

Vergleich der Ortungsergebnisse von Schallquellen auf einem Halbkugelboden, wenn dieser mit unterschiedlichen Abbildungsvorschriften auf eine Ebene projiziert wird.

Thomas THENIKL*, Hartmut VALLEN*

* Vallen Systeme GmbH, 82057 Icking, www.vallen.de

Kurzfassung. Die Lösung des Problems der Ortung von Schallquellen, wenn Laufzeitunterschiede gemessen werden, ist auf einfachen Oberflächen recht gut beherrschbar. Zu den einfachen und beherrschbaren Oberflächen zählen ebene Flächen sowie abwickelbare Flächen wie zum Beispiel der Zylindermantel oder Kegelmantel aber auch nicht abwickelbare Flächen wie die Kugelschale oder Kugelkalotte. Es versagen jedoch die analytischen oder iterative Lösungsansätze auf etwas komplexeren Oberflächen, wie zum Beispiel Rotationsellipsoiden oder im praktischen Fall der Druckgeräteprüfung: auf Klöpperböden oder Korbbogenböden. Die vorliegende Arbeit soll zeigen, dass die ebene Näherung des Ortungsproblems akzeptable Ergebnisse liefert, selbst dann, wenn es durch die Projektion der gekrümmten Fläche auf die Ebene zu starken Verzerrungen kommt. Dazu werden Ortungsergebnisse von Schallquellen auf einem Halbkugelboden von einem sphärischen Ortungsalgorithmus mit Ergebnissen eines ebenen Ortungsalgorithmus verglichen. Für die Anwendung des ebenen Ortungsalgorithmus wurde die Halbkugel mit verschiedenen Abbildungsvorschriften auf die Ebene projiziert. Da Klöpperböden oder Korbbogenböden bei der Projektion auf die Ebene weniger stark verzerrt werden, sollte die ebene Näherung weniger stark abweichende Ergebnisse liefern als für Halbkugelböden.

1. Einführung

Die Lokalisierung von Schallemissionsquellen zählt zu den wichtigsten Aufgaben der Schallemissionsanalyse [1]. Am weitesten verbreitet sind Punktortungsalgorithmen, die aufgrund von Messdaten die Koordinaten des Quellortes berechnen.

Für ebene Oberflächen gibt es eine Vielzahl an analytischen und numerischen Verfahren um den Quellort eines Schallemissionsereignisses aufgrund der Ankunftszeitmessung zu bestimmen [2, 3 4, 5, 6]. Zu diesen Oberflächen zählen ebene- und abwickelbare Flächen wie der Zylinder- oder Kegelmantel. Solche Oberflächen können ohne Verzerrung auf eine Ebene abgewickelt werden.

In der Schallemissionsprüfung wird man jedoch häufig mit Objekten konfrontiert deren Mantel zumindest teilweise eine gekrümmte Oberfläche aufweisen: sphärische Lagerbehälter oder gewölbte Böden von Druckgeräten. Im Unterschied zu ebenen

Oberflächen sind diese Oberflächen nicht ohne Verzerrung auf eine Ebene abwickelbar [7, 8].

Für gekrümmte Oberflächen gibt es derzeit kein analytisches- oder on-line fähiges, numerisches Punktortungsverfahren. Die einzige Ausnahme stellt die Kugeloberfläche dar, für die das Ortungsproblem vollständig gelöst ist. In weiterer Folge wird der Begriff „gekrümmten Oberfläche“ als Synonym für alle gekrümmten Oberflächen mit Ausnahme der Sphäre verwendet. Es gibt verschiedene Vorgehen, um interpretierbare und verifizierbare Punktortungen auf gekrümmten Oberflächen während der Messung zu erhalten. Damit Ortungsergebnisse interpretierbar sind, sollten Schallemissionen aus einer punktförmigen Quelle, die öfters zu Schallemissionsereignissen angeregt werden, eine Ortungshäufigkeit auf engem Raum ausbilden. Da diese Vorgehen immer nur eine Näherung für ein Punktortungsverfahren auf einer gekrümmten Oberfläche darstellen, können die errechneten Quellorte recht stark vom tatsächlichen Ort auf der gekrümmten Oberfläche abweichen. Indem die tatsächliche Position einer künstlichen Schallquelle, zum Beispiel eine Hsu-Nielsen Quelle, auf der gekrümmten Oberfläche mit dem Ortungsergebnis korreliert wird, kann das Ortungsergebnis verifiziert und der tatsächliche Quellort festgestellt werden.

Die vorliegende Arbeit erörtert, warum Ortungsalgorithmen für gekrümmte Oberflächen nicht für die on-line Verarbeitung geeignet sind. Darüber hinaus wird ein Verfahren vorgestellt bei dem die Sensorpositionen auf eine Ebene abgebildet werden um dann einen ebenen Ortungsalgorithmus auf die Messergebnisse der Ankunftszeit anwenden zu können. Ein Vergleich der Ergebnisse des sphärischen- mit dem ebenen Ortungsalgorithmus soll die Unterschiede und Besonderheiten aufzeigen.

2. Problematik der Ortung von Schallquellen auf komplexen Oberflächen

In zwei Publikationen [2, 3] gibt Ge einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten das Ortungsproblem zu lösen. Das Prinzip von Punktortungsalgorithmen basiert darauf, dass ein Ankunftszeitmuster, bestehend aus der Abfolge von getroffenen Sensorkanälen und der Ankunftszeit, sprich der ersten Überschreitung der Nachweisschwelle im Kanal, einen Quellort eindeutig charakterisiert. Damit diese Aussage zutrifft müssen genügend Messkanäle an der Messung teilnehmen. Rhys [9] beschreibt mit der Δt -Ortungsmethode ein Verfahren welches sich genau diese Eigenschaft, die selbst auf komplex geformten Oberflächen anwendbar ist, zu Nutze macht. Dabei werden im Vorfeld eines Tests die Ankunftszeitmuster von Referenzpunkten bestimmt. Ein Schallemissionsereignis wird jenem Referenzpunkt zugeordnet, dessen Ankunftszeitmuster die kleinste Abweichung vom gemessenen Ankunftszeitmuster erzeugt.

Ein Punktortungsalgorithmus geht einen Schritt weiter und verarbeitet das Ankunftszeitmuster unter Kenntnis der Oberflächengeometrie und der Schallgeschwindigkeit zu einem Ortungsergebnis weiter. Er liefert für jedes Schallemissionsereignis individuelle Punktkoordinaten.

Analytische oder iterative Punktortungsverfahren bestimmen den Ort der Quelle so, dass die emittierte elastische Welle auf kürzestem Weg zu jedem Sensor propagieren konnte. In der einen oder anderen Form ist es bei jedem Punktortungsverfahren notwendig, den kürzesten Weg zwischen einem Quellpunkt und den Sensoren zu ermitteln. Dazu wird eine Ankunftszeitfunktion [2] benötigt, welche den kürzesten Weg des Schalls zu den Sensoren mit der gemessenen Laufzeit verknüpft. Im allgemeinen Fall, für beliebige Oberflächen, ist das:

$$L_i = c(t_i - t) \quad (1)$$

Dabei ist L_i der kürzeste Abstand zwischen Quelle und i -tem Sensor. Die Schallgeschwindigkeit ist c . Die Zeit an dem die Schallemissionsquelle emittierte ist t . Zum Zeitpunkt t_i erzeugt das Schallemissionssignal der elastischen Welle im i -ten Sensorkanal die erste Überschreitung der Nachweisschwelle.

Auf ebenen Oberflächen vereinfacht sich die linke Seite der Gleichung (1) zur euklidischen Norm [7,8]. Da die beiden Koordinaten der Quelle und der Zeitpunkt t an dem die Quelle emittierte unbekannt sind, werden Messergebnisse von mindestens drei Sensorkanälen benötigt um den Quellort analytisch zu bestimmen. Ist das Gleichungssystem überbestimmt, das heißt wenn mehr als drei Messkanäle ihre Ergebnisse dem Ortungsalgorithmus beisteuern, muss das Ortungsproblem iterativ gelöst werden um beste Ergebnisse zu erzielen.

Im Fall gekrümmter Oberflächen wird der kürzeste Abstand Geodäte genannt. Ist L_i die Geodäte zwischen dem Quellort und dem i -ten Sensor, kann deren Länge nur über Variationsrechnung bestimmt werden. Es wird gefordert [7, 8]:

$$L_i = \int_Q^{S_i} \sqrt{\frac{ds(t)}{dt}} dt = \text{Minimum} \quad (2)$$

Dabei ist $s(t)$ eine durch t parametrisierte Funktion die den Weg auf der gekrümmten Oberfläche von der Quelle zum i -ten Sensor beschreibt. Das Integral entlang der Kurve $s(t)$ vom Quellort Q bis zum i -ten Sensor ergibt die Distanz L_i . Die Forderung nach dem Minimum der Gleichung (2) drückt aus, dass $s(t)$ der kürzeste Weg ist.

Wie eingangs erwähnt lässt sich die Geodäte, außer auf Kugeloberflächen, nur über Variationsrechnung bestimmen. Damit scheiden analytische Ortungsverfahren grundsätzlich für die Ortung von Schallquellen auf gekrümmten Oberflächen aus. Je genauer die Geodäte bestimmt werden soll, desto feiner muss die Iteration ausgeführt werden, desto zeitaufwändiger ist das Verfahren. Der Simplex Algorithmus, der einfachste und robusteste Vertreter der iterativen Ortungsalgorithmen benötigt je Iteration die Berechnung von mindestens drei geodätischen Linien. Je nach Ort der Quelle in Bezug auf die Positionen der Sensoren, kann der Simplex Algorithmus wenige, bis zu 10, Iterationen oder aber auch bis zu 100 Iterationen benötigen um den Quellort anzunähern. Selbst bei einer durchschnittlichen Berechnungszeit der Geodäte von circa 1 Sekunde [9] ist diese Vorgehensweise für die on-line Verarbeitung nicht geeignet.

Wird nun ein ebener Punktortungsalgorithmus auf ein Ankunftszeitmuster einer Schallquelle auf einer gekrümmten Oberfläche angewendet, so werden zwar abweichende Ortungsergebnisse geliefert, jedoch sind die Ergebnisse für die gleiche Schallquelle reproduzierbar an der gleichen, abweichenden Stelle. Diese Eigenschaft wird im Folgenden ausgenutzt um das Ankunftszeitmuster von Schallquellen auf einem Halbkugelboden mit einem ebenen Ortungsalgorithmus weiterzuverarbeiten.

3. Spezielle Abbildungsvorschriften von sphärischen Oberflächen auf die Ebene

Damit ein ebener Ortungsalgorithmus angewendet werden kann, müssen die Koordinaten der Sensoren, welche in drei Dimensionen, (R, λ, φ) , gegeben sind auf eine ebene zweidimensionale Fläche überführt werden. Abbildungsvorschriften welche eine gekrümmte Fläche in eine Ebene überführen werden azimutal genannt. Eine ebene Abbildungsvorschrift kann eine gekrümmte Fläche nur verzerrt darstellen. Verzerrt bedeutet, dass Strecken oder Flächen oder beides in der Abbildung gestaucht oder gedehnt sind oder Winkel nicht richtig wiedergegeben werden. Bei azimutalen Abbildungen werden die Verzerrungen im Allgemeinen größer, je weiter man sich vom Berührungspunkt der

Abbildung entfernt. Dennoch kann eine Abbildung konform (winkeltreu) oder äquivalent (flächentreu) sein. In Teilbereichen können sie äquidistant (abstandstreu) sein.

Für dieses Beispiel wurden einfache azimutale Abbildungsvorschriften ausgewählt: (i) orthographische -, (ii) flächentreue - und (iii) mittabstandstreue Abbildung. Die Eigenschaften der Abbildungen sind unten kurz illustriert und können in [7,8] nachgelesen werden.

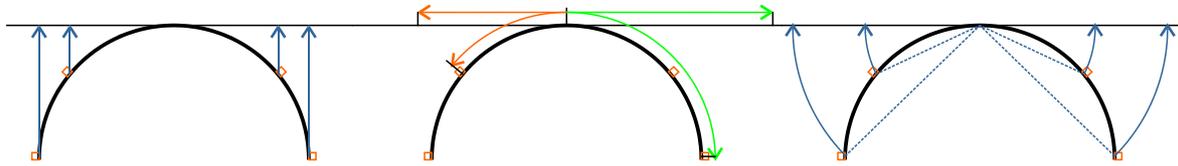


Abbildung 1: schematische Darstellung der orthographischen Abbildung (ganz links), mittabstandstreuen Abbildung (Mitte) und flächentreuen Abbildung (ganz rechts).

Die wichtigste Eigenschaft einer Abbildung für die Ortungsrechnung sind die verursachten Verzerrungen der Abstände. Bei der orthographischen Abbildung werden die radialen Distanzen zum Äquator hin sehr stark verkürzt, während konzentrische Kreise um den Berührungspunkt abstandstreu sind. Die flächentreue Abbildung verzerrt Abstände zum Äquator hin weniger stark und streck Abstände entlang der Meridiane. Die mittabstandstreue Abbildung erzeugt eine radial abstandstreu Abbildung. Dafür werden die Meridiane zum Äquator hin teilweise stark gestreckt.

4. Messdaten

Die Daten welche im nachfolgenden Text gezeigt werden, stammen von einem Abnahmetest eines Druckreaktors mit sphärischem Boden den I & T Nardoni durchführte. Ausschnitte der georteten Ergebnisse werden gezeigt um die Unterschiede der Abbildungsvorschriften zu illustrieren.

Auf dem betrachteten sphärischen Boden wurden insgesamt 7 Sensoren angebracht. 4 davon befanden sich in einem Abstand von jeweils 90° am Äquator, das heißt am Übergang zum zylindrischen Mantel. 3 weitere wurden in Abständen von 120° entlang eines Breitenkreises auf Höhe des 47ten Breitengrades angebracht.

5. Auswertung der Daten

Die Positionen der Sensoren wurden entsprechend der Abbildungsvorschrift neu berechnet. Die so gewonnenen Koordinaten in zwei Dimensionen dienen als Positionen der Sensoren im ebenen Ortungsalgorithmus. Die Schallgeschwindigkeit wird im Vergleich zum sphärischen Ortungsalgorithmus nicht geändert.

Als Ergebnisse werden einzelne Cluster von Ortungen an unterschiedlichen Stellen des sphärischen Bodens verglichen. Ausgang bildet immer ein Cluster von Ortungen der durch den sphärischen Ortungsalgorithmus erzeugt wurde. Die daran beteiligten Schallemissionsereignisse werden zum Vergleich von einem ebenen, auf dem Simplex Verfahren [3] beruhenden Ortungsalgorithmus ausgewertet.

6. Ergebnisse

Welche Auswirkung die Verzerrung der Abstände hat, soll anhand dreier Beispiele gezeigt werden. Im ersten Beispiel wird ein Cluster von Ortungen betrachtet der in der Nähe des

Äquators liegt. Die Kugelkoordinaten des Clustermittelpunkt sind $(R, \lambda, \varphi) \approx (2,74m, 153^\circ, 2^\circ)$. Bei der Darstellung in Abbildung 1, links oben, ist zu beachten, dass die gedrängte Darstellung der Ortungsergebnisse des sphärischen Ortungsalgorithmus der Diagrammdarstellung geschuldet ist. Im Diagramm werden die Ergebnisse orthographisch auf eine Ebene abgebildet. Durch die Steilheit der Kugelschale in diesem Bereich sieht man nur einen kleinen Querschnitt des Flächenausschnitts.

Wird ein ebener Ortungsalgorithmus auf die Ankunftszeitmuster der Schallemissionsereignisse des Ortungsclusters angewendet so unterscheiden sich die gewonnenen Ergebnisse stark untereinander. In allen drei Abbildungsfällen wird die ursprüngliche Häufung von Ortungsergebnisse mehr oder weniger stark in radialer Richtung nach außen verschoben und in radialer Richtung gestreckt.

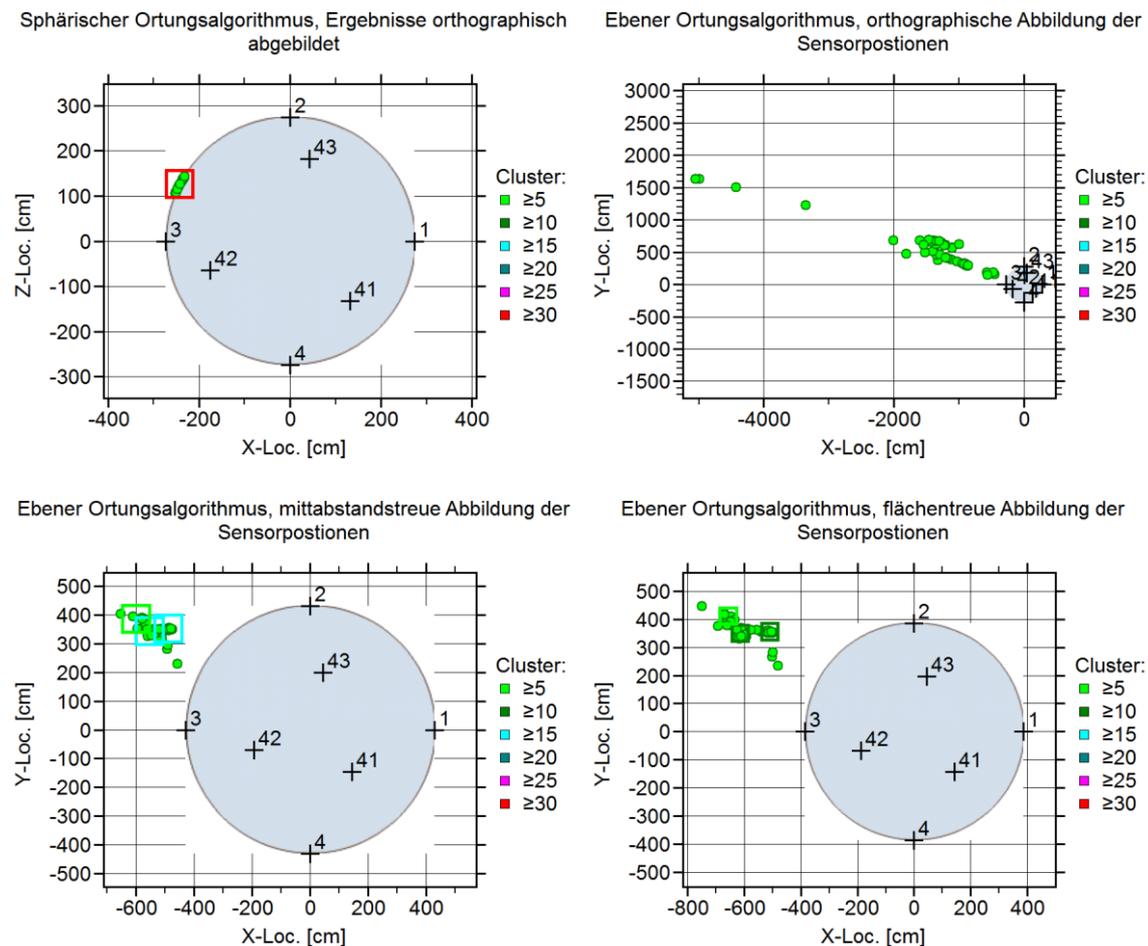


Abbildung 2: Das linke obere Diagramm zeigt einen Cluster von Ortungen in der Nähe des Äquators. Dieser Cluster stellt die Rohdaten dar, welche als Eingangsdaten für den ebenen Ortungsprozessor dienen. Die restlichen Diagramme zeigen Ortungsergebnisse der orthographischen (rechts oben), mittabstandstreuen (links unten) und flächentreuen (rechts unten) abgebildeten Sensorpositionen.

Die Ortungsergebnisse der ebenen Näherung sind nicht in der Nähe des abgebildeten Äquators, sondern nach außen, in radialer Richtung, verschoben. Der Grund hierfür ist, dass der ebene Ortungsalgorithmus etwaige Verzerrungen in den Abständen zu den Sensoren nicht berücksichtigt. Speziell die Abstände zwischen den beteiligten Sensor 2, 3, 42 und 43 sind in diesem Bereich teilweise stark verzerrt.

Im zweiten Beispiel (siehe Abbildung 2) werden Ortungsergebnisse betrachtet, deren Clustermittelpunkt bei $(R, \lambda, \varphi) \approx (2,74m, 112^\circ, 34^\circ)$ liegt. In diesem Beispiel zerfallen die Ortungsergebnisse der ebenen Ortungsalgorithmus in zwei getrennte Cluster. In allen ebenen Näherungen sind die Ortungscluster überlappend, was bedeutet, dass die

Ortungsergebnisse gehäuft auftreten, jedoch auf einer größeren Fläche verteilt. Mit geänderten Abmessungen für einen Cluster könnten die Ergebnisse alle in einem Cluster liegen.

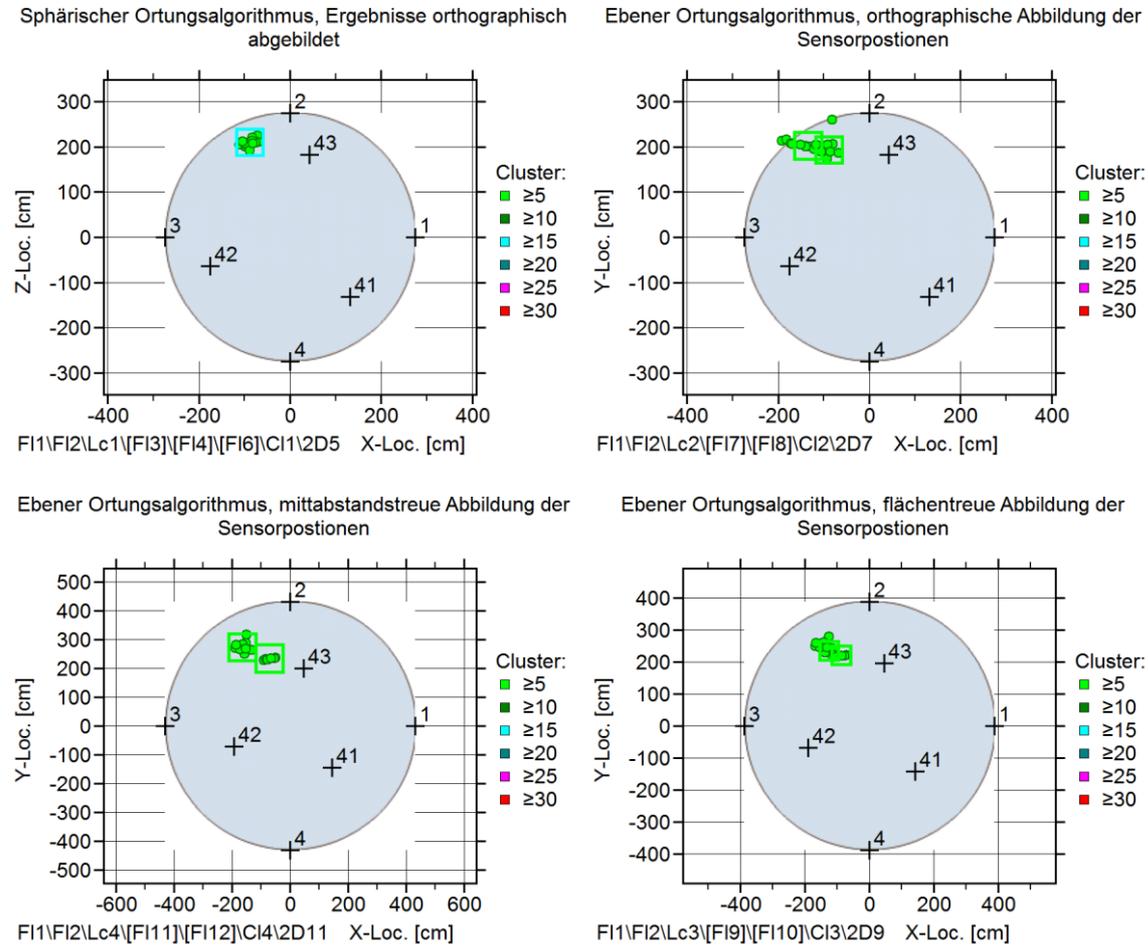


Abbildung 3: Das linke obere Diagramm zeigt einen Cluster von Ortungen der die Rohdaten darstellt, welche als Eingangsdaten für den ebenen Ortungsprozessor dienten. Die restlichen Diagramme zeigen Ortungsergebnisse der orthographischen (rechts oben), mittabstandstreuen (links unten) und flächentreuen (rechts unten) abgebildeten Sensorpositionen.

Als abschließendes Beispiel (siehe Abbildung 3) werden noch Ortungsergebnisse in der Nähe des Pols gezeigt. Im Fall der orthographischen Abbildung bilden die Ortungsergebnisse, keine Ortungscluster aus. Ursache dafür ist, dass auch Sensoren am Äquator ihre gemessene Ankunftszeit dem Ortungsalgorithmus bereitstellen. Aufgrund der starken Abstandsverzerrung zum Äquator hin, werden die Ortungsergebnisse auseinander gezogen. In den beiden anderen Fällen wird jeweils genau ein Cluster ausgebildet.

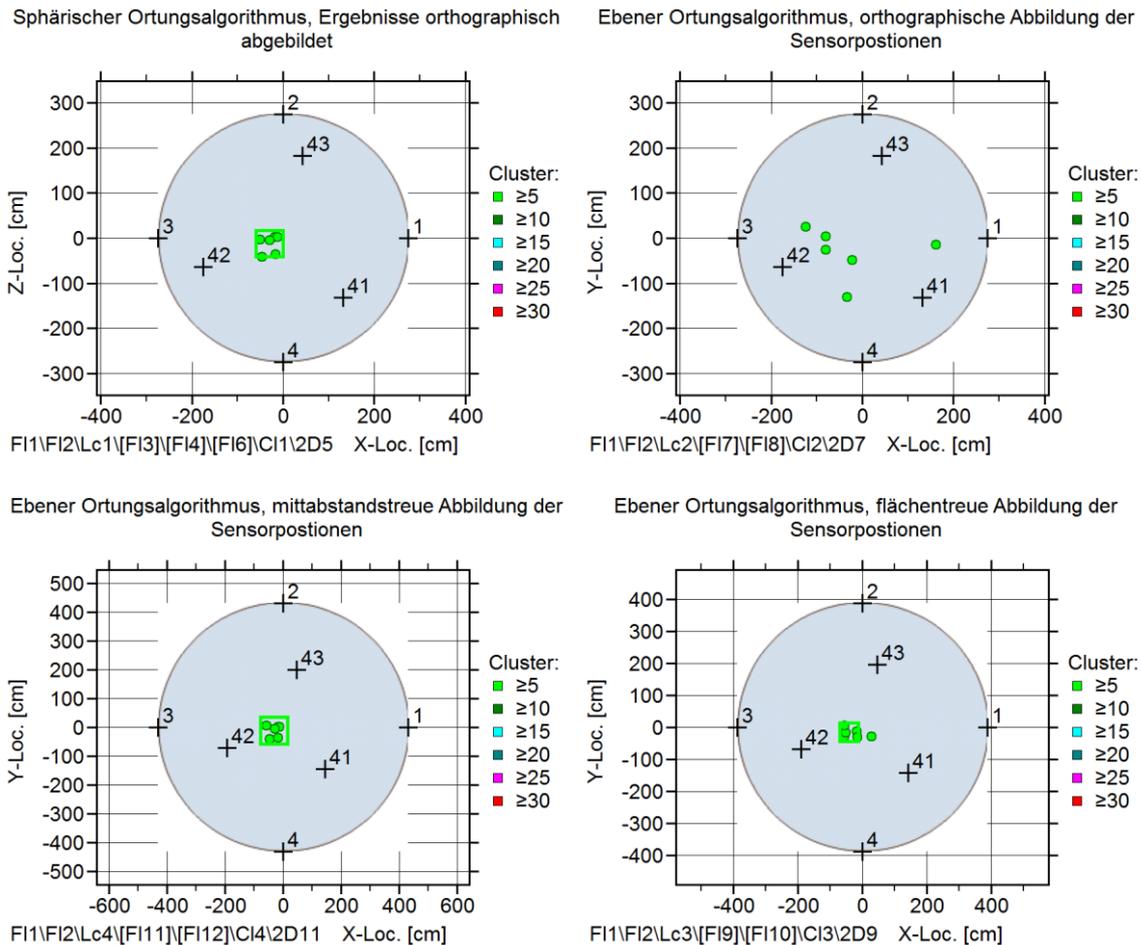


Abbildung 4: Das linke obere Diagramm zeigt einen Cluster von Ortungen in der Nähe des Pols. Dieser Cluster stellt die Rohdaten dar, welche als Eingangsdaten für den ebenen Ortungsprozessor dienen. Die restlichen Diagramme zeigen Ortungsergebnisse der orthographischen (rechts oben), mittabstandstreuen (links unten) und flächentreuen (rechts unten) abgebildeten Sensorpositionen.

In der Tabelle 1 werden die Ortungsergebnisse der betrachteten Beispiele 1 bis 3 zusammengefasst. Die Koordinaten in der Spalte „Soll“ geben die Soll Position des Clustermittelpunktes in der Ebene an, die aufgrund der Abbildungsvorschrift ausgehend vom Clustermittelpunkt auf der Kugelschale erhalten werden.

Tabelle 1: je betrachteten Beispiel werden die Cluster Mittelpunkts Koordinaten in der Ebene (x,y) angegeben. In Fällen in denen der Cluster in mehrere zerfallen ist, ist der gewichtete Mittelwert der Clustermittelpunkte angegeben. „Soll“ bezeichnet die aufgrund der Abbildungsvorschrift berechnete Position des Clusters der mittels sphärischen Ortungsalgorithmus bestimmt wurde.

Abbildung	Orthographisch		mittabstandstreu		flächentreu	
	Soll in cm	Ist in cm	Soll in cm	Ist in cm	Soll in cm	Ist in cm
Beispiel 1	(-244,124)	n.a.	(-374,191)	(-533,352)	(-339,173)	(-385,362)
Abweichung	n.a.		$\Delta = 226cm$		$\Delta = 194cm$	
Beispiel 2	(-89,209)	(-109,197)	(-104,247)	(-119,254)	(-101,237)	(-105,226)
Abweichung	$\Delta = 23cm$		$\Delta = 17cm$		$\Delta = 12cm$	
Beispiel 3	-32,-9	n.a.	(-32,-9)	(-30,-11)	(-32,-9)	(-39,-16)
Abweichung	n.a.		$\Delta = 3cm$		$\Delta = 10cm$	

7. Diskussion der Ergebnisse

Im ersten Beispiel wird ein Bereich des Kugelbodens betrachtet, der die größten Verzerrungen in jeder der drei Abbildungen aufweist. Dadurch liefert der ebene Ortungsalgorithmus, welcher Verzerrungen nicht berücksichtigt, naturgemäß stark abweichende Ergebnisse. Die Abweichung drückt sich einerseits dadurch aus, dass die Schwerpunkte der Ortungshäufigkeiten radial nach außen verschoben sind. Andererseits sind die Ortungshäufigkeiten in radialer Richtung gestreckt. Es stellt sich heraus, dass eine orthographische Abbildung der Sensorpositionen die qualitativ schlechtesten Ergebnisse liefert. Im Falle der flächentreuen, sowie der mittabstandstreuen Abbildung wird der betrachtete Ortungscluster in eine etwas breiter verschmierte Ortungshäufigkeit übergeführt. Beide Abbildungsvorschriften, flächentreu und mittabstandstreu, liefern vergleichbare Ergebnisse.

Je näher die Schallquellen beim Berührungspunkt der Abbildung auftreten, desto geringer ist die Abweichung der georteten Quellposition von der erwarteten Position. Grund hierfür ist die geringere Verzerrung von Distanzen zwischen Schallquelle und den Sensoren des zweiten Ringes (41, 42, 43). Wenn man zulässt, dass auch Sensoren am Äquator an der Ortung beteiligt sind, dann liefert die mittabstandstreu Abbildung die besten Ergebnisse. Das liegt daran, dass für Schallquellen in der Nähe des Pols die Abstände zu den Sensoren am Äquator am wenigsten stark verzerrt sind.

Ein ebener Ortungsalgorithmus muss die gemessenen Laufzeitunterschiede auf einer Kugeloberfläche mit den geometrischen Aspekten der verzerrten Abbildung von Abständen in Einklang bringen. Je stärker die Abstände verzerrt sind, desto stärker ist die Abweichung der Ergebnisse von deren Soll Position.

Die Ortungscluster in der ebenen Näherung besitzen nicht die gleiche räumliche Ausdehnung wie auf der Kugelschale. Mit den gewählten Einstellungen für das Clusterverfahren zerfallen die Ortungshäufigkeiten teilweise in zwei oder mehrere Cluster. Auch wenn sich die Abmessung von Ortungscluster von der Sphäre auf die Ebene nicht eins zu eins überführen lassen, so ist doch eine räumliche Häufung der Ortungsergebnisse zu erkennen.

Der verwendete Simplex Algorithmus konnte in allen drei Beispielen jedem Schallemissionsereignis einen Quellort zuzuordnen. Das heißt alle Schallemissionsereignisse, die mit dem sphärischen Ortungsalgorithmus geortet wurden, konnten auch mit dem ebenen Ortungsalgorithmus zu einem Ortungsergebnis verarbeitet werden.

8. Schlussfolgerung für gewölbte Böden

Gewölbte Böden wie zum Beispiel Korbbogen- und Klöpperböden dienen als raumsparende Alternative zu Kugelböden. Durch deren abgeflachte Form im Vergleich zum Kugelboden wird weniger Platz benötigt. Der Öffnungswinkel der Kugelkalotte ist im Bereich von 50° . Bei einer azimutalen Abbildung entspricht das der Fläche vom Pol bis zum 65.ten Breitenkreis. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass in diesem Bereich die Verzerrungen aufgrund der Abbildung so klein sind, dass ebene Ortungsalgorithmen nur mehr geringe Abweichungen im Vergleich zum sphärischen Ortungsalgorithmus produzieren.

Die Krempe ist 7-10 mal stärker gekrümmt als die Kugelkalotte des gewölbten Bodens und 3-5 mal stärker gekrümmt als der entsprechende Halbkugelboden. Damit ist die Krempe jener Bereich, der bei einer Abbildung am stärksten verzerrt wird. Die Fläche der Krempe ist kleiner als die der Kugelkalotte, weshalb sich die starken Verzerrungen auf einen kleineren Bereich beschränken. Da aber auf einem Großteil der abgebildeten Fläche

die Verzerrungen sehr gering sind, ist der Einfluss der Verzerrungen im Bereich der Kreppe auf einen ebenen Ortungsalgorithmus gering.

Für eine flächen- oder mittabstandstreue Abbildung der Positionen der Sensor auf die Ebene muss der gewölbte Boden durch eine Kugeloberfläche angenähert werden. In erster Näherung wird der Radius der Kugeloberfläche dem der Kugelkalotte des gewölbten Bodens entsprechen.

Ein weiteres Verfahren, das hier erwähnt werden soll, um das Ortungsproblem auf einer gekrümmten Oberfläche mit einem ebenen Ortungsalgorithmus näherungsweise zu lösen, beruht auf Triangulation. Dabei definieren jeweils 3 benachbarte Sensoren eine Ebene welche den gekrümmten Abschnitt zwischen ihnen annähern. In der Regel wird so die gekrümmte Fläche in mehrere ebene Flächen abgebildet. Die Verzerrungen je Flächenabschnitt sind kleiner als bei einer azimutalen Abbildung der kompletten gekrümmten Oberfläche. Daher ist zu erwarten, dass bei einer Triangulation der ebene Ortungsalgorithmus weniger stark abweichende Ergebnisse liefert als im Fall einer azimutalen Abbildung.

9. Zusammenfassung

Weil das Geodäten Problem auf gekrümmten Oberflächen für die on-line Verarbeitung nicht schnell genug lösbar ist, wird es auch in näherer Zukunft keine on-line fähigen Punktortungsalgorithmen für gewölbte oder elliptische Böden geben.

Wenn die Positionen der Sensoren auf der gekrümmten Oberfläche durch eine flächentreue oder mittabstandstreue azimutale Abbildung in die Ebene übergeführt werden, können auch ebene Ortungsalgorithmen, das Ankunftszeitmuster der Schallquellen auf der gekrümmten Oberfläche mit einem eindeutigen Ort auf der Ebene in Verbindung bringen. Dieser Quellort wird mehr oder weniger stark von der tatsächlichen Position der Schallquelle auf der gekrümmten Oberfläche abweichen. Die Beispiele zeigen, dass eine fixe Schallquelle eine Ortungshäufigkeit ausbildet, wenn deren Schallemissionsereignisse ein ähnliches Ankunftszeitmuster erzeugen. Damit kann eine Ortungshäufigkeit festgestellt werden und eine Schallquelle interpretiert werden. Die tatsächliche Position lässt sich experimentell im Nachgang eines Tests ermitteln.

Da gewölbte Böden in großen Bereichen weniger starke Verzerrungen aufweisen als Kugelböden, kann man davon ausgehen, dass die Ortungsergebnisse einer ebenen Näherung weniger stark von tatsächlichen Positionen abweichen als im Falle eines Kugelbodens.

Es muss bei der Analyse sichergestellt sein, dass der ebene Ortungsalgorithmus keine Ortungsergebnisse verwirft, wenn das Ankunftszeitmuster für eine ebene Anordnung der Sensoren als nicht plausibel bewertet wird. Der Simplex Algorithmus konnte in den Beispielen jedes Schallemissionsereignis zu einem Ortungsergebnis weiterverarbeiten.

Referenzen

- [1] Nondestructive Testing Handbook, Vol 6, Acoustic Emission Testing, 3rd Edition, 2005
- [2] Maochen Ge, „Analysis of source location algorithms; Part I: Overview and non-iterative methods”, Journal of Acoustic Emission 2003, Vol. 21, 2004
- [3] Maochen Ge, „Analysis of Source location Algorithms; Part II: Iterative methods”, Journal of Acoustic Emission 2003, Vol. 21, 2004
- [4] Jürgen Eisenblätter, „Zwei- und dreidimensionale Schallquellenortung“, 9. Kolloquium Schallemission DGZfP, Berichtsband 32, 1992
- [5] Steven M. Ziola und Michael R. Gorman, „Acoustic Emission Source Location in Thin Plates Using Cross-correlation“, SPIE Vol. 3042, 3, 1997

- [6] Hiroyasu Nakasa, „High-Accuracy AE Source Location Method Using Numerical Analysis“, 12th International Acoustic Emission Symposium, 1994
- [7] Michael Spivak , „A comprehensive introduction to differential geometry“, 3. Auflage, Vol 3., Publish or Perish, Houston, Texas, 1999
- [8] Manfredo Perdigão do Carmo, „Riemannian geometry“, Birkhäuser, Boston u. a. 1992
- [9] Pullin Rhys et al, „Novel Acoustic Emission Source Location“, 6. International Conference on Acoustic Emission, 2007
- [10] Zdenek Prevorovsky et al., „Progressive Approaches to Localization and Identification of AE Sources“, 30. Acoustic Emission Working Group und 7. International Conference on Acoustic Emission, 2012