

# Herausforderungen und Lösungsansätze für eine permanente Schallemissionsüberwachung eines Flachbodenlagertanks

Hartmut VALLEN<sup>1</sup>, Thomas THENIKL<sup>2</sup>, Ireneusz BARAN<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Vallen Systeme GmbH, Icking

<sup>3</sup> Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Cracow, Polen

## Kurzfassung

Die Erkennung und Ortung von Leckagen und aktiver Korrosion an flachen Böden großer Lagertanks ist eine sich mehr und mehr etablierende Anwendung der Schallemissionsprüfung. Eine hohe Wertschöpfung könnte erzielt werden, wenn auf eine interne Inspektion verzichtet werden kann, wenn die Schallemissionsprüfung zuverlässig nachweist, dass weder eine Leckage noch aktive Korrosion im Tank stattfindet. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse einer kurzzeitigen Schallemissionsprüfung, die üblicherweise über wenige Stunden durchgeführt wird, ist heute noch umstritten. Sie könnte verbessert werden, indem das Objekt hinsichtlich Schallemission aus Leckage oder aktiver Korrosion permanent überwacht wird. Die Entwicklung einer permanent installierten Schallemissionsüberwachungsanlage, die kontinuierlich und autonom Schallemissionsdaten erfasst, analysiert und Ergebnisse liefert, stellt die Entwickler von Hardware und Software für die Schallemissionsüberwachung vor neue, große Herausforderungen.

In diesem Vortrag möchten wir auf die herausfordernden Aspekte und Lösungsansätze für die Realisierung einer autonomen, permanenten Datensammlung und -reduktion eingehen. Viele Faktoren, wie z.B. Wetter- und andere Umgebungs- und Betriebsbedingungen, können dazu dienen, wertvolle Daten aus einer großen Menge praktisch wertloser Daten herauszufiltern. Der Vortrag basiert auf der Realisierung und dem einjährigen Betrieb einer permanent installierten Prototypen-Schallemissionsprüfanlage an einem Lagertank.

## 1. Einführung

Flachbodenlagertanks, englisch Aboveground Storage Tanks (AST), sind wichtige technische Strukturen zur Speicherung von flüssigen Produkten. Sie speichern Rohöl oder veredelte petrochemische oder chemische Produkte. Eine fortgeschrittene lokale Korrosion, zB an Böden solcher Tanks, kann zur Undichtigkeit führen, die Umwelt verschmutzen und die Gesundheit des Personals und der Anwohner bedrohen. Die Folgekosten für den Erhalt der Gesundheit der Betroffenen und die Beseitigung der Umweltschäden können enorm sein.

Leider ist praktisch keine Vorhersage möglich, wie schnell ein Tankboden im Betrieb korrodiert, da dies von vielen Faktoren abhängt. Deshalb müssen ASTs in vorgeschriebenen Zeitintervallen bezüglich der zulässigen Restwanddicke überprüft werden.

Diese Prüfung kann visuell oder mit Unterstützung von geeigneten Geräten zB auf Basis der Wirbelstromprüfung erfolgen. Dies erfordert die Leerung und Reinigung des Tanks, was eine Außerbetriebsetzung für Wochen oder Monate erfordert, und sehr hohe Kosten verursacht. Je nach Größe des Tanks geht es um Beträge zwischen 200 T€ und 1 Million €.

Natürlich wollen die Tankbetreiber das Risiko einer Leckage reduzieren, andererseits scheuen sie die Kosten der Außerbetriebnahme und Reinigung speziell für den Fall, dass festgestellt wird, dass ein Tank keine Schäden aufweist und kein Risiko für eine bald eintretende Undichtigkeit darstellt.

Es wird ohnehin darauf geachtet, dass die inneren Oberflächen, die mit der gelagerten Flüssigkeit in Kontakt kommen, durch Beschichtungen und kathodisch geschützt sind. Trotzdem besteht die Gefahr der Korrosion im Fall einer Beschädigung des Schutzes.

Die Schallemissionsprüfung (AT) erfolgt von Außen und erfordert weder eine Leerung noch eine Reinigung des Tanks. Die Verfügbarkeit des Tanks ist nur für ein oder zwei Tage eingeschränkt, um bis zum Beginn der AT den Tankinhalt ruhig zu stellen.

Lackner and Tscheliesnig [1,2,3], Park et al. [4], Takemoto et al. [5], Jomdecha et al. [6] and Baran [7] haben dokumentiert, dass aktive Korrosion an einem Tankboden mittels AE erkannt und geortet werden kann.

Das wachsende Interesse an der Nutzung der AE für die Korrosionsdetektion an ASTs hat (mindestens) zwei Normen hervorgebracht ASTM E1930 [8] und EN 15856 [9]. Nakamura [10, 11] hat Verbesserungen zum praktischen Test vorgeschlagen. Nowak et al. [12] berichtete, dass auch doppelbödig Tanks mit AT geprüft werden können. Die gelisteten Publikationen bezeugen großes Interesse der Forschung und der Betreiber von Tankanlagen.

AT beruht darauf, dass elastische Wellen, die von einer AE-Quelle erzeugt wurden, von Sensoren in größerem Abstand aufgenommen werden können. Die Sensoren nehmen die AE Wellen an der Außenwand des Tanks auf und konvertieren sie in elektrische AE Signale, die vom AE System verarbeitet werden. Die geringe Energie der Welle, die den AE Sensor erreicht und die potentielle Präsenz störender Hintergrundgeräusche stellen eine besondere Herausforderung dar. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Messhardware aber auch an die Umweltbedingungen zum Zeitpunkt der Messung. Für ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis müssen 24 Stunden vor der Prüfung alle Ventile zum und vom Tank dicht geschlossen, Heizungen, Rührwerke etc. abgeschaltet werden, damit der Inhalt zur Ruhe kommt. Weiter ist dafür zu sorgen, dass während der Datenaufnahme niemand am Tank Arbeiten verrichtet, die Geräusche verursachen können [8]. Weiter sind optimierte Sensoren und Vorverstärker mit höherem Verstärkungsfaktor erforderlich.

Um die Abhängigkeit der Resultate der AT von Umwelt- und Arbeitsbedingungen zum Zeitpunkt einer Prüfung zu reduzieren und deren Zuverlässigkeit zu erhöhen, wird die Idee der permanenten Überwachung diskutiert.

Wenn Daten kontinuierlich erfasst werden, kann bezüglich des Angriffs durch Korrosion die gesamte Historie eines Tanks berücksichtigt werden. Aufkommende Probleme werden sofort erkannt und nicht erst am Ende des Inspektionsintervalls. Davies [13], Nakasa [14], Allevato [15] und andere haben dokumentiert, dass sich die AE Methode gut für die kontinuierliche Überwachung von Objekten eignet. Kein anderes zerstörungsfreies Prüfverfahren kann permanent Informationen über Korrosion und Leckage and nicht zugänglichen Positionen eines Objekts unter normalen Betriebsbedingungen liefern, und dies auch noch kosteneffektiv und 24 Stunden am Tag, über 7 Tage pro Woche. Diese besonderen Vorteile der permanenten AE Überwachung kommen auch in den Normen ASTM E1139 [16] und ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Article 13 [17] zum Ausdruck.

## 2. Herausforderungen einer permanenten AE-Überwachung

Die Herausforderung einer permanenten Installation für die kontinuierliche Überwachung eines ASTs sind vielfältig. So ist zB die Außenwand eines ASTs als potentiell explosiver Bereich der Zone 1 eingestuft. Somit können nur solche AE Sensoren verwendet werden, die für den Betrieb in explosiver Atmosphäre entwickelt und zertifiziert sind. In Europa gilt die sogenannte ATEX Richtlinie, in Amerika die NEC Normen.

Wenn AE-Sensoren permanent installiert sind, kann der Austausch im Fall eines Defekts recht aufwändig sein. Außerdem unterliegen Sie den Umweltbedingungen des Außenbereichs, wie Wind, Regen, Nässe, Schnee und Eis. Die Haltemechanik muss entsprechend robust ausgelegt werden und den guten akustischen Kontakt dauerhaft stabil halten. [18] gibt hierzu Hinweise. Die Anforderung nach extremer Langzeitstabilität der Sensorankopplung ist bei den üblichen kurzzeitigen Prüfungen nicht gegeben.

Bei der Datenerfassung und Aufzeichnung über 24 Stunden jeden Tag und 7 Tagen jede Woche können sehr große Datenmengen anfallen, deren gleichzeitige Analyse schwierig bis unmöglich ist. Auch diesbezüglich sind neue Lösungen zu erarbeiten.

Eine Motivation für die permanente Überwachung ist die Erwartung zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten als es mit einer kurzzeitigen Messung möglich ist. Andererseits ist die Trennung von wertvollen Signalen vom Hintergrundgeräusch schwieriger, da der Tank ständig in Betrieb bleibt. Es müssen also andere Möglichkeiten der Trennung der AE-Signale vom Rauschen gefunden und implementiert werden.

## 3. Eine Strategie für Messung und Analyse der AE Daten

Für den Prototyp des kontinuierlichen Überwachungssystems wurden zwei Ziele vorgegeben: Erkennen und informieren über

1. Leckagen und
2. Erhöhte Korrosionsaktivität.

Hierzu musste eine Strategie für eine sinnvolle Messung und Datenanalyse ausgearbeitet werden, die berücksichtigt, dass potentielle Störsignale nicht vorab ausgefiltert werden können, sondern gemessen und erst bei der Datenanalyse als Störung erkannt und eliminiert werden.

Derr Analyseprozess wurde auf drei Datenquellen ausgelegt:

- (i) Daten von der AST-Messwarte,
- (ii) Daten von einer Wetterstation und
- (iii) Daten vom AE System.

Nur aus den AE Daten des AE Systems können Informationen bezüglich Leckage und Korrosion erwartet werden. Die Erfassung der Daten der Messwarte und der Wetterstation dienen der Identifizierung von optimalen Zeiten für störungsfreie AE-Datenerfassung.

Die Messwarte liefert Informationen über Betrieb und Zustand des Tanks, über Geräuschquellen wie zB Pumpen Ein- und Abschaltung, Zufuhr und Entnahme von gespeichertem Produkt, Füllstand, Produktzusammensetzung und –temperatur. Speziell der Füllstand hat direkten Einfluss auf die Erkennbarkeit einer Leckage: Die Energie der aus einer Leckage stammenden AE steigt mit zunehmender Druckdifferenz an der Leckage. Der Druck am Boden des Tanks ist proportional zur Füllhöhe und spezifischem Gewicht. Je höher der Füllstand je größer der Differenzdruck an der Leckage umso höher die Intensität des AE Signals aus der Leckage und umso besser unterscheidet es sich vom Hintergrundgeräusch.

Die Wetterstation liefert Informationen über aktuelle Wetterbedingungen, Regen, Windstärke und –richtung und Temperatur. Geringstes Hintergrundrauschen herrscht bei gutem konstanten Wetter, ohne Regen, Wind und Temperaturänderungen.

Die Wetterdaten identifizieren Zeiten die besonders günstig für die AE Analyse sind. Selbst wenn am Tag nur wenige Minuten lang beste Wetterbedingungen herrschen, können wertvolle AE Daten aufgenommen werden, die wenig oder gar nicht von Umgebungseinflüssen kontaminiert sind.

Die Datenanalyse soll in zwei Modi stattfinden:

Im ersten Modus, dem Leckage-Erkennungs-Modus, soll erkannt werden, ob eine Leckage stattfindet. Da eine Leckage kontinuierliche AE erzeugt, die AE von Korrosion überdecken kann, ist es logisch, die Leckageerkennung vor der Korrosionserkennung zu behandeln.

Der zweite Modus, der Korrosions-Erkennungs-Modus, wird nur ausgeführt, wenn keine Leckage erkannt wird. Dann wird die gemessene AE dahingehend untersucht, ob diese aus aktiver Korrosion stammt.

Die beiden Modi erfordern unterschiedliche Datenerfassungsparameter.

Nach Programmstart befindet sich die Software im Modus „Leckage Erkennung“. Leckagesignale sind vom Typ „kontinuierlich“. Die Software erfasst nur Merkmalsdaten, keine Wellenformdaten. Entsprechend entsteht im Leckage-Erkennungs-Modus ein relativ geringes Datenvolumen.

Erkennt die Software für eine gewisse Zeit keinerlei Leckage, und zeigen die Daten der Wetterstation und der AST Messwarte günstige Konditionen für die AE Analyse an, schaltet sie automatisch in den Korrosions-Erkennungs-Modus.

Im Korrosions-Erkennungs-Modus werden kurze Bursts signale erwartet. Es werden Merkmalsdaten und Wellenformen erfasst und analysiert. Wellenformdaten sind großvolumig. Es kann ein erhebliches Datenvolumen erzeugt werden.

Wenn Wetter- und Stationsdaten günstige Konditionen für die AE Analyse anzeigen, schaltet das System in bestimmten Zeitintervallen zwischen den beiden Modi hin und her.

Besonders günstige Konditionen werden mit Start- und Stop-Flags markiert, die eine rasche Auffindung der AE-Daten ermöglicht. Nur markierte Daten werden exportiert und archiviert, um den Gesamtdatenbestand niedrig zu halten.

#### **4. Messaufbau**

Das Prototyp-Überwachungssystem nutzt ein AMSY-6 AE-Messsystem [19] des Herstellers Vallen Systeme GmbH. Das AMSY-6 besteht aus einer Master Box und einer Zahl von konfigurierbaren 2-Kanal-Signalprozessoren. Wie erwähnt, mussten explosions sichere, eigensicher zertifizierte Sensoren verwendet werden. Diese Messketten bestehen aus je einem eigensicheren Sensor ISAS3-030 (Frequenzbereich 25-70 kHz), der in explosiver Atmosphäre installiert werden darf, und einem Signalisolator SISO3, der in sicherer Atmosphäre installiert wird und die Leitung zum AE Sensor im potentiell explosiven Bereich auf maximale Spannung, Strom, Leistung und Pulsenergie begrenzt [20], so dass auch bei Beschädigung der Leitung kein Funke entstehen kann.

Frühere Studien [1, 6, 7] bestätigen, dass aktive Korrosion am besten im Frequenzbereich 20 kHz bis 50 kHz erkannt wird. Der gleiche Frequenzbereich eignet sich auch für die Leckageerkennung.

Die Vallen AE-Suite Software zur Datenerfassung und –Analyse läuft auf einem externen PC, an den das AMSY-6 per USB Kabel angeschlossen ist. Bild 1 zeigt das Blockdiagramm dieser Konfiguration. Der farbig hinterlegte Bereich bezieht sich auf den explosionsgefährdeten Bereich.

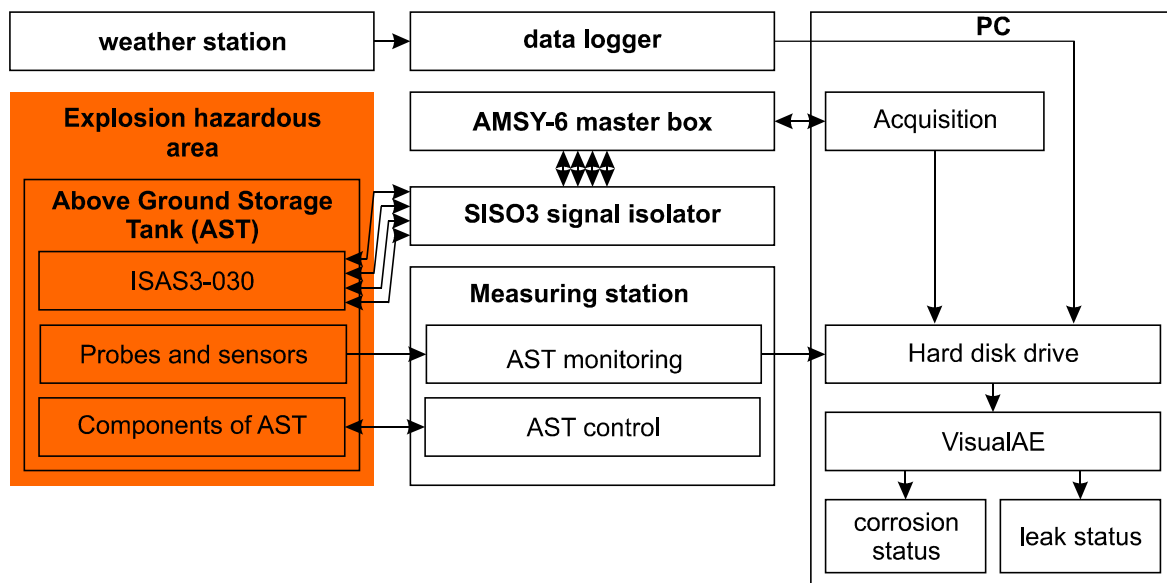


Bild 1. Blockdiagramm des Messaufbaus  
 die farbig hinterlegten Elemente befinden sich im explosionsgefährdeten Bereich

Vier AE-Sensoren waren in einem Ring an der Tankwand montiert. Sie hat einen Umfang von 100 m. Vier Sensoren genügen für die Erkennung einer Leckage durch das erhöhte RMS Niveau. 4 Sensoren genügen auch für eine Zonenortung für die Erkennung der aktiven Korrosion. Die Sensoren wurden mit Magnethaltern an der Tankwand befestigt. Die Flexibilität die Sensoren schnell und unproblematisch umsetzen oder ersetzen zu können war für die Prototypeninstallation wichtiger als die Forderung nach einer aufwändigeren Halterungslösung.

Die Stabilität der Sensorankopplung wurde regelmäßig mit der Auto-Sensor-Test Funktion automatisch überprüft.

Die AMSY-6 Hardware wird vom Acquisition Module der Vallen AE-Suite Software gesteuert. Das gleiche Modul speichert die erfassten Daten auf dem Plattenspeicher des PC. Daten wurden analysiert mit dem VisualAE Modul der Vallen AE-Suite Software.

Für die Leckageerkennung ist der RMS-Wert des Hintergrundgeräuschs der wichtigste Messwert. Für die Korrosionserkennung sind es die Merkmale Maximalamplitude, Energie und Zahl der Überschwingungen. Zukünftig sollen auch die Frequenzinhalte der Wellenformen zur Analyse der aufgenommenen AE Quellen analysiert werden. Wellenformen können von den Signalprozessoren optional erfasst und gespeichert werden.

Wetterdaten werden vom Modell Wireless Vantage Pro [21] erfasst und drahtlos zu einem zugehörigen Datenlogger transferiert und danach auf die Platte des PC geschrieben. Die Wetterdaten können über ein spezielles Interface mit VisualAE analysiert werden.

Die wichtigsten Daten der AST-Messwerte sind die Füllhöhe und diverse Zustände bezüglich Zuführung oder Entnahme des gespeicherten Produkts. Diese Daten wurden über Kabel übertragen. Allerdings war es während der Prototypeninstallation wegen Interfacerestriktionen nicht möglich, Daten der AST Messwerte in VisualAE zu analysieren.

## 5. Ergebnisse

Die Prototypinstallation war ein Jahr lang in Betrieb, danach wurden keine weiteren Daten erfasst. Derzeit werden Daten noch ausgewertet. Die Anforderungen an die Hardware und Software wurden überarbeitet.

Die Testphase generierte bemerkenswerte Ergebnisse die nachfolgend zusammengefasst werden.

Pro Tag wurden einige 100 MB Merkmaldaten generiert, eine automatische Routine identifizierte insgesamt einige 100 MB Daten die sich zur Analyse eignen. Da die Daten der Messwerte nicht integriert werden konnten, konnten zur Selektion geeigneter Daten nur die Wetterdaten berücksichtigt werden.

Die Magnethalter stellten eine brauchbare Lösung für die Befestigung der Sensoren dar. Die Kopplungsqualität wurde in festgelegtem Intervall automatisch geprüft und es wurde keine Verschlechterung durch Umwelteinflüsse festgestellt. Einmal wurde festgestellt, dass ein Sensor verschoben wurde und deshalb neu angekoppelt werden musste. Außer diesem Vorfall war die Koppelqualität an allen Sensoren über ein Jahr unverändert.

Das Diagramm in Bild 2 zeigt beispielhaft, wie Wetterdaten mit AE Daten kombiniert wurden. Die grüne Kurve zeigt den Durchschnitt des RMS-Status aller Kanäle in  $\mu\text{V}$ , in 6 Minuten Auflösung ( $0.1 \text{ h} / \text{bin}$ ) über 115 Stunden. Der RMS-Wert (Root Mean Square) ist die Wurzel des Durchschnitts einer Zahl von quadrierten Samples. Es fließen alle zusammentreffenden Signalkomponenten ein, gewünschte aus möglicher Leckage oder Korrosion, und unerwünschte von Umwelteinflüssen wie Regen und Wind, oder von interner Bewegung des Produkts zB durch ein Rührwerk oder einer Heizung, oder von nahegelegenen Pumpen. Die horizontale Achse zeigt die Zeit in Stunden ab dem Beginn der Erfassung auf die aktuelle Datei. Im dargestellten Fall begann die Messung am Freitag, 18. Oktober um 14:57. Zu diesem Zeitpunkt fand vermutlich ein automatischer Dateiwchsel statt. Der nächste Dateiwchsel war 115 Stunden später (rechtes Datenende im Diagramm). Die rechte Vertikalachse zeigt die Skala für den Regendetektor (rote Kurve). Jeder Anstieg der roten Kurve zeigt die Menge gefallenen Regens in Deci-Liter pro Quadratmeter an. Eine horizontale Linie zeigt, dass kein Regen fiel, was als gutes Wetter für die AE Analyse interpretiert werden kann.

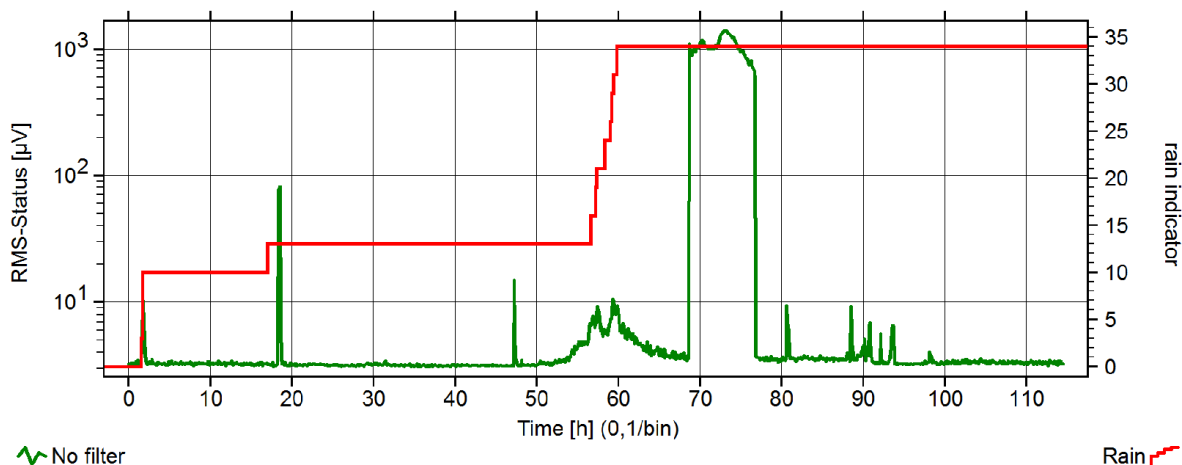


Bild 2. RMS über Zeit (linke Vertikalachse, grüne Kurve) und Regenfall (rechte Vertikalachse, rote Kurve)

Bei  $t \approx 2 \text{ h}$  steigt die rote Kurve steil an, was eine kurze Periode starken Regens bedeutet. Ein Anstieg der grünen Kurve von 3 auf  $10 \mu\text{V}$  fällt damit zusammen. Bei  $t \approx 17 \text{ h}$  ereignete sich erneut ein kurzer Regen, der keinen Einfluss auf die grüne Kurve hat. Eine Produktentnahme begann bei  $t \approx 48 \text{ h}$  and dauerte bis  $t \approx 63 \text{ h}$ . Während dieser Zeit fiel die

Füllhöhe von 12 m auf 1 m. Der leichte Anstieg der grünen Kurve beginnend bei  $t \approx 53$  h ist später überlagert vom Einfluss durch Regen. Ab  $t \approx 56$  h zeigt die rote Kurve einen 4 Stunden langen Regen. Danach fällt die grüne Kurve nur langsam, was auf Nachwirkungen des Regenwassers deutet. Der Anstieg der grünen Kurve bei  $t = 69$  h fällt zusammen mit einer 9 Stunden langen Befüllung des Tanks. Die kurzen Pulse der grünen Kurve wurden von Probenentnahmen verursacht und zeigen die hohe Sensitivität der AE auf geringste Flüssigkeitsbewegungen. Da der RMS Wert zu seinem Anfangswert von  $3 \mu\text{V}$  zurückkehrt kann in der 115 Stundenperiode keine Leckage eingetreten sein.

Bild 2 zeigt auch, dass sich die Phasen in denen RMS auf dem Minimum war, zu etwa 50 Stunden oder 42 % der 115 Stunden Messdauer kumulieren.

Die Analyse der AE-Daten, die im Korrosions-Erkennungs-Modus aufgezeichnet wurden, bestätigten eine geringe Korrosionsaktivität, die von früheren Inspektionen schon bekannt war und die sich über der einjährigen Überwachungsperiode nicht verstärkt hat.

Es wurde auch keine Leckage am Tankboden erkannt. Ab und zu gab es falsche Leckageanzeigen, obwohl die Wetterdaten gute Messbedingungen meldeten. Grund waren jeweils Entnahmen oder Befüllungen, einmal auch ein nicht vollständig geschlossenes Ventil. Die damit verbundene Erzeugung von AE Signalen wurden als Leckage interpretiert. Solche Fehlanzeigen können vermieden werden, wenn die Daten der AST-Messwarte in die automatische Datenanalyse einbezogen sind.

Es kann mit hoher Sicherheit festgestellt werden, dass am Tankboden keine Leckage existiert und dass sich der Status der Tankbodenschädigung aus Korrosion über die einjährige Überwachungsperiode nicht verändert hat.

## 6. Herausforderung „Autonomer Betrieb“

Ein Überwachungssystem muss ohne Bedienereingriffe zuverlässig funktionieren. Bestimmte Feststellungen (Ereignisse) müssen automatisch an den Bediener (per Email) kommuniziert werden und zu vordefinierten Aktionen führen, die vom System autonom und automatisch bearbeitet werden.

Beispiele:

„**Erkennung einer Leckage**“. Dieses Ereignis muss an den Bediener kommuniziert werden.

„**Ablauf eines Timers zur Initiierung einer Impuls-Sequenz**“

Dieses Ereignis muss dazu führen, dass die Messung unterbrochen wird, und eine Sequenz initiiert wird, in der Sensor nach Sensor mechanische Impulse in die Struktur einkoppelt, die sich als Wellen ausbreiten und von den benachbarten Sensoren aufgenommen werden. Die so entstandenen Daten werden ereignisgesteuert ausgewertet. Wenn sich die Kopplungsqualität verschlechtert hat ist dies wieder ein Ereignis, das dem Bediener kommuniziert wird. Ereignisse und Aktionen können entsprechend verschachtelt verlaufen.

Um dieses Konzept von Ereignissen und Aktionen für den Anwender so einfach und transparent wie möglich konfigurierbar zu machen, hat Vallen Systeme ein neues Software Tool entwickelt, den **Vallen Automation Manager**.

## 7. Lösungsansatz „Vallen Automation Manager“

Bild 3 zeigt das AE-System mit der zentralen Rolle des Automation Managers, als Antwort auf die erwähnten Herausforderungen für den autonomen Betrieb eines Überwachungssystems.

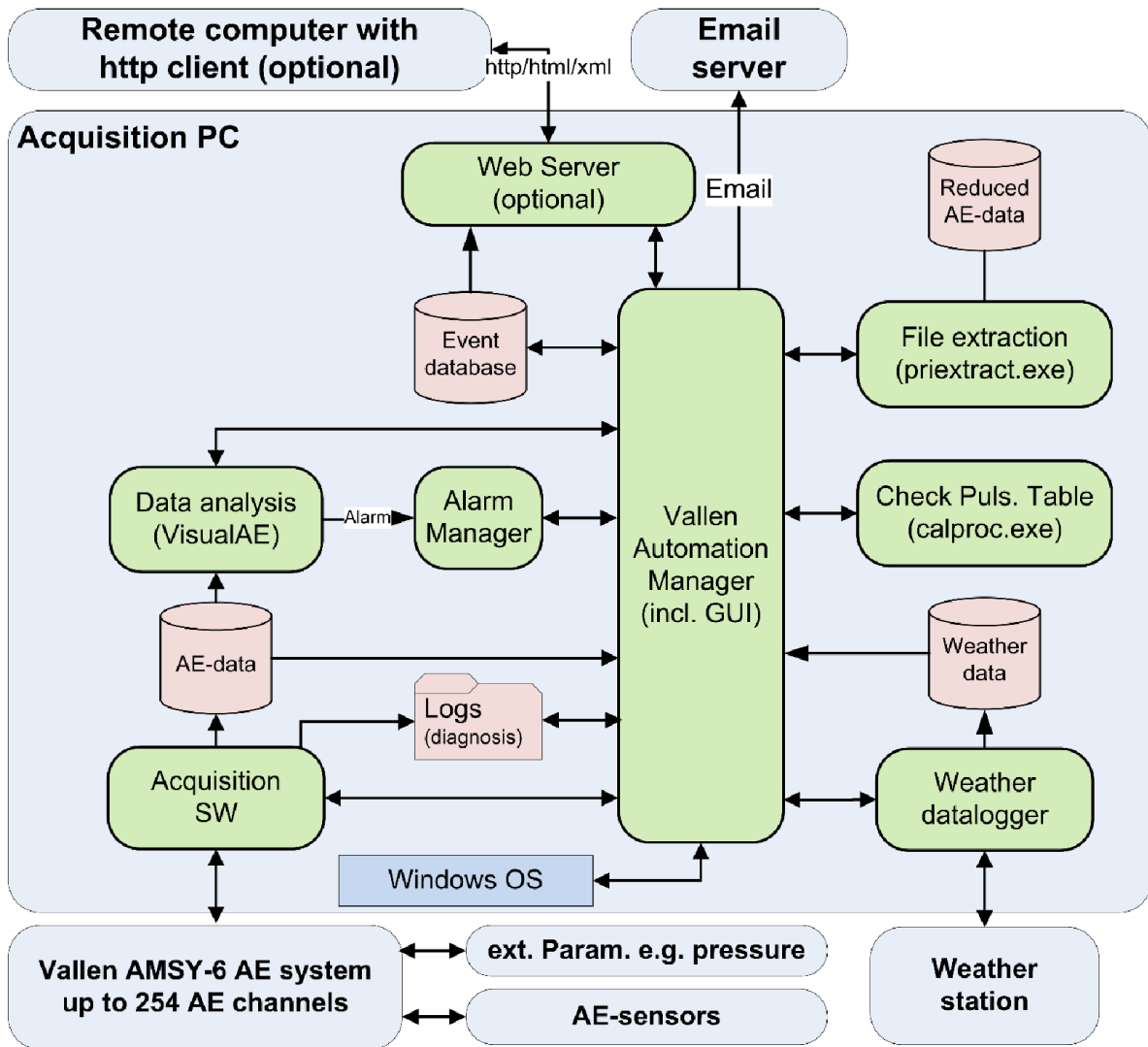


Bild 3. Blockschaltbild des Systems mit zentralem Automation Manager

Bild 3 zeigt zusätzlich zu den bereits bekannten Elementen eines AE-Systems wie AMSY-6 und Sensoren, Datenerfassungssoftware (Acquisition SW), AE-Datei (\*.PRIDB und \*.TRADB), VisualAE Analysis Software und Alarm Manager, den zentralen Vallen Automation Manager, die Ereignisdatenbank (Event database), den Webserver für den optionalen Zugang über das Internet, die Wetterstation mit Wetter-Datenlogger und Wetterdatei, das Tool „Calproc.exe“, das eine automatisch aufgenommene „Calibration Table“ (Tabelle mit Impuls-Antwort-Daten der automatischen Pulser-Funktion) analysiert, und das Tool „priextract.exe“, das ereignisgesteuert wichtige AE Datenbereiche auf separate Dateien kopiert.

Das Tool „Vallen Automation Manager“ ergänzt die AE-System Software um folgende Punkte, die für eine autonom funktionierendes Überwachungssystem erforderlich sind:

- Fernbedienungszugang über einen Webserver
- Umschaltung vom Leckage-Erkennungs-Modus auf den Korrosions-Erkennungs-Modus und umgekehrt
- Synchronisieren der Wetterdaten mit den AE-Daten
- Erkennen vordefinierter Ereignisse (mittels Alarm Manager) und deren Protokollierung in der Ereignisdatenbank und Ausführen der dem Ereignis



zugeordneten Aktionen. Hierzu gehört auch die Verarbeitung von Alarmen die von Alarmprozessoren in der Datenanalyse von VisualAE ermittelt werden.

- Versenden von Emails zur Information des Bedieners über aufgetretene Ereignisse
- Initiieren einer Impuls-Sequenz zur Sensorkopplungsprüfung einschließlich der Änderung der Schwelleneinstellung hierfür und der Wiedereinstellung der normalen Schwelle nach dem Ende der Sequenz
- Überprüfen von Pulstabellen auf Abweichungen der Sensor-Kopplungsqualität (Eine Pulstabelle enthält die AE-Daten, die zur Sensorkopplungsprüfung künstlich erzeugt wurden, wie sie auch in VisualAE angezeigt werden kann.)
- Verwaltung von Zeit-gesteuerten Ereignissen (Timer)
- Datenreduktion: Extrahieren von wichtigen, zu einem Ereignis gehörenden AE-Daten für xxx/yyy Sekunden vor/nach dem Ereignis von den primären, alles umfassenden AE-Dateien auf Ereignis-orientierte kompakte AE-Dateien.
- Wechseln der primären Dateien nach vorgegebenen Kriterien, zB nach Erreichen einer bestimmten Dateigröße oder Speicherzeit. Nachdem die wesentlichen Daten automatisch extrahiert wurden, können die primären Dateien gelöscht werden.
- Einleiten eines PC-Neustarts im Fall von schwerwiegenden Fehlerereignissen, die anders nicht bearbeitet werden können.
- Auto-logon nach einem PC-Neustart und Fortführung der Fehlerbehandlung und der AE Überwachung des Objekts
- Bereitstellen einer GUI (Grafisches User Interface) zur flexiblen und transparenten Parametrisierung des Automation Managers gemäß der aktuellen Überwachungsaufgaben.

## 7. Zusammenfassung

Der einjährige Betrieb der Prototyp-Installation bestätigte, dass die gesetzten Ziele erreicht werden können. Eine wichtige Feststellung war, dass aktive Korrosion von dem Überwachungssystem erkannt werden konnte, sich aber über das Jahr der Überwachung nicht verstärkt hat und dass eine Inspektion des Tanks samt Entleerung und Reinigung nicht erforderlich ist.

Das zweite Ziel, die Erkennung einer Leckage, konnte nur indirekt bestätigt werden, da der Tank keine Leckage am Boden aufwies. Es kam aber zur unbeabsichtigten Leckageanzeige, wenn ein Ventil geöffnet wurde oder beim Schließen nicht dicht schloss, da die Leckage im Ventil ebenfalls AE erzeugte und den RMS Wert anhob. Das Ziel wird sein, solche Signale den Ventilen zuzuordnen und nicht als Leckage an Wand oder Boden anzuzeigen. Hierzu muss noch die Übergabe der Daten der Messwarte nach VisualAE realisiert werden. Der Fakt, dass RMS Daten und Wetterdaten verlässlich korrelieren, kann als Beweis dienen, dass RMS-Daten auch mit den Daten der Messwarte korrelieren werden und das Problem, dass bei einem geöffneten oder nicht dicht schließenden Ventil eine Leckage an Boden oder Wand angezeigt wird, gelöst werden kann. Es ist trotzdem anzumerken, dass im Fall eines nicht dicht schließenden Ventils, die von dieser Leckage erzeugte AE die Funktion der Leckageüberwachung des Bodens und der Wand, als auch die Korrosionserkennung, beeinträchtigen kann.

Die Verwendung von Magnethaltern hat sich soweit bewährt, dass über den einjährigen Betrieb eine konstante stabile Qualität der Sensorankopplung realisiert wurde. Die Sensorhalterung sollte insofern verbessert werden, dass ein unbeabsichtigtes Anstoßen und Verschieben des Sensors verhindert wird.

Die Datenerzeugungsrate und die Gesamtmenge der erzeugten Daten ist gewaltig. Nur ein kleiner prozentualer Teil der Daten ist relevant. Es besteht ein hohes Potential für effiziente Datenreduktion.

Das Tool „Vallen Automation Manager“ wurde in einer vorläufigen Version für dieses Projekt konfiguriert und hat sich prinzipiell bewährt. Er wurde hinsichtlich Datenreduktion zwischenzeitlich erweitert.

Den Tank betreffend kann festgestellt werden, dass aktive Korrosion von der Installation bestätigt wurde, dass keine Leckage an Boden und Wänden stattfand und dass sich der Status des Tanks während der einjährigen Überwachung nicht verändert hat.

## References

1. Gerald Lackner, Peter Tscheliesnig, 'Acoustic Emission testing (AT) on flat bottom storage tanks: how to condense acquired data to a reliable statement regarding floor condition', EWGAE 2002, September 2002
2. Gerald Lackner, Peter Tscheliesnig, 'Field testing of flat bottom storage tanks with acoustic emission – a review on the gained experience', EWGAE 2004, September 2004
3. Peter Tscheliesnig, 'More than a quarterly century of Acoustic Emission Testing (AT) at TUV Austria', EWGAE 2006, September 2006
4. Sosoon Park et al., 'AE Source and Activity during Corrosion Process of Oil Tank Bottom Plate under Environment with Various pH Conditions', Progress in AE XII: 17th IAES, November 2004, ISBN 4-931018-04-1
5. Mikio Takemoto et al. 'Condition Monitoring of Floor Plate of 10,000 kL Storage Tank', Advanced Nondestructive Evaluation I: Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Nondestructive Testing, November 2005, Korea
6. Cherdpong Jomdecha et al, 'Acoustic Emission for Leakage Monitoring under Tank Floor of Internal Floating Roof Storage Tank', World Conference on Acoustic Emission, August 2011
7. Ireneusz Baran, Gerald Lackner, 'Analysis of Corrosion Processes and Leaks in Aboveground Storage Tanks with AE Monitoring', EWGAE 2012, September 2012
8. ASTM E1930/E1930-M, 'Standard Practice for Examination of Liquid-Filled Atmospheric and Low-Pressure Metal Storage Tanks Using Acoustic Emission', 2012
9. EN 15856, 'Non-destructive testing – Acoustic emission – General principles of AE testing for the detection of corrosion within metallic surrounding filled with liquid', 2010
10. Hideyuki Nakamura, Takahiro Arakawa, Yamada Minoru, 'Examination of AE Wave Propagation Routes in a Small Model Tank', Progress in AE XIII: 17<sup>th</sup> IAES, November 2004
11. Hideyuki Nakamura et al., 'Study of Identification and Removal Method for Drop Noise at AE Measurement of a Tank', 19<sup>th</sup> IAES, December 2008
12. Marek Nowak et al. 'Acoustic Emission Method for Solving Problems in Double-Bottom Storage Tanks', 19<sup>th</sup> IAES, December 2008
13. Ray Davis, 'AE as a Basis for Plant Integrity Monitoring', Progress in Acoustic Emission III - The Japanese Society of NDI, 1986
14. Hiroyasu Nakasa and Hiroaki Sasaki, 'Long-term continuous monitoring of structural integrity of steel storage tanks', IAES 1998
15. Claudio Allevato, 'The use of acoustic emission testing on long term monitoring of damaged components', EWGAE 2010, 2010
16. ASTM E1139, 'Standard Practice for Continuous Monitoring of Acoustic Emission from Metal Pressure Boundaries', 2012

17. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Article 13, 'Continuous Acoustic Emission Monitoring', 2010
18. ASTM E650, 'Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors', 2012
19. Vallen Systeme GmbH, 'AMSY-6 System Description', AMSY-6\_Description\_1404.pdf downloaded on 16<sup>th</sup> of June 2014 from [www.vallen.de](http://www.vallen.de)
20. Vallen Systeme GmbH, 'Vallen ISAFE3', ISAFE3-OperationManualEnglish.R1\_2013-09-30.pdf obtained on 16<sup>th</sup> of June 2014 from Vallen Systeme GmbH
21. Davis Instruments, 'Wireless Vantage Pro & Vantage Pro Plus Stations', [http://www.davisnet.com/product\\_documents/weather/spec\\_sheets/6150\\_spec\\_rev\\_c.pdf](http://www.davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/6150_spec_rev_c.pdf), downloaded on 16<sup>th</sup> of June 2014