

Schlussarbeit von Eliane Franziska Suter im Rahmen des
CAS ETH in Risiko und Sicherheit technischer Systeme

HAUPTTEIL (1/2)

Beurteilung von risikomindernden Massnahmen bei einer
Detektion von leicht entzündlichen Stoffen im Zulauf von
Abwasserreinigungsanlagen (ARAs)

Referentin Tanja Manser, Prof. Dr., Industrial Psychology & Human Factors,
Universität Fribourg

Korreferent Heinz Stahel, Dipl. Chem. HTL, AWEL, Betrieblicher Umweltschutz
und Störfallvorsorge, Kanton Zürich

Vorwort

Das System der ARA (Abwasserreinigungsanlage)

Mehrere tausend motorbetriebene Komponenten^{*)}, Tag und Nacht betreut durch wenige Menschen, gekoppelt mit Einzugsgebieten von Verkehr, Industrie, Gewerbe und privaten Haushalten und – als ein Teil dieser Arbeit – ein Sensor im Abwasserzulauf, welcher leicht entzündliche Stoffe wie z.B. Benzin detektiert.

Ein Grossteil des Abwassers fliesst über die Kanalisation zur ARA. Wie durch „Zauberei“ wird aus schmutzigem Wasser durch technische, chemische und biologische Mechanismen wieder sauberes Wasser (Mikroverunreinigungen derzeit noch ausgenommen).

Wenn aus „heiterem Himmel“ Benzinalarm im ARA-Zulaufkanal ausgelöst wird – was dann?

Diese Arbeit fokussiert auf die Interaktion und das Zusammenwirken des Menschen mit der Technik und vice versa. Dazu werden verschiedene Bereiche und Schnittstellen aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet. Im Alarmfall sollen die situationsrelevanten Informationen rechtzeitig am richtigen Ort eintreffen, um die Möglichkeit für eine angemessene Reaktion zu haben.

Dabei sind die Schnittstellen (Mensch-Maschine, Mensch-Mensch, Maschine-Maschine) von entscheidender Bedeutung, denn schon der Ausfall eines winzigen, scheinbar unwichtigen Teils in einem ungünstigen Moment kann den Signalfluss stoppen und ein System zum Kollabieren bringen.



Sensor im ARA-Zulaufkanal

^{*)}inkl. Messinstrumente, je nach ARA-Grösse bzw. Verfahrenstechnik und Reinigungsstufen

DANK

An alle, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ganz besonders den ARA-Verantwortlichen, ohne deren Mitwirken diese Arbeit unmöglich gewesen wäre.

Dank gebührt auch den Sensor-Technikern sowie den Dozenten des Kurses CAS ETH Risiko und Sicherheit technischer Systeme, insbesondere Martin Glor, Swissi, und Markus von Arx, Suva.

Herzlichen Dank an Jesper Hansen, AWEL Betrieblicher Umweltschutz und Störfallvorsorge, und Urs Holliger, AWEL Gewässerschutz ARA, für die fachliche Unterstützung und wertvollen Tipps.

Inhalt

1	Fragestellung und Ziel der Arbeit.....	4
1.1	Das Ereignis Affoltern als Ausgangslage	4
1.2	Projektbeschreibung.....	4
1.3	Ziel	5
1.4	Überblick angewandte Methodik	5
2	Gesetzliche Grundlagen und Richtlinien.....	6
2.1	Störfallvorsorge	6
2.2	Explosionsschutz	6
3	Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses.....	7
4	ARA-relevante leicht entzündliche Stoffe im Zulauf	8
4.1	Benzin und weitere Stoffe	8
4.2	Welche Menge Benzin im ARA-Zulauf ist gefährlich?.....	9
5	Sensoren.....	9
5.1	Geruchssinn.....	9
5.1.1	Fazit Geruchssensor.....	11
5.2	Technische Messsysteme (Gas-Sensoren, Explosimeter, Gasschnüffler).....	11
5.2.1	Katalytische vs Infrarot-Sensortechnik.....	12
5.2.2	Kalibrierung	13
5.2.3	Positionierung des Sensors	13
5.2.4	Praxisbeispiele Gas-Sensor im ARA-Zulauf – Fazit.....	14
6	Mensch-Maschine-Schnittstellen und Alarmmanagement.....	14
6.1	Mensch-Maschine Schnittstelle.....	14
6.2	Alarm-Signale und Alarmmanagement	15
6.2.1	Anzeige Sensoralarm vs mobile Mehrstoff-Explosimeter.....	15
7	Interview ARA-Personal – Erfahrungen, Wahrnehmung	16
7.1	Methodik.....	16
7.2	Erfahrungen, Wahrnehmung, Einstellung ARA-Personal	17
7.3	Auswertungen der Interviews – Fazit	18
8	Massnahmen im Ereignisfall.....	19
8.1	Fazit zu den Massnahmen im Ereignisfall	20
9	Schlussbetrachtungen.....	21
9.1	Beurteilung und Empfehlungen	21
9.2	Vorschläge möglicher Massnahmen mit Prioritäten.....	23
10	Quellen.....	24

1 Fragestellung und Ziel der Arbeit

1.1 Das Ereignis Affoltern als Ausgangslage

Im Jahre 1994 entgleiste ein Güterzug in Zürich Affoltern. Grosse Mengen Benzin gelangten über die Entwässerung der Gleisanlage in die Kanalisation bis zum Regenbecken Reckenholz. Es entstand ein höchst explosives Gemisch aus Benzindämpfen und Luft, das gezündet wurde. Infolge der Explosionen wurden mehrere hundert Meter Kanalisationsleitungen sowie das Regenbecken, welches ca. 5 km vor der ARA Glatt liegt, zerstört. Dank glücklicher Umstände gab es keine Todesopfer, jedoch zwei leicht- und eine schwerverletzte Person.

Anhang 1: Überblick Ursachen und Schäden Ereignis Zürich Affoltern vom 8. März 1994

Das Ereignis löste einige Folgemaassnahmen aus. Das AWEL Kanton Zürich, Betrieblicher Umweltschutz und Störfallvorsorge (BUS), fordert seither als erster Kanton, insbesondere im Rahmen von ARA-Bauprojekten und Sanierungen, die Installation eines Sensors für leicht flüchtige, explosionsfähige Stoffe im Zulauf von Kläranlagen. Allfällige Signale des Sensors sind dem Stand der Technik entsprechend aufzubereiten und der Telealarmierung sowie der optischen und akustischen Alarmierung vor Ort zuzuführen.

Als Konsequenz der technischen Massnahmen bzw. der Installation eines Sensors im Zulauf der ARA folgt daraus die Schnittstelle zum Mensch bzw. den risikomindernden und rechtzeitig eingeleiteten organisatorischen Massnahmen.

Anhang 2: Überblick Zulaufbereich einer ARA

1.2 Projektbeschreibung

Je nach ARA-System sind nach der Detektion eines leicht entzündlichen Stoffes via Sensor und dem aufbereiteten und weitergeleiteten Signal unterschiedliche Massnahmen zu treffen. Demzufolge ist es dem ARA-Betreiber überlassen, die geeigneten Massnahmen zu definieren und umzusetzen. Die Massnahmen sollen in einem Massnahmenplan aufgeführt, auf der Anlage zugänglich und vom ARA-Personal umsetzbar sein. Daraus stellen sich folgende Fragen:

- Wie werden die Massnahmen im Massnahmenplan definiert und können diese im Falle eines Ereignisses in der Praxis umgesetzt werden?
- Welche Schritte/Massnahmen-kombinationen/Schnittstellen sind kritisch und wieso?
- Ist es sinnvoll, Mindestanforderung für die Umsetzung von Massnahmen zu fordern?
- Welche Mindestanforderungen wären bei welchem ARA-Typ (evtl. mit Einbezug von Umgebungskriterien) vorzuschlagen?
- sind die eingeleiteten Massnahmen schadensmindernd und verhältnismässig?

1.3 Ziel

Wenn Unsicherheiten, Umsetzungsschwierigkeiten und Erfahrungen aus der Praxis erkannt werden und bewusst sind, ist es unter Umständen für den Vollzug hilfreich, Mindestanforderungen zu formulieren. Somit können Fehleinschätzungen von Massnahmenkombinationen/Aktionsketten minimiert werden. Allenfalls ist es sinnvoll, konkretere anlagebezogene Angaben zu verlangen. Anzustreben wäre z.B. eine Formulierung für ARA-Typen mit grösseren/kleineren Risiken bzw. Mensch-Umwelt-Schadenspotenzial.

1.4 Überblick angewandte Methodik

- **Halb-strukturierte Interviews mit drei ARA-Verantwortlichen** (Betriebsleiter), Ermittlung des Ist-Zustandes von drei unterschiedlichen ARA-Typen. Die Befragung wurde vor Ort auf der ARA durchgeführt. Mit dem Betriebsleiter wurden basierend auf dem Alarmplan (falls schriftlich vorhanden) die entsprechenden Schritte bzw. einzuleitenden Aktionen/Reaktionen des ARA-Personals besprochen und besichtigt.
=> Detaillierte Methodik-Beschreibung Interviews siehe Kapitel 7.1
- **Gespräche mit drei Sensor-Lieferanten**, Informationen aus den Produkteunterlagen der in ARAs eingesetzten Sensortechnik: Im Rahmen der Arbeit wurde festgestellt, dass unterschiedliche Ansichten und Meinungen bezüglich der eingesetzten Sensortechnik (z.B. Nutzen, Einsatz) bestehen. Aus diesem Grund war es für die Beurteilung der risikomindernden Massnahmen wichtig, Informationen zum Stand der Sensortechnik zu erhalten. Denn wenn ein Sensor nicht alarmiert, ist er sinnlos bzw. risikofördernd, weil sich das ARA-Personal darauf verlässt. Telefonisch führte ich Gespräche mit Sensorlieferanten, welche auch für die Wartung und Kalibrierung der Gas-Sensoren im Zulauf zuständig sind. Zusätzlich hatte ich die Möglichkeit, bei der Kalibrierung einer Gaswarnanlage teilzunehmen.
- **Recherche und Expertenbefragungen**: Studie von Literatur, Gesetzen, Richtlinien, Empfehlungen. Informationen von Experten, die im Bereich des Explosionsschutzes tätig sind.

2 Gesetzliche Grundlagen und Richtlinien

Die zentralen Ziele des Gewässerschutzes und der Störfallvorsorge sind in verschiedenen eidgenössischen und kantonalen Gesetzen verankert. Ein ARA-spezifischer Überblick wird im „ARA-Leitfaden“ gegeben (Zürcher Umweltpraxis, 2000, S.15 und S. 28). Im Folgenden wird auf die im Zusammenhang mit dieser Arbeit wichtigsten Quellen Bezug genommen. Anzumerken ist, dass sowohl dem Schutz von Personen (Suva), des ARA-Betriebes (AWEL/Betrieblicher Umweltschutz und Störfallvorsorge) und der Gewässer (AWEL/Gewässerschutz) gerecht zu werden ist.

2.1 Störfallvorsorge

Die meisten ARAs des Kantons Zürich fallen in den Geltungsbereich der Störfallverordnung (StFV)^{*)} aufgrund der Lagerung von Fällmitteln.

Für alle Betriebe, die unter die StFV fallen, gilt Art. 3 StFV: Der Inhaber eines Betriebes muss alle zur Verminderung des Risikos geeigneten Massnahmen treffen, die nach dem Stand der Sicherheitstechnik verfügbar, nach seinen Erfahrungen ergänzt und wirtschaftlich tragbar sind. Dazu gehören Massnahmen, mit denen das Gefahrenpotenzial herabgesetzt, Störfälle verhindert und deren Einwirkungen begrenzt werden. Es sind allgemeine Sicherheitsmassnahmen zu treffen, namentlich diejenigen, welche im Anhang 2.1 StFV aufgeführt sind.

Gemäss Art. 23 Abs. 1 der StFV haben die kantonalen Vollzugsbehörden das Einhalten von Art. 3 StFV zu kontrollieren, d.h. festzustellen, ob der Stand der Sicherheitstechnik erfüllt ist. Im Kanton Zürich erfolgt dies in enger Zusammenarbeit mit weiteren Fachabteilungen (insbesondere der Kantonalen Feuerpolizei und dem Amt für Wirtschaft und Arbeit/Arbeitsbedingungen beziehungsweise der Suva). Damit wird das Vorgehen verschiedener Ämter gegenüber den Betrieben soweit als möglich koordiniert (Art. 15 StFV).

Die betrieblichen Sicherheitsvorkehrungen werden im Rahmen von periodischen Sicherheitsinspektionen von kantonalen Fachstellen überprüft.

**) Verordnung über den Schutz vor Störfällen vom 27. Februar 1991, basierend auf dem Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (USG) und dem Gewässerschutzgesetz vom 24. Januar 1991 (GSchG)*

2.2 Explosionsschutz

Da die Möglichkeit zur Bildung explosionsfähiger Gemische besteht, ist gemäss Suva-Merkblatt «Explosionsschutz (Grundsätze¹⁾, Mindestvorschriften²⁾, Zonen) 2013», der Arbeitgeber gefordert, Massnahmen zum Explosionsschutz zu treffen: (1) Verhinderung der Bildung explosionsfähiger Atmosphären, (2) Vermeidung der Zündung explosionsfähiger Atmosphären, (3) Abschwächung der schädlichen Auswirkungen einer Explosion, um die Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten.

Bezüglich Explosionsschutz auf ARAs sind im Suva-Merkblatt, 2013, S. 102f, zwei Beispiele aufgeführt:

- Regenbecken (Inhalt unter 500 m³)³⁾
 - Ex-Zone 2
 - Fest installierte oder mobile künstliche Lüftung für das Einsteigen
- Rechengebäude
 - natürliche oder künstliche Raumlüftung
 - Zulaufkanal Ex-Zone 2

Es liegt im Ermessensspielraum der Behörden, die geeigneten risikomindernden Ex-Schutz-Massnahmen im Gesamtsystem einer ARA und mit Berücksichtigung des Einzugsgebietes festzulegen und im Rahmend des Vollzugs durchzusetzen.

¹⁾ Das Merkblatt konkretisiert die Bestimmungen von Art. 29 „Zündquellen“ und Art. 36 „Explosions- und Brandgefahr“ der Verordnung des Bundesrates vom 19.12.1983 über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (SR 832.30)

²⁾ Das Merkblatt beschreibt die Mindestvorschriften gemäss europäischer Richtlinie 1999/92/EG zur „Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden könnten“ (genannt ATEX 137).

³⁾ Gemäss Markus von Arx, Suva, 2013, sind die <500 m³ für Ex-Zone 2 als pragmatischen Ansatz aufzufassen und dienen lediglich als Richtlinie.

3 Eintretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses

Wie hoch ist Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt? Bei dieser Frage gehen die Meinungen stark auseinander. Gemäss der Unfallstatistik des Kantons Zürich (AWEL-Pikettdienst) sind Benzinunfälle relativ selten.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit für den Eintrag von entzündlichen Stoffen auf eine ARA ist u.a. abhängig von folgenden Faktoren:

- **Gefahrguttransporte via Strasse:** Die Häufigkeit eines Störfalles auf einer Strasse hängt direkt mit der täglich auf dieser Strasse transportierten Menge an Gefahrgütern zusammen. Schätzungen oder konkrete Zählungen zu den Beförderungsmengen an leicht entzündlichen Stoffen wie z.B. Benzin sind für stark befahrene Strassen im Chemierisikokataster (CRK) Kanton Zürich enthalten. Zu berücksichtigen sind standortspezifische Gegebenheiten wie z.B. Tanklager, die auch abseits von hoch frequentierten Strassen das Gefahrenpotenzial spezifischer Stoffeinträge erhöhen.
- **Strassenentwässerung:** Anteile Strassenabschnitte, die im Mischsystem entwässern. Insbesondere im Bereich von Siedlungsgebieten entwässern viele Strassenabschnitte via Kanalisation in die ARA.
- **Gefahrguttransporte via Bahn:** Schätzungen oder konkrete Zählungen zu den Beförderungsmengen an leicht entzündlichen Stoffen wie z.B. Benzin sind Bestandteil des CRK Kanton Zürich. Insbesondere Bahnhöfe sind zum Teil an die Kanalisation angeschlossen. Daten dazu sind von der entsprechenden Gemeindebehörde erhältlich.
- **Störfallbetriebe im ARA-Einzugsgebiet.** Im Zusammenhang mit leicht entzündlichen Stoffen sind v.a. die Lager- und Umschlagmengen von nahe liegenden Betrieben, d.h. im Umkreis von

ca.1 km, relevant. Zwar ist anzunehmen, dass die Umschlagplätze abgesichert sind und ein Löschwasserrückhalt vorgesehen ist. Gefahrguttransporte sind jedoch lokal konzentrierter und das Gefahrenpotenzial spezifischer Stoffeinträge ist erhöht. Informationen zum potentiellen Stoffeintrag in die ARA sind unter Umständen bei der Kalibrierung des Sensors wichtig.

Eine Einschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit kann je nach ARA-Situation Sinn machen, ist aber in dieser Arbeit nicht vorgesehen.

Am Beispiel des Grossunfalls in Zürich-Affoltern wurde für eine Auswahl von betroffenen Bauwerken im Abwassersystem (z.B. Regenbecken und andere Sonderbauwerke) eine Risikoanalyse durchgeführt. Als Beurteilungskriterien für das Schadensausmass wurden die Indikatoren "Tote", "Verletzte" und "Infrastrukturschäden" ausgewählt (Zürcher Umweltpraxis, 2000, S. 21ff).

4 ARA-relevante leicht entzündliche Stoffe im Zulauf

4.1 Benzin und weitere Stoffe

Vorausgesetzt, im nahen Einzugsgebiet einer ARA befindet sich kein Industriebetrieb mit anderen leicht entzündlichen Flüssigkeiten, kann als Stoff mit der grössten Eintretenswahrscheinlichkeit und dem grössten Gefahrenpotential „Benzin“ angenommen werden.

Benzin besitzt einen sehr niedrigen Flammpunkt ($< -20^{\circ}$), ist folglich leicht entzündbar und bildet mit der Luft gesundheitsschädliche, explosionsfähige Gemische. Die untere Explosionsgrenze (UEG) von 0,6 Vol.-% führt dazu, dass bereits geringste Mengen Benzindämpfe eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden können. Auch die Zündtemperatur der Gase und Dämpfe liegt mit ca. 220°C sehr niedrig (Suva, 2010).

Die entstehenden Benzindämpfe sind deutlich schwerer als Luft und verdünnen sich nur sehr langsam mit der Luft. Ihr Ausbreitungsverhalten ist mit Flüssigkeiten vergleichbar, d.h. sie fliessen zu tiefer gelegenen Punkten, sammeln sich dort an und können eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden. Diese Eigenschaft ist im Zusammenhang mit der Positionierung eines Gassensors zentral.

Weitere Beispiele von leicht entzündlichen Stoffen, die im ARA-Zulauf eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden können (Flammpunkt F-Klasse: F1 und F2) sind: Farben/Lacke, Organische Lösungsmittel (Hexan, Toluol, Diethylether, Aceton, Methanol, Ethanol), Methan/Propan, Acrylnitril (Zürcher Umweltpraxis, 2000, S. 18).



Gefahrensymbole für entzündliche Flüssigkeiten.

Die Dämpfe entzündlicher Flüssigkeiten sind im Allgemeinen explosiv. Der Funke eines Lichtschalters oder einer elektrostatischen Entladung kann diese Dämpfe entzünden und zu einer Explosion führen.

4.2 Welche Menge Benzin im ARA-Zulauf ist gefährlich?

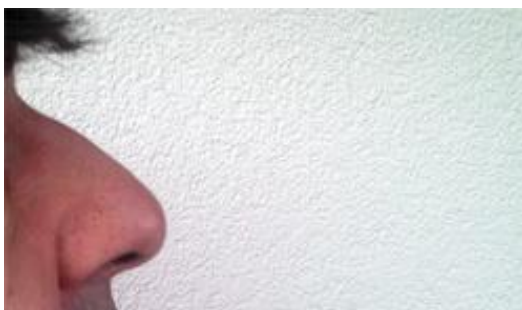
Sind 100 Liter Benzin, die auf eine ARA zufließen viel oder wenig? Wie lange dauert es, bis 100% UEG erreicht ist und ein winziger Funke eine riesige Explosion auszulösen vermag? Das lässt sich nicht so einfach beantworten. Eine ARA ist ein dynamisches System, welches von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Es spielt also nicht nur die Distanz zum Störfallereignis eine Rolle, bzw. wie schnell das Benzin die ARA erreichen kann, sondern Faktoren wie:

- Wechselnder Wasserstand im ARA-Zulauf je nach Tageszeit (i.d.R. am Tag mehr Wasser, in der Nacht weniger) und Niederschlagsverhältnissen.
- Schwankende Wasser- und Umgebungstemperaturen, je nach Jahreszeit bildet sich eine explosionsfähige Atmosphäre unterschiedlich schnell, z.B. im Sommer bei 40°C im Zulauf schneller als im Winter. Auch die Wasserlöslichkeit kann dadurch variieren.
- Dimensionierung des Zulaufs, Verhältnis von Benzin zu Wasser, z.B. bei Einlauf von 100 Liter ist es entscheidend, ob die Verteilung in einem 1m- oder 2m-Kanal erfolgt.

5 Sensoren

Das Wissen, ob ein gefährlicher Stoff in die ARA hineinfließt, bringt Informationsvorteile. Sensoren sind daher nützliche Instrumente, um explosionsfähige Atmosphären „sinnbar“ zu machen und Alarm auszulösen. Die richtige Interpretation des Signals und die Einleitung zweckmässiger Massnahmen, bzw. das Verhindern situationsunangepassten Verhaltens, sind von zentraler Bedeutung, um Schaden an Mensch, Anlage und Umwelt verhindern zu können.

5.1 Geruchssinn



„Die Nase zeigt mir sofort, ob ein leicht entzündlicher Stoff wie Benzin im ARA-Zulauf ist“! Das ist eine mehrfach gehörte Aussage des ARA-Personals.

Doch wie zuverlässig ist der menschliche Geruchssinn?

Im Zusammenhang mit der Erkennung/Wahrnehmung von leicht entzündlichen Stoffen wie z.B. Benzin sind die meisten Stoffe, die im ARA Zulauf auftreten könnten, durch einen ausgeprägten Geruch gekennzeichnet.

In Tabelle 1 werden Beispiele zur Geruchsschwelle von ARA-relevanten leicht entzündlichen Stoffen in Bezug zum Zündbereich der Stoffe gesetzt. Dazu wurde die Geruchsschwelle eines Menschen in „parts per million“ (ppm) als Mass für die wahrnehmbare Konzentration in der Luft aufgeführt. Der Zündbereich der Stoffe (Konzentrationsintervall, in dem ein Gas-Luft-Gemisch zündfähig ist) wurde von

Vol.-% in ppm umgerechnet. Insbesondere die untere Explosionsgrenze (UEG) spielt bei der Detektion von explosionsfähigen Atmosphären im ARA-Zulauf eine entscheidende Rolle.

Tabelle 1: Geruchsschwelle in Bezug zum Zündbereich von ARA-relevanten Stoffen

Stoffname	Geruchsschwelle ¹⁾ (ppm)	UEG ²⁾ (ppm)	OEG ³⁾ (ppm)	Beschreibung
Benzin	0.25	10'000	80'000	Geruch bekannt
Toluol	1.60	10'000	70'000	Geruch bekannt (benzinähnlich)
Hexan	65.00	10'000	80'000	Geruch bekannt (benzinähnlich)
Aceton	62.00	20'000	130'000	Lösungsmittel, ähnlicher Geruch wie Aethylacetat (Farben/Lacke). Gut wasserlöslich, daher geringere Gefährdung.
Ethanol	100.00	30'000	150'000	weniger als fremd bzw. gefährlich wahrnehmbar, da bekannter alkoholartiger Duft. Gut wasserlöslich, daher geringere Gefährdung.
Propan	16'000.00	20'000	110'000	wahrnehmbarer Geruch knapp im UEG-Bereich (i.d.R. wird Propan odoriert, damit es früher wahrnehmbar wird)
Styrol	1.00	10'000	90'000	stechend, fremd, anders als Benzin

¹⁾Geruchsschwelle = Odor Limit Concentration. Daten aus Modelle für Effekte mit toxischen und brennbaren Gasen (2004), Isi Technologie GmbH.

²⁾UEG = Untere Explosionsgrenze oder unter Zündgrenze ³⁾OEG = Obere Explosionsgrenze oder obere Zündgrenze

Werte zwischen UEG und OEG bedeuten, dass durch den Funken eines Lichtschalters oder einer elektrostatischen Entladung eine Explosion entfacht werden kann.

Aus der Tabelle 1 wird ersichtlich, dass z.B. Benzin zu einem sehr frühen Zeitpunkt wahrgenommen werden kann, Propan hingegen erst im Bereich der UEG. In diesem Fall könnte der menschliche Geruchssinn nicht mehr als Warnsignal funktionieren, weil die UEG in der Grössenordnung der Geruchsschwelle liegt (evtl. zu spät für Reaktion bzw. „letzte Wahrnehmung“ bei Explosion).

Im Zusammenhang mit dem Geruchssinn ist folgendes zu bemerken (Bützer, 2003):

- Der Geruch ist direkt mit dem archaischen Teil des Gehirns verknüpft, der in Verbindung mit Gedächtnis und Emotionen steht. Der Mensch verlässt sich evtl. unbewusst eher auf seine eigene Wahrnehmung als auf eine Technologie.
- Die Geruchsschwelle ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich und gekoppelt mit emotionalen und kognitiven Komponenten wie Erfahrungen, Kenntnissen, Ansichten aus dem sozialen Umfeld, sowie Vertrauen in die eigenen Wahrnehmungsfähigkeiten oder der positiven/negativen Einstellung zu einer Technologie.
- Gewöhnungsmechanismus, d.h. es kann sein, dass der Geruch nicht mehr als bedrohlich wahrgenommen wird, obwohl er es sein könnte (Ausblendung, Warnsignal entfällt).

Zwar kann der menschliche Geruchssensor in vielen Fällen detektieren, ob der Stoff vorhanden ist oder nicht. Wo der Mensch hingegen versagt, ist die Entscheidung zu treffen, ob bereits mit einer explosionsfähigen Atmosphäre zu rechnen ist. Das kann auch nicht trainiert werden.

5.1.1 Fazit Geruchssensor

Zur Detektion von vielen leicht entzündlichen Stoffen, die im Zulauf einer ARA auftreten können, ist die Nase bzw. der Geruchssinn ein relativ guter Sensor!

Mit „schnüffeln“ kann bei einem Grossteil der Fälle zwischen „Stoff vorhanden“ und „Stoff nicht vorhanden“ richtig getippt werden. Es gibt aber Stoffe, die keine explosionsfähige Atmosphäre bilden und einen ausgeprägten Geruch aufweisen. D.h. es besteht auch die Möglichkeit, via Geruch einen „nicht relevanten Stoff“ als „gefährlichen Stoff“ zu identifizieren. Das erzeugt Unsicherheit.

Beim Erkennen einer explosionsfähigen Atmosphäre versagt der menschliche „Nasen-Sensor“ in jedem Fall. Ob eine UEG erreicht ist oder nicht, kann nicht wahrgenommen werden. Bereits die Einstufung von „viel“ oder „wenig“ gefährlichem Stoff im Zulauf ist kaum möglich.

Folglich handelt es sich bei der Erkennung/Wahrnehmung von leicht entzündlichen Stoffen im Zulauf einer ARA um Signale, die im Sinne der Signalentdeckungstheorie mit dem menschlichen Geruchsorgan nicht in allen Fällen und nur sehr ungenau detektiert werden können (Green, Swets, 1966). Eine frühzeitige Erkennung würde ausserdem voraussetzen, dass sich der Mensch permanent vor Ort, d.h. im besonders unangenehm nach Fäkalien riechenden Rechengebäude aufhalten müsste. Das ist auf einer ARA nicht vorgesehen.

5.2 Technische Messsysteme (Gas-Sensoren, Explosimeter, Gasschnüffler)

Eigentlich bin ich von Tayler, 1994, schon vorgewarnt worden: „All sensor systems have installation and calibration problems, which can lead to failure“. Wenn der Sensor nicht funktioniert, sind alle noch so gut geplanten Folgemassnahmen nutzlos, d.h. der damit verbundene Aufwand ist vergeblich, das entgegengebrachte Vertrauen sogar risikofördernd.

Es sind zwei Hauptprinzipien der Sensor-Messtechnik, die in der Gegenwart als Gas-Sensor im Zulauf von ARAs eingesetzt werden. Es wird hier versucht, einen groben Überblick über den Stand der Technik zu geben. Bei den eingesetzten Werten handelt es sich um Erfahrungs-, Richt-, Schätz- und Mittelwerte, die u.a. auf Gesprächen mit Fachkräften aus Planungs-, Liefer- und Wartungsfirmen basieren. Für genaue Details sind die Produktehersteller und/oder Lieferanten zu konsultieren. Zu erwähnen ist, dass die Geräte gemäss den ATEX-Leitlinien für Geräte- und Anlagenbauer konzipiert sein müssen, d.h. gemäss der Verordnung für Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (VGSEB).

5.2.1 Katalytische vs Infrarot-Sensortechnik

Die Angaben sind in Tabelle 2 grob zusammengefasst und geben einen Überblick.

Tabelle 2: Vergleich von Gassensoren mit Katalytischer vs Infrarot-Sensortechnik

	Katalytische Gas-Sensoren (Katalytische Wärmetönung, Pellistor)	Infrarot Gas-Sensoren
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ mindestens für ATEX Zone 2 ▶ für brennbare Gase 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ mindestens für ATEX Zone 2 ▶ für brennbare Gase
Messprinzip	<p>Heizelemente in der Sensorkammer werden auf 500-600°C erhitzt</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ eventuell vorhandenes brennbares Gas wird katalytisch verbrannt ▶ Signalübermittlung/Alarm. 	<p>Absorption von Infrarotstrahlen an spezifischen Wellenlängen beim Durchdringen von Gasen. Durch eindringendes Gas verändern sich die relativen Wellenlängen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Signalübermittlung/Alarm
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bekannte, bewährte Technologie ▪ Einfach und günstig zu warten (z.B. Ersatz von Sensorteil) ▪ Weniger empfindlich bei Feuchtigkeit und Kondensation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Immun geg. Katalytgifte ▪ Muss weniger oft kalibriert werden ▪ Funktioniert auch in ständiger Anwesenheit von Gas ▪ In variierenden Zuständen grössere Zuverlässigkeit ▪ Kann Werte >100% UEG detektieren
Nachteile	<p>Empfindlich gegenüber Katalytgiften</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Im ARA-Zulauf nicht erwünscht aber möglich sind z.B. folgende Katalytgifte: Schwefelwasserstoffe, flüchtige organische Schwefelverbindungen wie Thiole sowie flüchtige chlorierte Verbindungen. 	<p>Höhere Anfangskosten</p> <p>Evtl. höhere Unterhaltskosten bei Betrieb in feuchter, korrosiver Umgebung</p>
T90-Reaktionszeit	Weniger schnell, ca. 12-13s	Schneller, ca. 7s
Lebensdauer	Länger, da Messteil reparier- und austauschbar	Kürzer, da Messteil nicht austauschbar
Wartungsrhythmen	Min. 1 Mal / Jahr	Max. 1 Mal / Jahr (integrierte Selbstüberwachung)
Kosten (ohne Installation, Wartung, Einbindung Leitsystem)	<1000 CHF	> 1000 CHF (ca. doppelt so teuer wie Pellistor)

Falls keine Katalytgifte im Zulaufkanal vorhanden sind, ist ein katalytischer Sensor gut geeignet. Ansonsten sollte auf einen Infrarot-Sensor ausgewichen werden.

5.2.2 Kalibrierung

Die Kunst besteht darin, einen Sensor entsprechend dem potentiell empfindlichsten Stoff im ARA-Zulauf zu kalibrieren. Im Zusammenhang mit leicht entzündlichen Stoffen und der damit verbundenen Bildung einer explosiven Atmosphäre geht es im Prinzip um die Detektion von Kohlenwasserstoffen. Aufgrund der Konzentrationsschwellen, insbesondere der unteren Explosionsschwelle von Dämpfen, müssen die Sensoren entsprechend kalibriert werden, damit diese zuverlässig funktionieren können.

Auf folgende Punkte ist bei der Kalibrierung besonders zu achten:

- kalibriert wird auf das empfindlichste Gas, in der Regel mit Methan auf ein empfindliches Benzingeremisch (z.B. Düsenkraftstoff CAS 86290-81-5 mit 1.4 Vol-% UEG wird so eingestellt, dass bei 20% UEG Voralarm und bei 40% Hauptalarm ausgelöst wird).
- mit Hilfe einer Querempfindlichkeitstabelle wird der Kalibrierwert bestimmt, es kann somit auch mit Ethylen, Propan, Butan kalibriert werden.
- Alarm 1 (Voralarm) bei 20% UEG / Alarm 2 (Hauptalarm) bei 40% UEG (gem. Hersteller Sicherheitsanlagen „besser etwas zu früh als zu spät“, da Hauptalarm offiziell ab 50% UEG)

5.2.3 Positionierung des Sensors

Die Kalibrierung auf den richtigen Stoff ist wichtig, entscheidend jedoch ist die Positionierung des Sensors im Zulauf.

Im DWA-Arbeitsbericht 2005, S. 12f, steht folgendes: Gaswarnanlagen mit Auslösungen von Schaltungen oder Notfunktionen sind insbesondere in Einlaufbereichen von abwassertechnischen Anlagen sinnvoll. Anordnung und Auswahl von Sensoren einer Gaswarnanlage sind im Einzelfall festzulegen. Als Richtlinie für brennbare Dämpfe gilt: *Der Sensor ist im Einlaufbereich des in Wasserflussrichtung ersten geschlossenen Gebäudes einer ARA knapp oberhalb des maximalen Wasserstandes im Gerinne zu installieren.* Grundlage ist die Festlegung des Bereiches, in dem eine aus dem Kanal eingetragene Atmosphäre brennbarer Dämpfe oder Gase zuerst in einem geschlossenen Raum frei wird.“

Aufgrund der feuchten Umgebungsbedingungen und der hohen Dynamik einer ARA bezüglich Wasserstand im Zulauf ist es in der Praxis schwierig, die goldene Mitte zwischen optimaler Detektion, keine Überflutung, keine Fehlalarme und wartungsfreundliche Bedingungen zu finden. Unter Umständen wurde der Sensor nachträglich in eine bereits bestehende Gaswarnanlage integriert.

Auf folgende Punkte ist bei der Positionierung von Sensoren im ARA-Zulauf besonders zu achten:

- Ein Grossteil von Fehlalarmen oder „Nicht-Anzeigen“ ist auf ein Umgebungsproblem zurückzuführen (z.B. wegen Katalytkgiften)
- Positionierung in Absprache mit dem Lieferanten bzw. der Wartungsfirma
- **Positionierung im geschlossenen Kanal:** Sensor an Kanaldecke montieren, Kanal sollte nicht überschwemmt werden
- **Positionierung im offenen Kanal oder Kanal mit Gitterrost:** Sensor auf einem dem Kanal angepassten Schwimmer montieren (ca. 15 cm Wasserabstand)
- Je nach Situation müssen neue Halterungen konzipiert werden.

5.2.4 Praxisbeispiele Gas-Sensor im ARA-Zulauf – Fazit

Es hat sich anhand der betrachteten ARA-Beispiele gezeigt, dass nicht die Geräte selbst eine zuverlässige Signalübermittlung verhindern, sondern die „Mensch-Mensch-Schnittstelle“ ARA-Betreiber – Sensor-Lieferant (z.B. Kommunikation, Zeitdruck, Einstellung/Überzeugung, Alltagsrhythmen). Einen ARA-Betreiber zu überzeugen, dass sein Sensor allenfalls nicht richtig positioniert oder kalibriert worden ist, braucht Beratungszeit und Kommunikationstalent. Ausserdem kann das Vertrauensverhältnis darunter leiden, wenn frühere Empfehlungen korrigiert werden.

Von den 3 Sensorsystemen im Zulauf (2 katalytische, 1 Infrarot-Sensortechnik) würden mit grosser Wahrscheinlichkeit lediglich eines rechtzeitig und mit korrekter Anzeige das Alarm-Signal bei >50% UEG übermitteln. Bei den anderen zwei (1 katalytisch, 1 Infrarot) ist zu erwarten, dass aufgrund der ungeeigneten Positionierung (beide) und Kalibrierung (eines der Sensorsysteme) im Ereignisfall kein Alarm ausgelöst würde.

Das Verlassen des Menschen auf die Sensor-Technologie ist folglich nur in einem der in der Praxis untersuchten Beispiele risikomindernd, in den zwei von drei wird das Risiko sogar erhöht bzw. der Geruchssinn würde in diesem Fall zuverlässiger alarmieren als der Sensor.

Anhang 3: Technische Messsysteme (Gas-Sensoren) – Praxisbeispiele

6 Mensch-Maschine-Schnittstellen und Alarmmanagement

6.1 Mensch-Maschine Schnittstelle

Unter einem Mensch-Maschine-System wird gemäss Manzey, D. (2013) folgendes verstanden: Zielgerichtetes Zusammenwirken eines oder mehrerer Menschen mit einem technischen System zur Erfüllung eines fremd- oder selbstgestellten Auftrages (N. Johannsen, 1993; Timpe & Kolrep, 2000).

Aus Sicht des AWEL, Betrieblicher Umweltschutz und Störfallvorsorge, sind im Zusammenhang mit der Detektion von leicht entzündlichen Stoffen im Zulauf bezüglich Alarmübermittlung folgende Massnahmen notwendig.

1. Der Alarm muss optisch und akustisch als Alarm erkannt werden können.
2. Wenn der Alarm nicht quittiert wird, muss der Alarm automatisch weitergeleitet werden an den Pikettmitarbeiter der ARA.

Es handelt sich hiermit um die Forderung nach einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (Benutzerschnittstelle), die im Hinblick auf ein bestehendes Prozessleitsystem (PLS) mit diesem gekoppelt werden muss. Die Umsetzung kann auf verschiedenste Weise ausgeführt werden, d.h. von nur teilweise oder am Rande gekoppelt bis vollständig integriert. Die Kosten sind dementsprechend variabel. Die Integration eines Sensorsystems in ein PLS ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Im Zusammenhang mit einer für die Folgemassnahmen geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstelle waren im Rahmen der Arbeit folgende Fragen zentral:

- Wo gibt es ein akustisches Signal und wie tönt es? (Wahrnehmung)
- Auf welchen optischen Anzeigen erscheint die Information Sensor-Alarm? (Informationszugang)
- Wie sind die optischen Anzeigen gestaltet? (Informationsgehalt, Interpretierbarkeit, Bedienung).

6.2 Alarm-Signale und Alarmmanagement

Ein Alarm ist ein Ereignis, das eine unverzügliche Reaktion des Anlagenfahrers erfordert.

Bei den drei ARA-Praxisbeispielen dieser Arbeit wurde festgestellt, dass die Signale des Sensors dem Stand der Technik entsprechend aufbereitet und der Telealarmierung sowie der optischen und akustischen Alarmierung vor Ort zugeführt werden. Die Signalübermittlung wird unterschiedlich im System eingebunden und visualisiert. Die Information Hauptalarm bzw. Überschreitung 50% UEG-Schwelle kann kommuniziert werden, vorausgesetzt, die Sensoren sind entsprechend kalibriert und positioniert.

Die genauen UEG-Werte bei Voralarm und Hauptalarm standen beim ARA-Personal nicht im Zentrum. Die Einstellung des Personals ist sehr praxisorientiert. Bei Sensor-Alarm sind gewisse Folgemaassnahmen zu treffen, das genügt.

Zusammengefasst wurden folgende Alarm-Übertragungsvarianten eingesetzt:

- Akustisches Signal: Lauter Warnton in verschiedenen Anlageteilen, Signal für Pikett-Mitarbeiter wahlweise auf Pager oder Natel.
- Optisches Signal: Anlage (Blinklicht an verschiedenen Stellen), auf Bildschirm PLS (Betriebsgebäude, evtl. PLS-Stationen auf ARA, evtl. Heimwartung).
- Genaue Werte (Voralarm oder Hauptalarm): entweder auf PLS (Bildschirm) und/oder bei Steuersystem der Gaswarnanlage vor Ort nahe Sensor.
- In zwei von drei Beispielen konnte die Sensor-Messkurve auf dem PLS abgerufen werden (ermöglicht das Erkennen eines Fehlalarms durch einen Peak bzw. schnellen Kurven-Anstieg/-Fall).

6.2.1 Anzeige Sensoralarm vs mobile Mehrstoff-Explosimeter

Die Messwerte mit einem mobilen Mehrstoff-EXmeter sind bei der Detektion von leicht entzündlichen Stoffen im ARA-Zulauf mit Vorsicht zu geniessen. Beispielsweise sind die verbreiteten Vier-Stoff-Geräte gemäss Suva auf Kohlenmonoxid, Schwefelwasserstoff, Sauerstoff und UEG Methan geeicht. Benzin jedoch ist ein Stoffgemisch aus Hexan, Heptan, Toluol etc. Weil das mobile Gerät auf UEG Methan kalibriert ist, wird es nur auf Kohlenwasserstoff reagieren, d.h. es würden im Falle von Benzin nur 60% der effektiven Konzentration angezeigt werden. Konkret heisst das: eine 50%-Anzeige des EXmeters würde bedeuten, dass im Rechengebäude bereits ca. 85% UEG vorhanden ist!

Aufgrund der Gespräche mit dem ARA-Personal entsteht der Eindruck, dass die Schwierigkeit der Interpretation von UEG-Werten, welche aus den Kalibrierungs- und Messunterschieden der Geräte resultiert, stark unterschätzt wird.

Anhang 4: optische Alarm-Signale – Praxisbeispiele

7 Interview ARA-Personal – Erfahrungen, Wahrnehmung

7.1 Methodik

Anfangs beabsichtigte ich in Absprache mit Prof. Dr. Tanja Manser, mit der sogenannten Critical Incident Technique (CIT) zu arbeiten (Flanagan, 1954). Bei dieser Art der Befragung werden die Interviewpartner gezielt nach Situationen gefragt, wo das interessierende Ereignis (z.B. Reaktion auf Sensor-Alarm im ARA-Zulauf) sehr positiv gelaufen ist bzw. nicht gut gelaufen ist. Aus diesen erzählten Erfahrungen des ARA-Personals werden anschliessend Erfolgsfaktoren abgeleitet. Mit dieser Technik wird versucht, die rein technischen Fähigkeiten zu durchbrechen und zu emotional verknüpften menschlichen Faktoren wie persönlicher Einstellung, Vertrauen oder Skepsis zu gelangen.

Bereits frühzeitig wurde festgestellt, dass diese Technik aus folgenden Gründen nicht geeignet ist:

- Es gibt keine Ereignisse im Erfahrungsbereich des ARA-Personals, weder positive noch negative im Zusammenhang mit Sensor-Alarm aufgrund leicht entzündlicher Stoffe im ARA-Zulauf.
- Als Folge einer ungeeigneten Kalibrierung und/oder Positionierung wird angenommen, dass:
 - (1) die Sensor-Anzeige bei allenfalls kleinen Einträgen von leicht entzündlichen Stoffen indifferent geblieben ist
 - (2) zahlreiche Fehlalarme als negative Erfahrung eingeflossen wären.

Deshalb wurde der methodische Schwerpunkt auf das halb-strukturierte Interview gelegt (Mayer, 2013, S. 37). Im Vorfeld der Befragung wurden die Leitfragen als Gedankenstütze und Richtlinie vorbereitet, jedoch nicht mit der Absicht, sie den Interviewpartnern vorgängig zuzustellen. Während des Interviews wurde keine zwingende Reihenfolge verfolgt, sondern die Fragen entsprechend dem geführten Gespräch angepasst. Wichtig dabei ist, dass der Interviewer darauf achtet, dass der Interviewpartner genügend Freiraum für die Erzählungen hat, nicht allzu weit vom Thema abschweift und dass vom Interviewer an entscheidenden Stellen nachgefragt bzw. vertieft wird.

Die Interviews fanden direkt auf den ARAs statt. Es wurde darauf geachtet, dass der Interviewpartner wenn möglich am Ort der Aktion/Massnahme erzählte und seine Handlungen direkt zeigte. Wichtige Passagen wurden visuell und akustisch aufgezeichnet, damit allfällige Verzerrungen/Täuschungen (z.B. durch Art und Weise der Fragestellung der Interviewerin) minimiert werden konnten.

Anhang 5: Leitfaden Interviews mit ARA-Personal

7.2 Erfahrungen, Wahrnehmung, Einstellung ARA-Personal

Im Hinblick auf die Befragung und die hier dargestellten Erkenntnisse ist zu berücksichtigen, dass es sich um drei Interviews mit ARA-Verantwortlichen von drei differenten Kläranlagen handelt. Die Auswahl erfolgte nicht zufällig, sondern einerseits aufgrund der Anlagengrösse, d.h. nicht zu abgelegen und zu klein, aber auch nicht zu gross mit organisatorisch vielschichtigen Strukturen, die mehr als 6 Personen auf der ARA verlangen. Auf den betrachteten ARAs kann es vorkommen, dass sich lediglich eine Person mit je nach ARA-Grösse bzw. Verfahrenstechnik und Reinigungsstufen mehreren tausend motorbetriebenen Komponenten (inkl. Messtechnik) aufhält.

Wie in Tabelle 3 ersichtlich, besitzt das befragte ARA-Personal einen unterschiedlichen Erfahrungshorizont mit dem Sensor im Zulauf.

Tabelle 3: Erfahrungshorizont mit dem Sensor im Zulauf

3 Interviewpartner>>	A	B	C
Auf ARA beschäftigt (in Jahren)	>10	3-5	>5
Erfahrung mit Sensor (in Jahren)	7-8	5-6	1-2
Vergleich Situation vor/nach Installation des Sensors möglich?	ja	nein	ja

Die Erfahrungen, Wahrnehmung und Einstellung des ARA-Personals mit dem Sensor im Zulauf werden in Tabelle 4 zusammengefasst*).

Tabelle 4: Erfahrungen, Wahrnehmung und Einstellung des ARA-Personals

Ausgewählte Leitthemen/Fragen	Zusammenfassung der Antworten/Interpretation
<p>Zustand vor bzw. nach Installation des Sensors</p> <p>Was hat sich verändert durch den Einsatz des Sensors?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es werden keine Unterschiede festgestellt. ▪ Der Sensor wird als ein zusätzliches Anlagenteil des Gesamtsystems aufgefasst. Diesem Teil wird keine besondere Aufmerksamkeit geschenkt, erst „wenn Alarm eintreten sollte...“ ▪ Einer der drei Interviewpartner erklärt, dass er den Sensor zwar habe und ihn pflege, jedoch sei er kein „Fan“ davon.
<p>Vertrauen in die Zuverlässigkeit</p> <p>Haben Sie Vertrauen in den Alarm bzw. dass der Sensor richtig misst?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zwei von den drei Befragten vertrauen ihrem Sensor und dem ausgelösten Alarm, einer jedoch ist weniger überzeugt und gibt auf meine Rückfrage hin einen Misstrauensprozentsatz von 50% an (eigentlich wären in diesem Fall wegen der ungeeigneten Sensor-Positionierung sogar 99% gerechtfertigt). ▪ Alle Befragten würden den Alarm mit dem Nasen-Sensor und dem mobilen Explosimeter verifizieren. ▪ Eine Person überprüft die Funktion des Sensors ab und zu, indem sie sich mit Lösungsmittel dem Sensor nähert.

<p>(Kein) Alarm und/oder Fehlalarm Hatten Sie bereits Sensor-Alarm oder Fehlalarm?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einer der drei Interviewpartner war mit Fehlalarm und ständigen Defekten des Messteils konfrontiert. Darauf wurde veranlasst, eine andere Positionierung vorzunehmen. ▪ Zwei der Befragten sind mit starken Gerüchen konfrontiert worden und waren erstaunt, dass der Sensor nur <1% UEG bzw. gar nichts anzeigte (ungeeignete Kalibrierung/Positionierung). ▪ Ansonsten sind keine Erfahrungen mit Sensoralarmen vorhanden (ausser während der Kalibrierung der Gaswarnanlage).
<p>Vorstellung/Interpretation UEG Was können Sie sich vorstellen, müsste passieren, damit ein Alarm ausgelöst wird? Ist Ihrer Meinung das Gefahrenpotenzial dazu vorhanden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Befragten geben die Gründe für die Schwierigkeit dieser Frage an. Die einheitliche Meinung besteht, dass es „viel braucht“, bis eine gefährliche Konzentration erreicht ist d.h. mindestens 100 oder mehrere 100 Liter Benzin, je näher bei der ARA die Havarie passiert, desto gefährlicher. ▪ Einer der Interviewpartner stuft das Gefahrenpotential als „weit und ganz nahe“ ein. „Man muss damit rechnen“. ▪ Eine der ARA-Verantwortlichen vergleicht das Gefahrenpotential eines grossen Benzinunfalls mit dem Absturz eines Flugzeugs über dem Gasometer. ▪ Der Bezug zur UEG ist für die Befragten eine schwer abschätzbare Grösse. Sie entzieht sich dem Vorstellungsvermögen. Entscheidend ist nicht die UEG (die Hauptalarmwerte sind nur teilweise bekannt), sondern die Alarmauslösung.
<p>Reaktionszeit Stellen Sie sich vor, es ertönt Sensor-Alarm, haben Sie genügend Zeit, um darauf zu reagieren?</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alle Befragten sind der Meinung, dass genügend Zeit für eine Reaktion und das Einleiten von Massnahmen bleiben würde. Bei Hauptalarm ist die explosionsfähige Atmosphäre noch nicht gebildet. Mit entsprechender Lüftung würde sich die Explosionsgefahr verzögern.

**)Es ist zu berücksichtigen, dass die Aussagen aus dem Zusammenhang des Gesprächs stammen, daher können Interpretationsverzerrungen resultieren.*

7.3 Auswertungen der Interviews – Fazit

Aus der durchgeführten Befragung kann vorsichtig folgendes Abbild im Sinne einer Momentaufnahme gezeichnet werden:

- Gewisse Antworten weisen auf einen fehlenden Bezug mit dieser Sicherheitseinrichtung hin. Eine direkte Erfahrung fehlt (z.B. das Teil ist nützlich, die Situation wird durch den Sensoralarm verbessert), da praktisch keine Interaktionen notwendig sind, ausser bei der Kalibration oder bei Fehlalarmen (eine negative Erfahrung, die vertrauensmindernd wirkt).
- Das Vertrauen in die eigene Wahrnehmung durch den Geruchssinn scheint (evtl. unbewusst) grösser als in den Sensor-Alarm.

- Es besteht eine Unsicherheit bezüglich Gefahrenpotenzial (siehe auch Kap. 4.2: Welche Menge Benzin im ARA-Zulauf ist gefährlich?)
- Das Schadenspotential eines möglichen Störfalls mit Explosionswirkung wird als gross bis katastrophal eingestuft, aber befindet sich eher diffus im Hintergrund (u.a. weil der Risikoauslöser nicht beeinflussbar ist). Es besteht sozusagen eine Hoffnung, dass der ARA-Betreiber in seiner ARA-Beschäftigungsdauer selbst nicht mit einem derartigen „seltenen“ Ereignis konfrontiert wird.
- Fehlender Bezug zur UEG-Interpretation: Abstrakte Werte ohne eigenen Erfahrungsbezug können nur schwer eingeschätzt werden. Es besteht die Tendenz, die Meinung von anderen zu übernehmen.
- Zwar wird der Sensor als Teil des Systems wahrgenommen, hat aber beim ARA-Personal eine geringe Bedeutung. Durch die fehlende Interaktion im Arbeitsalltag „versinkt“ der Sensor in den zahlreichen Störungen und Aufgaben des ARA-Personals.

8 Massnahmen im Ereignisfall

Vorausgesetzt der Alarm funktioniert, welches Verhalten, welche Aktionen und Folgemaassnahmen werden vom ARA-Personal ausgelöst/nicht ausgelöst und wieso? Im Rahmen der Befragung wurden vor Ort die Abläufe gezeigt und besprochen. Falls ein Alarmplan zum Szenario „Benzin im Zulauf ohne Vorwarnung“ vorhanden war, wurde dieser mit einbezogen.

Abläufe, Zeitbedarf, Zusammenhänge werden oft erst bei einer Übung mit den wichtigsten Beteiligten und der Schulung des gesamten ARA-Personals verstanden. Folglich kann basierend auf einer Praxisübung der geplante Ablauf des Alarmplans oder der Checkliste, die Aktionen oder Aktionsvarianten (oder auch zu unterlassende/vermeidende Aktionen), vor Ort geprüft, angepasst und korrigiert werden.

Die auf den besuchten ARAs angetroffene Situation im Hinblick auf Alarmplan und Trainings zu „Benzinunfall ohne Vorwarnung“ ist in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 5: Ist-Zustand Alarmpläne und Training auf den besuchten ARAs

Umsetzung ARA	A	B	C
Alarmplan „Benzinunfall ohne Vorwarnung“	Erforderliche Schritte bekannt. Nicht schriftlich vorhanden bzw. im Feuerwehreinsatzplan nicht enthalten.	Im Feuerwehreinsatzplan integriert. Massnahmenplan Benzinunfall gemäss Beispiel Zürcher Umweltpaxis, 2000 (ARA-Leitfaden).	Benzinunfall mit Vorwarnung im Einsatzplan (Störfallordner) integriert (Checkliste, die das ARA Personal im Ereignisfall aus dem Ordner nimmt und markiert).
Training/Übung	Bisher nicht durchgeführt	Bisher nicht durchgeführt	Bisher nicht durchgeführt

Zum Thema “Training oder Instruktionen” ist folgendes zu berücksichtigen (Kletz 1991, S.52): *“Training gives us an understanding of our tasks and equips us to use our discretion (Entscheidungsfähigkeit), while instructions tell us precisely what we should and should not do; training equips us for knowledge-based behaviour while instructions equips us for rule-based behavior. Which do we want?”*

M.E. kann die Interpretation so lauten: wenn der Kontext einer Handlung nicht verstanden worden ist, besteht die Gefahr, dass falsche Entscheide mit der bestmöglichen Absicht getroffen werden. Nicht ausreichend ist auch das „automatische“ Erfüllen von Checklisten, wenn diese nicht in der Realität geprüft und aus unterschiedlichen Perspektiven diskutiert worden sind.

Die Aktionsketten nach einem Sensor-Alarm – gemäss den Interviews & Alarmplänen von zwei der drei besuchten ARAs – werden im Anhang mit Bemerkungen/Beurteilungen besprochen. Das dritte ARA-Beispiel wird zwar im Anhang nicht separat besprochen, die Erkenntnisse sind jedoch in der Auswertung berücksichtigt worden.

Anhang 6: Beispiele und Kommentare zu Massnahmen im Ereignisfall

8.1 Fazit zu den Massnahmen im Ereignisfall

Im Hinblick auf einzuleitende Massnahmen auf einer ARA sind im Allgemeinen folgende Prioritäten zu berücksichtigen:

1. Leben retten (keine Gefährdung des ARA-Personals)
2. Anlage schützen (Explosion vermeiden)
3. Umwelt schützen (Gewässerverschmutzung vermeiden, keine Einleitung von kontaminiertem Abwasser in die Gewässer, technisch gesicherten Rückhalt gewährleisten indem z.B. kontaminiertes Wasser in Havariebecken gestapelt werden kann)

Priorität 2 und 3 stehen in direktem Zusammenhang, denn nur wenn die Anlage funktioniert, kann eine Gewässerverschmutzung vermieden werden.

Zusammengefasst lassen sich aus der Betrachtung der Aktionsketten nach Sensor-Alarm basierend auf Interviews und Alarmplänen folgende Schlüsse ziehen:

- Alarmpläne zum Szenario „Benzin im Zulauf ohne Vorwarnung“ sind auf einer der drei besuchten ARAs im Einsatzplan vorhanden, jedoch nicht aktualisiert. Bei einem weiteren Fallbeispiel ist „Benzin im Zulauf mit Vorwarnung“ im Störfallordner integriert, die Massnahmen wurden bisher nicht überprüft und trainiert. Bei einer der drei ARAs verfügt der Einsatzplan über kein „Benzin-Unfall-Szenario“.
- Der Handlungsablauf nach Sensoralarm wird bei keinem der drei Fallbeispiele trainiert.
- Eine Gefährdung des ARA-Personals ist möglich:
 - a) einerseits beim Betreten gefährdeter nicht Ex-geschützter Gebäudeteile und der Betätigung von manuellen Schaltungen (Funkenschlag z.B. bei Lüftung, Pumpen).
 - b) andererseits bei der Verifizierung der UEG mit einem mobilen Explosimeter.Das ARA Personal sollte nach einem Alarm die gefährdeten Gebäudeteile nicht mehr betreten müssen bzw. die Steuerung sollte von aussen möglich sein.
- Die Schaltvorgänge in gefährdeten Gebäudeteilen sollten Ex-geschützt sein.
- Möglichkeiten zum Rückhalt von kontaminiertem Abwasser sollten in der Handlungskette eingebaut und allenfalls in konstruktive Explosionsschutzmassnahmen mittel- bis längerfristig eingeplant werden.

9 Schlussbetrachtungen

9.1 Beurteilung und Empfehlungen

ARAs sind Mehrgenerationenprojekte von öffentlichem Interesse und mit langfristigen Perspektiven. Einfach integrierbare Sicherheitssysteme mit relativ geringen Kosten wie Gas-Sensoren im Zulauf sind aus Gründen des Personen- und Umweltschutzes verhältnismässig und sinnvoll.

Die Forderung nach einem Sensor im Zulauf ist dann zweckmässig, wenn die in dieser Arbeit aufgeführten Schnittstellen zuverlässig funktionieren. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 6 ersichtlich.

Tabelle 6: Zusammenstellung risikomindernder Massnahmen und ihre Wirkungsweisen

	Risikomindernde Massnahme	Wirkung / Ergebnis
▶	Schnittstelle ARA-Verantwortliche und Sensor-Lieferanten ein zuverlässig ausgelöster Sensor-Alarm basiert auf folgenden Voraussetzungen:	
	a) Positionierung des Sensors: ist abhängig davon, ob der Gas-Sensor im offenen oder geschlossenen Zulaufkanal installiert wird.	Alarm wird im Ereignisfall ausgelöst
	b) Sensortechnik : Je nach Situation katalytische oder Infrarot-Sensortechnik einsetzen, bei vermehrten Fehlalarmen oder Defekten allenfalls wechseln (Katalytgifte).	keine Fehlalarme Alarm wird im Ereignisfall ausgelöst
	c) Kalibrierung entsprechend dem potentiell empfindlichsten Stoff zur Bildung einer explosiven Atmosphäre im ARA-Zulauf.	Alarm wird rechtzeitig ausgelöst
▶	Schnittstellen „ARA-Verantwortliche“ – AWEL – Einsatzdienste Die bei einem Sensor-Alarm einzuleitenden Massnahmen sind vom ARA-Betreiber in Absprache mit dem AWEL/GS/ARA, dem AWEL/BUS und der Feuerwehr auszuarbeiten. Zuständigkeiten und Koordination sollten aufeinander abgestimmt werden. Allenfalls kann ein Feedback-System zwischen den Schnittstellen eingerichtet werden, damit der Informationsfluss gewährleistet ist (z.B. keine Antwort heisst nicht, dass alles i.O. ist).	verschiedene Perspektiven, Schutzziele und Fachwissen im Massnahmenplan integrieren
▶	Unterstützende Informations- und Entscheidungshilfen Geeignete, online abgebildete und abrufbare Informations- und Wissensstrukturen (im Internet/im Intranet/via VPN), welche einfach aktuell gehalten werden können. Nützliche Dokumente können sein: a) Beispiele eines zweckmässigen, aktualisierten Alarmierungsablaufs „Benzin im Zulauf ohne/mit Vorwarnung“ als Vorlage b) Mustervorlagen für Alarmpläne in Form von Entscheidungsabläufen und/oder Checklisten c) Listen zuständiger Stellen, Personen, Kontakte, Nummern, Weblinks.	Kommunikation vereinfachen Aktualität gewährleisten Optimierung Alarmierungsablauf und Massnahmenpläne

	Risikomindernde Massnahme	Wirkung / Ergebnis
▶	Kommunikations- und Wissens-Werkzeuge Zur Verfügung stellen interaktiver Tools zur dynamischen Wissensverteilung und –förderung.	interaktive dynamische Aktualisierung Förderung proaktiven Verhaltens
▶	Auf die Begleitung und Beratung von ARAs mit erhöhter Eintretenswahrscheinlichkeit von leicht entzündlichen Stoffen im ARA-Zulauf konzentrieren.	Risikopotential berücksichtigen, begrenzte Ressourcen gezielt einsetzen
▶	Die Typisierung von ARAs für eine standardisierte Lösung wird als eher schwierig beurteilt, denn „jede ARA ist anders“. Dennoch macht es Sinn, sich auf ARAs mit folgenden Ausgangsbedingungen zu fokussieren : Rechengebäude kann nicht umgangen werden, vermehrt geschlossene gefährdete Gebäudeteile, kein Havariebecken, geschlossene Regenbecken ohne Ex-Schutz vor oder im Bereich der ARA. Ein zusätzlicher vorbeugender und/oder konstruktiver Ex-Schutz sollte fallweise geprüft werden.	Ungünstige ARA-Situation berücksichtigen Schadenspotential minimieren
▶	Schnittstelle Maschine – Maschine : Das automatische Einschalten einer Sturmklüftung als Folge von Sensoralarm kann eine sinnvolle risikomindernde Massnahme im Sinne einer vorbeugenden Explosionsschutzmassnahme sein. Automatisch eingeleitete Folgemaassnahmen sind reaktionsschnell und daher risikomindernd.	Vorbeugende Ex-Schutzmassnahmen automatisch einleiten
▶	Schulungen : Den Umgang mit der Wahrnehmung von leicht entzündlichen Stoffen, Geruchssinn und Interpretation von UEG-Grenzen fördern, allenfalls mit Hilfe von geeigneten Simulationen und/oder Experimentalvorträgen.	Personal sensibilisieren Wahrnehmung und deren Grenzen bewusst machen
▶	Training des Alarmierungsablaufs und des Einleitens (oder Unterlassens) von Aktionen:	
	a) Die Alarmpläne sollten auf der Anlage griffbereit sein (oder z.B. als Plakat vor Ort präsent)	Praktische Vorbereitung Präsenz im Arbeitsalltag
	b) Der Alarmierungsablauf und die geeigneten Aktionsketten/Aktionsvarianten sollten regelmässig mit allen Beteiligten vor Ort trainiert werden.	Entscheidungen und Verhalten wird eingespielt Ablauf kann geprüft und angepasst werden
	c) Die Trainingssituation in Form eines fiktiven Benzin-im-Zulauf-Ereignisses wirkt als Erfahrung und wird dem ARA-Personal besser in Erinnerung bleiben.	Fiktives Ereignis wird kreiert und kann memorisiert werden

9.2 Vorschläge möglicher Massnahmen mit Prioritäten

Damit die Massnahmen umgesetzt werden und im Ereignisfall risikomindernd wirken, empfehlen wir folgendes Vorgehen:

Kurzfristig

- Mustervorlagen für zwei oder drei Varianten von zweckmässigen, aktualisierten Alarmierungsabläufen für „Benzin im Zulauf ohne Vorwarnung“ erstellen und online verfügbar machen. (Tabelle 6, Punkt 3)
- Überprüfen der ARAs mit installiertem Sensor im Zulauf (gemäss aktualisierter Liste Juli 2013 des AWEL/GS/ARA) bezüglich Positionierung, Kalibrierung und Alarmplan (Szenario Benzin im Zulauf). Das könnte z.B. mit Hilfe einer Checkliste per E-Mail umgesetzt werden. (Tabelle 6, Punkt 1)
- Je nach Situation individuelle Korrekturen einleiten, etc.

Mittelfristig

- ARAs mit erhöhtem Risikopotential ermitteln: Sicherheitscheck bezüglich Schutzziele, allenfalls sind ergänzende vorbeugende und/oder konstruktive Ex-Schutzmassnahmen verhältnismässig und sinnvoll. (Tabelle 6, Punkt 5)
- Durchführung von Trainings aktualisierter Alarmpläne. (Tabelle 6, Punkt 9)
- Feedback zu durchgeführten Trainings innerhalb eines bestimmten Zeitraums verlangen.
- Dokumente, Anleitungen, Verantwortungs- und Kontaktlisten erstellen und online verfügbar machen. (Tabelle 6, Punkt 3)

Längerfristig

- Schulung im Umgang mit der Wahrnehmung von leicht entzündlichen Stoffen, Geruchssinn und Interpretation von UEG-Grenzen z.B. im Rahmen von Aus-/Weiterbildungskursen für Klärwärter (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA). (Tabelle 6, Punkt 8)
- Insbesondere im Rahmen von ARA-Umbauten, -Sanierungen und Sicherheitsinspektionen Stand der Sicherheitstechnik (u.a. Sensor im Zulauf und Folgemassnahmen) im Gesamtsystem beurteilen.
- Schnittstellen und risikomindernde Massnahmen pflegen, Anreize zur regelmässigen Aktualisierung geben, Qualitätssicherung gewährleisten.
- Kommunikations- und Wissens-Werkzeuge entwickeln: Zur Verfügung stellen interaktiver Werkzeuge. Möglichkeiten sind: interaktive Darstellung von Zusammenhängen und Lösungen, direkte Kontaktaufnahme zu (mehreren) Verantwortlichen, „Melde-Tool“ (Bestandsaufnahme vornehmen und Dokumente, Bilder hochladen, etc.), usw. => Vorschläge ausarbeiten, Bedürfnisse und Möglichkeiten abklären. (Tabelle 6, Punkt 4)

Vielen Dank für Ihr Interesse!

E. F. Suter, ubub umweltbildung umweltberatung, August 2013

Zum Abschluss noch drei Zitate:

Manser, T. 2012: „Sicherheit ist ein dynamisches „Nicht-Ereignis.“

Kletz, T. 1991: "Try to change situations, not people."

Suter, E. F. 2013: „Die Signalübertragung an Mensch-Mensch-Schnittstellen ist entscheidend.“

10 Quellen

AWEL Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe, Sektion Betrieblicher Umweltschutz und Störfallvorsorge.
Chemierisikokataster des Kantons Zürich. www.stoerfallvorsorge.zh.ch.

Bützer, P. (2003). Geruch Geruchswahrnehmung Geruchserkennung Geruchswarnung, Eidgenössische
Kommission für ABC-Schutz.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2005). DWA-Arbeitsbericht. Erstellung von
Explosionsschutzdokumenten für abwassertechnische Anlagen.

EKAS Richtlinie Brennbare Flüssigkeiten – Lagern und Umgang (2005). Bestell-Nr. 1825.d.

Flanagan, J.C. (1954). The critical incident technique. Psychological Bulletin 5, 327–358.

Green, D.M. Swets J.A. (1966). Signal Detection Theory and Psychophysics. New York: Wiley.

Kletz, T. (1991). An Engineer's View of Human Error. Institution of Chemical Engineers.

Kletz, T. (1993). Lessons From Disaster. How organisations have no memory and accidents recur. Institution
of Chemical Engineers.

Manzey, D. (2013). Mensch-Maschine-Schnittstellen. Handout im Rahmen des CAS/ETH-Lehrgangs Risiko
und Sicherheit technischer Systeme, Modul Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz.

Mayer, H.O. (2013). Interview und schriftliche Befragung. Grundlagen und Methoden empirischer
Sozialforschung. Oldenbourg Verlag München.

Modelle für Effekte mit toxischen und brennbaren Gasen (2004). Dokumentation Aufbau der Modelle
Version 3, Isi Technologie GmbH.

Schweizerische Bundesbahnen (1994). Störfallbericht zum Eisenbahnunfall in Zürich Affoltern vom 8. März
1994.

Suva (2012). Experimentalvortrag. Explosionen – Gefahren und Schutzmassnahmen. Bestell-Nr. 44071.d.

Suva-Merkblatt (2010). Sicherheitstechnische Kenngrössen von Flüssigkeiten und Gasen, Bestell-Nr. 1460.

Suva-Merkblatt (2013). Explosionsschutz – Grundsätze, Mindestvorschriften, Zonen. www.suva.ch/waswo,
Bestell-Nr. 2153.d.

Taylor, J.R. (1994). Risk Analysis - For Process Plant, Pipelines and Transport. London: London: E & FN Spon.

Umweltfachstellen der Kantone Nordwestschweiz (2011). Lagerung gefährlicher Stoffe, Leitfaden für die
Praxis.

Zürcher Umweltpraxis (2000). Leitfaden für ARA-Inhaber und –Betreiber. Abwasseranlagen und Gewässer:
Schutz vor Störungen und Unfällen. Baudirektion Kanton Zürich, AWEL, Abteilung
Gewässerschutz in Zusammenarbeit mit TBF + Partner AG.