

Machbarkeitsstudie

Zusammenfassung

Ausgangslage

Der Kunde betreibt eine Abfallbehandlungsanlage für ölhaltige Produkte (Bilgen, Schlämme, Tankwaschrückstände) gemäß MARPOL Annex I in Küstennähe. Die Abluftströme (gesamt 7.000 m³/h, hauptsächlich aus zwei Tankfarmen mit ca. 5.000 m³/h und zwei Behandlungseinheiten mit ca. 2.100 m³/h) enthalten VOCs bis 1.000 ppm, H₂S bis 200 ppm, CO bis 20 ppm sowie potenziell Staubpartikel in unbekannter Konzentration. Die Behandlungseinheiten befinden sich in Gebäuden mit ATEX Zone 1 und Zone 2. Zielwerte sind VOCs ≤50 mg/m³, SO_x <150 mg/m³, Staub <100 mg/m³ bei niedrigstmöglichem CO₂-Ausstoß.

Bewertung

Die Behandlung von Erdöl-VOCs und H₂S ist mit einem hybriden System aus alkalischem Vorwäscher, UV/Ozon- oder NTP-Stufe sowie Aktivkohle-Polishing technisch machbar. Die Hauptrisiken liegen in der Datenunsicherheit bezüglich Eingangskonzentrationen, H₂S-Toxizität und -Korrosion, AOP-Nebenprodukten sowie Kondensation in langen Rohrleitungen. Diese Risiken sind durch gezielte Messungen, bewährte Verfahrenstechnik und mehrstufige Abscheidung beherrschbar.

■ MACHBAR

VOC-Zusammensetzung und Eignung

Für die vorliegende Anwendung empfiehlt sich ein hybrides System mit UV/Ozon- oder NTP-Technologie als Kernstufe. Die Entscheidung zwischen UV/Ozon und NTP sollte nach der empfohlenen Messkampagne getroffen werden, da beide Technologien für Erdöl-VOCs geeignet sind. UV/Ozon bietet Vorteile bei aromatenreichen Gemischen und höherer Energieeffizienz, während NTP bei schwankenden Konzentrationen und breiteren VOC-Spektren robuster ist. Aufgrund der hohen H₂S-Konzentration (bis 200 ppm) ist zwingend ein alkalischer oder oxidierender Vorwäscher zur H₂S-Abscheidung auf ≤1 ppm erforderlich, um Korrosion und Toxizitätsrisiken zu eliminieren.

Das Gesamtsystem sollte aus H₂S-Vorwäscher, AOP-Stufe (UV/Ozon oder NTP), katalytischer Ozonzerstörung, zweistufiger Nasswäsche für SO₂/Säurenebel und Aktivkohle-Polishing für Aldehyde und Geruchsstoffe bestehen. Mit dieser Konfiguration sind VOC-Abscheidegrade von 95-99%, H₂S-Entfernung >99% und Staubemissionen ≤20 mg/Nm³ erreichbar. Die Installation außerhalb der ATEX-Zonen mit entsprechender Rohrleitungsführung minimiert explosionschutzbedingte Zusatzkosten und Komplexität.

Positive Faktoren

- Keine grundsätzlichen technischen Ausschlusskriterien identifiziert; Erdöl-VOCs und H₂S sind mit bewährten Hybridverfahren behandelbar
- Modulare Aufteilung in zwei unabhängige Systeme (ca. 5.000 und 2.100 m³/h) ermöglicht Teilbetrieb bei Wartung und optimierte Auslegung pro Quelle
- Installation außerhalb ATEX-Zonen nach Standardpraxis möglich, wodurch Explosionsschutzkosten begrenzt bleiben
- Kontinuierlicher Betrieb (8.000-8.500 h/a) gewährleistet stabile Prozessführung und wirtschaftliche Auslastung der Anlagen
- Standort mit vollständiger Infrastruktur (Strom, Wasser, Abwasser) und ausreichend Platz für mehrstufige Systeme

Kritische Herausforderungen

- Eingangskonzentrations- und Speziationsunsicherheit (50 vs. 1.000 ppm VOC; H₂S-Variabilität) führt zu Unter-/Überdimensionierung und Compliance-Risiko (HIGH, 60% Wahrscheinlichkeit)
- H₂S-Toxizität und Korrosion (≤ 200 ppm) verursacht Sicherheitsrisiken und beschleunigte Materialschädigung ohne Vorwäsche (HIGH, 50% Wahrscheinlichkeit)
- AOP-Nebenprodukte (Restozon, Formaldehyd/Aldehyde, SO₂/Säurenebel) können zu Grenzwertüberschreitungen oder Geruchsbeschwerden führen (HIGH, 45% Wahrscheinlichkeit)
- Kondensation und Fouling in langen Rohrleitungen (Abkühlung von $\leq 100^{\circ}\text{C}$ auf Umgebungstemperatur) führt zu Druckverlust, Geruchsleckagen und Brandrisiko durch Kohlenwasserstoffkondensat (HIGH, 40% Wahrscheinlichkeit)
- Geruchsbelastung an Grundstücksgrenze durch Schwefelorganika (Mercaptane, DMS) und Aromaten trotz Einhaltung von Massengrenzwerten (HIGH, 35% Wahrscheinlichkeit)

Handlungsempfehlungen

- Kontinuierliche Messkampagne über 2-4 Wochen an beiden Strömen durchführen: Gesamt-VOC (ppmC), H₂S, O₂, relative Feuchte, Temperatur; zusätzlich GC-MS-Probenahme zur VOC-Speziation und Schwefel-/Stickstoffverbindungen
- Zweistufiges Hybridsystem außerhalb ATEX-Zonen installieren: H₂S-Vorwäscher (auf ≤ 1 ppm), UV/Ozon- oder NTP-Stufe, katalytische Ozonzerstörung, Aktivkohle-Polishing zur

Geruchskontrolle

- Rohrleitungsauslegung mit Kondensationsschutz: isolierte/beheizte Leitungen, Gefälle zu Kondensatabscheidern, geschlossene Kondensatsammlung, Eingangsdemister bei Ölnebelverdacht
- Kontinuierliche Emissionsüberwachung (CEMS) für O_3 und H_2S installieren; periodische Formaldehyd-Messungen (DNPH oder FTIR) zur AOP-Nebenprodukt-Kontrolle
- Regulatorische Klärung mit lokaler Behörde: Anwendbare VOC-, SO_2 -, Staub- und Geruchsgrenzwerte sowie Monitoring-Verpflichtungen bestätigen (MARPOL Annex I gilt für Schiffe, nicht Landanlagen)
- Phasenweise Umsetzung erwägen: Phase 1 Tankfarm-System (5.000 m³/h) mit Performance-Validierung, Phase 2 Behandlungseinheiten (2.100 m³/h) mit Optimierungen aus Phase 1