

(21) Aktenzeichen: **10 2020 119 488.9**
 (22) Anmeldetag: **23.07.2020**
 (43) Offenlegungstag: **27.01.2022**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **22.12.2022**

(51) Int Cl.: **G01W 1/14** (2006.01)
G01H 3/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Auto-Intern GmbH, 44809 Bochum, DE; Okeanos
Smart Data Solutions GmbH, 44787 Bochum, DE**

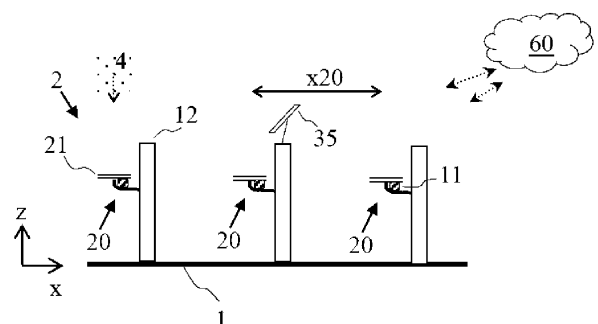
(74) Vertreter:
**Patentanwaltskanzlei Revier IP Dr.-Ing. Lukas
Tanner LLM, 44787 Bochum, DE**

(72) Erfinder:
**Bökelmann, Stephan, 44789 Bochum, DE;
 Holmes, Odin, 44791 Bochum, DE; Mewes,
 Benjamin, Dr., 44795 Bochum, DE; Oppel,
 Henning, Dr., 44799 Bochum, DE; Röthemeyer,
 Tabea, 44801 Bochum, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Verfahren und System zur Analyse von Niederschlagsereignissen sowie Computerprogrammprodukt und Verwendung**

(57) **Hauptanspruch:** Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten (D20) von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1a, 1b) erfolgt, wobei die Messdaten (D20) mittels Niederschlags-sensoren (20) jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte (21 a) generiert sind, wobei die Analyse zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) orts aufgelöst wird und die orts aufgelösten Messdaten miteinander korreliert werden, wobei aus den orts aufgelösten korrelierten Messdaten wenigstens ein Analyseergebnis aus der folgenden Gruppe ermittelt wird: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1 a, 1b) erfolgt.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2020 / 0 081 153	A1
US	3 389 601	A
US	5 440 483	A
EP	0 422 553	A1

PEDERSEN, Lisbeth, et al. Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges. *Atmospheric research*, 2010, 95. Jg., Nr. 4, S. 441-454.

SEMPPLAK, Ralph A.; KELLER, H. E. A dense network for rapid measurement of rainfall rate. *Bell System Technical Journal*, 1969, 48. Jg., Nr. 6, S. 1745-1756.

Semplak, R. A.: Gauge for Continuously Measuring Rate of Rainfall. In: *Rev. of Sei. Instruments*, 57, No. 11 (November 1966), pp. 1554-1558

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein zur Analyse derartiger Niederschlagsereignisse eingerichtetes System, insbesondere ein System mit Wamfunktion. Nicht zuletzt betrifft die vorliegende Erfindung auch ein Computerprogrammprodukt zum Ausführen eines Verfahrens zur Analyse von Niederschlagsereignissen sowie die Verwendung einer Vielzahl von energieautarken Niederschlagssensoren für die Messdaten-Akquise bei derartigen Niederschlagsereignissen. Insbesondere betrifft die Erfindung eine Vorrichtung und ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des jeweiligen unabhängigen bzw. nebengeordneten Anspruchs.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Niederschlag ist als natürliches Ereignis nur mit gewissen Ungenauigkeiten und Rest-Unsicherheiten vorhersehbar. In der Atmosphäre werden Regen, Hagel, Schnee oder auch feste Partikel wie z.B. Sand über weite Entfernungen und bei großen Temperaturunterschieden verlagert. Insofern sind viele Regionen der Erde auch von unvorhersehbaren, unerwarteten und untypischen Niederschlagsereignissen betroffen, die durchaus eine gewisse Wucht entfalten können. In einigen Regionen der Erde stellen saisonale Niederschlagsereignisse dabei ein sehr großes Risiko für Mensch und Natur dar, insbesondere in Hinblick auf den Anbau von Nahrungsmitteln, insbesondere in Hinblick auf eine möglichst ertragreiche Ernte, insbesondere auch hinsichtlich Beschädigung oder gar Verlust von Haus und Hof. Ein Beispiel für zwar nicht extrem gravierende, aber doch häufig auftretende Schäden ist Hagelschlag bei Autos (Beschädigung der Karosserie und/oder Fenster).

[0003] Traditionell wird Niederschlag über die erfassbare Menge von Wasser analysiert. Die dafür etablierten Gerätschaften umfassen beispielsweise einen Niederschlagsmesser nach Hellmann. Anders ausgedrückt: Die Höhe bzw. der Pegel von in einem Rohr gesammeltem Wasser wird auf die flächige Ausdehnung des Sensors und die Mess-Zeit bezogen, um rückschauend eine Quantifizierung zu ermöglichen. Derartige Analysen liefern jedoch nur wenig Nutzen bezüglich der Risiken, die von untypischen plötzlich auftretenden Niederschlagsereignissen ausgehen.

[0004] Es gibt bereits diverse Hilfsmittel, die eine Vorhersage auch bei Gewittern oder starken kurzzei-

tigen Regenfällen erleichtern sollen, z.B. Wetterradar. Viele dieser Hilfsmittel haben jedoch nach wie vor eine vergleichsweise lange Reaktionszeit, insbesondere mindestens 15 Minuten, und es verbleibt auch immer noch eine vergleichsweise große Rest-Unsicherheit bzw. Ungenauigkeit. Die Analyse von Niederschlagshöhen aus radar- und stationsbasierten Messungen wird dabei spätestens dann recht aufwändig, wenn eine sehr hohe örtliche Genauigkeit gewünscht wird. Anders ausgedrückt: Trotz vergleichsweise großer Datenmengen bzw. umfassender Datengrundlage von Wetterdienstinformationssystemen ist der Nutzen dieser Hilfsmittel insbesondere hinsichtlich plötzlich auftretender Ereignisse bisher eher begrenzt.

[0005] Speziell auch in Hinblick auf plötzlich auftretende Starkregen- oder Hagel-Ereignisse besteht Interesse an verbesserten Diagnose- oder auch Frühwarnsystemen, insbesondere an einem spürbaren Zeitvorteil bei der Analyse und Vorhersage/Prognose von Wetterereignissen für Dritte, z.B. für Bauern.

[0006] Das Erfassen von Messdaten momentaner Niederschlagsereignisse kann z.B. unter Bezugnahme auf Schall- bzw. Vibrations-Charakteristiken erfolgen, beispielsweise mittels piezoelektrischer Sensoren. Die Analyse der erfassten Messdaten erfolgt beispielsweise durch Bezugnahme auf eine Frequenz oder Resonanzmode.

[0007] Die folgenden Veröffentlichungen beschreiben jeweils einzelne Aspekte bei der Erfassung bzw. Analyse von momentanen Niederschlagsereignissen: EP 2 702 434 B1, EP 1 820 049 B1 EP 3 102 970 B1.

[0008] Die folgenden Veröffentlichungen beschreiben kumulative Messprinzipien, insbesondere Wipp- und/oder Wäge-Messprinzipien, zur zeitbezogenen Erfassung einer bestimmten Niederschlagsmenge: US 5 440 483 A, US 2020/0 081 153 A1, US 3 389 601 A.

[0009] Die folgende Veröffentlichung beschreibt eine Prallplatte mit einem darunter angeordneten akustoelektrischen Wandler zur Frequenzanalyse von beim Auftreffen von Niederschlag erzeugten Schwingungen: EP 0 422 553 A1.

[0010] Der folgende Fachartikel beschreibt eine kumulative Erfassung von Niederschlag mittels Durchfluss-Sensorik jeweils an einer Vielzahl von Messdatenerfassungspunkten: SEMPLAK, R., et al.; Bell System Technical Journal, 1969, 48. Jg., Nr. 6, S. 1745-1756. Der folgende Fachartikel beschreibt in diesem Zusammenhang einen bestimmten Typ Regensensor: SEMPLAK, R. A.; Rev. of Sei. Instruments, 57, No. 11 (November 1966), pp. 1554-1558.

[0011] Der folgende Fachartikel beschreibt eine Analyse der örtlichen Variationen von Niederschlag basierend auf einer Vielzahl von kumulativ messenden Sensoren: PEDERSEN, L., et al.; Atmospheric research, 2010, 95. Jg., Nr. 4, S. 441-454.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0012] Aufgabe ist, ein Verfahren und eine Vorrichtung bzw. ein System zur Analyse von Niederschlagsereignissen bereitzustellen, womit Niederschlagsereignisse auf zuverlässige und robuste Weise bei möglichst überdurchschnittlich guter Evidenz (Ausagekraft) bzw. Messdaten-Belastbarkeit analysiert werden können, insbesondere bei möglichst minimalem Zeitverzug. Die Aufgabe kann weiterhin auch darin gesehen werden, das Verfahren bzw. das System so auszugestalten, dass auch die Art und Weise der Erfassung der Niederschlagsereignisse (im Sinne von Messdaten-Akquise) auf vorteilhafte Weise durchgeführt werden kann, insbesondere hinsichtlich der Anforderungen Zeit, Genauigkeit, Kosteneffizienz. Nicht zuletzt besteht die Aufgabe auch darin, das Verfahren bzw. das System derart implementieren zu können, dass es sich bei möglichst vielen Anwendungen vorteilhaft nutzen lässt, insbesondere bei gutem Kompromiss aus Kosten und Nutzen und bei hoher Praxistauglichkeit insbesondere auch hinsichtlich einer Warnfunktion.

[0013] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie durch ein System gemäß dem nebengeordneten Vorrichtungsanspruch gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung werden in den jeweiligen Unteransprüchen erläutert. Die Merkmale der im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiele sind miteinander kombinierbar, sofern dies nicht explizit verneint ist.

[0014] Bereitgestellt wird ein Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert (lokal) auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, dass die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche erfolgt, wobei die Messdaten mittels Niederschlagsensoren jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte generiert sind, wobei die Analyse zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten ortsaufgelöst wird und die ortsaufgelösten Messdaten miteinander korreliert werden, wobei aus den zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten ortsaufgelösten und miteinander korrelierten Messdaten wenigstens ein Analyseergebnis aus der folgenden Gruppe ermittelt wird: momentane oder maximale Intensität (Stärke) des jeweiligen Nieder-

schlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses (insbesondere Aggregatzustand des Niederschlags), Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung (Zugrichtung) des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere zumindest die Art und die momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses. Dies ermöglicht eine recht umfassende Analyse von Niederschlagsmessdaten auch auf einer oder mehreren vergleichsweise großen Mess-Grundflächen. Beispielsweise werden 10, 20 oder 50 oder noch mehr Erfassungspunkte vorgesehen, je nach Größe der zu analysierenden Fläche. Dabei ist das Analyseergebnis ein ortsaufgelöstes Analyseergebnis mit vergleichsweise hoher bzw. exakter Ortsauflösung, z.B. basierend auf Messpunkten, die nur 500 bis 1000 Meter voneinander beabstandet sind.

[0015] Es hat sich gezeigt, dass eine Analyse unter Berücksichtigung des jeweiligen Ortes des Erfassungspunktes die Auswertung insbesondere bei einer Anordnung der Erfassungspunkte in einem Raster erleichtert. Dabei basiert die vorliegende Erfindung auch auf dem Konzept, für den jeweiligen Erfassungspunkt eine möglichst einfache, kostengünstige Messtechnik bereitzustellen, und die Analyse dadurch zu erleichtern und im Ergebnis auch robuster auszugestalten, dass die Messung und Auswertung bezüglich einer hohen Anzahl von Erfassungspunkten erfolgt. Das Ermitteln des wenigstens einen Analyseergebnisses kann dabei vorteilhaft zentral in einem Cloud-Datenraum erfolgen, insbesondere indem je Messpunkt die Messdaten in den Cloud-Datenraum transmittiert werden, insbesondere in Echtzeit oder zumindest ohne spürbaren Zeitverzug.

[0016] Dabei kann die Ortsauflösung durch die einzelnen Messpunkte bzw. den dort vorgesehenen Sensoren vorgegeben werden, insbesondere in der Art eines gleichverteilten Rasters über die wenigstens eine Mess-Grundfläche. Als Mess-Grundfläche ist dabei die Region bzw. das Gebiet zu verstehen, in welchem die Messpunkte verteilt sind, insbesondere gemäß einem vordefinierten Raster, insbesondere in einem Abstand kleiner gleich 500 Meter. Wahlweise kann dabei auch zwischen mehreren Mess-Grundflächen mit jeweils individueller Rasterung unterschieden werden, z.B. indem die Analyse auf drei verschiedenen beabstandet voneinander oder ineinander übergehend angeordneten Mess-Grundflächen mit unterschiedlicher Rasterung durchgeführt wird (insbesondere mit einer Rasterung, die umso kleiner ist, umso größer das erwartungsgemäße Risikopotential von Niederschlagsereignissen dort ist).

[0017] Als Analyse ist dabei zunächst die Auswertung von bereits erfassten Messdaten zu verstehen, insbesondere indem die Messdaten jeweils mit einer Ortskennung für eine zentrale Auswertung bereitgestellt werden, bevorzugt drahtlos für eine Bestimmung von Analyse-Ergebnissen in einer Cloud-Datenbank bzw. in einem Cloud-basierten Netzwerk (bzw. in einer IT-Infrastruktur, die über drahtlose Kommunikationswege, insbesondere auch umfassend das Internet, bereitgestellt ist). Die Cloud bietet dabei z.B. die Möglichkeit der Nutzung von spezieller Software für die Analyse, insbesondere auch im Sinne eines SaaS-Dienst-Anbieters, so dass die Anzahl der Messpunkte bzw. die Anzahl der Sensoren auf einfache Weise auf ein individuell skalierbares System angepasst werden kann.

[0018] Die Analyse erfolgt dabei bevorzugt mehr oder weniger in Echtzeit, mit einem je nach technischen Möglichkeiten bedingten möglichst minimalen Zeitverzug. Es werden bevorzugt momentane Messdaten ausgewertet, also Messdaten, die unmittelbar zuvor erfasst und sofort zur Analyse bereitgestellt werden, insbesondere drahtlos transmittiert werden.

[0019] Als orts aufgelöste Messdaten sind dabei Messdaten zu verstehen, die jeweils bezüglich des spezifischen Messdatenerfassungspunktes, an welchem die jeweiligen Messdaten erfasst wurden, charakterisiert werden können. Orts aufgelöste Messdaten weisen z.B. eine Orts- bzw. Positions-Kennzahl für denjenigen Sensor auf, mittels welchem die Messdaten erfasst werden. Beispielsweise sind in einem erfindungsgemäßen System alle Messpunkte bzw. Sensoren mit Positions-Koordinaten (geografische Länge und Breite, wahlweise auch geografische Höhe) in einer Datenbank hinterlegt, und durch Bezug auf diese Positions-Kennzahlen können die einzelnen Messwerte miteinander korreliert und z.B. beim computergestützten Erstellen einer räumlichen Repräsentation der Niederschlagsintensitäten ausgewertet werden.

[0020] Als Korrelation orts aufgelöster Messdaten miteinander ist dabei eine Berücksichtigung einer Vielzahl von Messdaten unterschiedlicher Messpunkte und optional auch deren Kombination zu verstehen, insbesondere im Sinne einer Korrelationsanalyse zum Erweitern der Analyse von den einzelnen Messpunkten auf eine räumliche Verteilung bzw. unter Berücksichtigung der Ortsauflösung. Bei der Korrelation kann dabei im Einzelfall untersucht werden, ob bzw. inwiefern die einzelnen Messpunkte miteinander in Wechselbeziehung stehen, z.B. bezüglich eines Anstiegs oder Abklingens eines Niederschlagsereignisses. Die Korrelation ermöglicht insbesondere eine deduktive Bestimmung von Ergebnissen bei der Analyse der Daten von der Vielzahl von Messpunkten, insbesondere im Sinne einer flächigen Interpolation. Eine solche

orts aufgelöste Korrelation kann dabei z.B. auch die Datenbasis für eine Objekterkennung liefern, wobei als Objekterkennung insbesondere eine flächige Interpolation basierend auf einer Vielzahl von punktuellen Messdatenerfassungspunkten zu verstehen ist. Die Objekterkennung kann hier auch als Ereigniserkennung (bzw. Niederschlagsereigniserkennung) bezeichnet werden, wobei die Objekt-/Ereigniserkennung ein auf eine vordefinierbare Fläche/Rasterung bezogenes Niederschlagsereignis betrifft, insbesondere wenigstens ein Niederschlagsereignis einer bestimmten Intensitätsstufe und bestimmter Art (z.B. Hagel der Stufe 3). Dabei kann optional auch eine Zugrichtung des Ereignisses und/oder ein zeitlicher Verlauf an den einzelnen Messpunkten berücksichtigt werden.

[0021] Als Analyseergebnis ist dabei ein Ergebnis zu verstehen, basierend auf welchem das jeweilige Niederschlagsereignis möglichst exakt charakterisiert werden kann, wobei die charakterisierenden Kennzahlen im Einzelfall individuell vorgegeben bzw. gewichtet werden können, insbesondere in Abhängigkeit von der Art der vornehmlich zu erwartenden Niederschlagsereignisse (Regen, Hagel, oder dergleichen). Das Analyseergebnis kann sich auf einen oder mehrere Parameter oder Kennzahlen bezüglich der folgenden Gruppe beziehen, wobei der jeweilige Parameter bzw. die jeweilige Kennzahl orts aufgelöst basierend auf einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten bestimmt wird bzw. ermittelt wurde: Art und/oder Intensität und/oder Dauer und/oder Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis. Diese Gruppe von orts aufgelösten Parametern bzw. Kennzahlen ist nicht abschließend. Beispielsweise kann diese Gruppe erweitert werden durch weitere Kennzahlen, die sich im Rahmen der Analyse von Niederschlagsereignissen bereits im Stand der Technik als vorteilhaft erwiesen haben, insbesondere bei einer Anwendung der vorliegenden Erfindung unter Einbezug von standardisierter MessTechnologie.

[0022] Dabei basiert die Erfindung auf dem Konzept, durch eine Vielzahl von Messdatenerfassungspunkten eine flächige Analyse zu ermöglichen, ohne zu hohe Anforderungen an die Güte des einzelnen Messpunktes stellen zu müssen. Anders ausgedrückt: Nicht eine einzelne lokale möglichst exakte korrekte Messung ist das Ziel, sondern die Belastbarkeit der Analyse bzw. die Aussagekraft (Evidenz) der Messung kann durch eine vergleichsweise hohe Anzahl von einzelnen Messungen bei möglichst einfacher und kostengünstiger Mess-Technologie je Messpunkt erreicht werden. Dabei kann jeweils eine Klassifizierung für die Stärke (und damit auch das Risiko bzw. die Schädigungs-Gefahr) des Niederschlagsereignisses am jeweiligen Messpunkt erfolgen, in der Art einer Intensitätsstufe. In der Summe

liefern die einzelnen Messpunkte in der Zusammenschau ein belastbares, aussagekräftiges Ergebnis, insbesondere bereits nach sehr kurzer Mess-/Analysezeit. Insofern wendet sich die vorliegende Erfindung auch ab von klassischer Mess-Technologie wie z.B. dem Hellmannschreiber.

[0023] Als Niederschlagsereignis ist dabei ein messtechnisch erfassbarer Zustand von Niederschlag bestimmter Charakteristik zu verstehen, insbesondere mit Ortsbezug, insbesondere unter Definition des Aggregatzustandes. Das jeweilige Niederschlagsereignis kann als fester und/oder flüssiger Niederschlag auftreten, und dabei alle Arten von Regen, Tropfen, Eisregen, Nieselregen oder Nebelnässe, Griesel, Graupel (kleine Hagel-Partikel), Hagel oder auch Schnee umfassen. Das Niederschlagsereignis findet auf einer bestimmten Grundfläche statt und weist erfahrungsgemäß auch irgendeine Zugrichtung auf. Die vorliegende Erfindung liefert den Vorteil, ein Niederschlagsereignis nicht nur punktuell, sondern an einer Vielzahl von flächig verteilten Messpunkten erfassen zu können, so dass auch eine Historie bzw. eine Entwicklung bzw. ein Fortschritt oder Stadium des jeweiligen Niederschlagsereignisses erfasst bzw. bestimmt werden kann.

[0024] Bevorzugt werden dabei zumindest die beiden folgenden Analyseergebnisse ermittelt: momentane oder maximale Intensität (Stärke) des jeweiligen Niederschlagsereignisses, und Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses (insbesondere Aggregatzustand des Niederschlags). Das Verfahren liefert demnach z.B. die folgende Aussage (oder Warnmeldung): „Auf Rasterpunkt 2 und 3 der Mess-Grundfläche 7 ist momentan ein Hagel-Ereignis der Intensität 3 zu verzeichnen.“ und/oder „Auf Rasterpunkt 5 und 8 der Mess-Grundfläche 3 ist momentan ein Hagel-Ereignis der Intensität 3 zu verzeichnen.“. Auf diese Weise können die Niederschlagsereignisse erfasst, ausgewertet und dokumentiert werden, und das erfindungsgemäße Verfahren kann insbesondere auch für Warnsysteme um zu schützende Gebiete genutzt werden. Dafür eignet sich insbesondere ein Raster von Messpunkten, welches komplett um das zu schützende Gebiete gelegt wird, oder bei sehr großer Ausdehnung des zu schützenden Gebietes, eine Anordnung von mehreren beabstandet zueinander angeordneten Mess-Grundflächen um das Gebiet herum.

[0025] Gemäß einem Ausführungsbeispiel betreffen die Messdaten das elektrische Feld und/oder eine kapazitive Kopplung zwischen dem Niederschlag ausgesetzten Platten, und/oder die Messdaten betreffen Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten. Es hat sich gezeigt, dass eine Bezugnahme auf die Parameter „elektrisches Feld“ und/oder

„Schwingungen, Vibrationen und/oder Schall“ insbesondere die Auswertung vereinfachen kann, und auch die Messung vereinfachen kann, insbesondere bei einer Messanordnung mit einer Vielzahl von Rasterpunkten bzw. mit einer großen Anzahl von flächig verteilten Messpunkten.

[0026] Insbesondere kann zur kapazitiven Kopplung in einer Anordnung zwischen einem Kondensator (bzw. Platten, welche einen Kondensator bilden) und einem Analog-Digital-Wandler (ADC) ein kapazitiver Spannungsteiler vorgesehen sein. In bestimmten Anwendungen, je nach Anforderungen an die Datenmengen und die Qualität der Analyse, kann es vorteilhaft sein, einen Schwingkreis vorzusehen, insbesondere einen Schwingkreis mit wenigstens einem Kondensator, insbesondere bereitgestellt durch wenigstens eine Prallplatte. Es hat sich gezeigt, dass ein Schwingkreis eine besonders hochqualitative Auswertung ermöglicht. Der Schwingkreis (oder auch Oszillator) weist eine spezifische Eigenfrequenz auf, welche in direkte Abhängigkeit zur Kapazität einer/der Prallplatte gebracht sein kann. Der Oszillator wird in einer bestimmten Frequenz angeregt. Ändert sich nun die Kapazität der Prallplatte, bzw. ändert sich der Abstand der Platten zueinander (Niederschlag trifft auf eine/die obere Platte), so wird der Schwingkreis verstimmt bzw. in der Grundschiwingung gestört. Eine Änderung der Schwingfrequenz ist die Folge, und diese Änderung kann auf gute belastbare reproduzierbare Weise ausgewertet werden.

[0027] Eine Operationsverstärkerschaltung, die auch als f/U-Wandler bezeichnet werden kann, gibt eine Spannung $U(f)$ aus. Die Spannung $U(f)$ ist insbesondere in proportionaler Abhängigkeit zur Schwingung des Schwingkreises gebracht. Die aus der Schwingung bzw. Schwingungsänderung des Schwingkreises gewonnenen Messdaten können insbesondere für einen ADC vorbereitet werden, insbesondere bei vorteilhaft großer Amplitude und sehr guter Signalqualität, auch bereits bei nur kleinen Änderungen, also bei z.B. nur sehr kleinen oder sehr wenigen Regentropfen.

[0028] Die Messdaten können durch wenigstens ein dem Niederschlag ausgesetztes, als Kondensator fungierendes Prallplattenpaar generiert werden, wobei vor einem/dem Analog-Digital-Konverter ein Schwingkreis vorgesehen ist, welcher diese Plattenanordnung umfasst. Die Frequenz des Schwingkreises wird durch einen $U(f)$ -Wandler dargestellt, dessen Signal bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses berücksichtigt wird, wobei das Ausgangssignal in proportionaler Abhängigkeit von der Frequenz des Schwingkreises ausgewertet werden kann und dabei Informationen über Änderungen der Kapazität des Prallplattenkondensators umfasst. Mit anderen Worten können die Messdaten

eine Kapazität wenigstens einer dem Niederschlag ausgesetzten Platte betreffen, wobei vor einer Analog-Digital-Konvertierung bzw. vor einem/dem Analog-Digital-Konverter ein Schwingkreis bzw. Oszillator vorgesehen ist, welcher Schwingkreis eine Operationsverstärkerschaltung bzw. einen f/U-Wandler zur Ausgabe eines Spannungs-Wertes $U(f)$ umfasst, welcher Spannungs-Wert bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses berücksichtigt wird.

[0029] Es hat sich gezeigt, dass eine Analyse des elektrischen Feldes bzw. einer kapazitiven Kopplung zwischen jeweils wenigstens zwei Platten (insbesondere Grundplatte und darüber angeordnete Prallplatte, also strenggenommen jeweils nur eine dem Niederschlag vollkommen frei exponiert ausgesetzte Platte) eine gute Datengrundlage liefert, insbesondere in Hinblick auf eine (Um-)Wandlung von Schwingung bzw. Schwingungsanteilen in ein elektrisches Signal, welches digitalisiert werden kann. Dabei kann durch eine möglichst große Anzahl von Einzel-Messungen bzw. Messpunkten die Belastbarkeit (Evidenz) des Mess- und Analyseergebnisses auf sehr vorteilhafte Weise gesteigert werden.

[0030] Erfindungsgemäß erfolgt zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche, insbesondere unter Bezugnahme auf das elektrische Feld und/oder auf eine kapazitive Kopplung zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren (25 Hektar-Raster mit wenigstens einem Sensor je 500m, also bei zweidimensionaler Anordnung mit vier Sensoren auf 25 Hektar bzw. sechs Sensoren auf 50 Hektar bzw. neun Sensoren auf 100 Hektar bzw. zwölf Sensoren auf 150 Hektar bzw. 16 Sensoren auf 225 Hektar). Dies ermöglicht nicht zuletzt auch eine Überwachung und Dokumentation von vergleichsweise großen Gebieten, insbesondere ohne spürbaren Zeitverzug. Das Netz von Messpunkten bzw. Sensoren umfasst z.B. zehn Sensoren bzw. zehn Messstationen. Wahlweise kann die Rasterweite (Größe der Rasterzelle) noch kleiner gewählt werden, z.B. in vorbekannten Bereichen mit hohen Risiken für katastrophale Niederschlagsereignisse.

[0031] Je Messdatenerfassungspunkt ist dabei bevorzugt ein Sensor vorgesehen; wahlweise können mehrere Sensoren je Messdatenerfassungspunkt vorgesehen sein, beispielsweise ein für flüssi-

gen Niederschlag besonders vorteilhaft oder sensibel eingestellten Sensor und ein für festen Niederschlag besonders vorteilhaft oder sensibel eingestellten Sensor.

[0032] Es hat sich gezeigt, dass eine Rasterung von 500x500m ausreichend fein ist, um einerseits eine gute Reaktionszeit zu realisieren, und andererseits auch eine gute Auflösung sicherstellen zu können. Auch bei sehr großen flächigen Ausdehnungen von z.B. Städten kann das gesamte Gebiet bei vergleichsweise überschaubarem messtechnischem und finanziellem Aufwand mit dem erfindungsgemäßen System ausgestattet werden. Beispielsweise Städte mit einer Einwohnerzahl von 300-500 Tausend Einwohnern können das System, je nach Ausdehnung und Topologie bzw. Topographie, basierend auf nur 150 bis 200 Sensoren bzw. Messdatenerfassungspunkten implementiert werden.

[0033] Im Stand der Technik hingegen konnte die Analyse von Niederschlagshöhen aus radar- und stationsbasierten Messungen bisher nur bei gröberer örtliche Genauigkeit mit vertretbarem Aufwand realisiert werden; insbesondere galt bisher die Rasterung von 1000x1000m als größte örtliche Genauigkeit.

[0034] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird eine Änderung des elektrischen Feldes zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten erfasst, insbesondere basierend auf einer Spannungsmessung an der jeweiligen Platte, wobei die Platten insbesondere mit unterschiedlicher elektrischer Aufladung bereitgestellt werden, wobei bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses insbesondere auch eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen basierend auf der erfassten bzw. ausgewerteten Änderung des elektrischen Feldes erfolgt. Es hat sich gezeigt, dass über den Parameter „Feldstärke“ wertvolle aussagekräftige Messdaten gewonnen werden können, insbesondere bei vergleichsweise einfachem, robustem messtechnischen Aufbau.

[0035] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse von momentanen Schwingungen und/oder momentanen Vibrationen und/oder momentanem Schall an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren (25 Hektar-Raster mit wenigstens einem Sensor je 500m).

[0036] Es hat sich gezeigt, dass die vorliegende Erfindung besonders vorteilhaft basierend auf einer

Analyse von Schwingungen, Vibrationen, Schall implementiert werden kann.

[0037] Als Vibration ist dabei eine üblicherweise periodische Schwingung von einem Körper zu verstehen, insbesondere derart, dass die Schwingung akustisch erfassbar ist oder als Bewegung bzw. als räumliche Verlagerung von körperlichen Bestandteilen erfassbar ist.

[0038] Als Schall ist dabei eine mechanische Schwingung zu verstehen, insbesondere derart, dass eine Erfassung über die Analyse von Druck-/Dichteschwankungen erfolgen kann. Als Schwingung bzw. Oszillation ist dabei allgemein eine wiederholte zeitliche Schwankung einer Zustandsgröße zu verstehen, die insbesondere periodisch auftritt, die jedoch im weiteren Sinne auch bei nicht-konstanter Zeitabhängigkeit auftreten kann, z.B. bei einer Dämpfung und/oder bei einer Dichteänderung und/oder Änderung von elektrischen oder magnetischen Feldern.

[0039] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, indem orts aufgelöst Änderungen eines elektrischen Feldes am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt ausgewertet werden, insbesondere indem bei einer/der Analyse von Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall eine Abstandsmessung zwischen mehreren Platten erfolgt, insbesondere zwischen mehreren als Kondensator fungierenden Platten. Die Bezugnahme auf die Intensität ermöglicht nicht zuletzt, eine Warnfunktion auf effiziente und zuverlässige Weise bereitzustellen.

[0040] Es hat sich gezeigt, dass eine Abstandsmessung zwischen Platten (bzw. eine Bezugnahme auf eine Änderung des elektrischen Feldes) mit guter Genauigkeit einen Rückschluss insbesondere auf die Art, Menge, Intensität des Niederschlags bzw. des Niederschlagsereignisses ermöglicht.

[0041] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen, insbesondere in eine von wenigstens fünf Intensitätsstufen. Hierdurch kann nicht zuletzt auch die Komplexität der Messung minimiert werden. Eine Klassifizierung liefert insbesondere auch im Zusammenhang mit einem Warnsystem bzw. einer Vorwarnung Vorteile hinsichtlich Risikoabschätzung und Aufwand zu Nutzen-Optimierung.

[0042] Beispielsweise kann eine mathematische Abbildung genutzt werden, die sich als Funktion von der Frequenz und Amplitude der erfassten Schwing-

ungen beschreiben lässt. Wahlweise kann dabei zunächst eine FFT (fast Fourier transform; schnelle Fourier-Transformation) auf dem Messgerät bzw. jeweiligen Sensor erfolgen, bevor die Daten transmittiert werden.

[0043] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt bei der Analyse der Messdaten eine Auswertung der kinetischen Energie des jeweiligen Niederschlagsereignisses bzw. des Niederschlags, insbesondere indem auf ein elektrisches Feld oder einen Abstand zwischen dem Niederschlag ausgesetzten Platten und/oder auf Schwingungen, Vibrationen und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten Bezug genommen wird. Im Zusammenhang mit der kinetischen Energie kann die Amplitude und/oder Frequenz einer durch Niederschlagsereignisse begründeten Schwingung auf vorteilhafte Weise ausgewertet werden. Basierend auf der kinetischen Energie kann auch auf einfache oder besonders sichere Weise auf den Aggregatzustand geschlossen werden. Die kinetische Energie liefert auch eine gute Aussagekraft hinsichtlich des momentanen Schädigungspotentials.

[0044] Beim erfindungsgemäßen Messkonzept ist keine Berücksichtigung der Niederschlagshöhe oder -menge erforderlich, sondern die Analyse kann auf die kinetische Energie bzw. Intensität des Niederschlagsereignisses bezogen werden. Dies ermöglicht auch eine vergleichsweise prompte, direkte, schnelle Art der Analyse. Nicht zuletzt kann dadurch auch eine Fokussierung der Analyse hinsichtlich Schädigungs-/Gefährdungspotential des Niederschlagsereignisses für die Umgebung (z.B. Ernte, Vegetation) erfolgen.

[0045] Diese Art der Analyse ist nicht auf bestimmte Niederschlagsereignisse beschränkt. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dafür vorgesehen, sowohl Standard-Ereignisse wie normalen, erwartungsgemäßen Regen zu erfassen und zu dokumentieren, als auch die schädlichen Extrem-Ereignisse mit großem Impact auf Mensch und Natur mit guter Belastbarkeit zu erfassen und zu dokumentieren bzw. gegebenenfalls davor zu warnen.

[0046] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Ortsauflösung in wenigstens einer Horizontalrichtung (bzw. bzgl. wenigstens einer Horizontal-Koordinate), insbesondere zweidimensional in beiden Horizontalrichtungen. Eine dreidimensionale Auflösung auch in Höhenrichtung (z) ist dabei nicht notwendigerweise erforderlich, bzw. hat es sich gezeigt, dass die Analyse auf vergleichsweise schlanke Art und Weise auf eine oder zwei Horizontal-Koordinaten fokussiert werden kann (Längengrad, Breitengrad).

[0047] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird die Analyse durch Überschreitung wenigstens eines Schwellwertes für einen der folgenden Parameter initiiert oder durch Unterschreiten beendet: Schwellwert für eine Änderung des Abstands oder elektrischen Feldes zwischen dem Niederschlag ausgesetzten Platten, Schwellwert für wenigstens eine Kennzahl betreffend eine Schwingung, Vibration und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten. Dies liefert nicht zuletzt auch einen energieeffizienten Betriebsmodus, insbesondere im Zusammenhang mit Warnsystemen, die erst ab einem vordefinierten Schädigungspotential messen und analysieren und warnen müssen.

[0048] Ein Mindest-Schwellwert für Vibrationen oder dergleichen ist nicht notwendigerweise erforderlich. Je nach gewünschter (energetischer) Autarkie und Funktionalität kann die Aktivität der einzelnen Sensoren vordefiniert sein/werden. Beispielsweise wird in zeitäquidistanten Schritten jeweils den Mittelwert der vergangenen Periode erfasst und transmittiert.

[0049] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt, oder zumindest an einigen davon, ein Temperatursensor vorgesehen, der wahlweise auch in einen Niederschlags-sensor integriert sein kann.

[0050] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung eines akustischen Effektes, insbesondere eines zwischen wenigstens zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten gemessenen akustischen Effektes am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt. Dies kann nicht zuletzt auch eine Schwingungsanalyse erleichtern und ergänzende Messdaten generieren.

[0051] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse von sich ändernden elektrischen Feldern und/oder basierend auf einer Analyse von momentanen Schwingungen und/oder momentanen Vibrationen und/oder momentanem Schall an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens zwei Mess-Grundflächen, welche räumlich voneinander getrennt angeordnet sind, insbesondere mit einem Mindest-Abstand zueinander von mindestens 1.000 Metern, insbesondere mit einem Maximal-Abstand zueinander von maximal 10.000 Metern. Durch Bezugnahme auf wenigstens zwei beabstandet zueinander angeordneten Mess-Grundflächen kann auch ein vergleichsweise großes Gebiet überwacht werden, ohne die Anzahl der Messpunkte besonders groß wählen zu müssen. Beispielsweise bei vorherrschender Windrichtung aus Westen können mehrere Mess-Grundflächen westlich des zu überwachenden Gebietes vorgese-

hen sein, und wahlweise können zusätzlich weitere, aber kleinere oder weniger, Mess-Grundflächen östlich des zu überwachenden Gebietes vorgesehen sein. Aus all diesen Mess-Grundflächen können die akquirierten Messdaten dabei zentral aufgenommen werden, insbesondere indem die Messdaten von jedem einzelnen Messpunkt in eine Cloud-IT-Infrastruktur transmittiert werden. Die Analyse basierend auf Schwingungen, Vibrationen, Schall ermöglicht dabei nicht zuletzt auch eine breite Datengrundlage.

[0052] Beispielsweise wird eine Vielzahl von Mess-Grundflächen in der Art eines Rings um ein zu überwachendes Gebiet vorgesehen, z.B. um ein agrarwirtschaftlich genutztes Feld oder um eine Stadt oder um ein Außenlager herum, z.B. 12 Mess-Felder jeweils nach 30° Umfangswinkel. Dank der Ortsauflösung können auch lokale Ereignisse und deren Zugrichtung bei vergleichsweise niedrigem apparativem Aufwand überwacht werden; auch kann ein Warnsystem für ein vergleichsweise großes zu überwachendes Territorium (z.B. ein über viele Hektar ausgedehntes agrarwissenschaftliches Versuchsfeld) basierend auf schlanker Datengrundlage und kostenoptimierter Technologie realisiert werden.

[0053] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird das Verfahren unter Einbezug von wenigstens einem selbstlernenden Algorithmus durchgeführt, insbesondere betreffend die Ortsauflösung und/oder die Korrelation der Messdaten einzelner Erfassungspunkte zu einer flächenbezogenen Objekt- bzw. Ereigniserkennung. Dies kann insbesondere eine zentrale Analyse bezüglich einer vergleichsweise großen Anzahl von Messpunkten und bezüglich eines besonders großen Gebietes vereinfachen. Insbesondere kann auch eine Warnfunktion auf einfachere und sicherere Weise implementiert werden.

[0054] Bei der Korrelationsanalyse können beispielsweise Abstands- oder Schwingungsdaten betreffend einzelne Sensoren bzw. einzelne Messdatenerfassungspunkte (bzw. dort vorgesehene Platten) in eine räumliche Repräsentation der Niederschlagsintensitäten im jeweils gewünschten Beobachtungsgebiet übertragen werden, insbesondere eine zweidimensionale räumliche Repräsentation, oder bei starken örtlichen geografischen Gefallen auch in eine dreidimensionale räumliche Repräsentation.

[0055] Der Einbezug selbstlernender Algorithmen (so genanntem „machine learning“) und künstlicher Intelligenz (KI) kann dabei insbesondere auch für eine Plausibilitätsprüfung genutzt werden. Wenn beispielsweise die Datengrundlage vergleichsweise dünn ist, kann bei der Korrelation unter Berücksichtigung der Messdaten jeweils benachbarter Sensoren eine gegenseitige Überprüfung der Messung erfolgen. Hierdurch kann auch bei einfacher, kostengüns-

tiger, robuster Messtechnik die Aussagekraft der Analyse verbessert werden.

[0056] Nicht nur eine Plausibilitätsprüfung bei der Korrelation kann mittels KI unterstützt werden, sondern auch die Analyse des jeweiligen einzelnen Messpunktes, insbesondere hinsichtlich eines Analyseergebnisses betreffend die momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, oder die Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses.

[0057] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird das Verfahren unter Anwendung von künstlicher Intelligenz durchgeführt, insbesondere zum Erstellen einer räumlichen Repräsentation der analysierten orts aufgelösten Niederschlagsereignisse, insbesondere von Niederschlagsintensitäten. Dies vereinfacht nicht zuletzt auch das Verständnis über Niederschlagsereignisse bzw. die Nachverfolgung von Niederschlagsereignisse für einen Nutzer des Systems oder für einen Anwender, z.B. für einen Landwirt.

[0058] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird das Verfahren unter Anwendung von künstlicher Intelligenz (KI) zum Erstellen einer räumlichen Repräsentation des wenigstens einen Analyseergebnisses durchgeführt, insbesondere zumindest umfassend die folgenden Analyseergebnisse: räumlichen Repräsentation der momentanen oder maximalen Intensitäten des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, und optional auch die Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses. Dies ermöglicht nicht zuletzt die Überwachung von großen Arealen oder Gebieten auf einfache Weise, z.B. eine grafisch leicht zu verstehende Illustration der momentanen Niederschlags-Situation um eine Stadt herum. Die KI kann dabei auch berücksichtigen, dass z.B. ein einzelner Messpunkt eine Unregelmäßigkeit aufweisen kann bzw. eine fehlerhafte Messung ausgeben könnte, so dass die Messdatenanalyse für einen Anwender erleichtert werden kann.

[0059] Dabei kann die Ausbreitungsrichtung optional betrachtet werden, insbesondere da einige Niederschlagsereignisse ortsfest erfolgen, also gar nicht spürbar wandern, z.B. lokal sehr begrenzte und nur kurz andauernde Hagel-Ereignisse.

[0060] Es hat sich gezeigt, dass die erfindungsgemäße Ortsauflösung insbesondere im Zusammenhang mit einer Intensitätsanalyse von großem Vorteil ist. Zwar erfolgt eine Karten-Darstellung auch bereits bei bisher gemäß dem Stand der Technik durchgeführten Verfahren. Die erfindungsgemäße Anordnung der Messpunkte ermöglicht jedoch auch eine besonders hohe Ortsauflösung und einen exakten Ortsbezug (z.B. basierend auf eindeutigen Positionsdaten von wenigstens neun Messpunkten), so dass

bereits kleine Intensitätsschwankungen bei hoher Ortsauflösung oder mit besonders exaktem Ortsbezug identifiziert werden können. Dieser Vorteil zeigt sich insbesondere auch bei Integral-Bildung über eine vergleichsweise große, z.B. landwirtschaftlich genutzte Fläche, z.B. wenn es um die Frage von kumulierten Hagelschäden geht.

[0061] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt die Analyse von Messdaten betreffend Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall unter Anwendung von wenigstens einer Fouriertransformation, insbesondere indem eine FFT (fast Fourier transform) auf die Messdaten angewandt wird, insbesondere nachdem eine Analog-Digital-Konvertierung vorgenommen wurde, insbesondere bevor eine Filterung vorgenommen wird. Eine Fouriertransformation liefert insbesondere auch den Vorteil einer zweckmäßigen Datenaufbereitung bzw. Datenselektion (im Sinne von Zwischenergebnissen) für nachfolgende, spezifischer auf Einzelaspekte fokussierte Analysen. Es hat sich gezeigt, dass die Analyse von Frequenzanteilen von Schwingungen von durch Niederschlag angeregten Platten im Kontext der vorliegenden Erfindung besonders zielführend ist.

[0062] Soweit in der vorliegenden Offenbarung von „Fouriertransformation“ gesprochen wird, umfasst die Offenbarung eine allgemeine Bezugnahme auf Fouriertransformationen, und eine spezielle Bezugnahme auf alle Arten von schnellen Fouriertransformationen (FFT fast Fourier transform).

[0063] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt bei der Analyse von Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall durch Anwendung von wenigstens einer Fouriertransformation eine Zerlegung der erfassten Schwingungsmessdaten in eine Gruppe von n unterschiedlichen Schwingungsbestandteilen, wobei aus dieser Gruppe von n unterschiedlichen Schwingungsbestandteilen wenigstens eine Schwingung identifiziert wird, basierend auf welcher die Intensität der Schwingung analysiert wird. Hierdurch kann nicht zuletzt auch eine Gewichtung und Klassifizierung der einzelnen Niederschlagsereignisse erleichtert werden.

[0064] Gemäß einem Ausführungsbeispiel erfolgt die Analyse in einem Zeitfenster von maximal fünf, vier, drei, zwei oder einer Minute nach Detektion eines Niederschlagsereignisses und wird auch in diesem Zeitrahmen abgeschlossen, insbesondere mit einer durch telemetrische Übertragung (Transmission) bedingten Verzögerung von maximal 1 min., insbesondere in Bezug auf das tatsächliche Niederschlagsereignis am jeweiligen Ort bzw. Messdatenerfassungspunkt. Hierdurch kann nicht zuletzt auch ein deutlicher zeitlicher Vorteil im Vergleich zu bisherigen insbesondere auf Radar basierenden Niederschlagsmessungen erzielt werden (insbesondere

gegenüber so genannter Radar-Online-Aneichung, entsprechend einer Kombination von punktuell in bestimmten Zeitintervallen an einzelnen Niederschlagsstationen gemessenen stündlichen Werten mit einer Erfassung durch Wetterradar). Die Analyse kann dabei unmittelbar zu einer Ausgabe der Analyse-Ergebnisse führen, beispielsweise in der Art einer räumlichen Repräsentation von Intensitäten (kartografische Darstellung von Niederschlagsintensitäten bei hoher Ortsauflösung und minimierter Zeitverzögerung). Dies erleichtert nicht zuletzt auch das schnelle Einleiten von Gegenmaßnahmen bei minimierter Reaktionszeit.

[0065] Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort (bzw. Messdatenerfassungspunkt, insbesondere Rasterpunkt), wobei das Erfassen von Kennzahlen betreffend ein elektrisches Feld und/oder eine Spannung erfolgt, nämlich mittels einer Mehrzahl von Niederschlagssensoren jeweils mit wenigstens einer freischwingernden Platte. Dank einer oder mehrerer freischwingernden Platten kann auch eine vergleichsweise einfache, robuste, exakte und kostengünstige Messtechnologie bereitgestellt werden.

[0066] Für eine Spannungs-Kennzahl bzw. für den Mess-Parameter „Spannung“ kann dabei je nach Mess-Aufbau insbesondere auch eine proportionale Abhängigkeit zur Intensität des Niederschlagsereignisses zugrunde gelegt werden.

[0067] Als Erfassung ist dabei die Aufnahme bzw. Bereitstellung bzw. die Erfassung im engeren Sinne von Messdaten mittels der dafür vorgesehenen Sensorik zu verstehen, insbesondere jeweils an einem spezifisch dafür vorgesehenen Punkt (zumindest definiert durch eine Horizontalkoordinate, bevorzugt definiert durch zwei Horizontalkoordinaten, also Länge und Breite).

[0068] Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort, wobei das Erfassen mittels eines Kondensators erfolgt, insbesondere basierend auf kapazitiver Kopplung von wenigstens zwei vibrierenden oder durch den Niederschlag zu Vibrationen angeregten Platten (bzw. Scheiben, insbesondere kreisrunden Scheiben). Hierdurch kann auch ein Messaufbau bereitgestellt werden, welcher eine vergleichsweise breite Datengrundlage (bzw. umfangreiche Messdatenakquise) ermöglicht, insbesondere auch hinsichtlich der Analyse von Abstand und E-Feld. Es hat sich gezeigt, dass dabei ein Durchmesser von ca. 30cm für die Platten/Scheiben ausreichend groß ist, insbesondere in Hinblick auf Schwingungseigenschaften

bzw. Anregung/Auslenkung weitgehend unabhängig von Art und/oder Intensität bzw. Dichte des Niederschlags. Der Durchmesser beträgt z.B. 28cm. Dabei kann es auch ausreichen, wenn nur eine der Platten durch den Niederschlag angeregt wird, und die andere Platte weitgehend starr, also im Wesentlichen schwingungsneutral, angeordnet bzw. befestigt/gelagert ist.

[0069] Gemäß einem Ausführungsbeispiel werden die am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt erfassten Messdaten über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz (Low-Power-Wireless-Netzprotokoll), insbesondere über LoRa WAN (Long Range Wide Area Network) transmittiert, insbesondere in eine bzw. in einer Cloud-IT-Infrastruktur bzw. in einen Cloud-Datenraum. Hierdurch kann die Autarkie des Gesamtsystems weiter verbessert werden, insbesondere auch in energetischer Hinsicht. Dies liefert auch weitere Vorteile hinsichtlich möglichst großer flächiger Ausdehnung.

[0070] Für energetische Autarkie können die Sensoren z.B. mit Akkumulatoren und wahlweise auch mit Energy-Harvesting-Komponenten (insbesondere Photovoltaik) ausgerüstet sein. Als energetische Autarkie ist hier eine zeitliche Unabhängigkeit von mehreren Monaten zu verstehen, beispielsweise sechs bis 12 Monate. Wahlweise kann die Energieversorgung anstelle mittels eines klassischen Akkumulators auch mittels eines geladenen Kondensators sichergestellt sein/werden, insbesondere mittels zwei Platten. Die energetische Autarkie kann wahlweise auf die Datentransmission per LoRa beschränkt sein/werden (Autarkie hinsichtlich Kommunikation).

[0071] ITEM 1 Die zuvor genannte Aufgabe wird insbesondere auch gelöst durch ein Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, wobei die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche erfolgt, wobei die Analyse zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten orts aufgelöst wird und die orts aufgelösten Messdaten miteinander korreliert werden, wobei aus den orts aufgelösten korrelierten Messdaten wenigstens ein Analyseergebnis aus der folgenden Gruppe ermittelt wird:

momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses;

wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses erfolgt, indem orts aufgelöst Änderungen eines elektrischen Feldes und/oder Änderungen eines Abstands zwischen mehreren Platten am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt ausgewertet werden; wobei eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen erfolgt; wobei die Analyse der Messdaten unter Anwendung von wenigstens einer Fouriertransformation erfolgt;

wobei die am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt erfassten und zumindest teilweise verarbeiteten Messdaten über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz in eine/einer Cloud-IT-Infrastruktur transmittiert werden. Dies liefert zahlreiche der hier beschriebenen Vorteile, insbesondere in Hinblick auf schnelle Reaktionszeit, gute Autarkie der Messpunkte, und möglichst großflächige Abdeckung bei kleiner Rasterung.

[0072] Die zuvor genannte Aufgabe wird wie erwähnt auch gelöst durch ein System gemäß dem entsprechenden nebengeordneten Vorrichtungsanspruch, nämlich durch ein System eingerichtet zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, wobei das System eingerichtet ist zur orts aufgelösten Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche, wobei die Messdaten mittels Niederschlagssensoren jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte generiert sind, und das System ist eingerichtet zur Korrelation der orts aufgelösten Messdaten miteinander zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere mittels wenigstens eines Niederschlagssensors je Messdatenerfassungspunkt, insbesondere mittels Niederschlagssensoren jeweils umfassend eine fest montierte nicht-schwingbare Platte und wenigstens eine dem Niederschlag ausgesetzt freischwingende Platte, die sensorisch abgetastet wird/werden. Dabei ist das System eingerichtet, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes jeweils an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche vorzunehmen. Dies liefert zuvor

weiter oben beschriebene Vorteile, insbesondere in Hinblick auf eine zentrale Auswertung von Messdaten einer Vielzahl von über eine große Fläche verteilten Niederschlagssensoren.

[0073] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes jeweils an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche unter Bezugnahme auf das elektrische Feld zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt vorzunehmen, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren, insbesondere mittels wenigstens eines Paares von als Kondensator fungierenden Platten je Messdatenerfassungspunkt. Hierdurch lassen sich vergleichsweise große Gebiete erfassen; beispielsweise kann eine Dokumentation bzw. Visualisierung der momentanen Niederschlagssituation bezüglich einer sehr großen landwirtschaftlichen Fläche erfolgen.

[0074] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, eine Änderung des elektrischen Feldes zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten zu erfassen, insbesondere basierend auf einer Spannungsmessung an der jeweiligen Platte, wobei die Platten insbesondere mit unterschiedlicher elektrischer Aufladung bereitgestellt sind, wobei das System eingerichtet ist, bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses insbesondere auch eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen basierend auf der erfassten bzw. ausgewerteten Änderung des elektrischen Feldes vorzunehmen. Die „Feldstärke“ hat sich nicht nur hinsichtlich der Auswertung, sondern auch hinsichtlich der Messdaten-Akquise als vorteilhafte Kennzahl erwiesen.

[0075] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse von momentanen Schwingungen und/oder momentanen Vibrationen und/oder momentanem Schall an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche vorzunehmen, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren, insbesondere mittels dem Niederschlag ausgesetzten Platten. Hierdurch lassen sich zuvor weiter oben beschriebene Vorteile realisieren.

[0076] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist vor einem/dem Analog-Digital-Umsetzer ein Schwingkreis bzw. Oszillator vorgesehen, welcher eine Operationsverstärkerschaltung zur Ausgabe eines Spannungs-Wertes für die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses umfasst, wobei die Messdaten eine Kapazität wenigstens einer dem Niederschlag ausgesetzten Platte betreffen. Darauf basierend kann eine erfasste Änderung der Schwingfrequenz auf gute belastbare reproduzierbare Weise ausgewertet werden.

[0077] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses vorzunehmen, indem orts aufgelöst Änderungen eines elektrischen Feldes am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt ausgewertet werden, insbesondere indem bei einer/der Analyse von Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall eine Abstandsmessung zwischen mehreren Platten erfolgt, insbesondere zwischen mehreren als Kondensator fungierenden Platten. Über die Intensität kann auch eine für den Endverbraucher bzw. Anwender leicht verständliche Auswertung erfolgen, insbesondere basierend auf einer Darstellung der räumlichen und/oder zeitlichen Verteilung bzw. Änderung der Intensität.

[0078] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen vorzunehmen, insbesondere in eine von wenigstens fünf Intensitätsstufen, insbesondere basierend auf Schwellwerten betreffend die Amplitude einer Schwingung von dem Niederschlag ausgesetzten Platten. Hierdurch lassen sich zuvor weiter oben beschriebene Vorteile realisieren. Nicht zuletzt kann das Verfahren/System dabei zum Vorgeben vordefinierter Maßnahmen oder Warn-Meldungen je nach Intensität des Niederschlages genutzt werden, beispielsweise auch zum Schließen oder Öffnen von Abdeckungen.

[0079] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung eines akustischen Effektes vorzunehmen, insbesondere eines zwischen wenigstens zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten gemessenen akustischen Effektes. Hierdurch kann die Datengrundlage noch weiter erweitert werden.

[0080] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses wenigstens einen selbstlernenden Algorithmus auf die orts aufgelösten Messdaten der Vielzahl von Messdatenerfassungspunkte

anzuwenden, insbesondere in einem Cloud-Datenraum (Cloud-IT-Infrastruktur). Dies erweitert die Analysemöglichkeiten insbesondere bei einer Vielzahl von Messdatenerfassungspunkten, die auf einer oder mehreren vergleichsweise großflächigen Mess-Grundflächen angeordnet sind.

[0081] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet zur (zentralen) Analyse von Messdaten betreffend Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall unter Anwendung von wenigstens einer Fouriertransformation. Eine Fouriertransformation liefert dabei insbesondere in einer Phase nach einer Verstärkung und Analog-Digital-Konvertierung eine vorteilhafte Datengrundlage für eine nachfolgende hinsichtlich einzelner Aspekte weiter fokussierte Auswertung. Dabei kann dank FFT auch die Menge der zu transmittierenden Daten reduziert und dadurch der Energieaufwand minimiert werden.

[0082] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort betreffend ein elektrisches Feld und/oder eine Spannung vorzunehmen, nämlich mittels einer Mehrzahl von Niederschlagssensoren jeweils mit wenigstens einer freischwingenden Platte, insbesondere jeweils mit wenigstens einer freischwingenden Platte in vordefinierter Anordnung relativ zu wenigstens einer weiteren freischwingenden oder fest montierten nicht-schwingbaren Platte. Hierdurch kann nicht zuletzt auch eine Messtechnologie bereitgestellt werden, mittels welcher eine breite Messdaten-Grundlage erfasst werden kann, insbesondere auch redundante Messdaten in Hinblick auf Verifizierung und Plausibilitätsprüfung (insbesondere E-Feld-Messung, Abstandsmessung, Schwingungsmessung).

[0083] Es hat sich gezeigt, dass es ausreichend ist, wenn nur eine der mehreren Platten je Messdatenerfassungspunkt in Schwingung versetzt wird. Es müssen also nicht beide oder noch mehr Platten einer Mehrplattenanordnung schwingen. Anders ausgedrückt: Im Idealfall schwingt nur die unmittelbar dem Niederschlag ausgesetzte (obere) Prallplatte, nicht aber eine darunter angeordnete Grundplatte. Jedoch ließe sich wahlweise auch eine Schwingung einer Grundplatte auswerten bzw. filtern.

[0084] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet, eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort (Erfassungspunkt) mittels wenigstens eines Kondensators vorzunehmen, insbesondere basierend auf kapazitiver Kopplung von wenigstens einer oder zwei vibrierenden oder durch den Niederschlag zu Vibrationen angeregten Platten, insbesondere Scheiben. Hier-

durch kann auch die Akquise der Messdaten erleichtert bzw. besonders robust und/oder umfangreich ausgestaltet werden.

[0085] Gemäß einem Ausführungsbeispiel ist das System eingerichtet zur Transmission von am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt erfassten Messdaten über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz, insbesondere über LoRaWAN. Dank niederenergetischer Kommunikationstechnologie kann die Autarkie der einzelnen Messpunkte verbessert werden, und das erfindungsgemäße Netz-Konzept kann auch bei vergleichsweise großen Arealen in wenig erschlossenen Gebieten auf vergleichsweise einfache Weise umgesetzt werden.

[0086] Gemäß einem Ausführungsbeispiel weist das System eine Mehrzahl von Kommunikationsmodulen jeweils eingerichtet zur Transmission über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz auf, insbesondere mit einem Kommunikationsmodul je Messdatenerfassungspunkt.

[0087] 1TEM2 Die zuvor genannte Aufgabe wird insbesondere auch gelöst durch ein System eingerichtet zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, wobei das System eingerichtet ist zur orts aufgelösten Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche, und zur Korrelation der orts aufgelösten Messdaten miteinander zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere mittels wenigstens eines Niederschlagssensors je Messdatenerfassungspunkt, insbesondere mittels Niederschlagssensoren jeweils umfassend wenigstens eine dem Niederschlag ausgesetzte Platte, die sensorisch abgetastet wird; wobei das System eingerichtet ist, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses vorzunehmen, indem orts aufgelöst Änderungen eines elektrischen Feldes und/oder Änderungen eines Abstands zwischen mehreren Platten am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt ausgewertet werden; wobei das System eingerichtet ist, bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen vorzunehmen; wobei das System eingerichtet ist, die Analyse der Messda-

ten unter Anwendung von wenigstens einer Fouriert-ransformation vorzunehmen; wobei das System eine Mehrzahl von Kommunikationsmodulen aufweist und eingerichtet ist zur Transmission von am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt erfassten Messdaten über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz in eine/einer Cloud-IT-Infrastruktur. Dies liefert zahlreiche der hier beschriebenen Vorteile, insbesondere in Hinblick auf schnelle Reaktionszeit, gute Autarkie der Messpunkte, und möglichst großflächige Abdeckung bei kleiner Rasterung. Dabei sind die Sensoren bzw. Messpunkte bevorzugt in örtlicher Auflösung in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilt angeordnet (insbesondere wenigstens 3x3 Sensoren z.B. alle 500m oder mindestens alle 1.000m).

[0088] Die zuvor genannte Aufgabe wird wie erwähnt auch gelöst durch ein Computerprogrammprodukt umfassend Befehle, die bei Ausführung des Computerprogrammproduktes auf einem Computer diesen dazu veranlassen, ein Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen auszuführen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert (lokal) auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, wobei die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses orts aufgelöst basierend auf momentanen Messdaten von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche erfolgt, wobei die Messdaten mittels Niederschlagssensoren jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte generiert sind, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich der wenigstens einen Mess-Grundfläche erfolgt, wobei eine Korrelation der orts aufgelösten Messdaten miteinander zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe vorgenommen wird: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere Computerprogrammprodukt umfassend Befehle zum Ausführen eines hier zuvor weiter oben beschriebenen Verfahrens auf dem Computer. Dies liefert zuvor weiter oben beschriebene Vorteile, insbesondere in Hinblick auf eine zentrale Analyse von Messdaten, die an einer Vielzahl von Messpunkten akquiriert wurden und ein vergleichsweise großes Areal charakterisieren, insbesondere bei minimiertem Zeitverzug.

[0089] Die zuvor genannte Aufgabe wird wie erwähnt auch gelöst durch ein Computerprogramm-

produkt eingerichtet zum Ausführen eines zuvor beschriebenen Verfahrens auf einem Computer oder in einer Cloud-IT-Infrastruktur, wobei das Korrelieren der orts aufgelösten Messdaten unter Anwendung von wenigstens einem selbstlernenden Algorithmus durchgeführt wird, insbesondere betreffend die Ortsauflösung und/oder die Korrelation der Messdaten einzelner Erfassungspunkte zu einer flächenbezogenen Ereigniserkennung, insbesondere umfassend die Anwendung einer Fouriertransformation auf die Messdaten. Dies liefert zuvor weiter oben beschriebene Vorteile.

[0090] Das jeweilige Computerprogrammprodukt kann Befehle umfassen, die bei der Ausführung des Programms durch einen ersten oder weiteren Computer diesen verlassen, durch Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens die Messdaten zu codieren und die codierten Daten an eine Cloud-IT-Infrastruktur zu transmittieren. Dies erleichtert auch die zentrale Analyse von dezentral an einer Vielzahl von Messpunkten auf einer vergleichsweise großen Messgrundfläche erfassten Messdaten.

[0091] Das jeweilige Computerprogrammprodukt kann Befehle umfassen, die bewirken, dass das erfindungsgemäße System die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte ausführt, insbesondere in einer Cloud-IT-Infrastruktur, insbesondere via MQTT-Netzwerkprotokoll, insbesondere zwecks zentraler Datenanalyse bei minimaler Zeitverzögerung.

[0092] Die zuvor genannte Aufgabe wird demnach auch gelöst durch einen Datenträger mit einem solchen darauf hinterlegtem Computerprogrammprodukt oder einer darauf hinterlegten, hier beschriebenen Recheneinheit, oder durch einen Computer oder ein Computersystem oder eine virtuelle Maschine oder wenigstens ein Hardwareelement oder eine Cloud-IT-Infrastruktur damit.

[0093] Die zuvor genannte Aufgabe wird wie erwähnt auch gelöst durch Verwendung einer Vielzahl von energieautarken Niederschlagssensoren und energieautarken Kommunikationsmodulen zum Erfassen von Messdaten bei der Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, jeweils an einem von wenigstens vier Messdatenerfassungspunkten in einer Rasteranordnung verteilt über mindestens 25 Hektar, wobei die Messdatenerfassungspunkte in einem Abstand von weniger als 1000m, insbesondere weniger als 700m, bevorzugt in einem Abstand von 500m angeordnet sind, wobei eine Energieversorgung lokal am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt sichergestellt ist (also ohne Energieversorgungsleitungen zwischen den einzelnen Messdatenerfassungspunkten), insbesondere mittels Akkumulatoren und/oder Energy-Harvesting-

Komponenten, wobei die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten von den einzelnen Messdatenerfassungspunkten erfolgt und zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten orts aufgelöst wird, wobei die Messdaten mittels der Niederschlagssensoren jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte generiert werden, wobei die Messdaten das elektrische Feld zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt betreffen, wobei die orts aufgelösten Messdaten zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe miteinander korreliert werden: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; wobei eine Auswertung kumulierter korrelierter orts aufgelöster Messdaten zentral in einem Cloud-Datenraum einer Cloud-IT-Infrastruktur erfolgt, insbesondere bei einem hier zuvor beschriebenen Verfahren. Dies liefert zuvor weiter oben beschriebene Vorteile, insbesondere in Hinblick auf Flexibilität, Einfachheit, Aussagekraft und Autarkie eines großflächig bei guter Auflösung analysierenden Systems.

[0094] Dabei können die einzelnen Sensoren die Messdaten wahlweise zunächst zu einem zentralen Kommunikationsmodul (insbesondere LoRa-Basisstation) transmittieren, welches die Auswertung in der Cloud organisiert, oder jeder Sensor transmittiert direkt in die Cloud. Bevorzugt transmittiert jedes Messgerät die Daten zunächst zu einer LoRa-Basisstation, welche die Daten daraufhin z.B. zu einem MQTT-Broker und zu einer MQTT-Datenbank 70 transmittiert.

[0095] Die zuvor genannte Aufgabe wird wie erwähnt auch gelöst durch Verwendung einer Vielzahl von energieautarken Niederschlagssensoren und energieautarken Kommunikationsmodulen zum Erfassen von Messdaten bei der Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, jeweils an einem von wenigstens neun Messdatenerfassungspunkten in einer Rasteranordnung verteilt über mindestens 100 Hektar, wobei die Messdatenerfassungspunkte in einem Abstand von weniger als 1000m, insbesondere weniger als 700m, bevorzugt in einem Abstand von 500m angeordnet sind, wobei eine Energieversorgung lokal am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt sichergestellt ist (also ohne Energieversorgungsleitungen zwischen den einzelnen Messdatenerfassungspunkten), insbesondere mittels Akkumulatoren und/oder Energy-Harvesting-Komponenten, wobei die Analyse des jeweiligen Nie-

derschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten von den einzelnen Messdatenerfassungspunkten erfolgt und zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten orts aufgelöst wird, wobei die Messdaten mittels der Niederschlagssensoren jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte generiert werden, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche erfolgt, wobei die Messdaten Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall wenigstens einer dem Niederschlag am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt ausgesetzte Platte betreffen, wobei die orts aufgelösten Messdaten zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe miteinander korreliert werden: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; wobei eine Auswertung kumulierter korrelierter orts aufgelöster Messdaten zentral in einem Cloud-Datenraum einer Cloud-IT-Infrastruktur erfolgt, insbesondere bei einem hier zuvor beschriebenen Verfahren. Dies liefert zuvor weiter oben beschriebene Vorteile, insbesondere in Hinblick auf Flexibilität, Einfachheit, Aussagekraft bzw. Belastbarkeit (Evidenz der Messdaten bzw. Analyseergebnisse) und Autarkie eines großflächig bei guter Auflösung analysierenden Systems.

[0096] Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung kann auch wie folgt zusammengefasst werden. Im Gegensatz zu einzelnen eher kosten- und vorrichtungstechnisch aufwändigen Messpunkten, die jeweils einzeln gewartet werden müssen, liefert die vorliegende Erfindung ein Konzept basierend auf einfacher, wartungsarmer und kostengünstiger Messtechnik für eine Vielzahl von Messpunkten, welches eine autarke Messung auf großer Flächenausdehnung mit hoher Auflösung und guter messtechnischer Belastbarkeit zu sehr kurzer Reaktionszeit ermöglicht, wobei auch eine Auswertung der Messdaten in einem Cloud-basierten Datenraum ermöglicht werden kann, insbesondere dank energieautarker Mess- und Kommunikationstechnologie, so dass auch eine Vernetzung mit einer örtlichen Infrastruktur, insbesondere in Hinblick auf die Implementierung von Warnsystemen, auf einfache Weise möglich ist. Die Erfindung vereinfacht daher auf spürbare Weise die Erfassung und Dokumentation von Niederschlagsereignissen, insbesondere auch in Hinblick auf Schadensanalyse und/oder Prognose von Risiken.

Figurenliste

[0097] In den nachfolgenden Zeichnungsfiguren wird die Erfindung noch näher beschrieben, wobei für Bezugszeichen, die nicht explizit in einer jeweiligen Zeichnungsfigur beschrieben werden, auf die anderen Zeichnungsfiguren verwiesen wird. Dabei zeigen:

Fig. 1A, Fig. 1B jeweils in einer schematisierten Darstellung ein Verfahren bzw. ein System zur Analyse von Niederschlagsereignissen gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 in einer Detailansicht ein Verfahren bzw. ein System zur Analyse von Niederschlagsereignissen gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 jeweils in einer Draufsicht in schematischer Darstellung eine beispielhafte Anordnung einzelner Sensoren bzw. Messpunkte bei einem Verfahren bzw. System zur Analyse von Niederschlagsereignissen gemäß einem der Ausführungsbeispiele;

Fig. 6 in einer Detailansicht ein Verfahren bzw. ein System zur Analyse von Niederschlagsereignissen gemäß einem Ausführungsbeispiel;

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0098] Die Figuren werden zunächst gemeinsam beschrieben. Besonderheiten werden unter Bezugnahme auf einzelne Bezugszeichen im Zusammenhang mit der jeweiligen Figur individuell erläutert.

[0099] Ein System 10 zur Analyse von Niederschlagsereignissen ist eingerichtet zur orts aufgelösten Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten D20 von einer Mehrzahl von einzelnen Messdatenerfassungspunkten 2 auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche 1, 1a, 1b, und zur Korrelation der orts aufgelösten Messdaten miteinander zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere mittels wenigstens eines Niederschlagssensors 20 je Messdatenerfassungspunkt 2, insbesondere mittels Niederschlagssensoren jeweils umfassend wenigstens eine dem Niederschlag ausgesetzte Platte 21, 21a, die sensorisch abgetastet wird/werden. Der Niederschlag 4 kann dabei auf mehreren Mess-Grundflächen 1 (erste Mess-Grundfläche 1a, zweite Mess-Grundfläche 1b, weitere Mess-Grundfläche...) erfasst werden, auf welchen die einzelnen Sensoren 20 in einem Raster oder Netz 3 angeord-

net sind, insbesondere gleichverteilt (insbesondere Horizontal-Raster xy20). Dabei können die Mess-Grundflächen 1 z.B. um ein zu überwachendes oder zu schützendes Gebiet 5 herum angeordnet sein, insbesondere auch unter Berücksichtigung einer vorrangigen Wetter-Zugrichtung (z.B. priorisierte Anordnung an der westlichen Seite des Gebietes 5, wie in **Fig. 3** veranschaulicht).

[0100] Am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt 2 ist eine Stütze 12 oder sonstige Art von Aufnahme für den jeweils wenigstens einen Niederschlagssensor 20 vorgesehen, insbesondere in bodengebundener Anordnung. Bevorzugt ist zumindest an einem jeweiligen Messdatenerfassungspunkt 2, wahlweise auch an jedem Sensor 20, ein Energiespeicher 11 vorgesehen, der wahlweise auch mit einer Energy-Harvesting-Komponente 35 gekoppelt werden kann.

[0101] Der jeweilige Sensor 20 umfasst beispielsweise zwei Platten bzw. Scheiben, nämlich eine aktiv schwingende Platte bzw. eine schwingfähig gelagerte Platte 21a, und eine relativ dazu in einem vordefinierten Abstand angeordnete Grundplatte 21b, insbesondere in paralleler Ausrichtung, insbesondere in fixierter Befestigung an der Aufnahme. Hierdurch kann eine Art Kondensator bereitgestellt werden, an welchem auch eine Abstands- bzw. E-Feld-Messung vorgenommen werden kann.

[0102] Mittels der Sensoren 20 generierte Messdaten D20 können einer Verstärkung bzw. einem Verstärker 22, insbesondere Impedanzwandler, zugeführt werden. Eine Analog-Digital-Konvertierung bzw. ein Analog-Digital-Umsetzer (ADC) 23 kann die Messdaten weiter verarbeiten. Eine Fouriertransformation bzw. eine Fouriertransformations-Einheit (FFT-Komponente) 24 und/oder eine Filterung 25 bzw. ein Filter und/oder eine Schwellwertschaltung bzw. ein Schwellwertschalter 26 können für die weitere Verarbeitung der Messdaten vorgesehen sein.

[0103] Zwischen Messdatenakquise bzw. Verstärkung 22 und ADC 23 kann ein kapazitiver Spannungsteiler vorgesehen sein, und/oder ein Schwingkreis mit wenigstens einem Kondensator, insbesondere bereitgestellt durch wenigstens eine Prallplatte 21a. Der Schwingkreis wird in einer bestimmten, vordefinierten oder vordefinierbaren Frequenz angeregt, insbesondere in der Art eines Oszillators. Ändert sich nun die Kapazität der Prallplatte, bzw. ändert sich der Abstand der Platten zueinander (Niederschlag trifft auf eine/die obere Platte), so wirkt sich dies als Änderung der Schwingfrequenz aus, welche auf reproduzierbare Weise bei hohem Qualitätsstandard ausgewertet werden kann. Eine Operationsverstärkerschaltung bzw. ein f/U-Wandler gibt eine Spannung $U(f)$ aus. Die aus der Schwingung bzw. Schwingungsänderung des Schwingkrei-

ses gewonnenen Messdaten können insbesondere für den ADC 23 vorbereitet werden.

[0104] Je nach Anwendungsfall und Fokus der Analyse können eine oder mehrere messtechnische Komponenten 27 durch die Sensorik 20 gebildet sein, insbesondere wenigstens eine messtechnische Komponente 27a zur Schwingungs-, Vibrations-, Schallmessung, und/oder wenigstens eine messtechnische Komponente 27b zur Abstands- und/oder E-Feld-Messung. Die entsprechende DatenAnalyse bzw. -Aufbereitung/Verarbeitung kann durch ein Computerprogramm(-produkt) 80 realisiert werden.

[0105] Mittels wenigstens einer KI-Komponente 28 bzw. durch Anwendung/Implementierung von KI (künstlicher Intelligenz) auf die Messdaten D20 kann die Analyse weiter optimiert werden, insbesondere basierend auf KI-gestützter Zellerkennung 28a und/oder einer basierend auf KI-gestützter Bestimmung 28b der Zugrichtung und/oder einer basierend auf KI-gestützter räumliche Repräsentation 29 bzw. KI-gestützter Erstellung einer orts aufgelösten Darstellung, insbesondere von Niederschlagsintensitäten.

[0106] Ein niederenergetisches Kommunikationsnetz 30, insbesondere basierend auf LoRaWAN-Protokoll, kann zum Transmittieren von Messdaten D20 bzw. bereits aufbereiteten Daten dienen. Dazu können ein oder mehrere Kommunikationsmodule 40 mit einer oder mehreren Sendeeinheiten 41 verwendet werden, welche über das Netz 30 mit wenigstens einer Basisstation 42 kommunizieren. Über eine Kommunikationsleitung 43 kann eine Datenbank 70 eingebunden werden, und ein Kommunikationspfad 44 ermöglicht die zumindest teilweise Datenpflege oder auch Analyse/Verarbeitung in einer Cloud-IT-Infrastruktur (Cloud-Datenraum) bzw. auf einem Cloud-Server 60, welcher auch über einen Internet-Kommunikationspfad 45 für eine oder mehrere Recheneinheiten 50 bzw. SmartPhone-Geräte erreichbar ist. Die Kommunikationsleitung 43 kann dabei spezifisch in Hinblick auf die zu transmittierenden Daten und die gewünschten Anwendungen konfiguriert sein/werden.

[0107] Die folgenden geometrischen Angaben erleichtern das Verständnis:

- x Längsrichtung bzw. erste Horizontalkoordinate, insbesondere geografische Länge;
- y Breitenrichtung bzw. zweite Horizontalkoordinate, insbesondere geografische Breite;
- z Höhenrichtung bzw. Vertikalkoordinate;

[0108] In **Fig. 1A**, **Fig. 1B** wird ein Mess-Aufbau veranschaulicht, bei welchem eine Vielzahl von Sensoren 20 in einem Raster örtlich verteilt angeordnet sind und in Kommunikation mit einer Cloud-IT-Infra-

struktur 60 stehen. Energiespeicher 11 und Energy-Harvesting-Komponenten 35 ermöglichen eine energetische Autarkie.

[0109] In **Fig. 1A** ist auch ein horizontaler Abstand x_{20} zwischen einzelnen Sensoren bzw. Messdatenerfassungspunkten angedeutet; dieser ist bevorzugt für alle Messpunkte 2 zumindest annähernd gleich groß, insbesondere in beiden Horizontalrichtungen gemäß einem Horizontal-Raster xy_{20} .

[0110] In **Fig. 1B** ist ein Abstand z_{21} zwischen den zwei Platten 21a, 21b veranschaulicht. Dieser Abstand z_{21} kann bei der Auswertung der Messdaten D20 berücksichtigt werden.

[0111] Das Computerprogramm(-produkt) 80 kann die Komponenten 23, 24, 25, 40, 41 inkludieren bzw. dafür implementiert sein. Wahlweise inkludiert das Computerprogramm(-produkt) 80 auch eine Verstärkung 22 und/oder wenigstens eine KI-Komponente 28, wie in **Fig. 2** veranschaulicht.

[0112] Die in **Fig. 1B** veranschaulichte Datenleitung 43 kann dabei eine MQTT-Leitung bzw. einen MQTT-Broker (Server bzw. Zustands-Datenbank) umfassen (MQTT - Message Queuing Telemetry Transport); eine MQTT-Datenleitung 43 hat sich für die Anwendung der vorliegenden Erfindung als besonders vorteilhaft erwiesen. Die Datenbank 70 kann als MQTT-Datenbank ausgestaltet sein. MQTT ist als ein spezifisches Netzwerkprotokoll für Machine-to-Machine-Kommunikation bei der Übertragung von Nachrichten zwischen Geräten in technisch möglichst einfachen Netzwerken zu verstehen. Es hat sich gezeigt, dass eine MQTT-Transmission nicht nur eine Priorisierung bzw. Hierarchie (Sensoren, Kommunikationsmodule, MQTT-Server) im technischen Aufbau und bei der Funktionalität der einzelnen Komponenten ermöglicht (und dadurch nicht zuletzt auch Aufwand einsparen kann), sondern auch eine besonders stabile, robuste Kommunikation mittels vergleichsweise einfachen technischen Mitteln sicherstellen kann.

[0113] In **Fig. 2** wird eine messtechnische Anordnung gezeigt, bei welcher eine Anwendung von Algorithmen 28 basierend auf künstlicher Intelligenz (KI) auf die Messdaten D20 erfolgt, insbesondere im Zusammenhang mit einer Fouriertransformation 24, eine Filterung 25 und/oder einer Schwellwertschaltung 26. In **Fig. 2** auch ist angedeutet, dass die Sensoren 20 jeweils wenigstens eine messtechnische Komponente 27a, 27b umfassen können.

[0114] In den **Fig. 3**, **Fig. 4** und **Fig. 5** werden beispielhafte örtliche Verteilungen der Messpunkte 2 bzw. Sensoren 20 illustriert. Die einzelnen Mess-Grundflächen können jeweils in Größe und Geomet-

rie oder relativer Anordnung variieren, je nach Anwendungsfall und Fokus der Analyse.

[0115] Bei den in den **Fig. 1B**, **Fig. 2** und auch **Fig. 6** gezeigten Ausführungsbeispielen kann vor dem ADC 23 jeweils auch ein Schwingkreis bzw. Oszillator mit wenigstens einem Kondensator vorgesehen sein. Der Kondensator ist bevorzugt durch wenigstens eine Prallplatte 21a bereitgestellt. Eine Operationsverstärkerschaltung bzw. ein f/U-Wandler gibt eine Spannung $U(f)$ aus, welche bei der Messdatenauswertung berücksichtigt werden kann.

[0116] In **Fig. 3** wird eine sternförmige Anordnung mehrerer Mess-Grundflächen 1a, 1b jeweils separat voneinander und in einer Anordnung um das Interessensgebiet 5 herum beschrieben. Die einzelnen Mess-Grundflächen sind hier kreisrund und zumindest annähernd gleich groß.

[0117] In **Fig. 4** wird eine kreisringförmige Anordnung einer einzelnen Mess-Grundfläche 1a um ein möglichst mit großer Sicherheit zu schützendes Gebiet 5 illustriert.

[0118] In **Fig. 5** wird ein weiteres Beispiel für eine relative Anordnung einzelner Mess-Grundflächen 1a, 1b gezeigt, wobei jeweils nur einzelne der Sensoren 20 angedeutet sind.

[0119] In **Fig. 6** wird eine Ausführungsform beschrieben, bei welcher das zuvor insbesondere in den **Fig. 1**, **Fig. 2** beschriebene System bzw. Verfahren um die Anwendung von KI sowohl zur Zellerkennung 28a (räumliche Auflösung, Ortsauflösung) als auch zur Bestimmung 28b der Zugrichtung und daraufhin auch zur Erstellung einer räumlichen Repräsentation bzw. ortsaufgelösten Darstellung 29 insbesondere von Niederschlagsintensitäten erweitert ist

[0120] Die in **Fig. 6** veranschaulichte, KI-unterstützt erstellte räumliche Repräsentation 29 insbesondere von Niederschlagsintensitäten kann dabei sowohl hinsichtlich momentaner Werte als auch hinsichtlich zukünftiger Erwartungswerte (Vorhersage-Karte) erfolgen.

Bezugszeichenliste

1, 1a, 1b	Mess-Grundfläche (erste, zweite, weitere...)
2	einzelner Messdatenerfassungspunkt
3	Raster oder Netz verteilter Messdatenerfassungspunkte
4	Niederschlag

5	zu überwachendes oder zu schützendes Gebiet	41	Sendeeinheit
		42	Basisstation
10	System zur Analyse von Niederschlagsereignissen	43	Kommunikationsleitung zur Datenbank
11	Energiespeicher bzw. Akkumulator	44	Kommunikationspfad zur Cloud
12	Stütze oder Aufnahme für wenigstens einen Niederschlagssensor, insbesondere bodengebunden	45	Internet-Kommunikationspfad zur Cloud
		50	Recheneinheit bzw. Computer
20	Niederschlagssensor	60	Cloud-IT-Infrastruktur (Cloud-Datenraum) bzw. Server
21	Platte, insbesondere Scheibe	70	Datenbank
21a	aktiv schwingende Platte, bzw. schwingfähig gelagerte Platte	80	Computerprogramm(-produkt)
21b	Grundplatte, insbesondere in fixierter Befestigung an der Aufnahme	D20	Messdaten von Sensor 20, zur weiteren Auswertung, insbesondere mittels KI
		x	Längsrichtung bzw. erste Horizontalkoordinate, insbesondere geografische Länge
22	Verstärkung bzw. Verstärker, insbesondere Impedanzwandler		
23	Analog-Digital-Konvertierung bzw. Analog-Digital-Umsetzer (ADC)	x20	horizontaler Abstand zwischen einzelnen Sensoren bzw. Messdatenerfassungspunkten
24	Fouriertransformation bzw. Fouriertransformations-Einheit (FFT-Komponente)	y	Breitenrichtung bzw. zweite Horizontalkoordinate, insbesondere geografische Breite
25	Filterung bzw. Filter	xy20	Horizontal-Raster mit gleichen Abständen in x-Richtung und gleichen Abständen in y-Richtung
26	Schwellertschaltung bzw. Schwellertschalter		
27, 27a	messtechnische Komponente, insbesondere zur Schwingungs-, Vibrations-, Schallmessung	z	Höhenrichtung bzw. Vertikal-koordinate
27, 27b	messtechnische Komponente, insbesondere zur Abstands- und/oder E-Feld-Messung	z21	Abstand zwischen Platten

Patentansprüche

28	KI-Komponente bzw. Anwendung/Implementierung von KI auf Messdaten	1. Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, dadurch gekennzeichnet , dass die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten (D20) von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1a, 1b) erfolgt, wobei die Messdaten (D20) mittels Niederschlagssensoren (20) jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte (21 a) generiert sind, wobei die Analyse zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) ortsaufgelöst wird und die ortsaufgelösten Messdaten miteinander korreliert werden, wobei aus den ortsaufgelösten korrelierten Messdaten wenigstens ein Analyseergebnis aus der folgenden Gruppe ermittelt wird: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses
28a	KI-Zellerkennung	
28b	KI-Bestimmung Zugrichtung	
29	räumliche Repräsentation bzw. Erstellen einer ortsaufgelösten Darstellung, insbesondere von Niederschlagsintensitäten	
30	niederenergetisches Kommunikationsnetz, insbesondere LoRaWAN	
35	Energy-Harvesting-Komponente	
40	Kommunikationsmodul, insbesondere basierend auf LoRaWAN-Protokoll	

reignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1 a, 1b) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Messdaten (D20) eine kapazitive Kopplung zwischen dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21; 21a, 21 b) betreffen, und/oder wobei die Messdaten (D20) Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21; 21a, 21 b) betreffen.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messdaten (D20) eine Kapazität wenigstens einer dem Niederschlag ausgesetzten Platte (21; 21a, 21b) betreffen, wobei vor einer Analog-Digital-Konvertierung (23) ein Schwingkreis vorgesehen ist, welcher eine Operationsverstärkerschaltung zur Ausgabe eines Spannungs-Wertes umfasst, welcher Spannungs-Wert bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses berücksichtigt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1a, 1 b) unter Bezugnahme auf eine kapazitive Kopplung zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b) am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) erfolgt, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster (xy20) über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren; und/oder wobei eine Änderung des elektrischen Feldes zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b) erfasst wird, insbesondere basierend auf einer Spannungsmessung an der jeweiligen Platte (21a, 21b), wobei die Platten (21, 21a, 21b) insbesondere mit unterschiedlicher elektrischer Aufladung bereitgestellt werden, wobei bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses insbesondere auch eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen basierend auf der erfassten Änderung des elektrischen Feldes erfolgt; und/oder wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse

von momentanen Schwingungen und/oder momentanen Vibrationen und/oder momentanem Schall an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1a, 1b) erfolgt, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster (xy20) über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren (20).

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses erfolgt, indem orts aufgelöst Änderungen eines elektrischen Feldes am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) ausgewertet werden, insbesondere indem bei einer/der Analyse von Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall eine Messung eines Abstands (z21) zwischen mehreren Platten (21, 21a, 21b) erfolgt, insbesondere zwischen mehreren als Kondensator fungierenden Platten (21, 21a, 21 b); und/oder wobei bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen erfolgt, insbesondere in eine von wenigstens fünf Intensitätsstufen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der kinetischen Energie des Niederschlags erfolgt, insbesondere indem auf einen Abstand zwischen dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b) und/oder auf Schwingungen, Vibrationen und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21 b) Bezug genommen wird; und/oder wobei die Analyse durch Überschreitung wenigstens eines Schwellwertes für einen der folgenden Parameter initiiert wird: Schwellwert für eine Änderung des Abstands (z21) oder elektrischen Feldes zwischen dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b), Schwellwert für wenigstens eine Kennzahl betreffend eine Schwingung, Vibration und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b); und/oder wobei die Analyse durch Unterschreiten wenigstens eines Schwellwertes für eine Änderung des Abstands oder für wenigstens eine Kennzahl betreffend eine Schwingung, Vibration und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b) beendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren unter Einbezug von wenigstens einem selbstlernenden Algorithmus durchgeführt wird, insbesondere betreffend die Ortsauflösung und/oder die Korrelation der Messdaten (D20) einzelner Erfassungspunkte (2) zu einer flächenbezogenen Ereigniserkennung;

und/oder wobei das Verfahren unter Anwendung von künstlicher Intelligenz durchgeführt wird, insbesondere zum Erstellen einer räumlichen Repräsentation der analysierten orts aufgelösten Niederschlagsereignisse, insbesondere von Niederschlagsintensitäten;
und/oder wobei das Verfahren unter Anwendung von künstlicher Intelligenz zum Erstellen einer räumlichen Repräsentation des wenigstens einen Analyseergebnisses durchgeführt wird, insbesondere zumindest umfassend die folgenden Analyseergebnisse: räumlichen Repräsentation der momentanen oder maximalen Intensitäten des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, und optional auch die Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Messdaten (D20) Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21; 21a, 21b) betreffen, wobei die Analyse von Messdaten (D20) betreffend Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall unter Anwendung von wenigstens einer Fouriertransformation erfolgt, insbesondere indem eine FFT auf die Messdaten (D20) angewandt wird, insbesondere nachdem eine Analog-Digital-Konvertierung (23) vorgenommen wurde, insbesondere bevor eine Filterung (25) vorgenommen wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Analyse in einem Zeitfenster von maximal fünf, vier, drei, zwei oder einer Minute nach Detektion eines Niederschlagsereignisses erfolgt und abgeschlossen ist, insbesondere mit einer durch telemetrische Übertragung bedingten Verzögerung von maximal 1min; und/oder wobei das Verfahren eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort umfasst, wobei das Erfassen von Kennzahlen betreffend ein elektrisches Feld und/oder eine Spannung erfolgt, insbesondere mittels einer Mehrzahl von Niederschlagssensoren jeweils mit wenigstens einer freischwingenden Platte (2 1a); und/oder wobei das Verfahren eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort umfasst, wobei das Erfassen mittels eines Kondensators erfolgt, insbesondere basierend auf kapazitiver Kopplung von wenigstens zwei vibrierenden oder durch den Niederschlag zu Vibrationen angeregten Platten (21, 21a, 21b), insbesondere Scheiben.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) erfassten Messdaten (D20) über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz (30),

insbesondere über LoRaWAN transmittiert werden, insbesondere in eine/einer Cloud-IT-Infrastruktur (60).

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren ein computerimplementiertes Verfahren ist, wobei dezentral am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) erfasste Messdaten (D20) zentral analysiert werden, insbesondere in einer Cloud-IT-Infrastruktur (60).

12. System (10) eingerichtet zur Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System (10) eingerichtet ist zur orts aufgelösten Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten (D20) von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1a, 1b), wobei die Messdaten (D20) mittels Niederschlagssensoren (20) jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte (21a) generiert sind, und zur Korrelation der orts aufgelösten Messdaten miteinander zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe:

momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere mittels wenigstens eines Niederschlagssensors (20) je Messdatenerfassungspunkt (2), insbesondere mittels Niederschlagssensoren jeweils umfassend eine fest montierte nicht-schwingbare Platte (21 b) und wenigstens eine dem Niederschlag ausgesetzte freischwingende Platte (21a), die sensorisch abgetastet wird, wobei das System (10) eingerichtet ist, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes jeweils an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1) vorzunehmen.

13. System (10) nach dem vorhergehenden Vorrichtungsanspruch, wobei das System (10) eingerichtet ist, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes jeweils an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1) unter Bezugnahme auf das elektrische Feld zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21; 21a, 21b) am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) vorzunehmen, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine

Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster (xy20) über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren (20), insbesondere mittels wenigstens eines Paares von als Kondensator fungierenden Platten (21, 21a, 21b) je Messdatenerfassungspunkt (2); und/oder wobei das System (10) eingerichtet ist, eine Änderung des elektrischen Feldes zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21 a, 21b) zu erfassen, insbesondere basierend auf einer Spannungsmessung an der jeweiligen Platte (21a, 21b), wobei die Platten (21, 21a, 21b) insbesondere mit unterschiedlicher elektrischer Aufladung bereitgestellt sind, wobei das System eingerichtet ist, bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses insbesondere auch eine Klassifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen basierend auf der erfassten Änderung des elektrischen Feldes vorzunehmen; und/oder wobei das System (10) eingerichtet ist, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse von momentanen Schwingungen und/oder momentanen Vibrationen und/oder momentanem Schall an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1) vorzunehmen, insbesondere unter örtlich aufgelöster Bezugnahme auf eine Mehrzahl von in einem bezüglich wenigstens einer Horizontalkoordinate vordefinierten Raster (xy20) über eine Fläche von mindestens 25000qm verteilten Niederschlagssensoren, insbesondere mittels dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b).

14. System (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, wobei vor einem/dem Analog-Digital-Umsetzer (23) ein Schwingkreis vorgesehen ist, welcher eine Operationsverstärkerschaltung zur Ausgabe eines Spannungs-Wertes für die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses umfasst, wobei die Messdaten (D20) eine Kapazität wenigstens einer dem Niederschlag ausgesetzten Platte (21; 21a, 21b) betreffen.

15. System (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, wobei das System eingerichtet ist, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Auswertung der Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses vorzunehmen, indem orts aufgelöst Änderungen eines elektrischen Feldes am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) ausgewertet werden, insbesondere indem bei einer/der Analyse von Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall eine Abstandsmessung zwischen mehreren Platten (21, 21a, 21b) erfolgt, insbesondere zwischen mehreren als Kondensator fungierenden Platten (21, 21a, 21b); und/oder wobei das System eingerichtet ist, bei der Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses eine Klas-

sifizierung des jeweiligen Niederschlagsereignisses in eine von mehreren Intensitätsstufen vorzunehmen, insbesondere in eine von wenigstens fünf Intensitätsstufen, insbesondere basierend auf Schwellwerten betreffend die Amplitude einer Schwingung von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21, 21a, 21b).

16. System (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, wobei das System eingerichtet ist, zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses wenigstens einen selbstlernenden Algorithmus auf die orts aufgelösten Messdaten der Vielzahl von Messdatenerfassungspunkte (2) anzuwenden, insbesondere in einem Cloud-Datenraum.

17. System (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, wobei die Messdaten (D20) Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall von dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21; 21a, 21b) betreffen, wobei das System eingerichtet ist, eine/die Analyse von Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall unter Anwendung von wenigstens einer Fouriertransformation vorzunehmen.

18. System (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, wobei das System eingerichtet ist, eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors (20) am jeweiligen Ort betreffend ein elektrisches Feld und/oder eine Spannung vorzunehmen, insbesondere mittels einer Mehrzahl von Niederschlagssensoren (20) jeweils mit wenigstens einer freischwingenden Platte (21a), insbesondere jeweils mit wenigstens einer freischwingenden Platte (21a) in vordefinierter Anordnung relativ zu wenigstens einer weiteren freischwingenden oder fest montierten nicht-schwingbaren Platte (21b); und/oder wobei das System eingerichtet ist, eine Erfassung des jeweiligen Niederschlagsereignisses mittels eines/des jeweiligen Niederschlagssensors am jeweiligen Ort mittels wenigstens eines Kondensators vorzunehmen, insbesondere basierend auf kapazitiver Kopplung von wenigstens einer oder zwei vibrierenden oder durch den Niederschlag zu Vibrationen angeregten Platten (21, 21a, 21b), insbesondere Scheiben.

19. System (10) nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, wobei das System eingerichtet ist zur Transmission von am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) erfassten Messdaten (D20) über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz (30), insbesondere über LoRaWAN; und/oder wobei das System eine Mehrzahl von Kommunikationsmodulen jeweils eingerichtet zur Transmission über ein niederenergetisches Kommunikationsnetz aufweist, insbesondere mit einem

Kommunikationsmodul (40) je Messdatenerfassungspunkt (2).

20. Computerprogrammprodukt (80) umfassend Befehle, die bei Ausführung des Computerprogrammproduktes auf einem Computer (50) diesen dazu veranlassen, ein Verfahren zur Analyse von Niederschlagsereignissen auf dem Computer (50) oder in einer Cloud-IT-Infrastruktur (60) auszuführen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, wobei die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses orts aufgelöst basierend auf momentanen Messdaten (D20) von einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1) erfolgt, wobei die Messdaten (D20) mittels Niederschlagssensoren (20) jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte (21a) generiert sind, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich der wenigstens einen Mess-Grundfläche (1; 1a, 1 b) erfolgt, wobei eine Korrelation der orts aufgelösten Messdaten miteinander zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe vorgenommen wird: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; insbesondere Computerprogrammprodukt umfassend Befehle zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche auf dem Computer (50) oder in einer Cloud-IT-Infrastruktur (60).

21. Computerprogrammprodukt (80) nach dem vorhergehenden Anspruch, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch den Computer (50) diesen den Computer (50) durch Ausführung eines Verfahrens gemäß einem der vorhergehenden Verfahrensansprüche die Messdaten (D20) zu codieren und die codierten Daten an eine Cloud-IT-Infrastruktur (60) zu transmittieren.

22. Computerprogrammprodukt (80) nach Anspruch 20, umfassend Befehle, die bewirken, dass das System gemäß Anspruch 12 die Verfahrensschritte gemäß Anspruch 1 ausführt, insbesondere in einer Cloud-IT-Infrastruktur (60), insbesondere via MQTT-Netzwerkprotokoll.

23. Computerprogrammprodukt (80) eingerichtet zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der Verfahrensansprüche 1 bis 11 auf einem Computer (50) oder in einer Cloud-IT-Infrastruktur (60), wobei

das Korrelieren der orts aufgelösten Messdaten unter Anwendung von wenigstens einem selbstlernenden Algorithmus durchgeführt wird, insbesondere betreffend die Ortsauflösung und/oder die Korrelation der Messdaten (D20) einzelner Erfassungspunkte zu einer flächenbezogenen Ereigniserkennung, insbesondere umfassend die Anwendung einer Fouriertransformation auf die Messdaten (D20).

24. Computerprogrammprodukt (80) nach dem vorhergehenden Anspruch, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch den Computer (50) diesen veranlassen, durch Ausführung eines Verfahrens gemäß einem der Verfahrensansprüche 1 bis 10 die Messdaten (D20) zu codieren und die codierten Daten an eine Cloud-IT-Infrastruktur (60) zu transmittieren.

25. Computerprogrammprodukt (80) nach Anspruch 21, umfassend Befehle, die bewirken, dass das System gemäß Anspruch 12 die Verfahrensschritte gemäß Anspruch 1 ausführt, insbesondere in einer Cloud-IT-Infrastruktur (60), insbesondere via MQTT-Netzwerkprotokoll.

26. Verwendung einer Vielzahl von energieautarken Niederschlagssensoren (20) und energieautarken Kommunikationsmodulen (40) zum Erfassen von Messdaten (D20) bei der Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, jeweils an einem von wenigstens vier Messdatenerfassungspunkten (2) in einer Rasteranordnung verteilt über mindestens 25 Hektar, wobei die Messdatenerfassungspunkte (2) in einem Abstand von weniger als 1000m, insbesondere weniger als 700m, bevorzugt in einem Abstand von 500m angeordnet sind, wobei eine Energieversorgung lokal am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) sichergestellt ist, insbesondere mittels Akkumulatoren (11) und/oder Energy-Harvesting-Komponenten (35), wobei die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten (D20) von den einzelnen Messdatenerfassungspunkten (2) erfolgt und zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) orts aufgelöst wird, wobei die Messdaten (D20) mittels der Niederschlagssensoren (20) jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte (21 a) generiert werden, wobei die Messdaten (D20) das elektrische Feld zwischen zwei dem Niederschlag ausgesetzten Platten (21) am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) betreffen, wobei die orts aufgelösten Messdaten zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe miteinander korreliert werden: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen

Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; wobei eine Auswertung kumulierter korrelierter ortsaufgelöster Messdaten zentral in einem Cloud-Datenraum einer Cloud-IT-Infrastruktur (60) erfolgt, insbesondere bei einem Verfahren gemäß einem der Verfahrensansprüche 1 bis 11.

dere bei einem Verfahren gemäß einem der Verfahrensansprüche 1 bis 11.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

27. Verwendung einer Vielzahl von energieautarken Niederschlagssensoren (20) und energieautarken Kommunikationsmodulen (40) zum Erfassen von Messdaten (D20) bei der Analyse von Niederschlagsereignissen, insbesondere von flächig ausgedehnt und/oder örtlich fokussiert auftretenden Regen-/Starkregen-/Hagel-Ereignissen, jeweils an einem von wenigstens neun Messdatenerfassungspunkten (2) in einer Rasteranordnung (xy20) verteilt über mindestens 100 Hektar, wobei die Messdatenerfassungspunkte (2) in einem Abstand von weniger als 1000m, insbesondere weniger als 700m, bevorzugt in einem Abstand von 500m angeordnet sind, wobei eine Energieversorgung lokal am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) sichergestellt ist, insbesondere mittels Akkumulatoren (11) und/oder Energy-Harvesting-Komponenten (35), wobei die Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses basierend auf momentanen Messdaten (D20) von den einzelnen Messdatenerfassungspunkten (2) erfolgt und zumindest bezüglich der Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) ortsaufgelöst wird, wobei die Messdaten (D20) mittels der Niederschlagssensoren (20) jeweils umfassend wenigstens eine freischwingende Platte (21a) generiert werden, wobei zur Analyse des jeweiligen Niederschlagsereignisses dessen Auswertung basierend auf einer Analyse des elektrischen Feldes an einer Mehrzahl von Messdatenerfassungspunkten (2) auf/bezüglich wenigstens einer Mess-Grundfläche (1; 1a, 1b) erfolgt, wobei die Messdaten (D20) Schwingungen und/oder Vibrationen und/oder Schall wenigstens einer dem Niederschlag am jeweiligen Messdatenerfassungspunkt (2) ausgesetzten Platte (21a) betreffen, wobei die ortsaufgelösten Messdaten zum Ermitteln wenigstens eines Analyseergebnisses aus der folgenden Gruppe miteinander korreliert werden: momentane oder maximale Intensität des jeweiligen Niederschlagsereignisses, kumulierte Menge an Niederschlag beim jeweiligen Niederschlagsereignis, Art des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Dauer des jeweiligen Niederschlagsereignisses, Ausbreitungsrichtung des jeweiligen Niederschlagsereignisses; wobei eine Auswertung kumulierter korrelierter ortsaufgelöster Messdaten zentral in einem Cloud-Datenraum einer Cloud-IT-Infrastruktur (60) erfolgt, insbeson-

Anhängende Zeichnungen

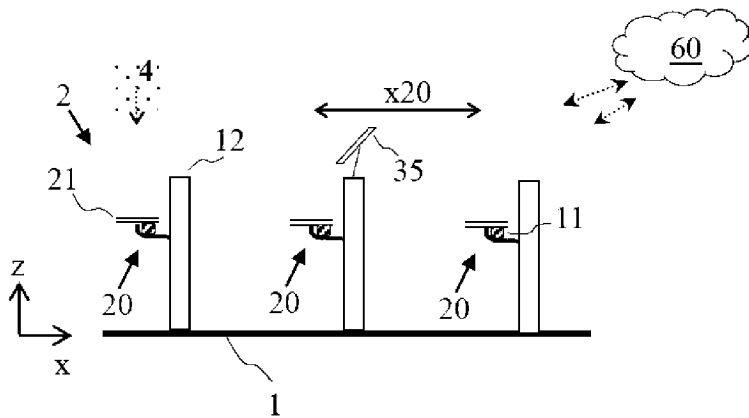


Fig. 1A

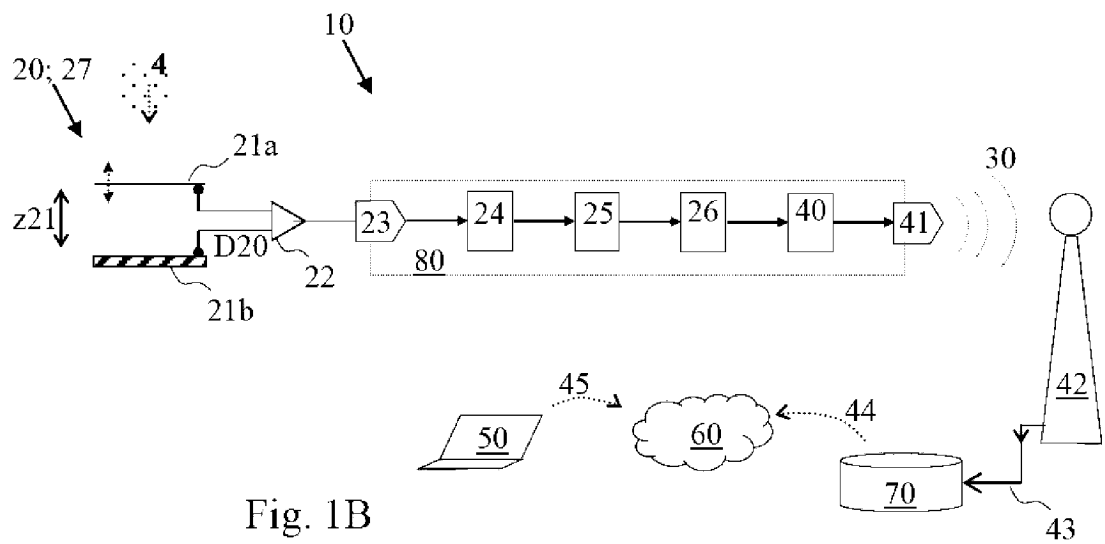


Fig. 1B

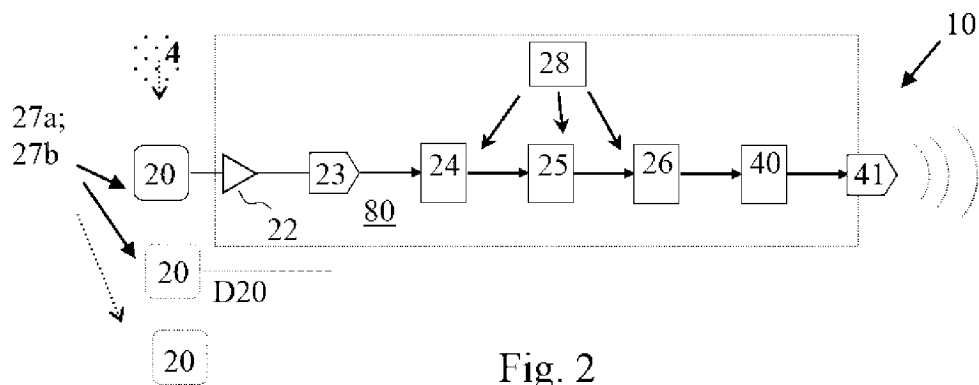


Fig. 2

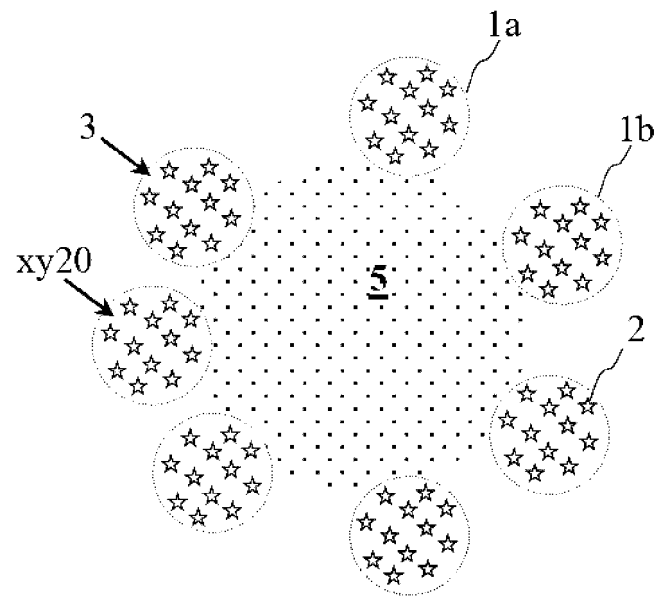


Fig. 3

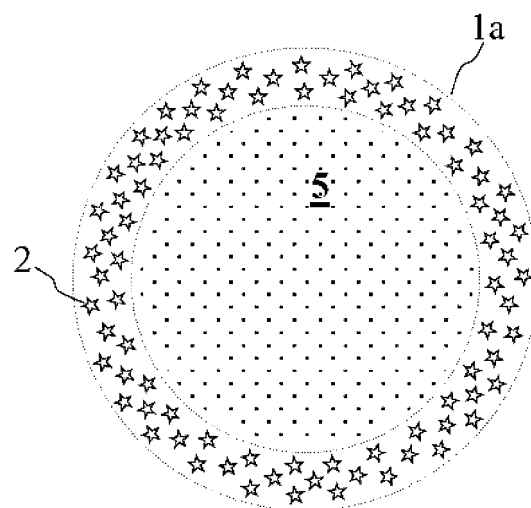


Fig. 4

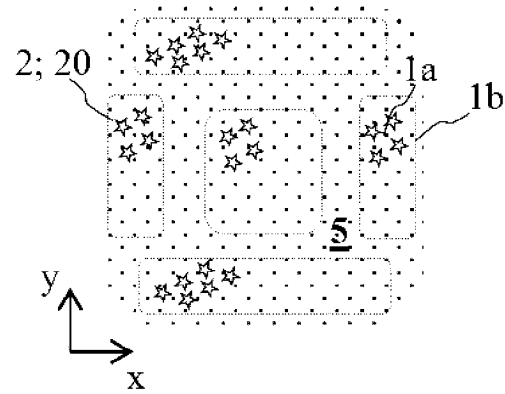


Fig. 5

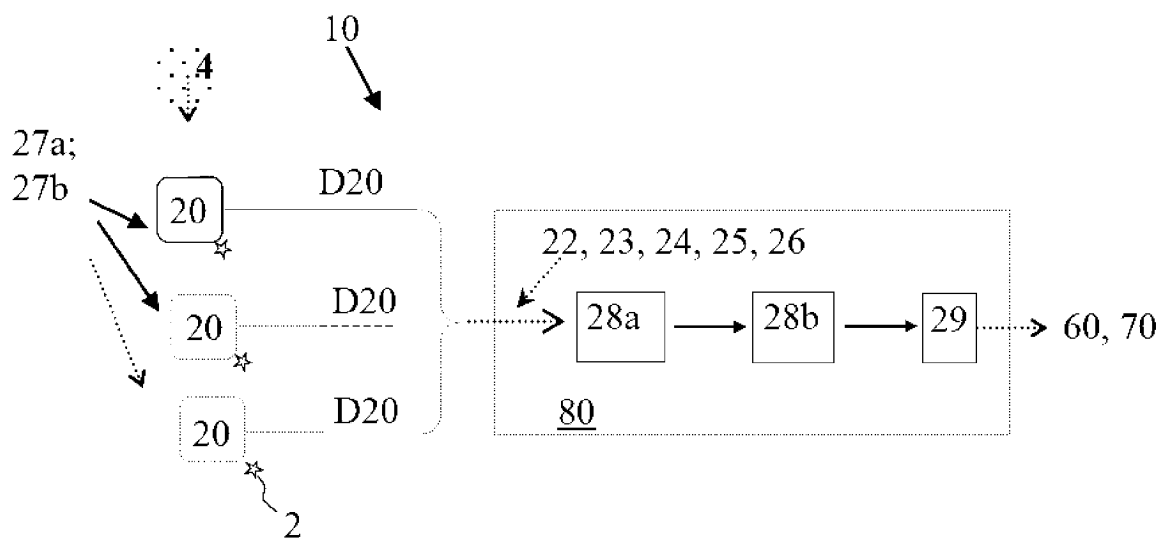


Fig. 6