

Metalldetektoren im leitenden Meerwasser



1.	Einführung	3
2.	Erster UW-Detektor	3
3.	Minensuchgerät Köln 661	4
4.	Neues Puls-Induktions-Verfahren	5
5.	Trend der Weiterentwicklung	5
6.	Leitfähigkeitseffekte am Gewässergrund	6
7.	Delayzeit und Schleifendurchmesser	6
8.	Erklärung zum Raumeffekt	6
9.	Vertikal/Horizontal-Effekt	8
10.	Moderne UW-Detektoren	8

1. Einführung

Kampfmittel in unseren Gewässern sind auch heute noch ein aktuelles Thema, und EBINGER gehört weltweit zu den führenden Unternehmen, die sich insbesondere auch dieses Themas der schwierigen Ortung mit Unterwasser-Metalldetektoren angenommen haben. Im vorliegenden Artikel resümiert der Verfasser die Entwicklung der speziellen Technik aus seinem ganz persönlichen Blickwinkel und in seinem ganz persönlichen Stil, was beides nicht streng wissenschaftlich zu verstehen ist, sondern vor allem vermitteln soll, wie er, der diese Entwicklung bis auf den heutigen Tag so maßgeblich geprägt hat, diese als Ingenieur und Mensch miterlebt hat.

2. Erster UW-Detektor

Für unsere aktive Technik ist wichtig zu wissen, dass durch die elektrische Leitfähigkeit des Seewassers so genannte Pseudosignale entstehen, die die Funktion empfindlicher Metalldetektoren nachhaltig stören können. Die ersten UW-Metalldetektoren, die Anfang der 70er Jahre von meiner Tauchergruppe eingesetzt wurden, beruhten auf dem Dämpfungsprinzip. Eine Erfindung, die mir nächstens bei der Transistorisierung von US-Minensuchgeräten zuflog! Sie beruht auf einem dämpfungsempfindlichen Suchoszillator (die eigentliche Erfindung), dessen Suchspule als Teil eines Schwingkreis ausgebildet ist. In der Metallnähe erfolgt durch Wirbelstromeffekte eine dämpfende Rückwirkung auf die Suchspule, welche die OSZ-Amplitude entsprechend der Entfernung des Metallobjektes reduziert. Diese Amplitudenänderung wird in der Geräteelektronik in ein akustisches Anzeigesignal umgesetzt. Die Erfindung revolutionierte nicht nur die Technik der Minensuchgeräte in der Kampfmittelräumung, sondern sie multiplizierte sich in aller Welt.

Die neuen Minensuchgeräte (MSG) arbeiteten vorzugsweise im Bereich von ca. 25 kHz, damit auch kleine Teile aus Nichteisen sicher aufgespürt werden konnten. Es entstand das erste wirkungsvolle Geschoss- und Hülsensuchgerät für die Kriminaltechnik, das auch in der Archäologie erfolgreichen Einzug hielt. Doch das, was es nicht leiden mochte, war Salzwasser! Dies mussten wir bei einem Tauchgang in der Ostsee, trotz relativ geringer Salinität, leidvoll erfahren.

Unsere „Bratpfanne“ (Abb. 1 u. 2), so wurde der neue UW-Detektor genannt, mutierte zum Leitfähigkeitsmesser, der allerdings interessante Effekte produzierte. Dicht über dem Wasser volle Anzeige. Abtauchen und Korrektur des Arbeitspunktes auf Anzeige NULL. Funktion in leitender Umgebung (Test mit der Taucheruhr) nahezu normal. Sodann Abtauchen, bis auf den Gewässergrund, wo die Bratpfanne nach wiederholter Einstellungskorrektur wild wurde! Am Grund ergab sich ein heftiger Negativeffekt, für den es zunächst keine Erklärung gab. Hob man das Suchgerät etwas vom Grund hoch, so schrie es einen gequält an. Der neutrale Sand konnte es nicht sein. Also, was war passiert? Die hohe Betriebsfrequenz induzierte durch die Wechselfeldausbreitung Strompfade im leitenden Medium, die zu einer Rückwirkung ähnlich Metall führten. Also, auch hier war der Wirbelstromeffekt Ursache für das störende Pseudosignal im leitfähigen Medium! Der Vorteil des Systems, auch kleine Objekte geringer Leitfähigkeit zu erfassen, krönte Meerwasser zum Nachteil! Dennoch war dies nicht die einzige Ursache des Störeffektes, sondern der, dass die Leitfähigkeit in der Umgebung des Untergrundes sich dramatisch reduzierte. Hob man das Gerät hoch, geriet man wieder



Abb. 1 u. 2. „Bratpfanne“ im Einsatz



in den Bereich höherer Leitfähigkeit, was einen Abhebeeffect bzw. eine Störanzeige auslöste. Damals war uns der weiter unten ausführlicher erläuterte elektromagnetische Raumeffect noch nicht vertraut. Aufgrund dieses Erlebnisses zogen wir uns enttäuscht in unsere Binnengewässer zurück, wo die Bratpfanne im Süßwasser vortrefflich funktionierte! Hin und wieder suchten wir für die Polizei nach Diebesgut und Tatwaffen. Unglaublich, wie hoch die Munitionsverseuchung in den hiesigen Gewässern zu dieser Zeit war. Solche Funde wurden der Polizei, als auch dem Kampfmittelräumdienst gemeldet. Mangels verfügbarer UW Sondierungstechnik stellte man sich dort recht hilflos dar. Kampfmittel in unseren Gewässern sind auch heute noch ein aktuelles Thema!

3. Minensuchgerät Köln 661

Das einzige Suchgerät, das seinerzeit im Salzwasser funktionierte, war mein erstes Minensuchgerät Köln 661, der sogenannte Hockeyschläger (Abb. 3 u. 4), der als METEX 4.100 von Dr. Förster, Reutlingen, im Ausland vertrieben wurde. Es beruhte auf einem NF-TR-System (Niederfrequenz-Transmitter-Receiver-System), das für die Oberflächenräumung im Kampfmittelräumdienst von mir entwickelt wurde.

Bedingt durch die niedrige Betriebsfrequenz von ca. 1 kHz erfasste es vorzugsweise Teile aus Eisen, jedoch auch größere Objekte aus Buntmetall. Diese Sendefrequenz war tief genug, um im Seewasser keine Pseudosignale zu induzieren. Kleine Münzen konnten den Hockeyschläger kaum oder nur gering - im wahren Sinne des Wortes - erregen. Doch auch römische Tonscherben entsprachen seiner elektromagnetischen Begierde! Kein Raum- oder Abhebeeffect am Gewässergrund, doch nur relativ große Metallobjekte aus Nichteisen konnten unseren UW Suchtrieb nicht so recht befriedigen!



Abb. 3. Hockeyschläger im UW-Einsatz



Abb. 4. Tauchteam N. Kaiser, K. Ebinger

4. Neues Puls-Induktions-Verfahren

Nun, im weiteren Verlauf der Technikgeschichte zeigten sich neue Möglichkeiten auf, und zwar durch eine richtungweisende Erfindung (Abb. 5) des deutschen Ingenieurs Claus Colani, München, dessen Patentrechte ich 1973 - noch als Jungunternehmer - erwarb. Mit Fug und Recht gilt Ing. Colani (nicht zu verwechseln mit dem Designer Colani) als Urheber des Puls-Induktions-Verfahrens (PI), das einfach ausgedrückt auf einem elektromagnetischen Echoprinzip beruht. Eine Suchschleife, bestehend aus wenigen Drahtwindungen, wird mit einem elektronischen Schalter verbunden, der die Schleife intermittierend mit einer Batterie verbindet. Auf diese Weise entsteht durch den hohen Stromfluss ein weit reichendes, pulsierendes Magnetfeld, das in den Metallobjekten (alle Metalle) Wirbelströme induziert. Diese Induktion führt zu einem Sekundärfeld, das nach einer kurzen Wartezeit von der Suchschleife aufgenommen und elektronisch in ein Anzeigesignal umgesetzt wird. Wesentliche Vorteile des Verfahrens: Hohe Tiefenreichweite, elektronische Objektselektion, reduzierte Leitfähigkeitseffekte durch feuchten Boden oder Salzwasser!

PI-Geräte der ersten Generation reagierten in der Tat nicht auf Salzwasser, da zur damaligen Zeit noch mit großen Torzeiten (Delayzeit zwischen den primären Sende- und sekundären Empfangs-Vorgängen) gemessen wurde. Colani beschrieb es als zeitliche Reinigung des umgebenden, ja auch störenden Mediums. Damit hatte er völlig Recht, doch der Anwendung seiner Technik wurden damit auch Grenzen auferlegt. Kleine Metallobjekte geringer Leitfähigkeit wurden kaum erfasst. Allerdings beschrieb er bereits die dämpfende Wirkung des Seewassers, womit er seine späten Torzeiten auch begründete.

Die damalige PI-Technik konnte unsere Wunschliste, auch in der Breite der avisierten Anwendung noch nicht erfüllen! Sie verfügte darüber hinaus über eine zu große Zeitkonstante in der Anzeige, die ein langsames Suchen voraussetzte. Die „Trennschärfe“, so die Kampfmittelräumer, war in versplitterten Gebieten zu schlecht, um gegen meine Dämpfungs-Detektoren konkurrieren zu können. Auch der Batterieverbrauch war im Vergleich zu hoch. Zunächst mussten wir uns mit der neuen Technik soweit auseinandersetzen, um eigene Ideen einbringen zu können. Die ersten PI- Detektoren, die wir im Seewasser einsetzten, konnten unsere Erwartungshaltung in der Nachweisempfindlichkeit auf kleine Suchobjekte aus Bunt- und Edelmetall noch nicht erfüllen. Größere Metallgegenstände mit höherer Leitfähigkeit waren auch im tiefen Schlamm auffindbar.



Abb. 5. Colani PI-Fahrsystem im archäologischen Einsatz

5. Trend der Weiterentwicklung

Wie üblich, ging der Trend der Entwicklung immer mehr in Richtung extremer Suchaufgaben wie z.B. Ortung von Minen mit geringem Metallgehalt. Dies schaffte damals nur die Dämpfungstechnik, zumindest auf weitgehend kooperativen Böden! Nur die bodenmagnetischen Effekte durch die Vulkangesteine der Eifel waren uns hinreichend bekannt, die man bei der Munitionssuche mit meiner neuen Dämpfungstechnik gut in den Griff bekam. Von Lateritböden und bodenkompensierenden PI-Systemen hatten wir damals noch keine Ahnung. Doch dies ist eine andere Geschichte! Jedenfalls wuchs und wuchs die Empfindlichkeit unserer Pulsdetektoren weit über damals bekannte Parameter hinaus. Doch gleichzeitig näherte sich damit ein altbekannter Feind, den wir so nicht vermutet hatten und der im nächsten Abschnitt vorgestellt wird.

6. Leitfähigkeitseffekte am Gewässergrund - der elektromagnetische Raumeffekt

Im Bereich der Wasseroberfläche, wir reden über Salzwasser, zeigte sich das neue PI-Funktionsmodell recht neutral, doch beim Abtauchen stieg der Signalton bis zu einer gewissen Höhe an, um in der Nähe des Gewässergrundes wieder stetig abzunehmen! Nach Korrektur der Geräteeinstellung konnte man zwar suchen, doch jedes Abheben der Sonde vom Untergrund führte zu einer nicht unbekanntenen Störanzeige, die uns die Entdeckerfreude verdarb. Lange Rede, kurzer Sinn: Der leitfähige „Vollraum“, der uns umgab, änderte seinen elektrischen Charakter am Grund, der sich auf den PI-Detektor übertrug! Damit war für „uns“ der sogenannte Raumeffekt geboren! Wenn ich hier im Plural rede, so verweise ich an dieser Stelle auf meinen Freund Gerhard Aretz, ein Berufskollege und früherer Tauchkumpel, der noch heute unsere UW- und Land-Detektoren sachkundig testet und mit großem Erfolg einsetzt (Abb. 6).



Abb. 6. Gerhard Aretz im Einsatz

7. Delayzeit und Schleifendurchmesser

Im weiteren Verlauf der Dinge stellten wir fest, dass Schleifen- bzw. Suchspulendurchmesser und Delayzeit eng miteinander verkoppelt sind! Im Prinzip eine logische Folge zwischen der Feldausbreitung im leitenden Medium und der elektromagnetischen Rückwirkung, die bei größer werdender Schleife zunimmt! Einfache Regel: Kleine Schleife kurze Delayzeiten, große Schleife lange Delayzeiten! Nur so, und über die Betriebsfrequenz, kann man die Pseudosignale des umgebenden Raums in Grenzen halten! Angemerkt sei noch, dass zwar elektronische Kompensationsmittel zur Unterdrückung des Störeffektes zur Verfügung stehen. Dies jedoch auf Kosten der Reichweite. Nochmals zum Verständnis: In halber Gewässertiefe ist der Störeffekt im Salzwasser relativ unerheblich! Die Verhältnisse ändern sich jedoch bei Annäherung an den Untergrund. Dort muss der Arbeitspunkt des Detektors korrigiert werden, sofern Delayzeit und Schleifendurchmesser in einem Missverhältnis stehen. Im Moment zieht Gerhard Aretz eine neue Testkampagne in seinen Tauchgebieten durch, auf deren Ergebnisse ich gespannt bin!

8. Erklärung zum Raumeffekt

Das Messprinzip eines PI-Detektors nutzt eine Suchschleife, die gleichzeitig als Sender und Empfänger (TX/RX) dient. In der Sendephase wirkt die mit Impulsen stromdurchflossene Schleife als ein magnetischer Dipol, dessen Dipolfeld alles elektrisch leitfähige Material durchsetzt. Die Folge ist ein mit derselben Frequenz pulsierender elektrischer Strom, der vom primären Wechsellagerfeld induziert wird (Abb. 7) und der seinerseits - wie der Strom in der Sendeschleife - mit einem so genannten magnetischen Sekundärfeld verknüpft ist. Das Besondere bei diesem Impulsverfahren ist das Pulsieren des Stroms in der Sendeschleife: Zwischen zwei Impulsen ist die Schleife stromfrei und kann in dieser Zeit als Empfänger für das sekundäre Magnetfeld der im Material induzierten Ströme arbeiten. Diese mehr oder weniger rasch abklingenden Ströme induzieren mit ihrem Magnetfeld in der Schleife eine entsprechend abklingende Spannung, die als Messgröße zu wählbaren Zeiten nach Impulsende

(sog. Delayzeiten) registriert wird. Sie hängt von mehreren verschiedenen Faktoren ab, wozu vor allem die elektrische Leitfähigkeit des Materials aber auch die Geometrie der leitenden Körper und das Zusammenwirken benachbarter Körper unterschiedlicher Materialien gehören.

Beim Detektor mitten im tiefen Meerwasser sind die Verhältnisse zunächst sehr einfach. Der Sendedipol erzeugt im Wasser ein Stromfeld mit einem verknüpften sekundären symmetrischen Magnetfeld und mit einem definierten Spannungsabfall in der Schleife im Empfangsmodus. Die Spannung kann instrumentell zu einer Nullanzeige kompensiert werden, was auch beim Bewegen der Spule (Verlagerung, Rotation) in einem homogen leitfähigen Meerwasser so bleibt.

Das kann sich gravierend ändern, wenn man den Detektor dem Meeresboden nähert (Abb. 7), was für die Praxis einleuchtender Weise relevant ist. Dann geht die zuvor angesprochene Symmetrie verloren, da das Material am Meeresboden einen plötzlichen Leitfähigkeitssprung zu niedrigeren Werten bedeutet, der je nach Gestein

ohne weiteres bei einem Faktor 10 - 100 liegen kann. Die Anzeige am Instrument wird sich also bei Annäherung an den Meeresboden ändern. Das ist unkritisch, solange die Schleife beispielsweise auf dem Grund ruht, weil der konstant störende Ausschlag dann wieder kompensiert werden kann. Aber das ist nicht der Sinn der Messung. Detektion metallischer Gegenstände am Meeresboden (Kampfmittel, archäologische Objekte) bedeutet zwangsläufig die Bewegung der Schleife mit der Konsequenz, dass auch ohne metallische Objekte die Anzeige je nach Abstand zum Seeboden und mit Veränderung der Bodenleitfähigkeit mehr oder weniger stark schwanken kann. Diese Störeffekte überlagern verständlicherweise erwünschte „Nutzsignale“ interessierender metallischer Objekte, sodass mit einer nachgeführten Kompensation nichts gewonnen ist. Hier kann nur eine angepasste Technik Hilfe bringen, wenn geeignete Schleifendurchmesser und

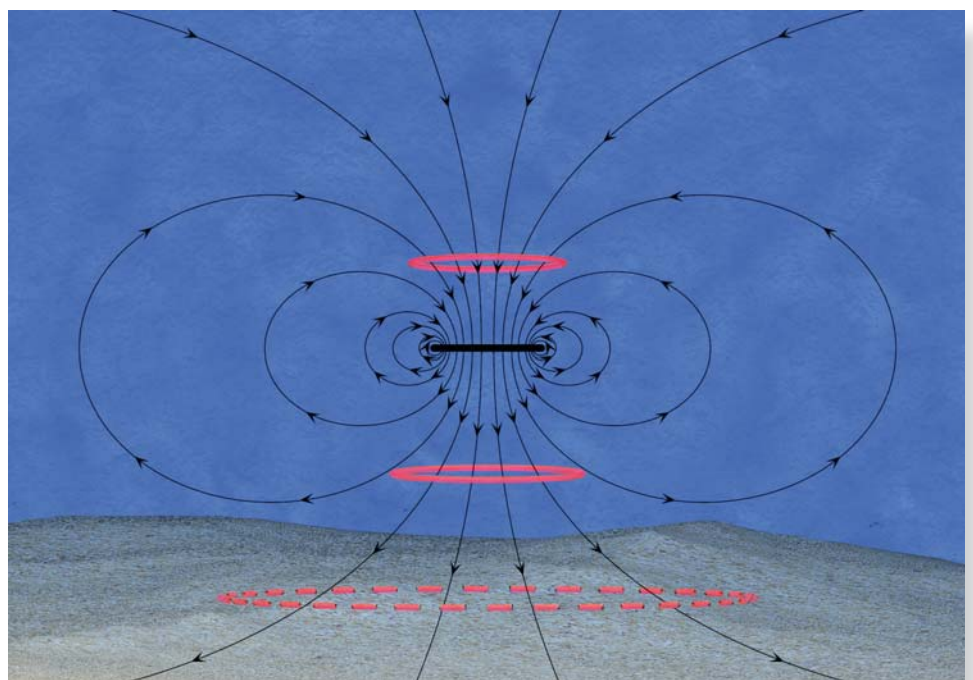


Abb. 7. Detektorschleife im Meerwasser: Die von Stromimpulsen durchflossene Schleife (schwarz, im Querschnitt) erzeugt im umgebenden leitfähigen Raum ein pulsierendes primäres Dipol-Magnetfeld, das sich im Raum ausbreitende Ströme induziert (symbolisch durch rote Ringe dargestellt). Die sekundären Magnetfelder dieser Ströme (hier nicht gezeichnet) wirken induktiv auf die Schleife zurück, in der elektrische Spannungen als Messgröße erzeugt werden. Nähert sich die Detektorschleife dem Seeboden, so wird zunehmend der Einfluss der im schlechter leitenden Boden induzierten Ströme (gestrichelt) wirksam, die Feldsymmetrie geht verloren und die Instrumentenanzeige verändert sich.

und Delayzeiten für die jeweiligen Ortungssituationen gewählt werden. Ein sehr einfacher Grundsatz besteht z.B. darin, dass die induzierten Felder im Meerwasser und im Seeboden sehr viel rascher zusammenbrechen als generell in Metall und mit entsprechend größer gewählten Delayzeiten differenziert werden kann. Nicht immer hilft das bei sehr kleinen Objekten aus Edelmetall, die ähnliche Abklingzeiten wie das Meerwasser aufweisen können.

9. Vertikal/Horizontal-Effekt

Anders als im Gedankenexperiment von zuvor mit der Suchschleife mitten im homogen leitfähigen Meerwasser, in dem die Bewegung der Schleife keinen Wechsel der Anzeige hervorruft, hat die Praxis gezeigt, dass sehr wohl ein Effekt auftreten kann, wenn mit empfindlichen UW-Detektoren in horizontaler und vertikaler Lage gemessen wird. Systematisch scheint mit horizontaler Schleife eine größere Leitfähigkeit angezeigt zu werden als mit vertikaler Orientierung. Das kann mit der Geometrie des induzierenden magnetischen Dipolfeldes erklärt werden, wenn man eine vorzugsweise horizontale Leitfähigkeitsschichtung im Meerwasser annimmt, die durch Salzgehalt (Dichteschichtung!) und Temperatur, teilweise in Verbindung mit Strömungen, kontrolliert wird. Für ein solches anisotropes Schichtpaket weiß die Physik, dass die makroskopische Leitfähigkeit parallel zur Schichtung größer als senkrecht dazu ist. Und bei einer horizontalen Schleife als ein vertikaler magnetischer Dipol fließen die induzierten Ströme parallel zur Schleifenfläche, mithin parallel zur Schichtung im anisotropen Meerwasser.

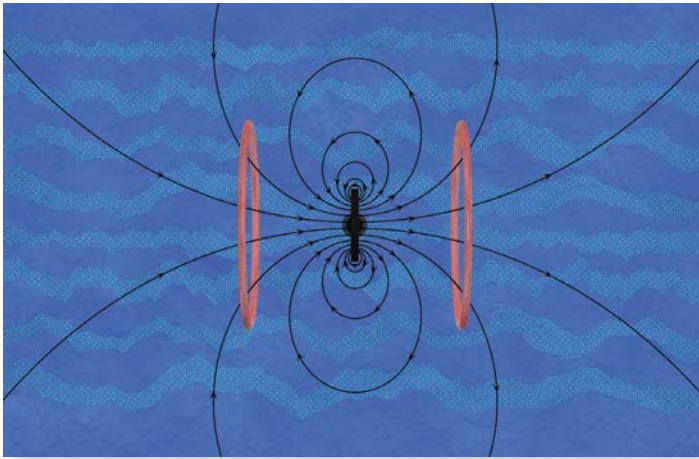


Abb. 8. Vertikale Lage der Suchspule im elektrisch leitenden Raum mit horizontaler Ausbildung des Magnetfeldes ergab den geringsten Leitfähigkeitseffekt

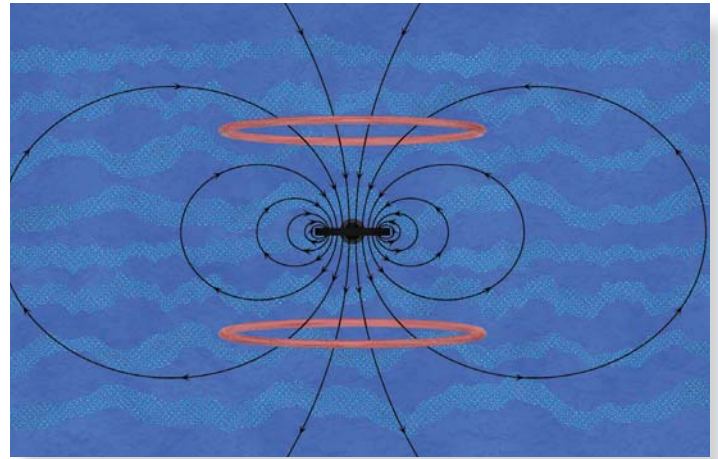


Abb. 9. Horizontale Lage der Suchspule mit vertikaler Ausbildung des Magnetfeldes ergab den höchsten Leitfähigkeitseffekt

Vertikale und horizontale Detektorschleife im geschichteten Meerwasser zeigen unterschiedliche Messwerte an. Die roten Ringe symbolisieren wie in Abb. 7 die sich ausbreitenden Stromsysteme, die im ersten Fall mehr senkrecht, im anderen Fall mehr parallel zur Schichtung fließen. Mehr Erläuterung im Text.

10. Moderne UW-Detektoren

Sie bewältigen die beschriebenen Leitfähigkeitseffekte beim Einsatz im Seewasser, wobei allerdings die Randbedingungen der Suche zu beachten sind. Eine kleine Suchspule, die vorzugsweise kleine Metallobjekte erfasst, lässt auch eine kurze Delayzeit in leitender Umgebung zu. Geht es um den Nachweis größerer Metallobjekte, so sind entsprechend größere Suchschleifen und spätere Delayzeiten von Vorteil, was unter Punkt 7 auf Seite 6 bereits beschrieben wurde.

Abschließend möchte ich noch auf moderne UW-Detektoren der EBINGER- und SECON-Produktpalette hinweisen. UWEX-Detektoren sind für den professionelle Einsatz bestimmt. Die UWM-Serie ist mehr für den Breitenmarkt bestimmt.



UWEX® 725

Hochleistungsdetektor

- Hohe Ortungsreichweite
- Dynamische/statische Suchstufen
- Einfache Handhabung
- Schnelle Einweisung
- Robustes Design
- Dauereinsatz geeignet
- Geringe Betriebskosten
- Salzwassertauglich



UWEX® 725 K

für den professionellen Einsatz

- Variables UW-System
- Tauschbare Komponenten
- Verschiedene Sonden
- Klappbare Großschleife
- Erfasst alle Metalle
- Akustische/optische Anzeige

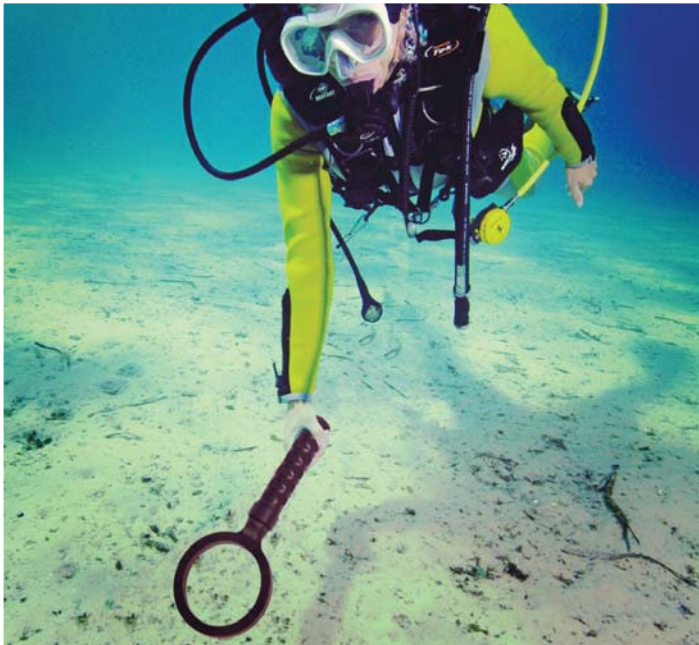
In Vorbereitung



UWM 10-2

UW-Stabsonde

- Digitales PI-System
- Hohe Empfindlichkeit
- Handliche Ausführung
- Leichtes Suchen im Seegras
- Erfasst alle Metalle
- Genaue Lokalisierung
- Vibrationsanzeige
- Süß- und Salzwasser



UWM 20

Ringsonde für Einsteiger

- Digitales PI-System
- Ringsonde mit höherer Reichweite
- Einstellring für die Empfindlichkeitswahl
- Erfasst alle Metalle
- Einfache Bedienung
- Vibrationsanzeige
- Kleine, robuste Bauweise
- Für Süß- und Salzwasser



UWM 30

für ambitionierte Sucher

- Digitales PI-System
- Hohe Empfindlichkeit
- Ovalsonde mit hoher Reichweite
- Flexibler Vibrationsalarm
- Erfasst alle Metalle
- Einfache Bedienung
- Robust, kompakt, handlich
- Salzwassertauglich



UWM 40

Quadratsonde für Profis

- Hohe Ortungsreichweite
- Land- und Taucheinsatz
- Erfasst alle Metalle
- Akustische Objektinformation
- Kleinteilunterdrückung
- Klare akustische Anzeige
- Leichtes Lokalisieren
- Salzwassertauglich



EBINGER Technikzentrum Wiesbaum



EBINGER Prüf- und Ortungstechnik GmbH

Hauptsitz:

Hansestraße 13
51149 Köln
Deutschland
Tel. +49 2203 977-100
Fax +49 2203 36062
E-Mail: info@ebinger.org

EBINGER Prüf- und Ortungstechnik GmbH

Vertrieb International:

Hansestraße 19
51149 Köln
Deutschland
Tel. +49 2203 95900-0
Fax +49 2203 95900-20
E-Mail: info@ebinger.org

EBINGER Prüf- und Ortungstechnik GmbH

Technikzentrum

Vertrieb Deutschland/BeNeLux:

Vulkanstraße 14
54578 Wiesbaum
Deutschland
Tel. +49 6593 99894-0
Fax +49 6593 9984-50
E-Mail: eifel@ebingergmbh.de

www.ebinger.org

