-H 202 gibt Hinweise; als Ersatz ist die europaweit gültige DIN EN 16941-2 in Vorbereitung.
- Abwasser: Eine Aufbereitung zu Betriebswasser ist grundsätzlich möglich. Die nötigen Verfahren, z. B. Umkehrosmose, sind aber aufwendig und teuer.

Ökonomische Betrachtung

Investition: Ein Speicher mit 120 m³ nutzbarem Wasservolumen inkl. Filter und Pumpen, Lieferung und Montage, jedoch ohne Erdarbeiten, muss mit min-

destens 60 000 € zuzüglich MwSt. kalkuliert werden. In den Bundesländern Hamburg und Bremen gibt es eventuell Zuschüsse, ebenso in einigen Kommunen der anderen Länder. Und bundesweit bieten die Landessportbünde ihre Unterstützung an mit dem Förderprogramm „Sportstättenbau“ (Bau, Kauf und Sanierung von Vereinssportanlagen inklusive Wasserspeicher- und Bewässerungstechnik). Betriebskosten: Für Inspektion sollte 1 %, für Wartung 3 % der Investition pro Jahr veranschlagt werden. Als weitere Betriebsausgabe kommt der Pumpenstrom dazu. Die Einsparungen sind abhängig von der Situation vor Ort: Wassergebühren, Niederschlagsgebühren, Vorschriften gemäß Abwassersatzung, Baugenehmigung etc.

Im Jahr 2004 kalkulierten die Planer beim Nürnberger Stadion Mehrkosten für die Regenwassernutzung gegenüber der reinen Versickerung von 220 000 €, Einsparungen für Wassergebühren von 11 900 €/a, abzüglich Wartungs- und Stromkosten von 1 500 €/a. Damit ergab sich rechnerisch eine Amortisation von etwa 20 Jahren. Ein Jahr später war in Publikationen von 10 Jahren zu lesen. Kleine Vereine sollten sich vor einer Umstellung der Sportflächenbewässerung von Trinkwasser auf Betriebswasser vom Wasserversorgungsunternehmen bestätigen lassen, dass bei deutlicher Reduzierung der bezogenen Trinkwassermenge keine unzulässige Stagnation in der Zuleitung droht und keine Bereitstellungsgebühr oder andere Zuschläge erhoben werden. ■ TS905



Dipl.-Ing. Klaus W. König
Sachverständigen- und
Fachpressebüro,
Überlingen.
www.klauswkoenig.com
Foto: Göller

Schutz von Boden und Grundwasser

Wassergefährdende Flüssigkeiten sicher handhaben

Tom Kionka

Überall, wo wassergefährdende Medien Gewässer und Böden verunreinigen können, gelten strenge Anforderungen durch Gesetz, Verordnung und Regelwerke. Sie legen Art und Umfang erforderlicher Schutzmaßnahmen fest. Eine wichtige Funktion dabei haben Auffangeinrichtungen, die risikobehaftete Flüssigkeiten in geeigneter Weise zurückhalten.

Beim Umgang mit wassergefährdenden Flüssigkeiten ist der lückenlose Schutz von Gewässern sicherzustellen. Ein umfangreiches Regelwerk normiert diesen Aufgabenbereich in all seinen Eventualitäten. Betroffen ist jeglicher Betrieb von Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (LAU-Anlagen) sowie zum Herstellen, Behandeln und Verwenden (HBV-Anlagen) wassergefährdender Stoffe – in der gewerblichen Wirtschaft gleichermaßen wie in öffentlichen Einrichtungen.

Insbesondere die Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe (AwSV) sowie die technischen Regeln wassergefährdender Stoffe (TRwS) legen fest, mittels welcher Vorkehrungen die Schutzziele erreicht werden. Gegebenfalls erforderliche Maßnahmen erstrecken sich von der flüssigkeitsdichten Gestaltung entsprechender Flächen bis hin zu Umlenk- und Rückhalteinrichtungen mit ausreichend dimensionierten Auffangvolumina. Die hierbei eingesetzten Bauteile müssen den hohen Sicherheitsanforderungen des Regelwerks entsprechen.

Ein Produkt für die Rückhaltung wassergefährdender Flüssigkeiten in LAU-Anlagen ist das Sicherheitsauffangbecken NeutraSab. (Bild 1) Es besteht aus einem erdversetzten Stahlbetonbehälter, der je nach wassergefährdender Flüssigkeit eine hierzu passende Konfiguration der verwendeten Bauteile erhält, um die



Bild 1 Vom LKW in die Baugrube. Sicherheitsauffangbecken bilden die Schutzkulissee rund um Böblingens BHKWs. Foto: Mall

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

chemische Beständigkeit zu gewährleisten. Integriert sind eine Durchverrohrung mit Überlaufstutzen sowie eine Absperrklappe mit Schwenkantrieb. Sie verschließt vor einem Abfüll- oder Umschlagvorgang das Durchlaufrohr, damit

EINSATZORT KLÄRANLAGE

Fällmittel spielen im Prozess der biologischen Abwasserreinigung eine wichtige Rolle. Jedes Klärwerk nutzt diese Hilfsmittel. Die Verwendung erfolgt vornehmlich, um Phosphat zu eliminieren sowie zur Konditionierung des Klärschlammes. Als Klassiker sind auf Kläranlagen Kalkmilch und Eisenchlorid in Gebrauch. Aber auch Substanzen wie Eisenchloridsulfat, Grünsalz, Aluminiumsulfat oder Natriumaluminat werden als Fällmittel verwendet. Sie alle gelten als wassergefährdende Flüssigkeiten. Zur Lagerung und während eines Abfüllvorgangs benötigen sie daher eine geeignete Rückhalteeinrichtung. Ein Einsatzort für das Sicherheitsauffangbecken NeutraSab.

EINSATZORT BHKW

Die Stadtwerke Böblingen hatten zwei Blockheizkraftwerke gebaut. Platziert an unterschiedlichen Orten im Stadtgebiet und betrieben mit Erdgas war den beiden 2-MW-Anlagen die Absicherung der Versorgungslage zugeordnet. Weil bei Betrieb und Wartung solcher Anlagen auch wassergefährdende Flüssigkeiten im Spiel sind, mussten hierfür Auffangmöglichkeiten geschaffen werden. Diese Absicherung der betroffenen Betriebsflächen erfolgte in beiden Fällen durch das Sicherheitsauffangbecken NeutraSab. Es gewährleistet, dass im Normalbetrieb unverschmutztes Regenwasser zur Kanalisation abfließt und bei Havarien anfallende Schadflüssigkeiten sicher zurückgehalten werden.



Bild 2 Der Blick ins Sicherheitsauffangbecken zeigt Durchverrohrung, Absperrklappe mit Schwenkantrieb und Überlaufstutzen. Foto: Mall



Bild 4 Fällmittel fürs Klärwerk im IBC. Sicherer Rückhalt im Schadensfall klappt mit NeutraSab. Foto: Mall



Bild 3 Rückhaltung, wenn was daneben geht. Im Umgang mit wassergefährdenden Flüssigkeiten ein absolutes Muss. Foto: Mall

die wassergefährdende Flüssigkeit im Havariefall via Überlaufstutzen in das Auffangbecken fließt. Im Regelbetrieb dagegen – bei offener Absperrklappe – fließt Regenwasser, soweit es auf der Lager-, Abfüll- oder Umschlagfläche anfällt, ungehindert in den Schmutzwasserkanal. (Bild 2)

Für die Abdichtung der inneren Oberfläche von NeutraSab stehen je nach Anforderung seitens der wassergefährdenden Flüssigkeit drei Varianten zur Verfügung: neben einer ableitfähigen Beschichtung gemäß WHG System 2 auch die Innenabdichtung mit PE oder nichtrostendem Stahl. Die Rohrleitung besteht dann in entsprechender Weise aus PE, PP oder rostfreiem Stahl. Damit bietet das Sicherheitsauffangbecken NeutraSab chemische Beständigkeit gegen eine Vielzahl wasserkritischer Medien wie beispielsweise mineralische Leichtflüssigkeiten, alternative Kraftstoffe, AdBlue, verschiedene Lösungsmittel, verdünnte organische und anorganische Säuren und Laugen oder auch kontaminiertes Löschwasser. Die Absperrklappe kann mit elektrischer oder pneumatischer Automatikschaltung ausgestattet werden, und ein Schwimmerschalter dient der Flüssigkeitserkennung. Für alle elektrischen Betriebsmittel liegen ATEX-Prüfbescheinigungen vor. Bedarfsweise ist eine komplett ableitfähige Ausführung der Einbauteile möglich. Die Steuerung kommt in einem spritzwassergeschützten Schaltschrank unter.

Ein besonderes Plus für den Anwender ergibt sich durch die allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) für NeutraSab. Weil die Erteilung der aBG neben der Bauart auch die wasserrechtlichen Anforderungen berücksichtigt, liegt damit zugleich die Eignungsfeststellung nach § 63 WHG vor. Für den Bauherrn verkürzt diese Vereinfachung den Weg zur Inbetriebnahme. ■ TS880



Tom Kionka

Büro für umweltKommunikation, Serrfeld, Sulzdorf an der Lederhecke.
Bild: Autor



Amtshilfe bei Waldbrand. Foto: Bundeswehr/Heyn

Amtshilfe bei Waldbränden

Markus Arich

Reicht die Hilfe durch die Feuerwehr vor Ort nicht aus, kann Amtshilfe bei der Bundeswehr beantragt werden. Die Bundeswehr kann zum Beispiel mit ihren Hubschraubern Unterstützung beim Löschen von Waldbränden aus der Luft leisten. Denn gerade bei sehr großflächigen Bränden oder in schwer zugänglichem Gelände kann es auf die schnelle Amtshilfe durch die Bundeswehr aus der Luft ankommen

Die Bundeswehr-Feuerwehr ist eine von zivilen Beamten besetzte Feuerwehr der Bundeswehrverwaltung (gem. Art. 87b GG) und stellt den abwehrenden Brandschutz für Liegenschaften der Bundeswehr sicher. Bundeswehr-Feuerwehren sind immer dann notwendig, wenn der militärische Auftrag, Auftragsgründe oder Geheimhaltungsgründe die Aufstellung einer eigenen Feuerwehr erfordern. Dies ist zum Beispiel auf Truppenübungsplätzen, Flugplätzen oder in Munitionsdepots der Fall.

Kommt es zu einem Schadensereignis außerhalb der o.g. Liegenschaften der Bundeswehr, kann jede Gefahrenabwehrbehör-

de Amtshilfe bei der Bundeswehr anfordern. Dies ist regelmäßig dann der Fall, wenn die zivilen Möglichkeiten der Hilfeleistung ausgeschöpft wurden oder die zuständigen Stellen nicht rechtzeitig eingreifen können. Die Hilfeleistung erfolgt dann auf Grundlage des Artikel 35 Grundgesetz und im Rahmen des Verwaltungsverfahrensgesetzes des Bundes.

Wie kann Amtshilfe angefordert werden?

Für die Anforderung der Bundeswehr-Feuerwehr im Rahmen der Amtshilfe gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Eine Bundeswehr-Feuerwehr befindet sich im direkten Einzugsgebiet der anfordern-

den Behörde und die Hilfe wird umgehend benötigt: Die zuständige Integrierte Leitstelle fordert die Bundeswehr-Feuerwehr auf direktem Wege, im Rahmen der sogenannten „Soforthilfe“ an. Die Bundeswehr-Feuerwehr prüft die Verfügbarkeit der notwendigen Ressourcen, meldet die Hilfeleistung im Lage- und Führungszentrum des Zentrum Brandschutz der Bundeswehr an und verlegt an die Einsatzstelle. (Bild 1 und 2)

2. Die Hilfeleistung kann zeitverzögert erfolgen, ähnlich einem Einsatz von Einheiten des Katastrophenschutzes: Die zuständige Behörde ersucht über das Kreisverbindungskommando bei der Bundeswehr um Amtshilfe. Dieses Amtshilfeersuchen



Bild 1 Planung einer Waldbrandlöschung *Foto: Bundeswehr/Zwilling*



Bild 2 Befüllung einer Löschtonne zur Brandbekämpfung in einem See. *Foto: Bundeswehr/Heyn*



Bild 3 Die Bundeswehr unterstützt die Waldbrandbekämpfung mit einem Feuerlöschzug auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz Lübtheen im Landkreis Ludwigslust-Parchim in Mecklenburg-Vorpommern am 04.07.2019.

Foto: Christoph Loose

wird ausgewertet und Bundeswehr-intern dem Zentrum Brandschutz der Bundeswehr übermittelt. Nach einer internen Prüfung der verfügbaren Ressourcen, wird je nach Bedarf die Fähigkeit bzw. die Einheit (Zug oder Verband) zusammengestellt, die kurzfristig an den Einsatzort verlegt werden kann.

Einsatz bei Brandbekämpfung

Das Haupteinsatzmittel für die Bekämpfung von Vegetationsbränden ist das geländegängige Feuerlöschkraftfahrzeug zur Waldbrandbekämpfung (Tanklöschfahrzeug Waldbrand). Das mit zwei Feuerwehrleuten besetzte Fahrzeug verfügt über u.a. einen Löschwasserbehälter von 4 300 l und ist mit einer entsprechenden Brandbekämpfungsausrüstung ausgestattet. (**Bild 3**)

Wird für einen Einsatz eine größere Vegetationsbrandbekämpfungseinheit der Bundeswehr-Feuerwehr zusammengestellt, kommen zu den Feuerlöschkraftfahrzeugen Waldbrandbekämpfung zusätzlich Führungsfahrzeuge, Logistikfahrzeuge, Rüstfahrzeuge und/oder auch je nach Szenario Spezialkomponenten zum Einsatz. Somit kann ein breites Einsatzspektrum abgebildet werden, da neben den reinen Brandbekämpfungsmaßnahmen auch die Wasserförderung im Pendelverkehr, Technische Hilfeleistungen, Transportaufgaben und Absicherungen von Behelfsflugplätzen möglich sind.

Einsatz entsprechend des Bedarfs

In Abhängigkeit der verfügbaren personellen Ressourcen stellt die Bundeswehr-Feuerwehr einen solchen Zug oder Verband entsprechend der Anforderung auf. Bei Bedarf kann die Einheit auch für den Schichtbetrieb ausgeplant werden, so dass ein durchgängiger Einsatz über mehrere Tage ermöglicht werden kann.

Die Bundeswehr-Feuerwehr kann in Einsatzabschnitte der öffentlichen Gefahrenabwehr integriert werden oder auch ganze Einsatzabschnitte selbst übernehmen. Bei einem zusätzlichen Einsatz von militärischen Kräften (gem. Art. 87a GG), ist der kombinierte Einsatz auch mit schwerem Räumgerät und/oder Luftfahrzeugen möglich. ■ TS901

Erfahrungen aus der Prüfung einer Kernfusionsanlage als Ex-Anlage nach BetrSichV

Teil 2 Torus und Vakuumpumpsystem

S. Kilian, V. Rohde, J. Hübner, F. Stelzer, M. Uhlmann

Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München untersucht im Tokamak ASDEX Upgrade (AUG) Plasmen zur Fusionsforschung. Die Evakuierung des Vakuumbehälters (Torus) bis ins Ultrahochvakuum erfolgt durch ein komplexes Vakuumpumpsystem. Um die Regenerationsintervalle einer sogenannten Kryopumpe zu verlängern, wurde das Vakuumpumpsystem um einen neuen Pumpenstand erweitert. Bedingt durch den Einsatz von Wasserstoff und Deuterium sind Teile der Anlage in explosionsgefährdete Bereiche eingestuft, wodurch die Anlage der Prüfpflicht nach BetrSichV unterliegt.

Aus Sicht des Explosionsschutzes liegt die Herausforderung darin, den Spagat zwischen der Forschung, d.h. einer ständigen Weiterentwicklung der Versuchsanlage, und einem beständigen Explosionsschutzkonzept unter Berücksichtigung des Stands der Technik zu bewältigen.

Teil 1 befasste sich mit den Anforderungen an die Prüfung einer Ex-Anlage nach BetrSichV, dem Prüfablauf und dem Explosionsschutzkonzept der Pellet-Zentrifuge. Der zweite Teil beschreibt in Teilen das Explosionsschutzkonzept des Torus und des Vakuumpumpsystems und die Prüfungsschwerpunkte Inertisierungseinrichtungen, funktionale Sicherheit sowie Maßnahmen zur Vermeidung wirksamer Zündquellen.

Im Tokamak ASDEX Upgrade (AUG) werden Plasmen zur Fusionsforschung untersucht. Die Versorgung mit Wasserstoff und Deuterium erfolgt aus Gasflaschen über verschiedene Gasversorgungssysteme (Gaseinlasssystem mit 20 Piezo-

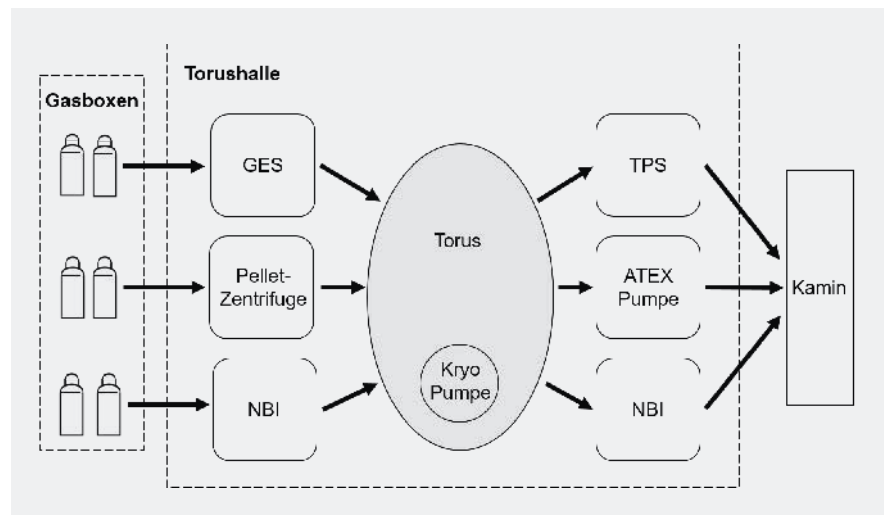


Bild 1 Schematische Darstellung der Gaseinlässe und Gasauslässe an AUG. Foto: IPP

ventilen (GES), Pellet-Zentrifuge [1] und Neutral-Beam-Injektor (NBI)). Aus dem Torus wird das Gas über das Toruspumpsystem (TPS), einen wasserstoffverträglichen Pumpenstand oder den Neutral-Beam-Injektor (NBI) abgepumpt und über den Hallenkamin nach außen geführt (Bild 1).

Das Vakuumgefäß (Torus, siehe Bild 2 und 3) wird nach Experimentier- bzw. Umbaupausen auf einen Basisdruck von ca. $2 \cdot 10^{-7}$ mbar(a) evakuiert. Hierzu kommt das dreistufige TPS zum Einsatz. Die 1. Pumpenstufe besteht aus 11 Turbomolekularpumpen, die auf der Abgasseite über eine gemeinsame Ringleitung

mit zwei Vorpumpensätzen verbunden sind. Die Vorpumpensätze bestehen jeweils aus einer Rootspumpe und zwei ölgedichteten Drehschieberpumpen (Bild 4). Im Plasmabetrieb beträgt der Druck an den Turbopumpen des TPS 10^{-3} bis 10^{-2} mbar(a).

Um die erforderliche Saugleistung für den Plasmabetrieb und das Endvakuum von 10^{-7} mbar(a) bis 10^{-8} mbar(a) im Torus zu erreichen, ist unmittelbar am Divertor (unterer Bereich im Torus) eine sogenannte Kryopumpe installiert. Die Pumpe besteht aus einem 59 m langen Edelstahlrohr mit 10 mm Durchmesser und verfügt über ein Stickstoff- und ein Heliumpanel. Mittels flüssigen Stickstoffs wird die Pumpe auf 78 K gekühlt und anschließend das Heliumpanel mit flüssigem Helium durchströmt. Sobald die Pumpenoberfläche eine Temperatur von 4 K erreicht, kann Wasserstoff resublimieren und an der Pumpe adsorbieren.

Während des Experimentierbetriebs pumpen das TPS und die Kryopumpe kontinuierlich Wasserstoff ab. Über 90 % des während der Versuche eingelassenen Wasserstoffs adsorbieren auf der Kryopumpe, der Rest wird über das TPS ins Freie abgeführt. Eine geringe Wasserstoffmenge ist in der Toruswandung chemisch gebunden oder tief implantiert (die Freisetzung erfordert Wandtemperaturen von mindestens 500 °C, die im Betrieb nicht erreicht werden). Am Ende eines Experimentiertags wird die Kryopumpe durch Aufwärmen regeneriert. Durch das Sublimieren des adsorbierten Wasserstoffs steigt im Torus der Druck. Bedingt durch die technischen Limits der Turbomolekularpumpen (max. zulässiger Vordruck bis zu 10^{-2} mbar(a)) war das maximal mögliche Inventar (Summe der eingelassenen Wasserstoffmenge) der Kryopumpe auf $4 \text{ bar} \cdot \text{l}$ ($1 \text{ bar} \cdot \text{l} = \text{Stoffmenge in einem Volumen von 1 l bei 1 bar}$) beschränkt. Um die Regenerationsintervalle der Kryopumpe zu verlängern, wurde im Jahr 2016 parallel zum TPS ein neuer wasserstoffverträglicher Pumpenstand (im folgenden ATEX-Pumpe genannt), bestehend aus einer explosionsgeschützten Schraubenvakuumpumpe mit einem Endvakuum von $5 \cdot 10^{-3}$ mbar(a), geplant und eingebaut. Dieser wird unabhängig zum bestehenden TPS bei Regeneration der Kryopumpe betrieben, wodurch das maximal

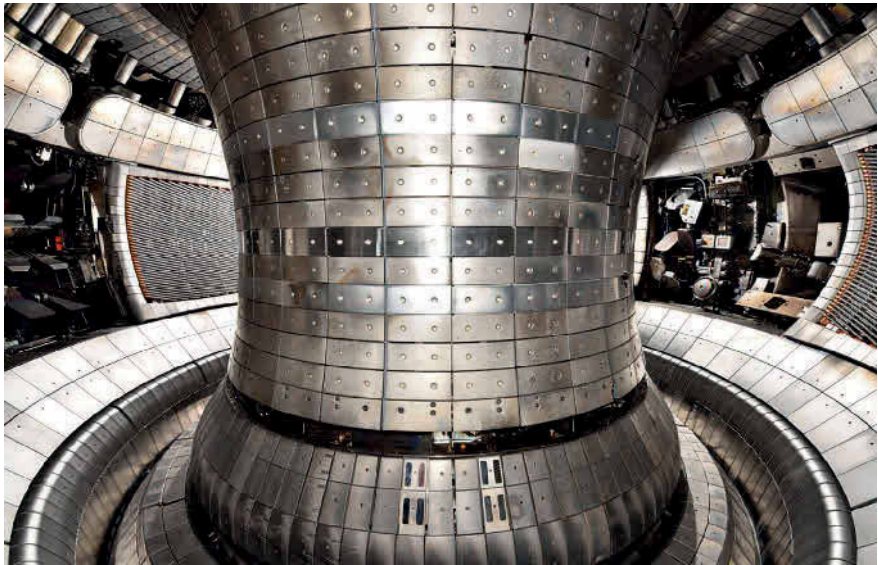


Bild 2 Blick in das Plasmagefäß der Fusionsanlage ASDEX Upgrade. Foto: IPP

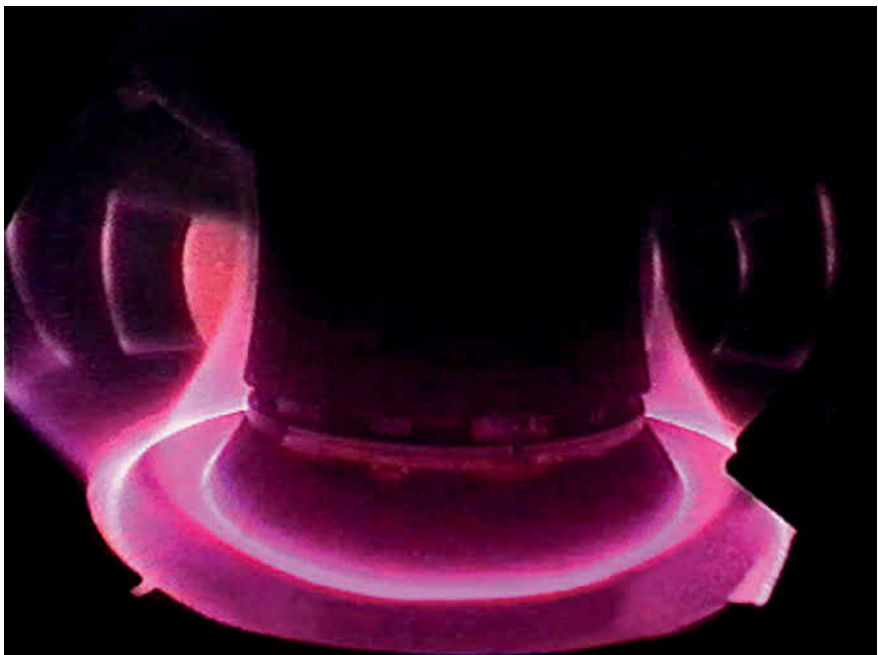


Bild 3 Plasma-Entladung in der Fusionsanlage ASDEX Upgrade. Foto: IPP

mögliche Inventar der Kryopumpe auf $200 \text{ bar} \cdot \text{l}$ erhöht werden konnte. Die Integration des Pumpenstandes ist in Bild 5 dargestellt.

Prüfpflicht nach BetrSichV

Bei der Versuchsanlage AUG, die seit 1991 in Betrieb ist, handelt es sich um eine überwachungsbedürftige Anlage, die den Prüfungen nach § 15 und § 16 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [2] unterliegt. Die Prüfungsarten und deren Inhalte sind in [1] dargestellt.

Die Installation und steuerungstechnische Integration des neuen Pumpenstandes in die bestehende Anlage im Jahr 2016 bedingte eine Prüfung vor Inbetriebnahme gem. § 15 BetrSichV i.V.m. Anhang 2 Abschnitt 3 Nr. 4.1.

Es galt zu beachten, dass mit Novellierung der BetrSichV im Jahr 2015 Übergangsvorschriften für die Durchführung von Prüfungen von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen einzuhalten waren. Unter anderem musste die Explosions-sicherheit von Anlagen, die vor dem 1. Juni 2012 erstmals in Betrieb genommen

wurden, bis spätestens 1. Juni 2018 geprüft werden. Um dieser Forderung gerecht zu werden, wurde der Prüfumfang auf weitere Teile von AUG erweitert, d.h. Gasflaschen, GES, Torus, Kryopumpe, TPS und Lüftungsanlage. Die Prüfung wurde von der DEKRA Testing and Certification GmbH durchgeführt. Die Vorbereitung und der Ablauf der Prüfung nach BetrSichV sind in [1] beschrieben. Über das Ergebnis der Prüfung wurde gemäß § 17 BetrSichV [2] eine Prüfaufzeichnung ausgestellt.

Explosionsschutzkonzept

Die Versuchsanlage AUG unterliegt forschungsbedingt einem ständigen Umbau bzw. einer ständigen Anlagenerweiterung, wodurch die Anlage sehr komplex geworden ist (**Bild 6**). Für die jeweiligen Anlagenbereiche kommen separate, miteinander kommunizierende SPSen (speicherprogrammierbare Steuerungen) zum Einsatz. Hierzu zählen die TPS-Steuerung, die GES-Steuerung, die CP-Steuerung (Kryopumpe) und die SST-Steuerung (Schieber). Die Kommunikation und der Datenaustausch erfolgen über die SLS-Steuerung des AUG Experiments. Der Großteil der verbauten Anlagen- und Messtechnik ist nicht für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet, da diese nicht in explosionsgeschützter Ausführung verfügbar sind.

Das Explosionsschutzkonzept [3] umfasst basierend auf den gegebenen Betriebs- und Prozessbedingungen und unter Berücksichtigung der verschiedenen Schnittstellen (u. a. Neutral-Beam-Injektor, Diagnostiken, Pellet-Zentrifuge) Explosionsschutzmaßnahmen für die verschiedenen Betriebszustände und Fehlerfälle. Bei der Versuchsanlage werden im Gegensatz zu industriellen Anlagen keine standardisierten Prozesse angestrebt, weshalb im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zugunsten der Sicherheit z.T. strengere Maßnahmen festgelegt wurden. Die Grundlage für die steuerungstechnische Einbindung von Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen (MSR-Einrichtungen) im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen stellt eine hierfür entwickelte Verriegelungsmatrix dar.

Die für die Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV [4] zugrunde gelegte Bewertung der Stoffkenngrößen ist in [1] wiedergegeben. Der Explosionsbereich der für die in der Anlage verwendeten

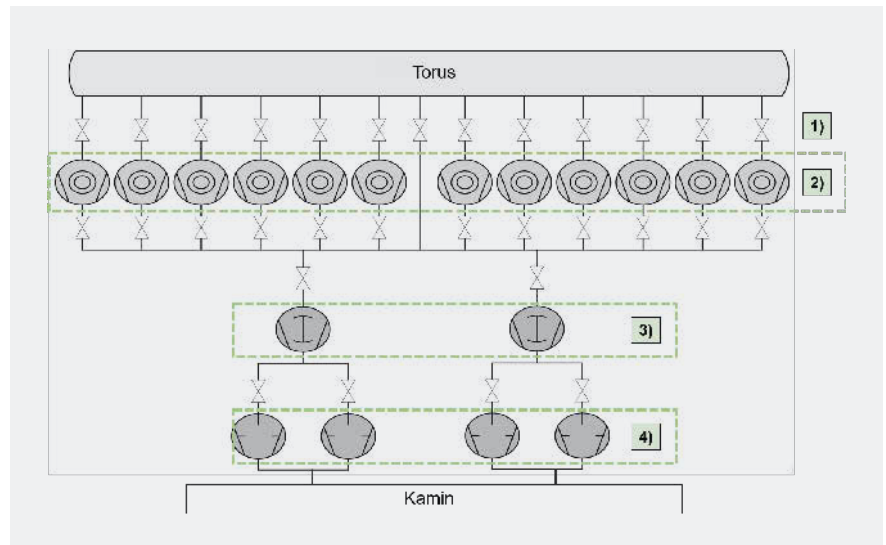


Bild 4 Vereinfachtes Schema des Toruspumpensystems mit 1) Torusschieber 1-11, 2) Turbomolekularpumpen 1-11, 3) Roots-Pumpen und 4) Drehschieberpumpen. Grafik: IPP

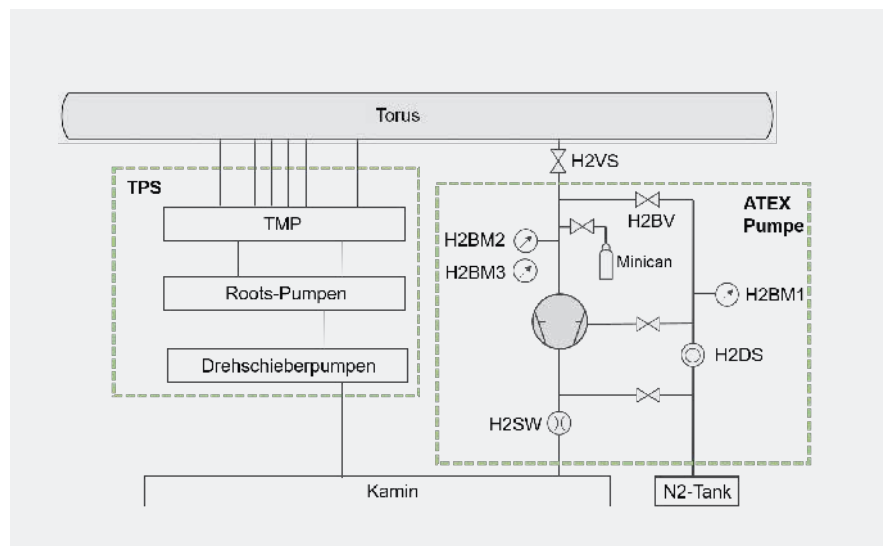


Bild 5 Integration des wasserstoffverträglichen Pumpenstands (ATEX-Pumpe). Grafik: IPP

Wasserstoff-Isotope Deuterium (D₂) und Protium (H₂) liegt zwischen 6,7 Vol.-% und 79,6 Vol.-% (D₂) respektive 4,0 Vol.-% und 77,0 Vol.-% (H₂). Für die Auswahl von elektrischen und nicht-elektrischen Geräten in explosionsgefährdeten Bereichen werden die Gasexplosionsgruppe IIC und die Temperaturklasse T1 herangezogen. Die Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) in Stickstoff beträgt 4,3 Vol.-%. Alle aufgeführten Kenngrößen gelten unter atmosphärischen Bedingungen.

Explosionsgefährdete Anlagenbereiche, in denen die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (g.e.A., s. [5]) nicht sicher vermieden werden kann, sind gem. [4] in Zonen eingeteilt worden.

Bild 7 stellt die explosionsgefährdeten Bereiche der Versuchsanlage dar.

Ausgangssituation

Der Torus wird evakuiert und verbleibt bis zur nächsten Experimentierpause im Ultrahochvakuum ($< 10^{-6}$ mbar(a)). Vor dem Schussbetrieb werden explosionsschutzrelevante Freigabekriterien wie die Dichtheit des Vakuumsystems und der ATEX-Pumpe sowie die Verfügbarkeit der Inertisierungseinrichtungen überprüft und einem automatischen Funktionstest unterzogen. Ist die vorgesehene Funktion gegeben, generiert die TPS-Steuerung ein Sicherheitstoken, das an die SLS-Steuerung

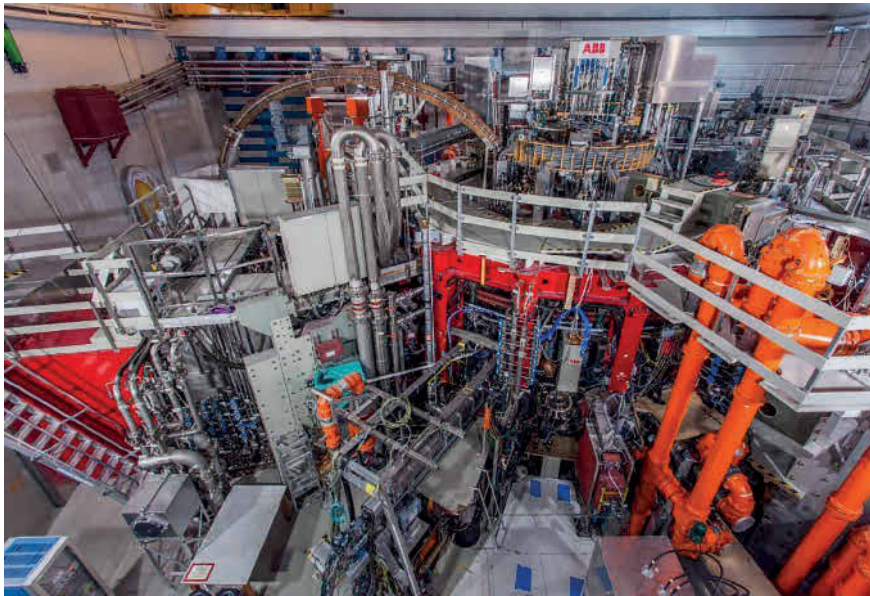


Bild 6 Außenansicht Tokamak ASDEX Upgrade. Foto: IPP

über ein H1-Bus System weitergeleitet wird (Bild 8). Das Sicherheitstoken ist die Grundvoraussetzung für die Erlaubnis des Schussbetriebs (Betriebstoken).

Druckbegrenzung

Wie auch bei der Pellet-Zentrifuge [1] wird dem Explosionsschutzkonzept zu Nutze gemacht, dass bei Wasserstoffeinlass die betriebsmäßigen Druckverhältnisse weit unterhalb des Zündgrenzdrucks (< 50 mbar(a) gemäß TRGS 722 [6]) liegen. In der vollautomatischen Testroutine für die Dichtheitstests sind alle erforderlichen Ventilstellungen und die maximal zulässige Leckrate von $5 \cdot 10^{-3}$ mbar·l/s, entsprechend einem Torusdruck unter $1 \cdot 10^{-6}$ mbar(a), hinterlegt. Die Druckmessungen im Torus sind für die jeweiligen Messbereiche mehrfach

redundant vorhanden und überwachen das Unterschreiten des Zündgrenzdrucks. Fehlerhafte Druckmessungen werden nicht in die Auswertung der Druckwerte einbezogen, es ist eine minimal erforderliche Anzahl an gültigen Messwerten festgelegt. Im Fehlerfall, bspw. kontinuierliches Steigen des Torusdrucks bei Leckage oder Ausfall des kompletten Pumpsystems, wird die Anlage entsprechend der Verriegelungsmatrix in einen sicheren Zustand gefahren, u.a. durch Fluten des Torus mit Stickstoff bis auf einen Druck von 100 mbar(a).

Schussbetrieb

Sind das Sicherheitstoken und somit das Betriebstoken für den Schussbetrieb gesetzt, kann Wasserstoff für die Plasmaentladung, dem sogenannten Schuss, in den

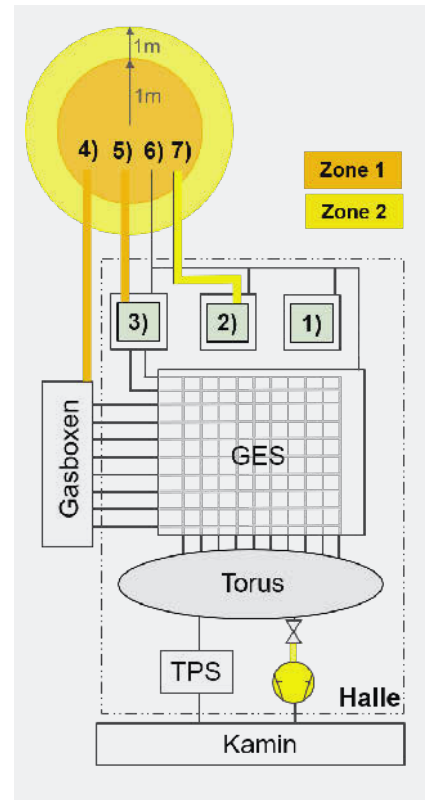


Bild 7 Stark vereinfachtes Schema von AUG mit Zoneneinteilung mit 1) Schrank Sondergasflasche, 2) Pumpschrank für Gaswechsel, 3) Schrank mit Zwischenvolumen, 4) Abblasleitung Gasflaschen, 5) Abblasleitung Zwischenvolumen, 6) Abluft Schränke und 7) Abblasleitung Pumpe für Gaswechsel. Grafik: IPP

Torus eingelassen werden. Die durchschnittliche Wasserstoffmenge je Entladung beträgt 0,82 bar·l, maximal können 15 bar·l injiziert werden. Ca. 90 % adsorbieren an der Kryopumpe. Um ein unkontrolliertes Sublimieren von Wasserstoff in den Torus zu vermeiden, wird die sichere Funktion der Kryopumpe über die CP-Steuerung überwacht. Hierzu werden die

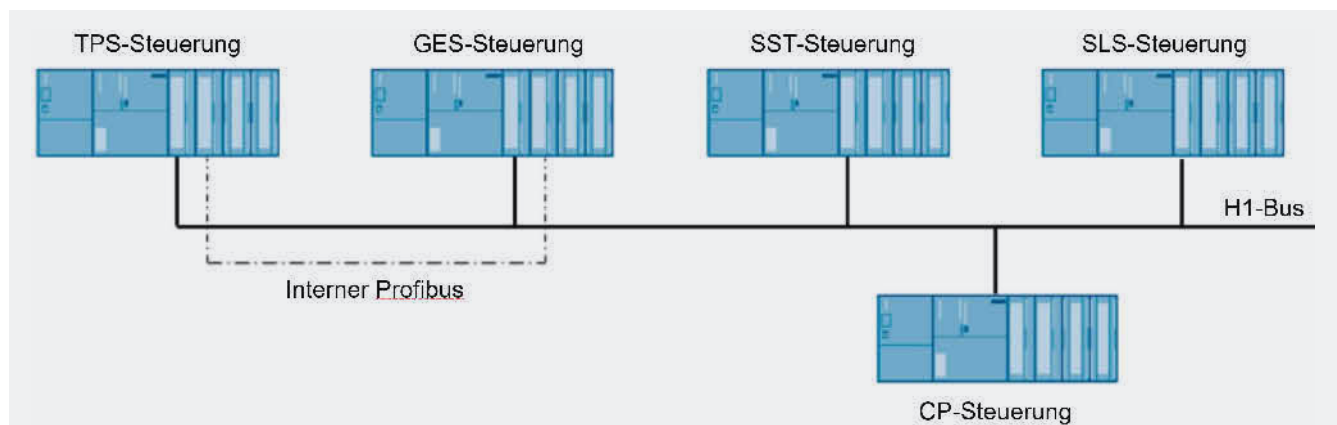


Bild 8 Kommunikation der fünf Steuerungen. Grafik: IPP

Oberflächentemperatur der Kryopumpe und der Durchfluss des flüssigen Stickstoffs und Heliums kontinuierlich gemessen und mit Referenzwerten verglichen. Bei Abweichung sendet die CP-Steuerung ein Fehlersignal an die TPS-Steuerung und die SST-Steuerung wodurch die Anlage gemäß Verriegelungsmatrix in einen sicheren Zustand gefahren wird (u.a. Schließen aller Torusschieber, kontrolliertes Abpumpen der Atmosphäre über die ATEX-Pumpe oder Fluten des Torus mit Stickstoff).

Die restlichen 10% der eingelassenen Wasserstoffmenge werden vom TPS abgepumpt. In diesem Bereich wird die untere Explosionsgrenze (UEG) unter Berücksichtigung des gesamten Rohrleitungs- und Pumpenvolumens im Normalbetrieb unterschritten. In den Vorpumpen erfolgt zusätzlich eine Inertisierung mittels Stickstoff.

Konzentrationsbegrenzung

Bei Regeneration der Kryopumpe sublimieren große Wasserstoffmengen schlagartig in den Torus. Die limitierende Größe zur Festlegung des erhöhten Wasserstoffinventars ist die nicht-explosionsgeschützte Messtechnik im Torus. Im Rahmen der Sicherheitsbetrachtung wurde für diesen Betriebszustand das Konzept der Konzentrationsbegrenzung gewählt. Unter Berücksichtigung eines Torusvolumens von 41 m³ wurde das maximale Wasserstoffinventar auf 200 bar·l begrenzt, welches einem Maximaldruck von 5 mbar(a) und, im Falle einer Leckage, einer Wasserstoffkonzentration von <25% der UEG von Wasserstoff unter atmosphärischen Bedingungen entspricht und für einen Schusstag ausreicht.

Die Erfassung des Gaseinlasses erfolgt an den Einlassstellen (Piezoventile) indirekt über Druckaufnehmer und wird abhängig von der Gasart steuerungstechnisch gemessen und ausgewertet. Bei Erreichen der maximalen Gasmenge von 200 bar·l wird ein weiterer Gaseinlass verriegelt. Die GES-Steuerung ist nicht sicherheitsgerichtet ausgeführt, Fehler bei der Gasfassung und -auswertung können nicht ausgeschlossen werden. Die Bewertung der Zuverlässigkeit der vorhandenen Mess-, Steuer- und Regelungseinrichtungen (MSR) gestaltete sich aufgrund der Komplexität sehr schwer. Daher wurde der Einfachheit halber von Seiten des IPP ein Zwischenvolumen vor dem GES bestehend aus einer Gasflasche und MSR-Technik installiert. Das Zwischenvolumen kann erst am Ende eines

Schusstages nach erfolgreicher Regeneration der Kryopumpe mit der maximal möglichen Gasmenge wieder befüllt werden, getriggert von der TPS-Steuerung. Als Plausibilitätsprüfung wird die in den Torus injizierte Gasmenge (erfasst von der GES-Steuerung) an die TPS-Steuerung übermittelt und mit der aus dem Zwischenvolumen entnommenen Gasmenge verglichen. Bei Abweichungen wird das Betriebstoken entzogen.

Regeneration Kryopumpe

Am Ende eines jeden Schusstages erfolgt die Regeneration der Kryopumpe. Im Rahmen der Sicherheitsbetrachtung wurden Kriterien für den Start und das Ende einer erfolgreichen Regeneration festgelegt, um sicherzustellen, dass bei Anwesenheit großer Wasserstoffmengen (bis zu 200 bar·l) im Torus die Torusschieber zum nicht-explosionsgeschützten TPS geschlossen sind.

Werden die in der TPS-Steuerung hinterlegten Freigabekriterien (u.a. Schließen aller Torusschieber) bestätigt, startet die CP-Steuerung das „Aufwärmen“ der Kryopumpe, indem der Heliumfluss reduziert und die Kryopumpe somit nicht weiter gekühlt wird. Die Oberflächentemperatur der Kryopumpe steigt auf ca. 10 K. Gleichzeitig lässt das GES für 2 s Helium in den Torus, um den Torusdruck auf ca. 4 · 10⁻³ mbar(a) zu erhöhen (s. Bild 9, t1). Somit ist die Kryopumpe thermodyna-

misch besser mit dem Torus gekoppelt und die Verdampfung des an der Kryopumpe gefrorenen Wasserstoffinventars steigt deutlich an (s. Bild 9, t2). Nach ca. 4 bis 6 min ist das Inventar der Kryopumpe in den Tours verdampft. Mit Erreichen der Zieltemperatur auf dem Heliumpanel der Kryopumpe generiert die CP-Steuerung ein „regeneration finished“ Signal, welches an die TPS-Steuerung zurückgesendet wird. Die TPS-Steuerung berechnet den zu erwartenden Regenerationsdruck im Torus basierend auf dem erfassten Gaseinlass während des Schusstages. Stimmt der berechnete mit dem aktuell gemessenen Torusdruck überein und hat die CP-Steuerung das „regeneration finished“ Signal ausgegeben, wird der Torusschieber H2VS (s. Bild 5) geöffnet und der Torus über die ATEX-Pumpe zeitüberwacht bis auf einen Druck $\leq 2 \cdot 10^{-2}$ mbar(a) evakuiert. Anschließend schließt die TPS-Steuerung H2VS und öffnet die 11 Torusschieber zum TPS (s. Bild 9, t3). Nach Ablauf der Inertierungsprozedur im Bereich der ATEX-Pumpe (s. unten Prüfbeispiel) gilt die Regeneration als abgeschlossen. Erst jetzt kann das GES-Zwischenvolumen wieder befüllt werden.

Kommt es während der Regeneration zu Abweichungen oder können die Ablaufroutinen nicht erfolgreich durchlaufen, erlöscht das Sicherheitstoken und die Anlage wird entsprechend der Verriegelungsmatrix in einen sicheren Zustand gefahren.

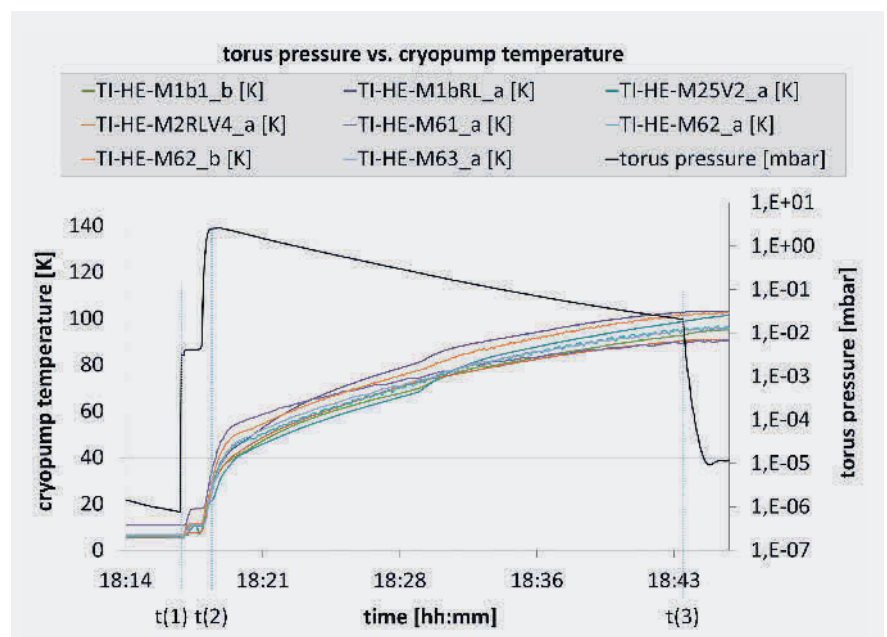


Bild 9 Druckkurve im Torus während der Regeneration und verschiedene Temperaturkurven auf der Kryopumpe. Grafik: IPP

Inertisierung

Bei der Inertisierung kann durch Zugabe von gasförmigen Inertstoffen, z. B. Stickstoff, die Bildung von g.e.G. verhindert werden. Wesentliche Voraussetzungen für die Wirksamkeit der Inertisierung ist die sichere Herstellung (Absenkung der Sauerstoffkonzentration) und die Aufrechterhaltung der Inertisierung. Hierbei sind allgemein die folgenden Punkte zu beachten:

- Festlegung des Sollwertes der maximal zulässigen Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit der SGK der gehandhabten Stoffe und der Betriebstemperaturen und -drücke. Einflussfaktoren wie prozessbedingt schwankende Sauerstoffkonzentrationen, Messabweichungen und Alarmverzögerungen in Form eines Sicherheitsabstandes sind ebenfalls zu berücksichtigen.
- Festlegung der erforderlichen Druckwechsel bzw. Spülzeiten zum Erreichen des Sollwertes der Sauerstoffkonzentration.
- Festlegung der erforderlichen Überwachungseinrichtungen zur direkten und/oder indirekten Überwachung der Inertisierung.
- Festlegung von Maßnahmen bei Störungen, z. B. Ausfall des Inertisierungsmediums, um die Anlage in einen sicheren Zustand zu überführen.
- Berücksichtigung der Schnittstellen zwischen inerten und nicht inerten Anlagenteilen.

Das IPP setzt Inertisierungsmaßnahmen in mehreren Anlagenbereichen ein, u.a. TPS, ATEX-Pumpe, Gasschränke. Im Rahmen der Prüfung sind die im Konzept beschriebenen Maßnahmen zur Inertisierung auf Nachvollziehbarkeit, Eignung und Funktion zu prüfen, mögliche Prüfinhalte sind in [7] aufgeführt. Zudem muss nachvollzogen werden, ob in Bezug auf die funktionale Sicherheit die ergriffenen Maßnahmen zur Sicherstellung der Inertisierung zur resultierenden Anzahl der Reduzierungsstufen gem. TRGS 725 [9] passt. Reduzierungsstufen drücken das erforderliche Maß an Sicherheit einer Maßnahme zur Vermeidung oder Einschränkung von g.e.G. bzw. zur Zündquellenvermeidung aus.

Funktionale Sicherheit

Maßnahmen zur Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit von g.e.G. (vgl. TRGS 722 [6]) oder zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeit für das Wirksamwerden von Zündquellen (vgl. TRGS 723 [8]) können mithilfe von MSR-Einrichtungen umgesetzt

werden. TRGS 725 [9] konkretisiert die Anforderungen an die Zuverlässigkeit von MSR-Einrichtungen. Demnach wird das erforderliche Maß an Sicherheit der Maßnahmen in Reduzierungsstufen (R1, R2 und R3) und der Grad der funktionalen Sicherheit einer Funktionseinheit in Klassifizierungsstufen (K1, K2 und K3) eingeteilt. In der Gefährdungsbeurteilung und dem daraus abgeleiteten Explosionsschutzkonzept sind die Anforderungen an die funktionale Sicherheit der MSR-Einrichtungen zu ermitteln und festzulegen. Über das Erreichen der funktionalen Sicherheitsanforderungen ist ein Nachweis zu führen.

Im Rahmen der Prüfung nach BetrSichV werden MSR-Einrichtungen für den Explosionsschutz als Teil von Ex-Vorrichtungen im Sinne der TRGS 725 dahingehend geprüft, ob durch sie die notwendige Funktionssicherheit der Maßnahmen sichergestellt ist.

Prüfbeispiel

Inertisierung mit dem Aspekt der funktionalen Sicherheit (Saugseite ATEX-Pumpe)

Im Bereich zwischen dem Torusschieber H2VS und der ATEX-Pumpe (Saugseite, s. Bild 5) ist auf Basis der Betriebsdrücke von < 50 mbar(a) nicht betriebsmäßig, sondern nur beim vorhersehbaren Fehlerfall (hier Lufteintritt durch Undichtigkeit bedingt durch starke Vibrationen im Schussbetrieb) mit der Bildung von g.e.A. zu rechnen, die dann nicht nur kurzzeitig, sondern über einen begrenzten Zeitraum anstehen kann (Zone 1). Maßnahmen, die vor dem Torusschieber H2VS im Torus zu einer Zonenfreiheit führen, kommen hier nicht zum Tragen. Die ATEX-Pumpe ist für den Einsatz in Zone 1 geeignet (Gerätekategorie 2G gem. RL 2014/34/EU [10]). Messtechnik zum Erfassen von

Drücken < 1 mbar(a) ist jedoch nicht in explosionsgeschützter Ausführung verfügbar (Drucksensor H2BM2), weshalb zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind.

Bei ansteigendem Druck > 25 mbar wird der Torusschieber geschlossen. Von Seiten des IPP wurden für den Bereich nach dem Schieber zusätzliche Maßnahmen zur Zonenreduzierung auf Zone 2 durch Inertisierung (1 Reduzierungsstufe) und zur Vermeidung der Zündquelle festgelegt (Wegschalten von H2BM2 bei Drücken > 1 mbar(a) durch den explosionsgeschützten Drucksensor H2BM3 mit einem Messbereich von $5 \cdot 10^{-1}$ mbar(a) bis 1 bar(a) über eine Master/Slave-Architektur, 1 Reduzierungsstufe), siehe Bild 10.

Im folgenden Beispiel werden die Inertisierungsmaßnahmen im Bereich zwischen H2VS und der ATEX-Pumpe beschrieben (die Maßnahmen zur Zonenfreiheit auf der Druckseite der ATEX-Pumpe sind nicht Gegenstand dieses Prüfbeispiels). Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um ein konkretes Beispiel handelt, das nicht pauschal auf andere Anlagen übertragbar ist.

Vor Einleiten einer Regeneration wird die Verfügbarkeit der Inertisierungseinrichtungen steuerungstechnisch überprüft, d.h. minimal erforderlicher Füllstand im Flüssigstickstofftank, ausreichender Stickstoff-Eingangsdruk an H2BM1 und H2DS und Funktionsfähigkeit des Flusswächters H2SW. Außerhalb der Halle liegende Handventile in der Stickstoffleitung, welche anfänglich zugänglich waren, wurden verplombt.

Sind alle Freigabekriterien erfüllt, wird der Luftsauerstoff in der ATEX-Pumpe und der Abgasleitung mittels Timer (10 s) und einem mechanisch fest eingestellten Stickstofffluss (500 l/min, entspricht einem 8,5-fachen Spü-

Zündquelle	Zone	Zone 0	Zone 1	Zone 2	keine Zone
	Anzahl erforderlicher Reduzierungsstufen				
Zündquelle im Normalbetrieb (betriebsmäßig)		3	2	1	-
im zu erwartenden Fehlerfall oder bei gelegentlichen Betriebsstörungen		2	1	-	-
im seltenen Fehlerfall oder bei seltenen Betriebsstörungen		1	-	-	-
im sehr seltenen Fehlerfall		-	-	-	-

Bild 10 Festlegung der Reduzierungsstufen nach TRGS 725 [9]. Grafik: Autoren

len) verdrängt. Der minimal erforderliche Stickstofffluss wird durch den Flusswächter H2SW überwacht. Auf der Saugseite der kontinuierlich laufenden ATEX-Pumpe liegt ein Vakuum von $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ mbar(a) an, die Leitung kann als sauerstofffrei betrachtet werden. Danach schließen die Torusschieber zum TPS und die Regeneration der Kryopumpe startet. Nach Übermittlung des „regeneration finished“ Signals von der CP-Steuerung an die TPS-Steuerung öffnet H2VS. Der Druck auf der Saugseite der ATEX-Pumpe steigt durch einströmenden Wasserstoff auf bis zu 4,75 mbar(a) an. Sobald ein Torusdruck von $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ mbar(a) wieder erreicht wird, ist der Abpumpvorgang abgeschlossen und H2VS schließt. Wasserstoff in der druckseitigen Abgasleitung wird durch erneutes Spülen (90 s) verdrängt. Das Vakuum zwischen H2VS und der ATEX-Pumpe wird über H2BV mit Stickstoff gebrochen und für 10 s gespült, anschließend wird H2BV wieder geschlossen und Vakuum gezogen. Die Inertisierung ist abgeschlossen.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit den Bereich zwischen H2VS und der ATEX-Pumpe durch eine Minican mit der 19-fachen Stickstoffmenge innerhalb kurzer Zeit total zu inertisieren (Mindestwert des Verhältnisses der Molanteile von Stickstoff und Wasserstoff beträgt 17 gem. [6]). Dies soll bspw. bei Erfassung eines Druckanstiegs (Luftintritt durch Undichtigkeit infolge starker Vibrationen während des Schussbetriebs) oder bei Ausfall der Stickstoffversorgung erfolgen. Diese Maßnahme ist jedoch nicht als zusätzliche Maßnahmen im Sinne einer 2. Klassifizierungsstufe gem. [9] qualifiziert.

Das Inertisierungskonzept wurde im Rahmen der Ordnungsprüfung auf Nachvollziehbarkeit, Plausibilität und Eignung geprüft. Ein Nachweis über das Erreichen der Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Inertisierungsmaßnahmen einer Klassifizierungsstufe 1 gem. TRGS 725 [9] wurde vorgelegt. Der Nachweis beinhaltet u.a. die Bewertung des Ausfallverhaltens der Ex-Einrichtungen und deren Funktionseinheiten. Die Funktionsfähigkeit der MSR-Einrichtungen und das Einleiten der Verriegelungen entsprechend des Inertisierungskonzepts und der Verriegelungsmatrix wurden im Rahmen der technischen Prüfung geprüft.

Bei dieser Einrichtung handelt es sich um eine explosionschutzrelevante Inertisierungseinrichtung i.S.d. BetrSichV [2], die nach der Prüfung vor Inbetriebnahme jährlich gem. § 16 BetrSichV i.V.m. Anh. 2 Abschn. 3 Nr. 5.3 zu prüfen ist.

Geräteprüfung

Zur Vermeidung wirksamer Zündquellen müssen elektrische und nicht-electrische Geräte im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU [10] für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen unter Berücksichtigung der im Explosionsschutzdokument festgelegten Zoneneinteilung (Zone 1 und 2, s. Bild 7), der Temperaturklasse (T1 [1]), der Explosionsgruppe (IIC [1]) und den nicht-atmosphärischen Einsatzbedingungen (Drücke $< 0,8$ bar(a)) geeignet sein.

Die Prüfung der Geräte unterteilt sich in die Ordnungsprüfung und in die technische Prüfung. Im Rahmen der Ordnungsprüfung wird anhand der technischen Unterlagen (u.a. Betriebsanleitung, EU-Konformitätserklärung gem. RL 2014/34/EU ehemals EG-Konformitätserklärung gem. RL 94/9/EG) die Eignung der Geräte für den vorgesehenen Einsatzzweck in der Anlage geprüft.

Im Zuge der technischen Prüfung vor Ort wird die ordnungsgemäße Installation und der sichere Zustand der Geräte i.S.d. RL 2014/34/EU mit ihren Verbindungseinrichtungen als Bestandteil der Anlage und deren Wechselwirkungen mit anderen Anlagenteilen geprüft. Ebenso sind die dazu gehörigen Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen auf Eignung für den Anwendungsfall und deren Funktionsfähigkeit zu prüfen. Hierbei werden u.a. die folgenden Punkte geprüft:

- Gerätekennzeichnung mit Angabe der Gerätekategorie, Temperaturklasse und Explosionsgruppe
- Ordnungsgemäße Installation der Geräte entsprechend der Zündschutzart
- Einhaltung der Vorgaben aus der Betriebsanleitung, u.a. Umgebungsbedingungen (Temperaturen, Schwingungen, Korrosionsgefahr)
- Ausreichende Erdung bzw. Potenzialausgleich
- Ordnungsgemäßer Zustand von Gehäuse, Kabel und Leitungen

Neben der ATEX-Pumpe sind hauptsächlich explosionsgeschützte Sensoren der Zündschutzart Eigensicherheit verbaut. Das Prinzip eines eigensicheren Stromkreises beruht darauf, dass die elektrische Energie auf Werte unterhalb der Mindestzündenergie der jeweiligen explosionsfähigen Atmosphäre begrenzt wird und somit die Zündquelle, in Form von Funken oder thermischen Effekten, ausgeschlossen ist. Im Rahmen der Prüfung wird das verbaute eigensichere Feldgerät als Gerät i.S.d.

RL 2014/34/EU, die dazugehörige Sicherheitsbarriere als Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtung i.S.d. RL 2014/34/EU, der Nachweis über die geeignete Verschaltung des eigensicheren Stromkreises (Eigensicherheitsnachweis) sowie die richtige Installation der eigensicheren Kabel geprüft [11].

Die Gesamtanlage ist seit 1991 in Betrieb. Ein Teil der explosionsgeschützten Geräte war schon vor der Prüfung in Verwendung. Im Rahmen dieser Prüfung wurde für diese Geräte zusätzlich die Durchführung und Dokumentation der für den Explosionsschutz erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen (Wartung, Instandhaltung, Instandsetzung) unter Berücksichtigung der Angaben in den Betriebsanleitungen geprüft.

Blitzschutz

Ein Blitzeinschlag darf für die explosionsgefährdeten Bereiche nicht zur wirksamen Zündquelle werden, bspw. durch Erwärmung, zündfähige Funken oder Sprühfunken an den Ableitwegen. Ferner ist im Rahmen des Explosionsschutzkonzeptes zu bewerten, inwieweit die Funktion sicherheitsrelevanter Überwachungseinrichtungen bei Blitzeinschlag beeinträchtigt werden kann. Abhängig von der Zoneneinteilung sind unterschiedlich weitgehende Blitzschutzmaßnahmen zu prüfen.

An der Hallenaußenwand befinden sich in ca. 6,5 m Höhe Entspannungsleitungen der Druckgasflaschen, des Zwischenvolumens und Abluftleitungen von Funktionsschränken. Der Auslassbereich (Zone 1 und 2, s. Bild 7) wird vom Hallendach weit überragt, sodass ein Blitzeinschlag in die Leitungen unwahrscheinlich ist. Ableitwege der bestehenden Gebäudeblitzschutzanlage, welche keine besonderen Anforderungen an den Explosionsschutz erfüllt, sind in diesem Bereich nicht vorhanden.

Eine Beeinträchtigung der Funktion sicherheitsrelevanter Überwachungseinrichtungen des Torus und des Vakuumpumpensystems bei Blitzeinschlag ist möglich, wird jedoch unmittelbar durch die geräteeigenen Überprüfungen auf Überstrom erkannt und führt automatisch zu einer Überführung der Anlage in einen sicheren Zustand, d.h. Schließen der Torusschieber und der Gaseinlassventile.

Im Rahmen der Prüfung vor Inbetriebnahme wurde die Plausibilität des Blitzschutzkonzeptes sowie die Umsetzung der Blitzschutzmaßnahmen und die Übereinstimmung mit den Gegebenheiten vor Ort geprüft.

Erdungsmaßnahmen

In explosionsgefährdeten Bereichen sind wirksame Zündquellen in Form von elektrostatischen Entladungen zu vermeiden. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung wurden Maßnahmen zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen festgelegt, u.a. die Erdung und elektrisch leitende Verbindung leitfähiger Anlagenteile mit einem Ableitwiderstand $\leq 10^6 \Omega$. In explosionsgefährdeten Bereichen wurde der Einbau von isolierenden Gegenständen oder von leitfähigen Gegenständen mit isolierender Beschichtung soweit explosionschutzrelevant und darüber hinaus weitestgehend vermieden. Die Bewegung von reinen Gasen stellt gem. TRGS 727 [12] keinen ladungserzeugenden Prozess dar.

Die Umsetzung der Erdungsmaßnahmen wurde im Rahmen der technischen Prüfung geprüft. An offensichtlichen Stellen, bspw. Anlagenteile mit geschweißten oder geflanschten Verbindungen, kann eine Sichtprüfung ausreichen. Sofern jedoch isolierende Komponenten, wie z.B. Dichtungen, die Erdung bzw. elektrisch leitende Verbindung von leitfähigen Anlagenteilen einschränken könnte, wurde der Ableitwiderstand messtechnisch überprüft. Im Rahmen der Prüfung aufgedeckte isolierte Kapazitäten wurden durch zusätzliche Erdungsmaßnahmen in den betrieblichen Potenzialausgleich eingebunden, um zündwirksame Funkenentladungen zu vermeiden. Bei der Ausführung der Erdungsmaßnahmen, bspw. zusätzliches Erdungskabel, ist darauf zu achten, dass diese zuverlässig und dauerhaft ausgeführt werden und den zu erwartenden Beanspruchungen, insbesondere durch Korrosion, standhalten.

Wird zum Messen des Erdableitwiderstandes bspw. ein Widerstandsmessgerät verwendet, ist zu beachten, dass dieses eine Zündquelle in explosionsgefährdeten Bereichen darstellt und zusätzliche Maßnahmen für die Messdurchführung erforderlich sind, bspw. Freimessen der Atmosphäre. In diesem Zuge kann die innerbetriebliche Regelung zur Arbeitsfreigabe für Heißenarbeiten geprüft werden.

Fazit

Bei AUG handelt es sich um eine Versuchsanlage, die ständig weiterentwickelt wird und einem kontinuierlichen Umbau unterliegt. 2016 wurde ein wasserstoffver-

träglicher Pumpenstand eingebaut, um die Regenerationsintervalle der Kryopumpe zu verlängern. Grundsätzlich gemäß der Rangfolge von Schutzmaßnahmen nach GefStoffV und bedingt durch die gegebene nicht-explosionsgeschützte Anlagentechnik wird von Seiten des IPP die Vermeidung bzw. Einschränkung der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Gemische priorisiert. Hierzu kommen Konzepte zur Druck- und Konzentrationsbegrenzung sowie Inertisierungseinrichtungen zum Einsatz. Der Einbau eines Zwischenvolumens sichert unabhängig zur steuerungstechnischen Gaserfassung das maximal zulässige Wasserstoffinventar unter Berücksichtigung aller möglichen Betriebszustände ab. Wo die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Gemische nicht verhindert werden konnte, kommen zusätzlich Maßnahmen zur Zündquellenvermeidung zum Einsatz.

Die Versuchsanlage wurde einer Prüfung nach BetrSichV unterzogen. Teil 1 und 2 des Beitrags beschreiben die Anforderungen an die Prüfung einer Ex-Anlage nach BetrSichV und gehen auf einzelne Schwerpunkte des Explosionsschutzkonzeptes und dessen Prüfung ein. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den Beiträgen nicht um eine vollständige Wiedergabe des Explosionsschutzkonzeptes der beschriebenen Anlagen und der durchgeführten Prüfungen handelt. Vielmehr geht es um die Darstellung der Systematik und Vorgehensweise bei der Prüfung. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Konzeptprüfung, welche hier auch die Prüfung von Maßnahmen zur Vermeidung der Bildung von g.e.A. und somit einer Zoneneinteilung umfasst. Die Prüfung kann eine Möglichkeit darstellen, Schwachstellen aufzuzeigen und Lösungen auszuarbeiten, welche im Einklang mit dem verfahrenstechnischen Prozess und der Wirtschaftlichkeit der Anlage, bzw. hier dem Forschungsbetrieb, und den Anforderungen des Explosionsschutzes stehen können. ■ TS912

DANKSAGUNG

Die Autoren danken dem ASDEX Upgrade Team für ihre Unterstützung

Literatur

- [1] Kilian, S.; Plöckl, B.; Hübner, J.; Uhlmann, M.: Erfahrungen aus der Prüfung einer Kernfusionsanlage als Ex-Anlage nach BetrSichV – Teil 1 Pellet-Zentrifuge, Technische Sicherheit 11 (2021) Nr. 05-06.

- [2] Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) vom 3. Februar 2015, BGBl, S. 49, zul. geänd. durch Art. 1 der Verordnung vom 30. April 2019, BGBl, S. 554.
- [3] Stelzer, F.; Härtl, T.; Berger, N.; Kilian, S.; Uhlmann, M.; Rohde, V.: ASDEX Upgrade Team, Adoption of the ASDEX Upgrade pumping to Hydrogen released by an in-vessel cryopump. Fusion Engineering and Design 170 (2021) 112534.
- [4] Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) vom 26. November 2010, BGBl, S. 1643, 1644, zul. geänd. durch Art. 148 des Gesetzes vom 29. März 2017, BGBl, S. 626.
- [5] TRGS 720 Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines, GMBI 2020, S. 419-426 [Nr. 21], Berichtigung GMBI 2021, S. 399 [Nr. 17-19].
- [6] TRGS 722 Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre, GMBI 2021, S. 399-415 [Nr. 17-19].
- [7] Beschluss der EK ZÜS zum Arbeitsgebiet Ex-elh-Anlagen, ZÜS BE-006 rev. 1, 27.04.2016.
- [8] TRGS 723 Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische, GMBI 2019, S. 638-656 [Nr. 33-34], Änderung GMBI 2020, S. 815 [Nr. 38].
- [9] TRGS 725 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen, GMBI 2016, S. 238-256 [Nr. 12-17], letzte Änderung und Ergänzung GMBI 2018, S. 194 [Nr. 7-11].
- [10] Richtlinie 2014/34/EU, zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen, Neufassung vom 26. Februar 2014.
- [11] DIN EN 60079-14 Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen. Berlin: Beuth 2014.
- [12] TRGS 727 Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen, GMBI 2016, S. 256-314 [Nr. 12-17], Berichtigung GMBI 2016, S. 623 [Nr. 31].



**Sandra Kilian,
B.Sc.**

DEKRA Testing and Certification GmbH, München (bis 04/2021).
Roche Diagnostics GmbH, Penzberg (seit 05/2021).
Foto: Autorin

**Dr. rer. nat.
Volker Rohde**

**Dipl.-Ing. Franz
Stelzer (FH)**

**Dipl.-Ing.
Michaela Uhlmann
(FH)**

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching.

**Dr.-Ing.
Jochen Hübner**

DEKRA Testing and Certification GmbH, Bochum.

Basics - die heimlichen Helden der Arbeitskleidung

Die Handhabung von Basics wird bei Arbeitskleidung oft etwas vernachlässigt. Nach häufigem Tragen und Waschen verlieren viele Shirts bei unsachgemäßer Pflege oder niedriger Qualität ihre Form und sehen nicht mehr professionell aus. Doch spielen T-Shirt, Polohemd oder Sweatshirt für den wichtigen ersten Eindruck eine entscheidende Rolle. Auf was Unternehmen bei der Beschaffung und Instandhaltung ihrer Basics achten sollten, erklärt Melanie Deppe, Product Quality Lead beim Serviceanbieter für Arbeitskleidung, CWS. Es ist zu empfehlen, sich bei der Farbwahl der Basics ein paar Gedanken zu machen. Ist die Farbe der Workwear eher dezent, so lässt sich mit bunten Shirts, Polohemden oder Sweatshirts zum Beispiel passend zu den Unternehmensfarben, ein farblicher Akzent mit Wiedererkennungswert setzen. Gehen die Mitarbeitenden eher



Basics mit Firmenlogo stärken das Wir-Gefühl.
Foto: CWS

schmutzanfälligen Tätigkeiten nach, so sind dunkle Farben eventuell vorteilhaft. Natürlich sind auch Basics Ton-in-Ton passend zum Rest der Arbeitskleidung denkbar. Die Farbe hängt davon ab, welche Außerdarstellung Unternehmen verfolgen: dezent, CI-gerecht oder zum Beispiel auch in den Branchenfarben. Während bei allen Teilen der Arbeitskleidung die Form von großer Bedeutung ist, sind doch insbesondere Shirts und Sweatshirts besonders anfällig dafür, nach einigen Einsätzen und Wäschen ihre Form zu verlieren. Daher bieten sich ein Baumwoll-Polyester-Gewebemix oder auch hochwertige Baumwollgewebe für eine lange Haltbarkeit und langfristig gute Optik an. Gegebenenfalls sollten Mitarbeitenden Waschempfehlungen mitgegeben werden, wenn Arbeitskleidung selbst gewaschen wird. Eine Individualisierung von Arbeitskleidung bietet sich bei Basics wie T-Shirts besonders an. Das Logo als Stickemblem oder Direkteinstickung angebracht, erzeugt einen professionellen Auftritt der Belegschaft sowie gleichzeitig einen hohen Wiedererkennungswert. CI-Arbeitskleidung unterstützt auch ein stärkeres Wir-Gefühl und den Zusammenhalt im Team. Serviceanbieter bringen gewünschte Logos auf der Arbeitskleidung bereits vor Auslieferung an und kennen dabei alle Vorschriften, die es insbesondere bei PSA zu beachten gilt. Die verschiedenen Elemente von Arbeitskleidung sollten sich im Sommer wie im Winter ideal ergänzen. Beim Kombinieren ist darauf zu achten, dass jeweils die Unternehmens-CI gewahrt bleibt. Wenn Mitarbeitende beispielsweise ihre Arbeitsjacke ausziehen, sollte immer noch die CI gegeben sein. Es empfiehlt sich daher, die Ausstattung immer gesamtheitlich zu betrachten. Dabei gilt es auch, bestimmte Vorlieben der Belegschaft zu berücksichtigen. Wenn beispielsweise gerne Sweatshirts getragen werden, empfiehlt es sich, diese eher mit einer Weste als mit einer Arbeitsjacke zu kombinieren. Da Arbeitskleidung leicht verschmutzt, sollten immer mehrere Ausführungen vergeben werden. „Jeder Mitarbeitende sollte mindestens drei Ausführungen von Basics haben, so hat man ein Teil als Reserve und kann eins parallel waschen“, erklärt Deppe. Oft sind es durchdachte Kleinigkeiten, die den großen Unterschied für Sicherheit und Gesundheit von Mitarbeitenden machen. Je nach Tätigkeitsbereich können Basics auch zu erhöhter Sicherheit der Mitarbeitenden beitragen. „Gerade für Tätigkeiten im Freien sind beispielsweise Shirts mit UV-Schutz eine neue wichtige Entwicklung im Bereich Arbeitskleidung, die für viele Branchen interessant sein kann“, meint Deppe. So bietet CWS nachhaltige, strapazierfähige und hautfreundliche Warnschutz-T-Shirts und Poloshirts aus Bio-Baumwolle und recyceltem Polyester sowie Zip-Sweatshirts mit UV-Schutzfaktor 40+.

www.cws.com

Orthopädie-Offensive bei Sicherheitsschuhen

Der hohe Tragekomfort moderner Sicherheitsschuhe allein reicht nicht aus, wenn Beschäftigte an Fehlbildungen und Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates leiden. Der Sicherheitsschuh-Hersteller Baak hat deshalb eine „Orthopädie-Offensive“ gestartet. Bis Ende September wird Baak in einem Großteil seiner Sicherheitsschuhe serienmäßig eine verbesserte Fußbett-Einlage eingesetzt haben: Die neue „ESD Softstep+ Einlage“ passt sich mit ihrer leichten Gelenkstütze dem Fuß an und ermöglicht durch die integrierte Kugelferse stabileres Gehen. Leichte orthopädische Anpassungen, wie zum Beispiel eine Fersen-Erhöhung von maximal 20 Millimetern, können Orthopädie-Schuhmacher*innen direkt an der Einlage vornehmen. Damit ist diese nach DGUV 112-191 und der österreichischen ÖNorm Z 1259 orthopädisch anpassbar. www.baak.de



Die **drei Komponenten** des patentierten go&relax-Systems von Baak entlasten den Bewegungsapparat der Träger von entsprechend ausgestatteten Sicherheitsschuhen. Foto: BAAK GmbH & Co. KG

Teil 2: Die Sauerstoffgrenzkonzentration von Methan, Ethan und Propan

Ein halbempirisches Modell zur Berechnung der Explosionsgrenzen und der Sauerstoffgrenzkonzentration

Hans-Herbert Vogel

Die Sauerstoffgrenzkonzentration ist das Minimum des Sauerstoffanteils in einem mit Inertgas verdünnten Brennstoff/Luft-Gemisch, in dem gerade keine Explosion (Entflammen) mehr möglich ist. Diese sicherheitstechnische Kenngröße hängt vom Druck und von der Temperatur ab. Basierend auf dem Programm Cantera von Goodwin und der Reaktionskinetik der NUI Galway wird das im ersten Teil des Beitrages beschriebene Modell auf die Berechnung der Sauerstoffgrenzkonzentration von Methan, Ethan und Propan ausgedehnt. Die Genauigkeit des Modells ist vermutlich höher als die der spärlich vorhandenen Messwerte.

1 Einleitung

In diesem zweiten Teil des Beitrages wird dargelegt, wie mit Hilfe der Reaktionskinetik eines Brennstoffes die Sauerstoffgrenzkonzentration SGK (Limiting Oxygen Concentration = LOC) als Funktion des Drucks und der Temperatur berechnet werden kann. Zurückgegriffen wird wie im ersten Teil des Beitrages auf das in Python geschriebene Beispielprogramm `combustor.py` in dem Programmpaket Cantera von Goodwin et al. [1]. Unter Beschränkung auf die Brenngase Methan, Ethan und Propan wurde als Reaktionskinetik der Mechanismus Natural Gas (2010) der NUI Galway [2] angewendet, der bei der Berechnung der Explosionsgrenzen befriedigende bis gute Ergebnisse lieferte. Als Inert- bzw. Verdünnungsgase wurden Stickstoff und Kohlendioxid gewählt.

2 Begriffserläuterungen und Definitionsgleichungen

Im ersten Teil dieses Beitrages wurden die Explosionsgrenzen des Brenngases mit atmosphärischer Luft der Zusammensetzung in [3], die hier mit dem hochgestellten Index L gekennzeichnet wird, als Oxidationsmittel berechnet. Diese trocken angenommene Luft besteht vorwiegend aus den Komponenten Stickstoff, Sauerstoff, Argon und Kohlendioxid. Das erwähnte Programm erwartet als Eingangsgrößen die Massenströme der Luft und des Brenngases. Insofern wurde das Inertgas der Luft zugeschlagen. Verdünnt man die Luft mit dem Inertgas i um die zugeführte Stoffmenge Δn_i , wird der Explosionsbereich zwischen unterer und oberer Explosionsgrenze verringert, denn der Stoffmengenanteil des Sauerstoffes in der verdünnten Luft (Gleichung 1)

$$x_{O_2} := \frac{n_{O_2}}{n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{x_{O_2}^L}{1 + \Delta x_i} \quad (1)$$

mit (Gleichung 2)

$$\Delta x_i := \frac{\Delta n_i}{n_{ges}^L} \quad (2)$$

wird herabgesetzt. Wird die Luft soweit verdünnt, dass bei allen Stoffmengenanteilen des Brenngases im Brenngas/Luft-Gemisch (Gleichung 3)

$$x_B := \frac{n_B}{n_B + n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{\Phi}{\Phi + O_{min} / x_{O_2}^{min}} = EG \quad (3)$$

kein Entflammen mehr auftritt, ist die Sauerstoffgrenzkonzentration (Gleichung 4)

$$SGK := \frac{n_{O_2}}{n_B + n_{ges}^L + \Delta n_i} \quad (4)$$

erreicht. Die Gleichung (3) mit dem Äquivalenzverhältnis Φ und dem Mindestsauerstoffbedarf O_{min} gilt analog zur abgeleiteten Gleichung (14) im ersten Teil des Beitrages. Der Stoffmengenanteil des Brenngases x_B ist bei Erreichen der Sauerstoffgrenzkonzentration SGK gleich der Explosionsgrenze EG. Benötigt wird die Luftzusammensetzung der verdünnten Luft. Wird Gleichung (1) bei der Sauerstoffgrenzkonzentration nach Δx_i aufgelöst, folgt (Gleichung 5)

$$\Delta x_i := \frac{x_{O_2}^L}{x_{O_2}^{min}} - 1 \quad (5)$$

Damit lassen sich die Stoffmengenanteile der Komponenten in der verdünnten Luft berechnen. Wählt man beispielsweise Stickstoff als Inertgas, ergibt sich (Gleichung 6, Gleichung 7, Gleichung 8)

$$x_{N_2} := \frac{n_{N_2}^L + \Delta n_i}{n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{x_{N_2}^L + \Delta x_i}{1 + \Delta x_i} \quad (6)$$

$$x_{O_2}^{min} := \frac{n_{O_2}}{n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{x_{O_2}^L}{1 + \Delta x_i} \quad (7)$$

$$x_{Ar} := \frac{n_{Ar}^L}{n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{x_{Ar}^L}{1 + \Delta x_i} \quad (8)$$

und (Gleichung 9)

$$x_{CO_2} := \frac{n_{CO_2}^L}{n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{x_{CO_2}^L}{1 + \Delta x_i} \quad (9)$$

Für die Aufstellung der analogen Gleichungen für das Inertgas Kohlendioxid ändern sich nur die Gleichungen (6) und (9). Mit dem Stoffmengenanteil x_B des Brenngases, also der Explosionsgrenze EG, nach Gleichung (3) und dem Stoffmengenanteil des Sauerstoffes in der verdünnten Luft nach Gleichung (7) ergibt sich für die Sauerstoffgrenzkonzentration im Brenngas/Luft-Gemisch (Gleichung 10)

$$SGK = x_{O_2}^{\min}(1 - x_B) = x_{O_2}^{\min}(1 - EG) \quad (10)$$

wovon man sich durch Einsetzen der Definitionen überzeugen kann (Gleichung 11):

$$SGK := \frac{n_{O_2}}{n_B + n_{ges}^L + \Delta n_i} = \frac{n_{O_2}}{n_{ges}^L + \Delta n_i} \left(\frac{n_B + n_{ges}^L + \Delta n_i}{n_B + n_{ges}^L + \Delta n_i} - \frac{n_B}{n_B + n_{ges}^L + \Delta n_i} \right) \quad (11)$$

Für die Explosionsgrenze EG gilt als Funktion des Äquivalenzverhältnisses Φ und der Sauerstoffgrenzkonzentration SGK der einfache Zusammenhang (Gleichung 12)

$$EG = x_B = \frac{\Phi SGK}{O_{\min}} \quad (12)$$

Die Massenströme der verdünnten Luft und des Brenngases für das Programm combustor.py in Cantera [1] lauten mit dem minimalen Stoffmengenanteil des Sauerstoffes gemäß Gleichung (7) (Gleichung 13 und 14)

$$\dot{m}_L = \dot{n}_{B,i} \frac{O_{\min}}{x_{O_2}^{\min}} M_L \text{ mit } [\dot{n}_{B,i}] = \frac{\text{kmol}}{s} \quad (13)$$

$$\dot{m}_B = \dot{n}_{B,i} \Phi M_B \text{ mit } [\dot{n}_{B,i}] = \frac{\text{kmol}}{s} \quad (14)$$

vergleiche die Gleichungen (18) und (19) im ersten Teil dieses Beitrages. Für die molare Masse M_L ist die der verdünnten Luft zu setzen. Für den Bezugsmengenstrom als gemeinsamer Faktor in den Gleichungen (13) und (14) gelten empirisch die Gleichung (20) für Methan, die Gleichung (21) für Ethan und

die Gleichung (22) für Propan im ersten Teil des Beitrages. Die Sauerstoffgrenzkonzentration hängt nach den Gleichungen (3) und (10) abgesehen vom minimalen Sauerstoffanteil nach Gleichung (7) auch vom Äquivalenzverhältnis Φ ab. Dieses bei der Suche der Sauerstoffgrenzkonzentration zu bestimmen, war nur in grober Näherung möglich.

3 Ergebnisse für die Sauerstoffgrenzkonzentration

Die Modellrechnungen wurden auf den Isothermen 23 °C, 100 °C und 200 °C im Druckbereich 1,013 ... 150 bar für die Brenngase Methan, Ethan und Propan ausgeführt. Bei den letzten beiden Stoffen wurde für die Modellrechnung die Isotherme 50 °C gewählt, weil die Reaktionskinetik der NUI Galway [2] bei 23 °C häufig keine Konvergenz der Rechenwerte lieferte. Die Werte bei 23 °C wurden durch lineare Extrapolation der Werte auf den Isothermen 50 °C und 100 °C berechnet.

In **Tabelle 1** sind die Äquivalenzverhältnisse Φ aller durchgeführten Rechnungen bei 100 °C als Funktion des Drucks p , des Brenngases und des Inertgases dargestellt. Die Temperaturabhängigkeit des Äquivalenzverhältnisses Φ ist vernachlässigbar, so dass diese Werte näherungsweise auch für die beiden anderen Isothermen gelten. Es fällt auf, dass alle Werte bei ungefähr $\Phi = 1$ starten und dann mit zunehmendem Druck, beginnend bei 20 bar, sprunghaft auf $\Phi > 2$ steigen. Dieser Umschlagsdruck hängt von dem Brenngas und dem Inertgas ab. Diese Tabellenwerte mögen dazu dienen, die folgenden Rechenwerte zu reproduzieren oder durch Messung zu prüfen.

Bild 1 zeigt für Methan mit dem Inertgas Stickstoff die Sauerstoffgrenzkonzentration als Funktion des Drucks und der Temperatur. Bei ungefähr $p = 10$ bar liegt ein Maximum vor, das schon *Hirsch* und *Brandes* [4] aufgrund von Messungen bei der PTB vermutet haben. *Zlochower* und *Green* [5] haben mit einem 20 dm³-Zündgefäß die Sauerstoffgrenzkonzentration bei Umgebungsbedingungen gemessen, die vom Modell genau wiedergegeben wird. Der Messwert von *Razus et al.* [6] bei 100 °C und Umgebungsdruck wird vom Modell sehr gut vorhergesagt. Bis zum Umschlagsdruck verlaufen die Kurven linear fallend und nach ei-

Tabelle 1 Äquivalenzverhältnisse Φ bei 100 °C als Funktion des Drucks p , des Brenngases und des Inertgases. Diese Werte gelten für die Bilder 1 bis 6.

p/bar	Methan/N ₂	Methan/CO ₂	Ethan/N ₂	Ethan/CO ₂	Propan/N ₂	Propan/CO ₂
1,013	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98
5	0,95	0,97	0,98	1,05	0,97	0,98
10	0,95	0,97	1,02	1,02	0,99	1,01
20	1	1,1	1,08	3,32	3,32	2,3
30			2,2		2,25	2,3
40	1,04	5,88	2,2	7,87	2,25	3
60	6,96	8,69	6,96	6,96	6,96	6,96
80	7,91	10,67	7,91	7,91	7,91	7,91
100	8,65	12,22	8,65	8,65	8,65	8,65
120	9,26	13,48	9,26	9,26	9,26	9,26
150	10	15	10	10	10	10

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

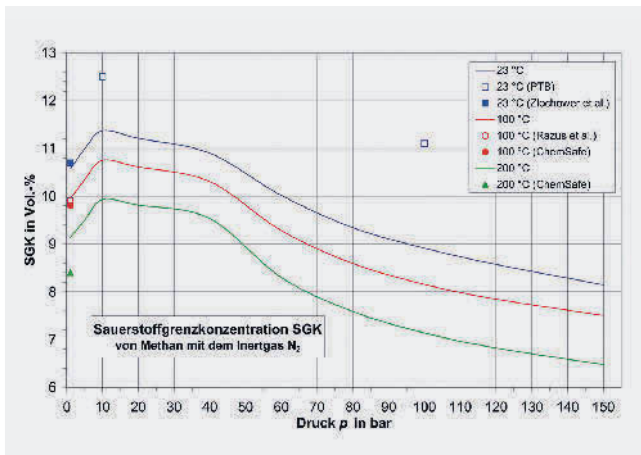


Bild 1 Sauerstoffgrenzkonzentration für Methan bei 23 °C, 100 °C und 200 °C als Funktion des Drucks p . Inertgas ist Stickstoff. Messwerte von der PTB [4], von Zlochow und Green [5], von Razus et al. [6] und aus der Datenbank ChemSafe [8].

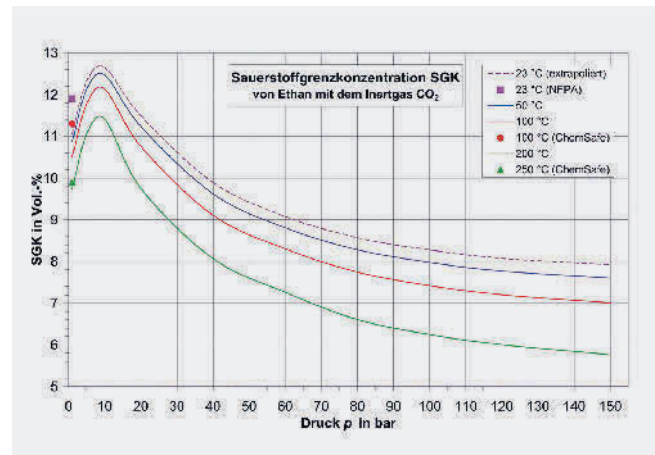


Bild 4 Sauerstoffgrenzkonzentration für Ethan bei 50 °C, 100 °C und 200 °C als Funktion des Drucks p . Inertgas ist Kohlendioxid. Die Werte bei 23 °C sind linear extrapoliert. Messwerte von der NFPA [7] und aus der Datenbank ChemSafe [8].

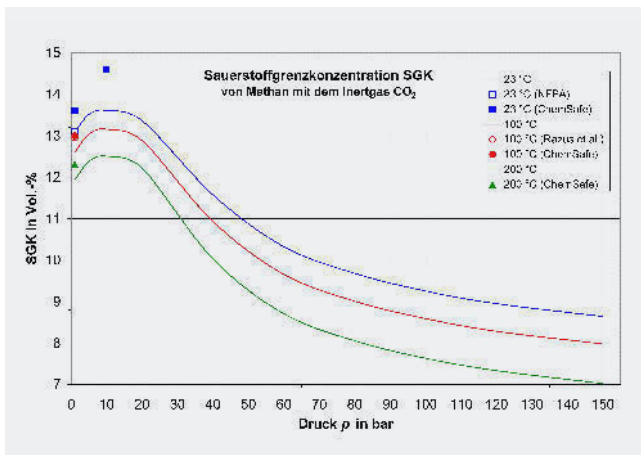


Bild 2 Sauerstoffgrenzkonzentration für Methan bei 23 °C, 100 °C und 200 °C als Funktion des Drucks p . Inertgas ist Kohlendioxid. Messwerte von der NFPA [7], von Razus et al. [6] und aus der Datenbank ChemSafe [8].

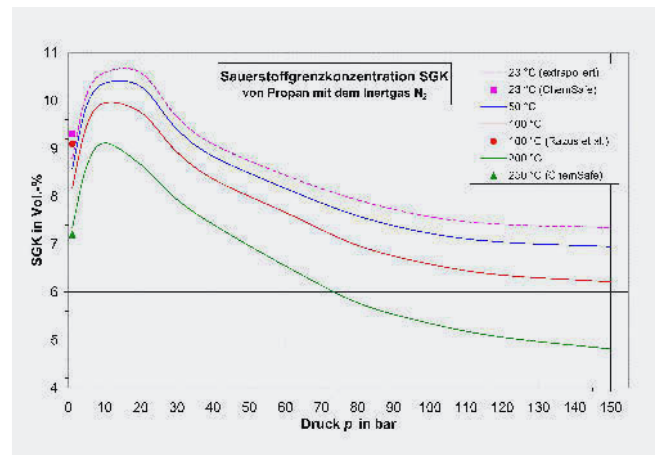


Bild 5 Sauerstoffgrenzkonzentration für Propan bei 50 °C, 100 °C und 200 °C als Funktion des Drucks p . Inertgas ist Stickstoff. Die Werte bei 23 °C sind linear extrapoliert. Messwerte von Razus et al. [6] und aus der Datenbank ChemSafe [8].

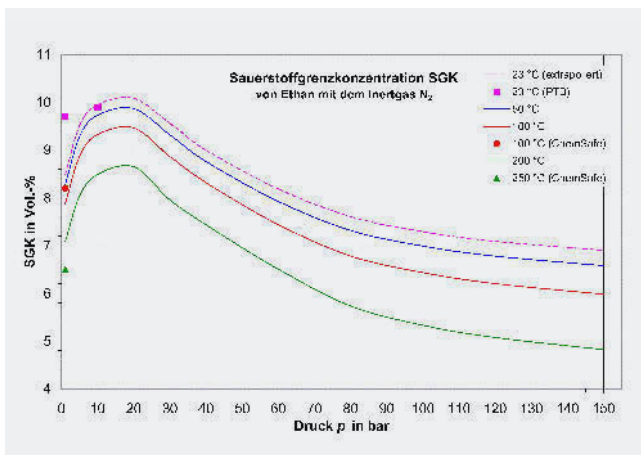


Bild 3 Sauerstoffgrenzkonzentration für Ethan bei 50 °C, 100 °C und 200 °C als Funktion des Drucks p . Inertgas ist Stickstoff. Die Werte bei 23 °C sind linear extrapoliert. Messwerte von der PTB [4] und aus der Datenbank ChemSafe [8].

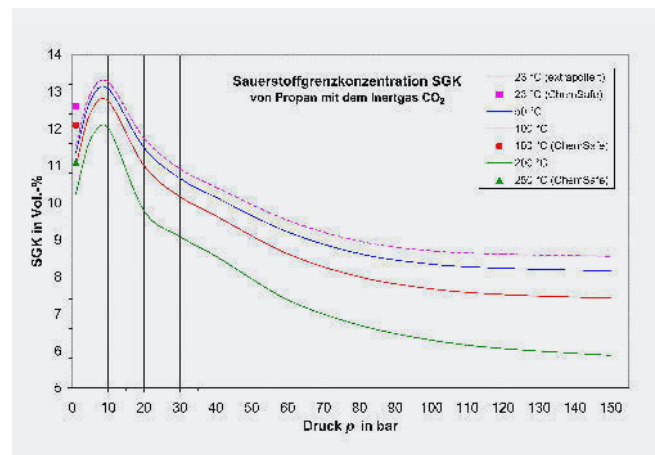


Bild 6 Sauerstoffgrenzkonzentration für Propan bei 50 °C, 100 °C und 200 °C als Funktion des Drucks p . Inertgas ist Kohlendioxid. Die Werte bei 23 °C sind linear extrapoliert. Messwerte aus der Datenbank ChemSafe [8].

nem Wendepunkt auf niedrigerem Niveau degressiv fallend. Ab etwa 50 bar liegt die Sauerstoffgrenzkonzentration unterhalb derjenigen bei Umgebungsdruck.

Im **Bild 2** sind die Simulationsergebnisse für Methan mit dem Inertgas Kohlendioxid dargestellt. Das flache Maximum ist schwächer ausgebildet. Der Umschlagsdruck, siehe Tabelle 1, ist um 10 bar zu niedrigeren Drücken verschoben, damit auch der Wendepunkt, so dass das niedrigere Niveau der Sauerstoffgrenzkonzentration erheblich früher erreicht wird. Bei niedrigen Drücken ist also die Wirkung des Inertgases größer. Bei diesen lässt sich durch Einsatz von Kohlendioxid anstelle von Stickstoff die Sauerstoffgrenzkonzentration absolut um ungefähr 2,5 % anheben, bei 150 bar nur noch um 0,5 %. Bei Umgebungsbedingungen wird der empfohlene korrigierte Messwert der NFPA [7] exakt angenähert. Die Messwerte der Datenbank ChemSafe [8] haben die mittlere relative Abweichung von 4,4 %. Bei 100 °C beträgt die relative Abweichung des Messwertes von Razus et al. [6] etwa 2,8 %.

Bild 3 enthält die Sauerstoffgrenzkonzentration für Ethan mit Stickstoff als Inertgas. Die Kurven weisen ein ausgeprägtes Maximum auf. Nach dem Maximum verlaufen die Funktionswerte linear bis degressiv fallend. Die Messwerte der PTB nach Hirsch und Brandes [4] werden quantitativ angenähert. Die mittlere relative Abweichung beträgt 7,4 %. Wie eingangs erwähnt, sind allerdings die Simulationswerte bei 23 °C durch lineare Extrapolation berechnet. Ein dadurch bedingter Fehler wird jedoch als vernachlässigbar eingeschätzt. Die relative Abweichung der Messwerte der Datenbank ChemSafe [8] beträgt im Mittel 6,1 %.

Bild 4 zeigt die Sauerstoffgrenzkonzentration für Ethan mit Kohlendioxid als Verdünnungsgas. Alle Funktionswerte verlaufen qualitativ wie im Bild 3. Die Höhe der Amplitudenwerte ist gleich, doch die Breite der Amplituden ist schmaler. Der von der NFPA [7] angegebene korrigierte Messwert weicht um 7,6 % von der Modellrechnung ab, die Werte von ChemSafe [8] weichen im Mittel um 6,6 % ab. Durch den Einsatz von Kohlendioxid anstelle von Stickstoff lässt sich die Sauerstoffgrenzkonzentration absolut um etwa 2,5 % anheben, bei hohen Drücken sinkt der Unterschied zwischen den Inertgasen auf ungefähr 1,0 %.

Im **Bild 5** sind die Simulationsergebnisse für Propan mit Stickstoff als Inertgas zusammengefasst. Die Kurvenverläufe sind ähnlich wie die von Ethan (Bild 3). Die Messwerte der Datenbank ChemSafe [8] weichen relativ um 4,9 % von den Simulationswerten ab, der Messwert von Razus et al. [6] bei 100 °C um 11,3 %. In allen Fällen unterschätzt das Modell die Messwerte, wenn man den ChemSafe-Messwert bei 250 °C auf die Temperatur 200 °C genähert umrechnet.

Schließlich zeigt **Bild 6** die Sauerstoffgrenzkonzentration für Propan mit Kohlendioxid als Inertgas. Wie im Bild 4 für Ethan fallen die Amplituden schmaler aus. Die tabellierten Werte der Datenbank ChemSafe [8] weichen im Mittel um 10,5 % von den Simulationswerten ab. Verwendet man Kohlendioxid anstelle von Stickstoff, lässt sich die Sauerstoffgrenzkonzentration absolut um 2,8 % anheben, wobei dieser Effekt mit steigendem Druck bis auf 1,2 % bei 150 bar abnimmt.

4 Zusammenfassung

Mit dem Python-Programm `combustor.py` der Software *Cantera* von Goodwin et al. [1] wurde die Sauerstoffgrenzkonzentration von Methan, Ethan und Propan als Funktion des Drucks und der Temperatur bestimmt. Dazu wurde auf die Reaktionskinetik *Natural Gas* (2010) der NUI Galway [2] zurückgegriffen. Die empirischen Faktoren (Bezugsmengenströme) für die Massenströme der Luft nach Gleichung (13) und des Brenngases nach Gleichung (14) wurden dem ersten Teil des Beitrages entnommen. Da die Luft mit dem Inertgas Stickstoff bzw. Kohlendioxid für die Berechnung der Sauerstoffgrenzkonzentration verdünnt wurde, wurden die Umrechnungsgleichungen für diese synthetische Luft angegeben. Die Wiedergabe der Messdaten von Methan ist sehr gut, für die Brenngase Ethan und Propan befriedigend. Problematisch war bei allen Modellrechnungen die Suche nach den passenden Äquivalenzverhältnissen der Sauerstoffgrenzkonzentration, wie sie in der Tabelle 1 für die ausgeführten Rechnungen als Näherungswerte angegeben sind. Die tatsächlichen Sauerstoffgrenzkonzentrationen könnten bei hohen Drücken also etwas niedriger ausfallen als in den Bildern 1 bis 6 grafisch dargestellt. ■ TS902

Literatur

- [1] Goodwin, D.G.; Moffat, H.K.; Speth, R.L.: *Cantera*, an object-oriented software toolkit for chemical kinetics, thermodynamics and transport processes, In: www.cantera.org, California Institute of Technology, Pasadena, CA 2016.
- [2] Curran, H.J.: *Natural Gas to/including nC5* (2010), NUI Galway, In: nui.galway.ie/combustionchemistrycentre/mechanismdownloads/
- [3] Baehr, H.D.; Kabelac, S.: *Thermodynamik*, 13. Aufl., Berlin 2000.
- [4] Hirsch, W.; Brandes, E.: *Sicherheitstechnische Kenngrößen bei nichtatmosphärischen Bedingungen, Gase und Dämpfe*, Abschlussbericht, PTB, Braunschweig 2014.
- [5] Zlochower, I.A.; Green, G.M.: *The limiting oxygen concentration and flammability limits of gases and gas mixtures*, In: *J. Loss Prev. Process Ind.* 22 (4), pp. 499-505 (2009).
- [6] Razus, D.; Molnarne, M.; Movileanu, C.; Irimia, A.: *Estimation of LOC (Limiting Oxygen Concentration) of Fuel-Air-Inert Mixtures at Elevated Temperatures by means of Adiabatic Flame Temperatures*, In: *Chem. Engineering and Processing* 45 (3), pp. 193-197 (2006).
- [7] *Standard on Explosion Prevention Systems (NFPA 69)*, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2016.
- [8] *ChemSafe, Database of evaluated safety characteristics*, DECHEMA, BAM and PTB, Frankfurt/M., Germany.



Dr. Hans-Herbert Vogel
Foto: Autor

Brandschutz auf Basis europäischer Technischer Bewertungen

An Schienenkonstruktionen können unter Brandbeanspruchung erhebliche Verformungen auftreten. Das Systemversagen der darunterliegenden abgehängten Decken, wodurch die Flucht- und Rettungswege Rauch und Feuer ausgesetzt werden, zählt zu den gravierenden Folgen. Leitungsinstallationen in Flucht- und Rettungswegen müssen daher für Brände ausgelegt sein. Das kann Menschenleben retten. fischer hat dazu beigetragen, das vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegebene Europäische Bewertungsdokument (EAD) 280016-00-0602 zu modifizieren und für den Brandschutz zu optimieren. Auf dieser Basis lassen sich nun Europäische Technische Bewertungen (ETAs) für zugelassene Produkte von Leitungsbefestigungen mit CE-Kennzeichnung erstellen und die Feuerwiderstandsfähigkeit von Installationen nach neuestem Stand der Technik bemessen und nachweisen. Mit der Methode lassen sich Lasten im Bezug zum Feuerwiderstand frei konfigurieren und Stützweiten der Montageschienen optimieren, während diese Parameter zuvor vorgegeben waren.

/www.fischer.de



Waldbrandübung in Mönchweiler (BW), Juli 2020.

Foto: Sebastian Baum/@fire

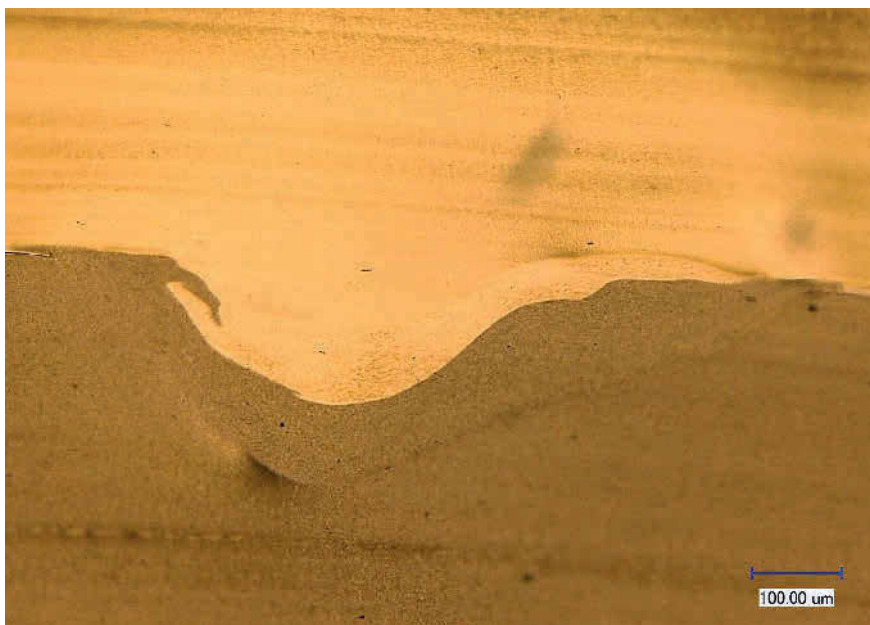
Brandbekämpfung aus der Luft: „Team Phönix“ gegründet

Zur Bekämpfung von Vegetationsbränden ziehen Feuerwehren oft Unterstützung aus der Luft hinzu. Mit Löschwasserabwürfen von Luftfahrzeugen sind unter anderem schnell laufende Feuer gut zu bekämpfen. Dies muss aber mit dem Einsatz von Löschfahrzeugen und -mannschaften abgestimmt sein, damit sich ein niedergeschlagenes Feuer nicht wieder entwickeln kann. Die internationale Hilfsorganisation @fire und die Heliseven Group gründeten dazu die Initiative „Team Phönix“ zur Zusammenarbeit im Bereich Luftarbeit bei Vegetationsbränden im Hinblick auf Standardisierung, Aus- und Fortbildung sowie Einsatz. Der Fokus liegt hierbei zunächst auf dem Südwesten Deutschlands und dem angrenzenden EU-Ausland auf Grund der dort vorhandenen Ressourcen. Zum primären Einsatzgebiet von Hubschraubern gehören die Beobachtung und Erkundung der Einsatzstelle, die direkte Brandbekämpfung mittels eines Löschwasseraußenlastbehälters sowie der Transport von Personen, Wasser und Lasten. Sicherheit, Effektivität und Effizienz sind grundsätzlich gute Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz. Dies gilt gleichermaßen für Einsätze mit Beteiligung von Luftfahrzeugen zur Brandbekämpfung aus der Luft. Die koordinierte Zusammenarbeit von Einsatzkräften in der Luft und am Boden unter einer einheitlichen Führung ist notwendig, um diese Ziele zu erreichen. Sicherheit bezieht sich hierbei nicht nur auf das praktische Arbeiten, sondern auch die Rechtssicherheit, also die Beachtung geltender Regelungen, beispielsweise aus dem europäischen und nationalen Luftrecht sowie des Arbeitsschutzes. Effektivität bedeutet dabei: „Werden die richtigen Maßnahmen angewendet?“ und Effizienz meint: „Werden die richtigen Maßnahmen auch richtig umgesetzt?“ Aufbauend auf den bisherigen @fire-Mitgliedern mit Flughelferausbildung, zusätzlichen internen Lehrgängen und in Zusammenarbeit mit Hubschrauberbetreibern sowie unter Einbindung des MHW als „Dachorganisation“ der privaten Betreiber in Deutschland können nun erste Einheiten zur Verfügung gestellt werden, um diese Zusammenarbeit zu erreichen. Der interne Lehrgang umfasst dabei 20 theoretische Unterrichtseinheiten, welche trotz der geltenden Einschränkungen komplett online durchgeführt werden konnten. Sobald es wieder möglich ist, erfolgt der Abschluss des Lehrgangs zusammen mit dem Betreiber Heliseven in Form von praktischen Unterweisungen und Übungen, sodass die volle operative Einsatzfähigkeit dann vermutlich im Frühjahr hergestellt sein wird. Der Lehrgang führt dann zur Qualifikation als „Task Specialist WFF Air Ops“ (Flughelfer Vegetationsbrandbekämpfung). Somit können diese Einsatzkräfte dann beispielsweise die Funktionen als Flughelfer am Landeplatz, Operator an Bord von Hubschraubern zum Betrieb von Löschwasseraußenlastbehältern oder als Taktischer Abwurfkoordinator wahrnehmen. @fire wird zur Brandbekämpfung aus der Luft in Kürze auch spezielle theoretische und praktische Ausbildungen für kommunale Feuerwehren anbieten, um damit die Thematik der Unterstützung aus der Luft bei Waldbränden präsenter werden zu lassen. Das langfristige Ziel ist es, die Zusammenarbeit der relevanten Organisationen und Luftfahrzeugbetreiber in Deutschland zu fördern und somit gemeinsam die Sicherheit, Effektivität und Effizienz bei der Brandbekämpfung aus der Luft zu stärken.

www.at-fire.de

Mathematische Modelle sollen Lebensdauer von Infrarot-Schweißverbindungen vorhersagen

Bei fast allen Entwicklungen im Maschinenbau steht heute der effiziente Leichtbau an oberster Stelle. Vor allem in der Mobilität sorgt bereits eine geringe Masseinsparung für einen erheblich reduzierten Treibstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß. Aber wie langlebig sind solche Leichtbaulösungen im aktiven Gebrauch tatsächlich? Dieser Frage gehen Forschende des Fraunhofer-Instituts für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt, des Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden und der Kunststofftechnik Paderborn in einem kürzlich gestarteten Kooperationsprojekt nach. In diesem gemeinsamen Projekt wollen die drei Forschungsstellen glasfaserverstärkte technische Kunststoffe mittels Infrarotschweißverfahren fügen und deren zyklische Belastbarkeit ermitteln. Die Ergebnisse aus den Experimenten werden mit einem mathematischen Modell verglichen, das die mechanischen Eigenschaften der gefügten Bauteile auf Grundlage der individuellen Struktureigenschaften der Schweißnaht beschreibt. In dem Forschungsvorhaben werden zwei verschiedene Kunststoffe untersucht und hinsichtlich ihrer Lebensdauer bewertet. Dabei handelt es sich um ein Polyamid 6 (PA6) und ein Polyphthalamid (PPA) mit Kurzglasfaserverstärkung. Im ersten Schritt werden geschweißte Flachproben in einer Vielzahl von Parameterkombinationen hinsichtlich der Schwingfestigkeit untersucht, um die Frage nach dem Einfluss der Prozessparameter beim Infrarotschweißen auf die Schwingfestigkeit der Fügeverbindung zu beantworten. Über die Bewertung der untersuchten Kombinationen will das Forscherteam die signifikanten Faktoren, die einen Einfluss auf die Lebensdauer der Schweißverbindung haben, identifizieren und die Wechselwirkungen zwischen der Schwingfestigkeit und den eingestellten Schweißprozessparametern ableiten. Nachfolgend werden die Ergebnisse anhand eines industrienahen Demonstratorbauteiles verifiziert. Die in diesem Projekt erlangten Ergebnisse können beispielsweise in die Entwicklung von Druckluftspeichern aus Kunststoffen in



Mikrotomschnitt einer Schweißnaht. Foto: Fraunhofer LBF



Ein potenzielles Demonstratorbauteil mit einer runden Schweißnaht. Foto: Fraunhofer LBF

der Automobilindustrie übertragen werden. Bisher werden Druckluftspeicher klassisch aus metallurgischen Werkstoffen gefertigt. Nur mit einer Schweißnaht, die hohen Belastungen standhält, wäre es denkbar, die Speicher aus faserverstärkten Kunststoffen herzustellen. Darüber hinaus spielen Faktoren wie Dichtigkeit und Medienbeständigkeit eine wichtige Rolle. Stellt sich heraus, dass ein Druckluftspeicher mit Hilfe der Projekterkenntnisse aus Kunststoff gefertigt wer-

den kann, sind Kostenersparnisse von 20 Prozent zu erwarten. Das Projekt ist im Oktober 2020 gestartet. 17 Unternehmen, die im projektbegleitenden Ausschuss die Sicht der Industrie vertreten, unterstützen das Vorhaben. Dieser Ausschuss kann stetig durch weitere Unternehmen ergänzt werden. Interessenten können sich an M.Eng. Paul Töws, (Tel. 06151 705-8158, E-Mail: paul.toews@lbf.fraunhofer.de) wenden. www.lbf.fraunhofer.de

Vorschau 9-10/2021



Kühlschmierstoffe und Arbeitssicherheit

Kühlschmierstoffe (KSS) sind aus der Metall- und Kunststoffverarbeitung kaum wegzudenken, da sie Maschinen und Werkzeuge schützen und die Produktivität sichern. Sie vermindern die Reibung zwischen Werkzeug und Bauteil, erhöhen die Standzeit der Werkzeuge und führen Wärme ab. Allerdings können KSS erhebliche Risiken für die Gesundheit darstellen und beispielsweise Haut- oder Atemwegserkrankungen hervorrufen. Auch in puncto Anlagenhygiene und Umweltschutz können sie Nachteile haben. Um diesen negativen Auswirkungen vorzubeugen, gibt es inzwischen ein öl- und esterfreies Kühlschmiermittel auf Wasserbasis namens „AquaSlide“. Sein Vorteil: Es schont gleichermaßen die Gesundheit der Mitarbeiter, die Maschinen und die Umwelt.

Foto: APchannel - stock.adobe.com

IMPRESSUM

Technische Sicherheit
ISSN 2191-007, 11. Jahrgang 2021

Herausgeber
VDI Fachmedien GmbH und Co. KG
Düsseldorf

Redaktion
Annika Hilse M.Sc., verantwortlich
Telefon: +49 0211 6103-343
ahilse@vdi-fachmedien.de
Lara Klee, Redaktionsassistentin
Telefon: +49 211 6103-164
Fax: +49 211 6103-148
ts@vdi-fachmedien.de
Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell
Redaktionsleitung VDI Fachmedien
Telefon: +49 211 6103-104
uschnell@vdi-fachmedien.de

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen: www.technische-sicherheit.de

Verlag
VDI Fachmedien GmbH & Co. KG
Unternehmen für Fachinformationen
VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf
Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf
Commerzbank AG
SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300
IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

Geschäftsführung
Ken Fouhy, B.Eng.

Layout
Laura B. Gründel

Leitung Media Sales
Sarah-Madeleine Simon
Telefon: +49 211 6103-166
ssimon@vdi-fachmedien.de

Anzeigenverkauf
CrossMediaConsulting
Wolfgang Ernd GmbH
Wichmannstraße 4 - Haus 1, 22607 Hamburg
Joanna Klingbiel
Telefon: +49 40 881449-370
Fax: +49 40 881449-11
jklingbiel@cmc-web.de

Es gilt der Anzeigentarif
Nr. 11 vom 1. Januar 2021.

Vertrieb und Leserservice
Leserservice VDI Fachmedien
65341 Eltville
Telefon: +49 6123 9238-202
Fax: +49 6123 9238-244
vdi-fachmedien@vuservice.de

Bezugspreise
6 Ausgaben jährlich (1/2, 3/4, 5/6, 7/8, 9/10, 11/12 als Doppelausgaben)
Jahresabonnement: € 241,- (E-Paper € 216,90)
VDI-Mitglieder: € 216,90 (E-Paper € 125,21)
nur für persönliche Mitglieder
Studenten: € 107,- (E-Paper € 99,-)
gegen Studienbescheinigung
Preise Inland inkl. MwSt., Ausland
exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten
(Inland: € 13,-, Ausland: € 34,-,
Luftpost auf Anfrage)
Einzelheft: € 35,- Inland inkl. MwSt.,
Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten

Der Bezugszeitraum beträgt mindestens ein Jahr. Das Abonnement verlängert sich um ein weiteres Jahr, wenn es nicht sechs Wochen vor Ablauf des berechneten Bezugszeitraums schriftlich gekündigt wird.

Satz
Medienpartner Mäurer GmbH
Auf dem Feldchen 14, 41849 Wassenberg

Druck
KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Copyright
Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden.

Weitere Informationen:
www.technische-sicherheit.de

Auflage IVW-geprüft



Veranstaltungskalender online

Aufgrund der andauernden Corona-Krise werden geplante Veranstaltungen weiterhin verschoben oder zu digitalen Events umfunktioniert.

Um auf Änderungen flexibel reagieren zu können, finden Sie unseren Veranstaltungskalender weiterhin auf unserer Webseite.

Aktuelle Informationen zu Messen, Seminaren und Fachtagungen etc. entnehmen Sie daher bitte unserem **Online-Veranstaltungskalender**.

www.ingenieur.de/fachmedium/technische-sicherheit/events/

DIGITAL-ADVERTORIAL

Wir bringen Ihr Thema in den Markt. Ihr Beitrag auf www.technische-sicherheit.de

© Technische Sicherheit

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.



Einzigartige Reichweite!

Qualifizierte Zielgruppe!

Das Digital-Advertorial transportiert Ihre Botschaft nachhaltig und passgenau zu einer hochkarätigen Zielgruppe. Stellen Sie Ihre Problemlösungsansätze im redaktionellen Look&Feel vor und platzieren Sie Ihre Werbebotschaft im Umfeld anspruchsvoller redaktioneller Beiträge.

- Glaubwürdiges Umfeld: Platzierung Ihres Advertorials inmitten redaktioneller Beiträge – mit Bild und Überschrift auf dem Portal des Fachmagazins.
- Große Reichweite: Ihr Beitrag wird zusätzlich auf der Startseite von www.ingenieur.de, dem reichweitenstärksten Ingenieurportal Deutschlands, ausgespielt. **1.378.733 Visits ingenieur.de pro Monat**, IVW 8/2020.

Page Impressions
www.technische-sicherheit.de*



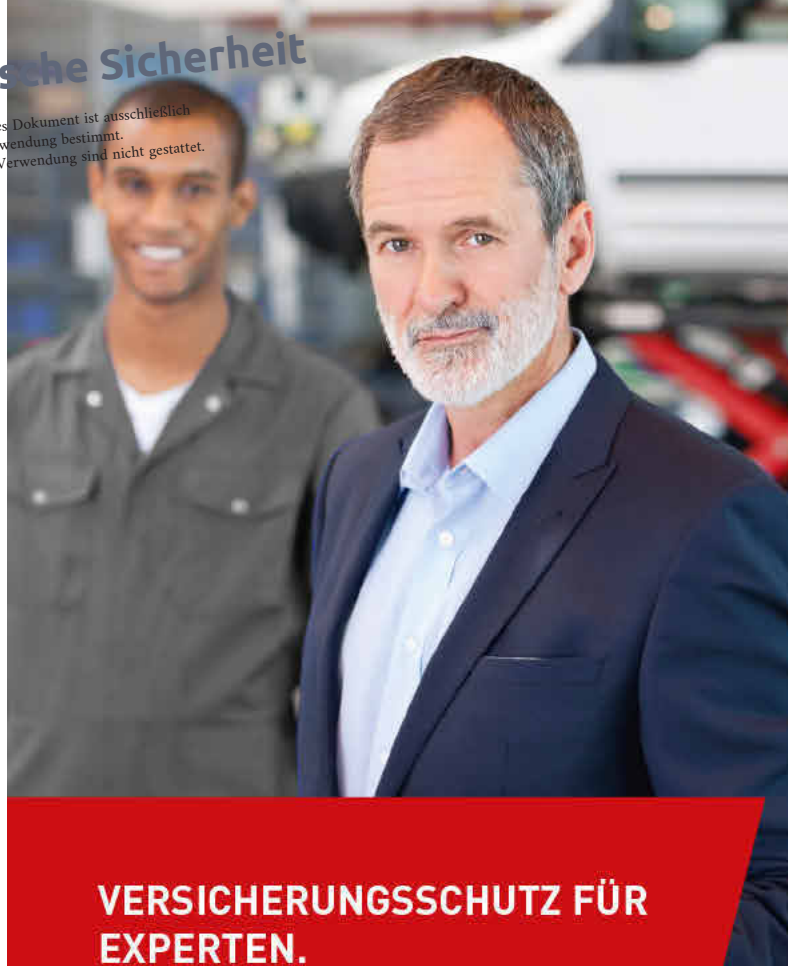
3.185
im Januar 2021

* IVW 01.2021. Reichweite steigend

Wir beraten Sie gerne. Informationen über:
Joanna Klingbiel | Telefon: +49 40 881449-370
jklingbiel@cmc-web.de

TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEURE.
www.vdi-fachmedien.de

VDI fachmedien



VERSICHERUNGSSCHUTZ FÜR EXPERTEN.

Haftpflichtversicherung für Kfz-Sachverständige.

Mit unserer Berufs- und Betriebshaftpflichtversicherung bieten wir Ihnen den optimalen Schutz bei der Ausübung Ihrer Tätigkeit als Kfz-Sachverständiger – beispielsweise bei der Beschreibung, Prüfung, Begutachtung oder Schätzung von Kraftfahrzeugen.

Versichert ist/sind unter anderem:

- » Die Prüftätigkeit nach § 29 StVZO.
- » Versäumung amtlicher Termine und Fristen.
- » Prüfungsfahrten mit fremden Kraftfahrzeugen.
- » Sachschäden an fremden Kraftfahrzeugen.
- » Mietsachschäden.
- » Obhuts-/Bearbeitungsschäden.



VERSICHERUNG
MIT DRIVE

Fahrer- und Verkehrsversicherung VaG

Postfach 3112 42 | 70472 Stuttgart | T 0711 98 889 711 | info@fv.de

www.fv.de



Technische Sicherheit

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument ist ausschließlich für die interne Verwendung bestimmt. Weitergabe und kommerzielle Verwendung sind nicht gestattet.

Jetzt UmweltMagazin* abonnieren, **20% RABATT** bekommen.



6
AUSGABEN
PRO JAHR

* Angebot nur gültig für Neu-Abonnenten

Sie wollen sich über die gesamte Bandbreite ökologisch relevanter Themen unter dem Aspekt wirtschaftlicher Machbarkeit informieren?

Dann abonnieren Sie als Leser der Zeitschrift Technische Sicherheit jetzt das UmweltMagazin*, das Entscheider-Medium für Technik und Management. Auf das Jahres-Abo erhalten Sie im ersten Jahr 20% Rabatt – **statt 128 EUR zahlen Sie nur 102,40 EUR** zzgl. 11 EUR Versandkosten innerhalb Deutschlands!

Jetzt abonnieren!

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG, Leserservice, 65341 Eltville

Telefon: +49 6123 9238-202, Telefax: +49 6123 9238-244, vdi-fachmedien@vuservice.de

TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEURE.
www.vdi-fachmedien.de

VDI fachmedien