

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 720 257 B1**

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **G01S 13/58** (2006.01)
G01S 13/89 (2006.01)
G01S 13/95 (2006.01)
G01S 7/41 (2006.01)
G08B 21/10 (2006.01)
G01V 3/12 (2006.01)

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 001395/2022

(22) Anmeldedatum: 23.11.2022

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.05.2024

(24) Patent erteilt: 15.05.2025

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.05.2025

(73) Inhaber:
Geopraevent AG, Räfelstrasse 28
8045 Zürich (CH)

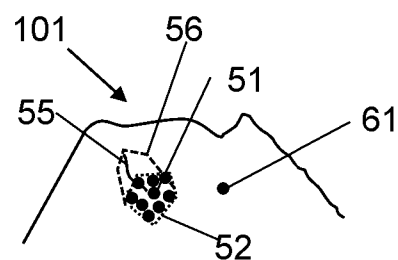
(72) Erfinder:
Tobias Schoch, 8003 Zürich (CH)
Thomas Ehrat, 8427 Freienstein (CH)

(74) Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro AG, Hagenholzstrasse 85
8050 Zürich (CH)

(54) **System und Verfahren zur Erfassung von Lawinen, Erdbeben und Steinschlägen**

(57) Die Erfindung betrifft ein System zum Bestimmen eines Pfades (55) einer Massenbewegung in einem Gelände (101) umfassend ein Radargerät, d.h. ein Gerät mit mindestens einer Sendeantenne zum Aussenden von Primär-Radiowellen und mindestens eine Empfangsantenne zum Erzeugen von Empfangssignalen, die durch vom Gelände (101) aufgrund der Primär-Radiowellen zurückgeworfene Sekundär-Radiowellen bewirkt werden. Ferner weist es eine Auswerteeinheit auf, die eingerichtet ist, anhand der Empfangssignale zu ermitteln, ob an einer bestimmten Position - repräsentiert durch einen Positionskordinatenwert, bspw. Range und Azimut - eine Massenbewegungsaktivität vorhanden ist oder nicht. Daraus ergeben sich beim Vorliegen einer Massenbewegung Massenbewegungsaktivitäten für verschiedenen Punkte (51). Die Auswerteeinheit ist eingerichtet, aus einer zeitlichen Entwicklung der Positionen der Punkte (51) für welche eine Massenbewegungsaktivität festgestellt wurde, einen Pfad (55) der Massenbewegung zu ermitteln. Für die Ermittlung des Pfades (55) kann mittels eines Clustering-Verfahrens ein Cluster (52) der Punkte gebildet werden.

Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Bestimmen eines Pfades (55) einer Massenbewegung in einem Gelände (101).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein System und ein Verfahren zum Erfassen eines Pfades von Massenbewegungen im Gelände, namentlich von Schneelawinen oder Erd-Massenbewegungen (Erdrutschen, Steinschlägen).

[0002] Es ist ein Bedürfnis, die Verläufe, insbesondere die Pfade und die räumliche Ausdehnung von Massenbewegungen (Schneelawinen, Erdrutschen, Steinschlägen und dergleichen) zu erfassen um solche Massenbewegungen besser zu verstehen, um Prognosen zu machen, und auch um Betroffene rechtzeitig vor Gefahren warnen zu können.

[0003] Gemäss dem Stand der Technik geschieht das Erfassen von Verläufen von Massenbewegungen insbesondere visuell, durch Fotografien oder eventuell Filmaufnahmen mit denen die Lawine bzw. der Steinschlag während des Niedergangs oder danach anschliessend erfasst und unter Umständen vermessen wird. Nachteilig daran ist, dass es von der Tageszeit und dem Wetter abhängt, ob eine solche Erfassung überhaupt möglich ist. Sehr oft ist die Sicht während solcher Ereignisse ungünstig, beispielsweise aufgrund der Wetterbedingungen und/oder der Tageszeit, so dass der Pfad und die räumliche Ausdehnung von Schneelawinen, Steinschlägen oder ähnlichen Ereignissen erst Stunden oder sogar Tage später bestimmt werden können. Auch Aussagen über die Dynamik (Geschwindigkeit, zeitliche Reihenfolge sequenzieller Teil-Ereignisse etc.) sind oft nicht oder nur beschränkt möglich.

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, hier Abhilfe zu schaffen und ein System sowie ein Verfahren zum Bestimmen eines Pfades einer Lawine zur Verfügung zu stellen, welches Nachteile des Standes der Technik überwinden und insbesondere ein Erfassen des Pfades unabhängig von Wetterbedingungen und Tageszeit ermöglichen.

[0005] Gemäss einem Aspekt der Erfindung umfasst ein System zum Bestimmen eines Pfades einer Massenbewegung in einem Gelände ein Radargerät, d.h. ein Gerät mit mindestens einer Sendeantenne zum Aussenden von Primär-Radiowellen und mindestens eine Empfangsantenne zum Erzeugen von Empfangssignalen die durch vom Gelände aufgrund der Primär-Radiowellen zurückgeworfene Sekundär-Radiowellen bewirkt werden Ferner weist es eine Auswerteeinheit auf, die eingerichtet ist, anhand der Empfangssignale zu ermitteln, ob an einer bestimmten Position - repräsentiert durch einen Positionskordinatenwert, bspw Range und Azimut - eine Massenbewegungsaktivität vorhanden ist oder nicht. Daraus ergeben sich beim Vorliegen einer Massenbewegung Massenbewegungsaktivitäten für verschiedenen Positionskordinatenwerte. Die Auswerteeinheit ist eingerichtet, aus einer zeitlichen Entwicklung der Positionskordinatenwerte (d.h. letztlich der Positionen), für welche eine Massenbewegungsaktivität festgestellt wurde, einen Pfad der Massenbewegung zu ermitteln.

[0006] Im Unterschied zum Stand der Technik wird also nicht im Nachhinein, anhand von der durch die Massenbewegung verursachten Situation und von Modellen, ein Pfad bestimmt, sondern es wird eine Beobachtung der Massenbewegung während sie stattfindet, also in Echtzeit, verwendet, und es wird deren zeitliche Entwicklung berücksichtigt.

[0007] Im Unterschied zum Stand der Technik wird der Pfad auch nicht anhand aufgenommener Bilddaten ermittelt, sondern anhand eines Radarsignales das während des Vorganges entsteht Das hat zwar den scheinbaren Nachteil, dass das Gelände dauernd mit dem Radargerät überwacht werden muss, denn es lässt sich im Allgemeinen nicht, mindestens nicht genau vorhersagen, wann ein Massenbewegungsereignis eintritt. Dieser scheinbare Nachteil ist jedoch oft nicht gravierend. Es ist nämlich bereits bekannt, ein Gelände mit einem Radarsystem zu überwachen um eventuelle Lawinen-niedergänge. Steinschlagereignisse oder dergleichen in Echtzeit zu detektieren und beispielsweise Strassensperrungen auszulösen Daher ist in vielen Fällen die ständige Überwachung des Geländes ohnehin gegeben, und das entsprechende Radargerät kann als das Radargerät des erfindungsgemässen Systems verwendet werden.

[0008] Das Vorgehen gemäss der Erfindung hat im Gegenzug zum erwähnten, scheinbaren Nachteil wichtige Vorteile.

[0009] Die Bestimmung eines Pfades mittels eines Radarsignals kann beispielsweise in Echtzeit erfolgen Die Bestimmung des Pfades kann folglich sehr schnell erfolgen, und sie kann beispielsweise sogar in die Geländeüberwachung und entsprechend zu treffende Massnahmen einfließen- d.h ein Nebeneffekt kann sein, dass die Bestimmung des Pfades die Geländeüberwachung ergänzt und verbessert. Beispielsweise kann anhand des Pfades ein zusätzliches Kriterium für eine Unterscheidung zwischen Signalen, die durch echte Massenbewegungen im Gelände ausgelöst werden, und zwischen solchen, die durch andere Ereignisse (bspw. sich im Gelände bewegende Fahrzeuge) oder Artefakte ausgelöst werden, unterschieden werden Nur wenn ein ermittelter Pfad - und unter Umständen die zeitliche Entwicklung der festgestellten Bewegung im Gelände - einem für Massenbewegungen realistischen Muster entspricht, liegt auch eine Massenbewegung vor Damit können beispielsweise Fehlalarme besser ausgeschlossen werden.

[0010] Ein weiterer Vorteil ist, dass die Bestimmung des Pfades unabhängig von der Witterung und unabhängig von Sichtverhältnissen zuverlässig möglich ist.

[0011] Ausserdem ermöglicht sie Aussagen über die Dynamik des Massenbewegungsereignisses (namentlich die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit) welche bei einem rein optischen Bestimmen des Pfades nicht möglich waren Indem eine Bestimmung des Pfades in Echtzeit möglich ist, kann sie nebst dem Gewinnen von Erkenntnissen auch der Verbesserung der Überwachung des Geländes dienen.

[0012] Noch ein Vorteil ist, dass die Bestimmung des Pfades automatisch geschehen kann, ohne dass eine Fachperson Zeit, bspw. für die Analyse von Bilddaten oder für Berechnungen, investieren müsste. Mindestens wenn ohnehin bereits ein

Radargerät vorhanden ist, - bspw. für Lawinen- oder Steinschlagwarnungen - ist die Erfindung folglich auch wirtschaftlich von Vorteil.

[0013] Das Bestimmen eines Pfades aus einer zeitlichen Entwicklung von Radarsignalen (das sogenannte (Radar-'Tracking')) ist beispielsweise für zivile oder militärische Flugüberwachungssysteme bereits bekannt. Der Pfad eines Flugzeugs wird aus den ermittelten Radarsignalen extrahiert, um den Überwachenden die Verfolgung zu vereinfachen. Das Prinzip setzt voraus, dass das Radarsignal pro zu überwachendes Objekt einen Punkt generiert wird (d.h. das Objekt hat eine eindeutige Koordinate und eine eindeutige Geschwindigkeit). Diese Voraussetzung ist bei Massenbewegungen im Gelände nicht gegeben, denn die Massenbewegung hat eine signifikante räumliche Ausdehnung, und nicht über die ganze räumliche Ausdehnung sind Werte wie Geschwindigkeit, Richtung etc. identisch. Es wäre wenig sinnvoll und ausserdem aufwendig - und wegen schwieriger Zuordnungen auch nicht einfach möglich - das bekannte Tracking-Prinzip auf alle Punkte anzuwenden, welche im Radarsignal bei einer Massenbewegung detektierbar sind. Gemäss der Erfindung wird stattdessen, d.h. statt eines Versuchs, ein Bündel von sehr vielen Pfaden zu erfassen, ein für die ganze Massenbewegung charakteristischer Pfad ermittelt. Es zeigt sich, dass dies ein sinnvolles Vorgehen ist und, und dass es durch einen Vergleich mit bereits früher erkannten Pfaden und/oder mit einer Bewegungsgleichung, welche Erkenntnisse über das Gelände berücksichtigt, eine sinnvolle Diskrimination ermöglicht.

[0014] Das Radargerät ist insbesondere stationär, d.h. im allgemeinen sind sowohl Sendeantenne(n) als auch Empfangsantenne(n) stationär. Unter einem „stationärem“ Radargerät wird hier ein Radargerät verstanden, welches in einer stationären, also gegenüber dem Grund ortsfesten Anordnung montierbar und betreibbar ist und keine sich gegenüber dem Grund bewegenden Antennen aufweist und/oder benötigt - dies beispielsweise im Gegensatz zu am Flugzeug oder Satelliten oder in einem Kraftfahrzeug montierten Radargeräten oder zu Radargeräten, die einen Schlitten aufweisen, auf dem die Antennen bewegt werden, welche als mobile Radargeräte jeweils nur funktionsfähig sind, wenn die Antennen relativ zum zu überwachenden Gelände bewegt werden. Oft kommt das Radargerät ganz ohne bewegliche Teile aus, wobei die Verwendung von Hilfsmitteln mit sich bewegenden Teilen (bspw. einem Ventilator, einer Harddisk oder dergleichen) natürlich nicht ausgeschlossen ist. Ebenfalls nicht ausgeschlossen ist, dass das Ensemble von Radarantennen als Ganzes um eine bspw. vertikale Achse rotierbar ist, wenn bspw. das zu überwachende Gebiet nicht immer dasselbe ist. Es kann bspw. denkbar sein, dass im Sommer und im Winter nicht dasselbe Gebiet überwacht werden muss. Ebenfalls denkbar ist, dass nachts ein anderes Gebiet zu überwachen ist als tagsüber.

[0015] Das Radargerät kann insbesondere ein FMCW (Frequency Modulated Continuous-Wave)-Radargerät sein. Das heisst, das Radargerät kann eingerichtet sein, das Sendesignal mit einer modulierten Sendefrequenz auszusenden, insbesondere als eine Abfolge von Frequenzrampen („chirps“).

[0016] Das Radargerät weist insbesondere das eine Mehrzahl von Empfangsantennen und/oder eine Mehrzahl von Sendeantennen auf. Diese sind insbesondere in horizontaler Richtung verteilt montiert bzw. montierbar. Nebst einer Auflösung in „Range“, die sich im Allgemeinen direkt ergibt (bei einem FMCW-Radar aus einer Frequenzverschiebung zwischen Sende- und Empfangssignal) kann deshalb die Position auch in Azimut aufgelöst werden. Da für die Bestimmung des Pfades eine hohe Auflösung der Position nicht benötigt wird, kann es in der Praxis bereits ausreichend sein, wenn zwei (für einen grossen Eindeutigkeitsbereich relativ nahe) nebeneinander angeordnete Empfangsantennen vorhanden sind, nebst einer einzigen Sendeantenne.

[0017] Auf das Vorliegen einer Massenbewegungsaktivität an einer bestimmten Position kann beispielsweise im einfachsten Fall direkt aus dem Radarsignal geschlossen werden. Beispielsweise kann überprüft werden, ob das Radarsignal von einem Hintergrundwert - beispielsweise einem Durchschnittswert - signifikant abweicht. Wenn das der Fall ist, wird darauf geschlossen, dass an dieser Position auf eine Bewegung geschlossen werden kann.

[0018] Alternativ oder ergänzend ist es möglich, dass jeder Positionscoordinate ein quantitativ, bspw. mittels Fouriertransformation bestimmter Bewegungswert (insbesondere einen Geschwindigkeitswert bspw. eine Geschwindigkeit oder eine Dopplerverschiebung) zugeordnet wird, und dieser Geschwindigkeitswert ausgewertet ist - bspw. kann je nach Gelände auf das Vorliegen einer Massenbewegung geschlossen werden, wenn eine signifikante Bewegung in Richtung des Radargeräts festgestellt wird.

[0019] Indem eine möglicherweise relevante Bewegung aus einem Radarsignal extrahiert werden soll, ergibt sich durch ein geeignetes Differenzierungsverfahren (zur Eliminierung von Hintergrundfluktuationen etc.) eine Wolke von Punkten mit (möglicher) Massenbewegungsaktivität, wobei jeder Punkt eine Positionscoordinate aufweist. Optional kann jedem Punkt auch ein quantitativer Bewegungswert zugeordnet sein (Dopplerverschiebung, Geschwindigkeit).

[0020] Das Differenzierungsverfahren kann beispielsweise beinhalten, dass pro Positionscoordinate (bspw. pro Range-'bin', d.h. pro Range-Wertebereich, oder auch pro Range-Azimut-'bin') ein Langzeitdurchschnitt bestimmt wird. Dies geschieht beispielsweise durch Anwendung eines Tiefpassfilters mit grosser Zeitkonstante von beispielsweise mindestens einer Minute oder zwei Minuten, oder auch fünf Minuten oder mehr, beispielsweise 10-15 Minuten, auf das Radarsignal. Dieser Langzeitdurchschnitt wird vom aktuellen Signal subtrahiert, beispielsweise durch eine ebenfalls kontinuierlich ermittelte Varianz dividiert, und der erhaltene Wert mit einem Schwellwert verglichen. Wenn der Wert über dem Schwellwert liegt, wird die entsprechende Position (der entsprechende Punkt) berücksichtigt. Wenn ein Massenbewegungsereignis vorliegt, ergibt sich folglich die erwähnte Wolke von Punkten, dort, wo das Massenbewegungsereignis stattfindet.

[0021] In einer Gruppe von Ausführungsformen kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Ermittlung des Langzeitdurchschnitts unterbrochen wird, sobald, und dort wo, die nachfolgend noch beschriebene Diskrimination ein Massenbewegungsereignis tatsächlich feststellt. Das heisst, der Hintergrund wird am Ort des Massenbewegungsereignisses quasi eingefroren: es wird für das Differenzierungsverfahren derjenige Langzeitdurchschnitt verwendet welcher vor dem Massenbewegungsereignis ermittelt worden war. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass gewisse Massenbewegungsereignisse beispielsweise Schneelawinen, auch länger als ein paar Sekunden benötigen können, um an einem bestimmten Ort vorbeizuziehen. Ohne das Einstellen der Ermittlung an einem solchen Ort könnte das Massenbewegungsereignis daher die Bestimmung des Langzeitdurchschnitts und letztlich die Differenzierung verfälschen.

[0022] Die sich ergebenden Punkte können anschliessend an das Differenzierungsverfahren gruppiert werden, insbesondere mittels eines Clustering-Verfahrens. In einer Gruppe von Ausführungsformen erfolgt das, ohne dass eine Annahme über die Anzahl von Clustern getroffen wird.

[0023] Für das Clustering-Verfahren können beispielsweise die für die Clusteranalyse und Gruppenzuordnung an sich bekannte Mittel und Algorithmen verwendet werden, wobei die zu gruppierenden Vektoren die Positionskoordinaten umfassen können, und wobei beispielsweise auch die in vergangenen Zeitabschnitten ermittelten aktiven Cluster mit einbezogen werden können, was vor allem dann relevant sein kann, wenn mehrere gleichzeitig aktive Pfade nahe beieinander liegen und/oder sich einander annähern.

[0024] Ergänzend oder alternativ können optional auch die ermittelten Geschwindigkeitswerte (bspw. in der Form des Werts der Dopplerverschiebung) in das Clustering-Verfahren einfließen, bspw. indem die zu gruppierenden Vektoren nebst den Positionskoordinaten auch diese Geschwindigkeitswerte umfassen.

[0025] Die Clusteranalyse resultiert in einer Anzahl Cluster (bei einem Lawinnenniedergang oft einem einzigen Cluster, aber auch zwei, drei oder mehr Cluster können sich ergeben). Ausserdem können bei der Clusteranalyse auch Punkte resultieren, die keinem Cluster zugeordnet werden können. Letztere werden bei der nachfolgenden Bestimmung des Pfades beispielsweise nicht mitberücksichtigt.

[0026] In Ausführungsformen bei denen ein Clustering-Verfahren angewendet wird, wird anschliessend ein Pfad und gegebenenfalls eine Ausdehnung des Massenbewegungsereignisses pro Cluster bestimmt.

[0027] Für die Bestimmung des Pfades kann eine standardisierte Verteilung der Punkte innerhalb des Clusters - bei mehreren identifizierten Clustern gilt das für jedes Cluster, weshalb pro Cluster je ein Pfad resultiert - angenommen werden - beispielsweise eine Gaußsche Normalverteilung. Daraus ergibt sich direkt ein örtliches Zentrum des Clusters und aus einer zeitlichen Entwicklung dieses örtlichen Zentrums ein Pfad. Ergänzend oder alternativ ist auch möglich, dass eine Front des Clusters für die Bestimmung des Pfades verwendet oder mindestens mitberücksichtigt wird. Eine Front der Massenbewegung für ein bestimmtes Cluster ergibt sich beispielsweise, indem diejenigen Punkte aus dem Cluster berücksichtigt werden, die in Bezug auf die Hangneigung zuvorderst, bspw. am nächsten beim Radargerät, sind.

[0028] Für die Bestimmung des Pfades wird die zeitliche Entwicklung berücksichtigt, d.h. gegebenenfalls das Zentrum des Clusters, die Front oder ein anderes geometrisches Merkmal wird in Funktion der Zeit verfolgt.

[0029] In Ausführungsformen kann vorgesehen sein, dass nebst dem eigentlichen Radarsignal noch weitere Kriterien angewendet werden, um auf das Vorliegen oder Nicht-Vorliegen einer Massenbewegung zu schliessen.

[0030] Beispielsweise wird in Ausführungsformen die genannte zeitliche Entwicklung noch einer Diskrimination unterworfen, unter Berücksichtigung von Kenntnissen über das Gelände. Beispielsweise können Ereignisse sehr rasch verworfen werden, wenn die Bewegungsrichtung, die sich aus der zeitlichen Entwicklung ergibt nicht mit den physikalischen Gegebenheiten vereinbar ist - bspw. Massenbewegungen, für die eine Richtung bergauf oder seitwärts statt bergab festgestellt wird. Dieses Vorgehen erlaubt, die Empfindlichkeit der Messung zu vergrössern, beispielsweise durch Ansetzen eines nicht zu hohen Schwellwerts beim Differenzierungsverfahren, da eventuelle Artefakte oder Signale, die von anderen Bewegungen stammen (bspw. durchfahrenden Autos) durch die Diskrimination sehr rasch und verlässlich ausgeschlossen werden können.

[0031] Ein Beispiel für ein geeignetes Diskriminationsverfahren ist die Anwendung eines linearen Filters, beispielsweise eines Kalman-Filters, mit den für eine Massenbewegung im Gelände geltenden Bewegungsgleichungen als Nebenbedingung. Die Parameter des Filters können also Annahmen über die Dynamik der Massenbewegung beinhalten, also sowohl über die Geschwindigkeit als auch über die Richtung und in Ausführungsformen beispielsweise auch über die Grösse (räumliche Ausdehnung). Als Grundlage dafür kann ein vereinfachtes Modell des Geländes dienen, indem das Gelände durch geneigte Ebenen angenähert wird, wobei die geometrischen Eigenschaften der Ebenen als Parameter dienen.

[0032] Nebst dem Pfad kann insbesondere auch die Ausdehnung der Massenbewegung bestimmt werden, d.h. letztlich das ganze, näherungsweise bestimmte Konturbild also der Umriss. Die Ausdehnung kann sich ebenfalls direkt aus den Modellparametern der standardisierten Verteilung ergeben. Beispielsweise bei Anwendung der Gaußschen Normalverteilung kann es sich aus dem Pfad sowie der Standardabweichung ergeben, indem in horizontaler Richtung ein Intervall von Plusminus der Standardabweichung oder eines bestimmten Vielfachen der Standardabweichung um den Pfad herum angenommen wird.

[0033] In Ausführungsformen kann ein erkannter Pfad zu einem bereits zu einem früheren Zeitpunkt erkannten Pfad zugeordnet werden, sofern ein solcher existiert. So ermöglicht die Ermittlung des Pfades auch sehr kurzfristige Prognosen über den weiteren Verlauf der Massenbewegung. Die Ermittlung des Pfades kann dann auch in die Überwachung des Geländes und das Auslösen von eventuellen Massnahmen einfließen. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass eine durch das überwachte Gelände führende, oder unterhalb des überwachten Geländes liegende, Strasse nur dann gesperrt wird, wenn die festgestellte Massenbewegung einem Pfad zugeordnet wird, welcher eine Gefährdung auch der Strasse nicht ausschliesst oder wenn sie keinem bekannten Pfad zugeordnet wird. Wenn sie hingegen einem Pfad zugeordnet wird, mit welchem keine Gefährdung der Strasse verbunden ist, kann sie offenbleiben. Auf diese Weise kann das erfindungsgemässe Vorgehen auch dazu verwendet werden, Fehlalarme zu vermeiden.

[0034] Wird ein Pfad erkannt, der keinem bereits abgespeicherten Pfad zugeordnet werden kann, kann dieser neu abgespeichert werden und zusammen mit den bereits abgespeicherten Pfaden für zukünftige Ereignisse als Referenz dienen.

[0035] In diesem Text wird ein System beschrieben, welches ein Radargerät und ausserdem eine Auswerteeinheit aufweist, welche zum Durchführen von bestimmten Auswertungsschritten eingerichtet ist. Dass das System bzw. die Auswerteeinheit „eingerichtet“ ist, bestimmte Schritte durchzuführen bedeutet, dass solche Schritte nicht nur möglich sind, sondern dass das System bzw. die Auswerteeinheit auch die Mittel aufweist, sie durchzuführen - solche Mittel können Hardware und/oder Software beinhalten. Beispielsweise ist die Auswerteeinheit programmiert, den Pfad der Massenbewegung zu ermitteln und diesen bei Bedarf - oder ständig - über eine Anzeige oder eine Schnittstelle auch auszugeben.

[0036] Nebst einem System ist auch ein Verfahren zum Bestimmen eines Pfades Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Das Verfahren kann insbesondere die Schritte beinhalten, zu deren Ausführung das in diesem Text beschriebene System eingerichtet ist.

[0037] Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. In den Zeichnungen bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder analoge Elemente. Die Zeichnungen sind schematisch und nicht massstäblich. Es zeigen

- Fig. 1 Ein System zum Bestimmen eines Pfades einer Massenbewegung, relativ zu einem Gelände positioniert;
- Fig. 2 ein Schema von Elementen eines Radargeräts als Teil des Systems,
- Fig. 3 eine Illustration von Schritten des Auswerteverfahrens; und
- Fig. 4a-4f eine zeitliche Abfolge mit Punkten, für welche die Empfangssignale auf eine Bewegung schliessen lassen, wobei anhand der Abfolge weitere Schritte des Auswerteverfahrens erklärt werden.

[0038] **Figur 1** zeigt ein Radargerät 1 der erfindungsgemässen Art, das relativ zu einem Gelände 101 positioniert ist, in welchem Lawinnenniedergänge, Steinschlagereignisse und/oder andere Massenbewegungen zu erwarten sind. Das Radargerät ist stationär und mit einem geeigneten Gestell 111 versehen, durch welches es im Gelände ortsfest aufgestellt und verankert werden kann. In Fig. 1 sind im durch das Radargerät erfassten Gebiet schematisch zwei Lawinengebiete 102 eingezeichnet, in welchen Lawinnenniedergänge zu befürchten sind, wobei bei einem Lawinnenniedergang in einem der beiden Lawinengebiete eine darunter hindurchführende Strasse 104 gefährdet werden könnte (analog könnten auch Steinschlagereignisse oder andere Massenbewegungen von Relevanz sein). Ebenfalls angedeutet ist eine Signalanlage 105, durch welche die Strasse gesperrt werden kann, wenn ein gefährdendes Ereignis festgestellt wird. Ein typischer Abstand zwischen dem Radargerät und dem Überwachungsgebiet ist zwischen einem Bruchteil eines Kilometers und mehreren Kilometern bspw. 0.5-5 km.

[0039] Das Radargerät weist eine Sendantenne 4 und mindestens zwei Empfangsantennen 6 auf, wobei die beiden Empfangsantennen in horizontaler Richtung voneinander beabstandet sind. Der Abstand der Empfangsantennen 6 voneinander kann einem Wert zwischen ungefähr einer halben Wellenlänge und einer Wellenlänge entsprechen, d.h. bei 17 GHz zwischen knapp 0.9 cm und knapp 1.8 cm.

[0040] Alternativ zu einer Anordnung mit mindestens zwei Empfangsantennen kann auch eine Anordnung mit nur einer Empfangsantenne aber mindestens zwei Sendeantennen vorhanden sein. Für die Azimut-Auflösung ist von Bedeutung, dass in Abhängigkeit vom Azimutwinkel (und damit von der horizontalen Position der Elemente, welche die Radarwellen zurückwerfen) Phasendifferenzen feststellbar sind.

[0041] Das Radargerät ist mit einer Auswerteeinheit 3 verbunden, in welcher auf Basis der empfangenen Radarsignale unter anderem ein Pfad im Gelände ermittelt wird. Die Auswerteeinheit kann in die Antenne integriert sein oder von dieser separat angeordnet sein, sie kann auch sowohl in die Antenne integrierte Elemente als auch separate Elemente aufweisen. Die Hardware der Auswerteeinheit kann dedizierte Elemente, bspw. mindestens ein FPGA und/oder einen dedizierten Grafikprozessor aufweisen, und/oder sie kann auch teilweise durch einen Universalrechner gebildet sein. Das Wort „Auswerteeinheit“ impliziert also nicht, dass die Elemente dieser Auswerteeinheit physisch zusammenhängend sind.

[0042] Die Auswerteeinheit kann auch eine Kommunikationseinheit zur Verbindung mit einem Netzwerk und/oder einem separaten Bedienercomputer 7 aufweisen.

[0043] **Figur 2** zeigt ein Schema von Elementen der Steuerungs- und Auswerteeinheit zusammen mit einer Sendeantenne 4 und einer Empfangsantenne 6. Ein Taktgeber OSC taktet einen numerisch gesteuerten Oszillator (DDS) der mit Hilfe eines Steuersignals 29 eine Frequenzrampe erzeugt, welche wiederum einer nachgeschalteten Phasenregelschleife mit einem hochfrequenten Oszillator (PLL) als Referenz dient und ein frequenzmoduliertes phasenstabiles Sendesignal erzeugt, beispielsweise in einem Frequenzband im Gigahertz-Bereich.

[0044] Das frequenzmodulierte Sendesignal weist eine für Radiowellen für die vorgesehene Anwendung geeignete und gegebenenfalls gesetzlich freigegebene Frequenz auf. Beispielsweise bewegt es sich in einem Frequenzband um 17 GHz. Das Sendesignal wird geeignet verstärkt, bspw. durch einen Leistungsverstärker PA, der der Sendeantenne zugeführt welche die entsprechenden Primär-Radiowellen 11 aussendet.

[0045] Die Sendeantenne 4 erzeugt aufgrund des Sendesignals Primär-Radiowellen 11, welche vom Gelände 101, wozu auch eventuelle sich bewegende Objekte gehören, zurückreflektiert werden, so dass die so entstehenden sekundär-Radiowellen 12 von den Empfangsantennen 6 erfassbar sind.

[0046] Die vom Gelände zurückreflektierten Sekundär-Radiowellen 12 erzeugen in den Empfangsantennen 6 je ein Empfangssignal welches nach geeigneter Verstärkung (LNA) mit dem Sendesignal gemischt wird (Mischer 24). Dabei ist im Allgemeinen jeder Empfangsantenne 6 je ein eigener Mischer 24 zugeordnet, der sich örtlich in unmittelbarer Nähe der Empfangsantenne befindet.

[0047] Wie an sich bekannt resultiert ausgangsseitig des Mixers 24 ein Mischsignal, welches sowohl Signalanteile mit der Summe der Frequenzen von Sendesignal und Empfangssignal als auch Signalanteile mit der Differenzfrequenz aufweist. Durch ein Tiefpassfilter werden die hochfrequenten Anteile rausgefiltert so dass nur Signalanteile mit der Differenzfrequenz weiterverarbeitet werden. Dieses gefilterte gemischte Signal („Zwischenfrequenzsignal“) ist aussagekräftig, da die Frequenzdifferenz zwischen Sende- und Empfangssignal aufgrund der Frequenzrampen ('Chirps') abhängig von der Laufdauer ist, d. h. von der Zeitspanne zwischen dem Aussenden und dem Empfangen, sowie auch von der Dopplerverschiebung. Dieser Umstand liegt dem Funktionsprinzip von FMCW (Frequency Modulated Continuous-Wave)-Radargeräten zugrunde und er ist in der Literatur beschrieben.

[0048] Zusätzlich zum erwähnten Tiefpassfilter kann auf das Mischsignal auch ein Hochpassfilter angewandt werden, um sehr tieffrequente Signalanteile, die insbesondere von Reflexionen nahe bei der Sendeantenne stammen, wegzufiltern. Solche tieffrequenten Signalanteile sind oft vergleichsweise energiereich und kaum aussagekräftig.

[0049] Die Funktionalitäten des Tiefpassfilters und des optionalen Hochpassfilters sind in der Ausführungsform von Fig. 2 in einem Bandpassfilter 25 implementiert; es ist aber auch möglich, dass Tiefpassfilter und Hochpassfilter als getrennte einander nachgeschaltete Elemente vorhanden sind.

[0050] Das resultierende ggf. hochpassgefilterte Zwischenfrequenzsignal wird nach Analog-Digitalwandlung (ADC) einer nachfolgenden Auswertung zugeführt. Diese umfasst beispielsweise eine erste Fouriertransformation pro Chirp zum Ermitteln einer Range-Auflösung, und unter Umständen eine zweite Fouriertransformation über die Chirps hinweg zum Ermitteln einer Dopplerfrequenzverschiebung und einer Phase sowie einem Abgleich der entsprechenden Resultate pro Empfangsantenne für eine Auflösung in Azimut.

[0051] Das so erhaltene, in Range und Azimut aufgelöste, Signal 41 wird, wie in **Figur 3** illustriert, - pro Range-Azimut-bin der Ermittlung 42 eines Langzeitdurchschnitts beispielsweise mit einer Zeitkonstante zwischen 10 und 15 Minuten zugeführt. Für die das erwähnte Differenzierungsverfahren wird dieser Langzeitdurchschnitt vom Signal subtrahiert (Subtraktion 43), sofern den betreffenden Koordinaten nicht ein Massenbewegungsereignis zugeordnet worden ist (siehe die nachstehenden Schritte). Falls hingegen ein Massenbewegungsereignis festgestellt worden ist, wird der Langzeitdurchschnitt von vor dem Massenbewegungsereignis anstelle des aktuellen Langzeitdurchschnitts verwendet (44, gestrichelte Linie).

[0052] Das Ergebnis wird - unter Umständen nach Division durch die Varianz oder einen anderen, zu erwartende Fluktuationen repräsentierenden, Wert - mit einem Schwellwert verglichen (Vergleich 46). Wenn es grösser ist als der Schwellwert wird es berücksichtigt, sonst nicht. Als Resultat dieser Auswertung für alle Range-Azimut-'bins' ergibt sich beim Vorliegen einer Massenbewegung eine Wolke 48 von Punkten 51, welche anhand der Range-Azimut-Koordinaten je einer Position im Gelände 101 zugeordnet ist. **Figuren 4a-4f** zeigen beispielhaft eine zeitliche Abfolge während eines Massenbewegungsereignisses.

[0053] Die ermittelten Punkte 51 werden in einem nächsten Schritt einer Clusteranalyse unterzogen, wobei sich kein Cluster, ein Cluster 52 oder mehrere Cluster ergeben kann/können. Nebst den Positionskoordinaten können auch die gemessenen Dopplerverschiebungen in die Clusteranalyse eingehen.

[0054] Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird ein einziges Cluster 52 von Punkten erkannt welches durch eine gepunktete Umrisslinie dargestellt wird. Wie in Fig 4c angedeutet können auch singuläre Punkte 61 gemessen werden, welche keinem Cluster zugeordnet werden können, und welche bspw. auch wieder verschwinden. Diese werden verworfen und haben keinen Einfluss auf die Bestimmung des Pfades und des Umrisses.

[0055] Für das Cluster wird eine standardisierte Verteilung angenommen, beispielsweise eine Gaußsche Normalverteilung. Daraus ergibt sich ein Zentrum des Clusters. Aus einer zeitlichen Entwicklung dieses Zentrums ergibt sich ein Pfad 55.

[0056] Auch andere Vorgehen zum Ermitteln des Cluster-Zentrums sind möglich, bspw indem die vertikale (und unter Umständen auch die horizontale) Linie gesucht wird, welche das Cluster in zwei gleich grosse Teile teilt, die Bestimmung des arithmetischen Mittels der Positionen der Punkte etc Auch in solchen Fällen kann die zeitliche Entwicklung des Zentrums den Pfad ergeben.

[0057] Als Alternative zum Zentrum des Clusters kann auch eine andere Charakteristik des Clusters zum Ermitteln des Pfades herangezogen werden Beispielsweise kann anhand der Bewegungsrichtung (siehe auch unten) eine Front der Massenbewegung, bestimmt werden (in Fig 4a-4f unterseitig an der Punktwolke), und ein Zentrum dieser Front kann den Pfad definieren. Die Front kann durch die Punkte gebildet werden, welche in Bezug auf die Hangneigung zuvorderst sind, also im Allgemeinen am nächsten beim Radargerät.

[0058] Beispielsweise mit Mitteln der Bildverarbeitung lassen sich auch noch andere Ansätze finden.

[0059] In einem weiteren Schritt folgt in Ausführungsformen eine Diskrimination zwischen echten Massenbewegungsergebnissen und Artefakten Diese geschieht beispielsweise mittels eines linearen Filters, bspw eines Kalman-Filters. Dabei wird unter Berücksichtigung der Bewegungsgleichungen geprüft ob der ermittelte Pfad (inklusive die Fortbewegungsgeschwindigkeit) als 'Fortbewegungsgeschwindigkeit' gilt hier die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Front oder das Zentrum der Massenbewegung über das Gelände bewegt, die Fortbewegungsgeschwindigkeit muss nicht identisch sein mit der sich aus der gemessenen Dopplerverschiebung ergebenden Geschwindigkeit) einem realistischen Pfad entspricht In die Bewegungsgleichungen, die ihrerseits in die Nebenbedingungen für die verwendete Filterfunktion einfließen können, gehen die vorbekannten, in der Auswerteeinheit 7 gespeicherten Informationen über die Begebenheiten des Geländes ein Diese Informationen können bspw ein vereinfachtes Modell des Geländes beinhalten, in welchem das Gelände abschnittsweise durch geneigte Ebenen modelliert wird. Die Parameter dieses Modells werden vorgängig bestimmt, beispielsweise anhand kartografischer Daten oder anhand neu vorgenommener Messungen. Sie sind fest in der Auswerteeinheit abgespeichert, explizit als Geländeparameter (z.B. in Form von Koordinaten und Neigung der geneigten Ebenen), und/oder implizit als Filterparameter.

[0060] Wenn eine Messung sich bei der Diskrimination als plausibel, d.h. als verträglich mit einer Massenbewegung herausstellt, wird sie weiterverfolgt um den Pfad 55 zu entwickeln, wie in den Figuren 4a-4f illustriert Ansonsten wird verworfen Dieser Vorgang der Diskrimination kann relativ schnell sein, d h es kann sich innerhalb weniger Sekunden herausstellen, ob eine effektive Massenbewegung vorliegt oder nicht.

[0061] Wie bereits vorstehend erwähnt, fliesst die Information ob eine Massenbewegung plausibilisiert wurde oder nicht, auch in die Bestimmung des Langzeitdurchschnitts zwecks Hintergrundsubtraktion ein Der Langzeitdurchschnitt wird bspw. auf den letzten ermittelten Wert vor dem Einsetzen der Massenbewegung eingefroren.

[0062] Nebst dem Pfad kann parallel dazu ein auch ein Umriss 56 ermittelt werden, welcher die räumliche Ausdehnung der Massenbewegung festhält Bei einer Annahme einer standardisierten Verteilung kann sich eine seitliche Ausdehnung - und somit unter Berücksichtigung des Verlaufs der ganze Umriss - zwangslos aus der Annahme einer bestimmten, sich aus der standardisierten Verteilung ergebenden Breite ergeben, also bspw aus dem Pfad und bei einer Gaußschen Normalverteilung dem Parameter σ („Standardabweichung“), der die Breite quer zum Pfad bestimmt.

[0063] Ein ermittelter Pfad 55 und/oder gegebenenfalls ein ermittelter Umriss 56 kann mit bereits abgespeicherten Pfaden/Umrissen von vergangenen Ereignissen abgeglichen werden. Wird eine Übereinstimmung gefunden, kann diese Information bspw. in die Funktionsweise einer Warnfunktion einfließen. Beispielsweise in Fig 1 werden Lawinen in einem Lawinengebiet (in Fig. 1 links dargestellt) eine Gefährdung der Strasse 104 auslösen, während Lawinenpfade in einem anderen Lawinengebiet (in Fig 1 rechts) aufgrund der Topografie zu keiner Gefährdung führen.

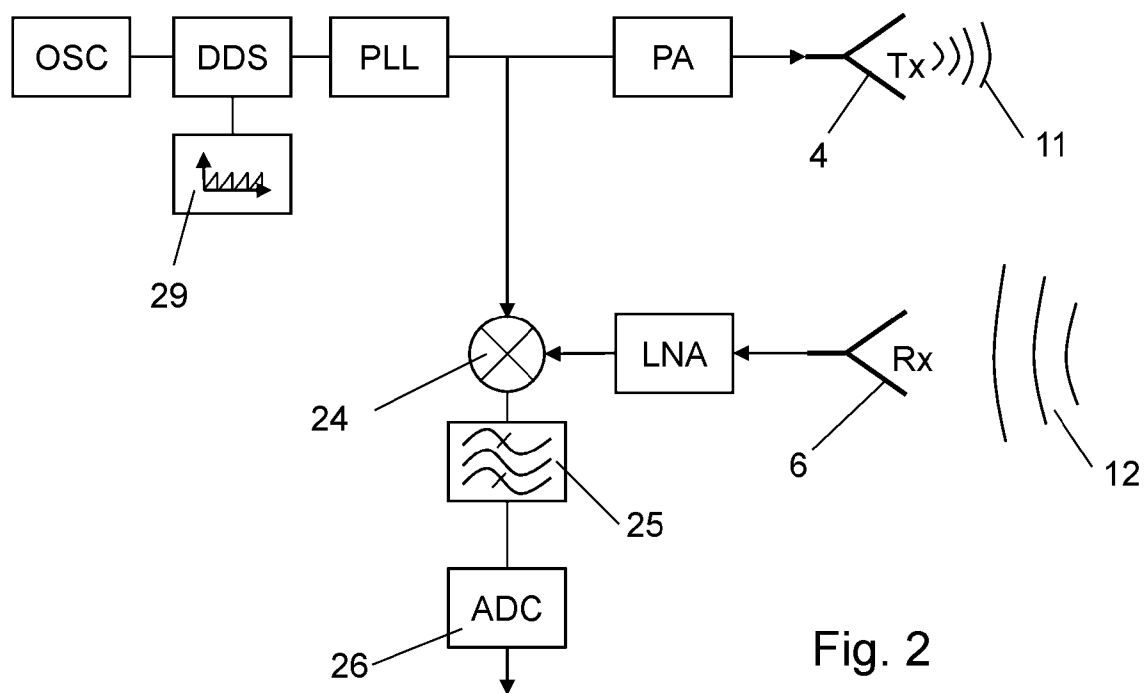
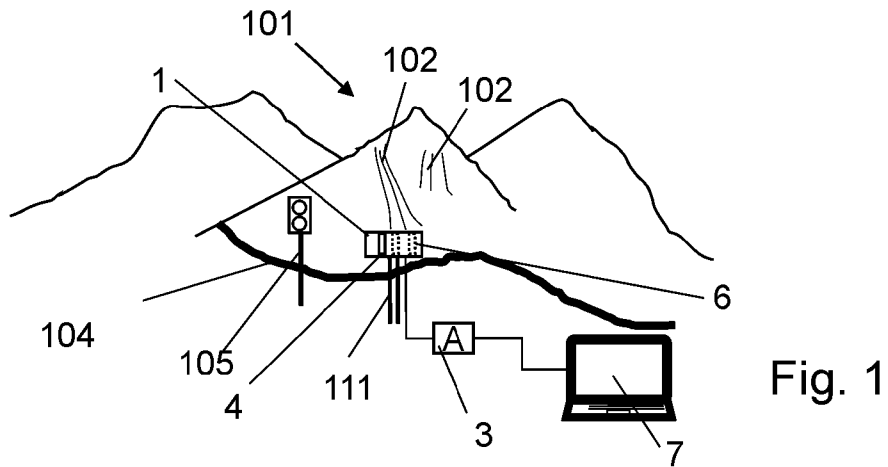
[0064] Wenn ein erfasster Pfad keinem bereits abgespeicherten Pfad entspricht, kann er neu abgespeichert werden und in Prognosen im Zusammenhang mit zukünftigen Massenbewegungsereignissen einfließen.

[0065] Unter Umständen kann auch vorgesehen sein, dass ein bereits abgespeicherter Pfad nach einem gewissen Zeitraum aus der Datenbank gelöscht wird, wenn er keinem in diesem Zeitraum effektiv gemessenen Pfad entspricht.

Patentansprüche

1. System zum Bestimmen eines Pfades (55) einer Massenbewegung in einem Gelände (101), umfassend ein Radargerät (1) mit mindestens einer Sendeantenne (4) zum Aussenden von Primär-Radiowellen und mindestens eine Empfangsantenne (6) zum Erzeugen von Empfangssignalen die durch vom Gelände (101) aufgrund der Primär-Radiowellen (11) zurückgeworfene Sekundär-Radiowellen (12) bewirkt werden, sowie eine Auswerteeinheit, die eingerichtet ist, aus den Empfangssignalen in Abhängigkeit mindestens einer Positionscoordinate auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Massenbewegungsaktivität zu schliessen, woraus sich Massenbewegungsaktivitäten für verschiedene, durch Positionskoordinatenwerte repräsentierte Positionen ergeben, wobei die Auswerteeinheit ferner eingerichtet ist, aus einer zeitlichen Entwicklung der Positionen, für welche eine Massenbewegungsaktivität festgestellt wurde, einen Pfad (55) der Massenbewegung zu ermitteln.

2. System nach Anspruch 1, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist, pro Position einen Langzeitdurchschnitt des Empfangssignals zu bestimmen, und wobei das Feststellen der Massenbewegungsaktivität einen Vergleich zwischen dem Empfangssignal und dem Langzeitdurchschnitt beinhaltet.
3. System nach Anspruch 2, wobei der Vergleich beinhaltet, dass geprüft wird, ob eine Differenz zwischen dem Empfangssignal und dem Langzeitdurchschnitt eine Schwellwertbedingung erfüllt oder nicht.
4. System nach Anspruch 2 oder 3, wobei Messungen des Empfangssignales, die während einer festgestellten Massenbewegungsaktivität stattfinden, bei der Ermittlung des Langzeitdurchschnitts unberücksichtigt bleiben.
5. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist, diejenigen Positionen, für welche die Empfangssignale auf eine Bewegung schliessen lassen, einem Clustering-Verfahren zu unterziehen und den Pfad pro Cluster (52) zu bestimmen.
6. System nach Anspruch 5, wobei für das Clustering-Verfahren zu gruppierende Vektoren die Positionscoordinate der Positionen, für welche eine Massenbewegungsaktivität festgestellt wurde umfassen.
7. System nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist, für ein beim Clustering-Verfahren resultierendes Cluster (52) eine standardisierte Verteilung anzunehmen, beispielsweise eine Gausssche Normalverteilung.
8. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist, für die Bestimmung des Pfades (55) einen Diskriminationsschritt vorzunehmen, in welchem die zeitliche Entwicklung der Positionen mit mindestens einer Bewegungsgleichung abgeglichen wird.
9. System nach Anspruch 8, wobei für den Diskriminationsschritt ein Kalman-Filter verwendet wird.
10. System nach Anspruch 8 oder 9, wobei der Diskriminationsschritt in Echtzeit ausgeführt wird und während eines mutmasslichen Massenbewegungsereignisses durchgeführt wird, so dass eine Diskrimination abgeschlossen werden kann, bevor das mutmassliche Massenbewegungsereignis zu Ende ist.
11. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist, nebst dem Pfad auch einen Umriss (56) der Massenbewegung zu bestimmen.
12. System nach einem der vorangehenden Ansprüche wobei die Auswerteeinheit eine Datenbank mit abgespeicherten möglichen Pfaden aufweist, und wobei die Auswerteeinheit eingerichtet ist, den Pfad (55) der Massenbewegung mit den möglichen Pfaden abzugleichen.
13. System nach Anspruch 12, das eingerichtet ist, den Pfad (55) der Massenbewegung in der Datenbank mit abgespeicherten möglichen Pfaden abzuspeichern, wenn er keinem abgespeicherten möglichen Pfad zuordenbar ist.
14. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, das eine Mehrzahl von Empfangsantennen (4) und/oder eine Mehrzahl von Sendeantennen (6) aufweist, weshalb die Positionskoordinatenwerte von Range und Azimut abhängig sind.
15. System nach einem der vorangehenden Ansprüche wobei die mindestens eine Sendeantenne (4) und die mindestens eine Empfangsantenne (6) stationär sind.
16. Verfahren zum Bestimmen eines Pfades (55) einer Massenbewegung in einem Gelände (101), wobei Primär-Radiowellen (11) ausgesandt werden und wobei aufgrund der Primär-Radiowellen (11) zurückgeworfene Sekundär-Radiowellen (12) ein Empfangssignal bewirken, wobei dieses Empfangssignal in Abhängigkeit mindestens einer Positionscoordinate ausgewertet wird, um auf das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Massenbewegungsaktivität zu schliessen, woraus sich Massenbewegungsaktivitäten für verschiedene, durch Positionskoordinatenwerte repräsentierte Positionen ergeben, und wobei aus einer zeitlichen Entwicklung der Positionen, für welche eine Massenbewegungsaktivität festgestellt wurde, ein Pfad der Massenbewegung ermittelt wird.



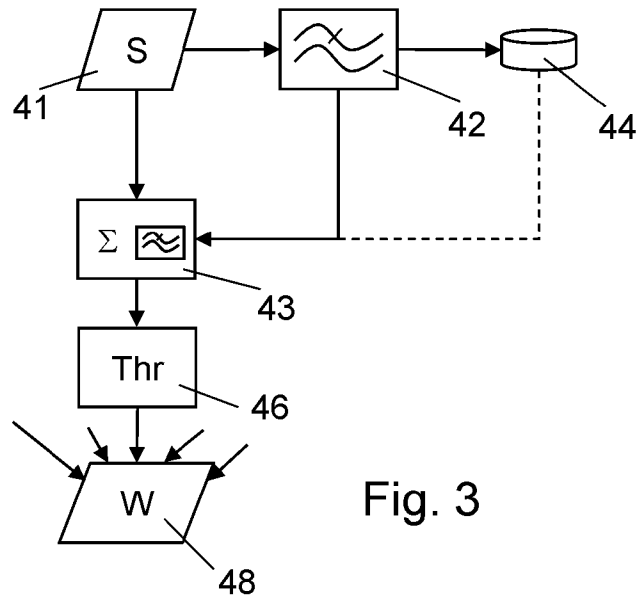


Fig. 3

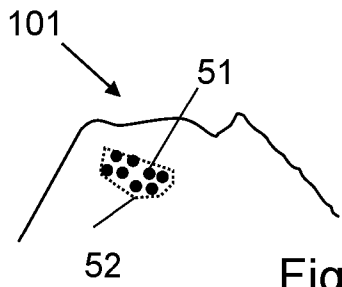


Fig. 4a

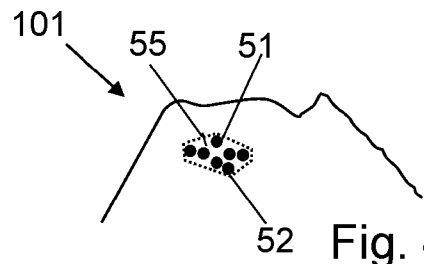


Fig. 4b

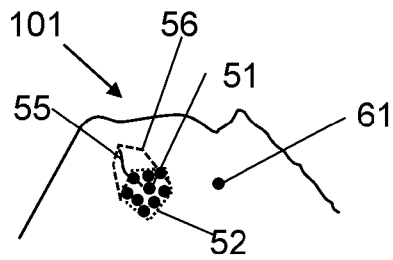


Fig. 4c

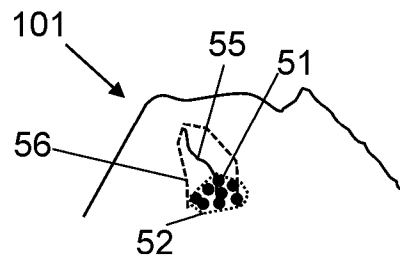


Fig. 4d

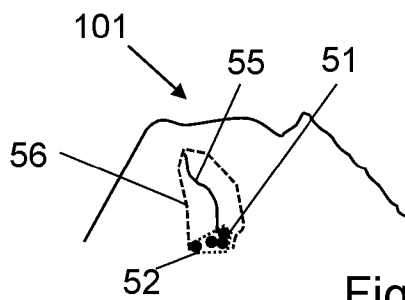


Fig. 4e

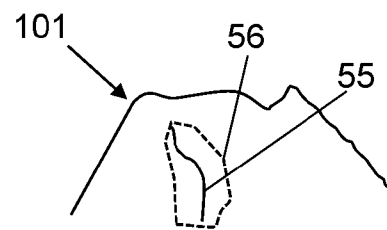


Fig. 4f