

(12)

(51) Int. Cl.: **G01W 1/10** (2006.01)
G01W 1/00 (2006.01)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

```

graph TD
    Start([Start]) --> S1[1. Set  $\alpha = 0$ ]
    S1 --> S2[2. Set  $\alpha = 0$ ]
    S2 --> S3[3. Set  $\alpha = 0$ ]
    S3 --> S4[4. Set  $\alpha = 0$ ]
    S4 --> S5[5. Set  $\alpha = 0$ ]
    S5 --> S6{6.  $\alpha \leq 1$  ?}
    S6 -- Yes --> S7[7.  $\alpha = 1$ ]
    S6 -- No --> S8[8.  $\alpha = 0$ ]
    S7 --> S9[9.  $\alpha = 0$ ]
    S8 --> S9
    S9 --> S10[10.  $\alpha = 0$ ]
    S10 --> End([End])
  
```

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlags (r), umfassend die Schritte:

- (a) Bereitstellung von meteorologischen Eingangsdaten (d1),
- (b) Schritt, bei dem für zumindest eine Zustandsform (wv, lw) des atmosphärischen Wassers ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten (d1) zweite Daten (d2) berechnet werden, die ein Maß für die durch diese zumindest eine Zustandsform (wv, lw) bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre (A) gesendeten Signalen darstellen,
- (c) Bereitstellung von dritten Daten (d3), die ein Maß für die durch atmosphärisches Wasser bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen, wobei die dritten Daten (d3) aus der Messung von Signalen (3), die zwischen Signalübertragungseinrichtungen (1, 2), insbesondere zwischen satellitengebundenen Signalübertragungseinrichtungen (1) und erdgebundenen Signalübertragungseinrichtungen (2), durch die Atmosphäre (A) übertragen wurden, gewonnen sind,
- (d) Vergleichen der zweiten Daten (d2) mit den dritten Daten (d3), und
- (e) Schritt, bei dem für zumindest eine weitere, vorzugsweise bei der Berechnung gemäß Schritt (b) nicht berücksichtigte, Zustandsform (lw, r) des atmosphärischen Wassers in Abhängigkeit der Abweichung zwischen den zweiten Daten (d2) und den dritten Daten (d3) eine meteorologische Größe (ilwc, rr) zur Beschreibung dieser zumindest einen weiteren Zustandsform (lw, r) berechnet wird.

Fig. 5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes, des kondensierten Wassers und/oder des Niederschlags.

Im Stand der Technik ist es bekannt, Signale, die zwischen Signalübertragungseinrichtungen übertragen werden und dabei die Atmosphäre passieren, zur Beschreibung des aktuellen Wetters bzw. zur Verwendung in der Wettervorhersage heranzuziehen. Dabei handelt es sich unter anderem auch um Signale zwischen Satelliten und erdgebundenen Signalsendern/-empfängern (z.B.: Ortungs- oder Kommunikationssignale). Die dabei verwendeten Signale, die üblicherweise im Frequenzbereich zwischen 1GHz und 1000GHz liegen, werden durch die Atmosphäre abgeschwächt (gedämpft). Aus dem Intensitätsverhältnis zwischen dem gesendeten Signal und dem empfangenen Signal kann – nach Korrektur von sende- und empfangsseitigen Rahmenbedingungen (wie z.B. der geometrischen Ausrichtung sowie der Abstand der Sende-/Empfangseinrichtungen zueinander, etc.) – die durch die Atmosphäre bewirkte Signalabschwächung herausgerechnet werden. Die Signalabschwächung in der Atmosphäre wird hauptsächlich durch atmosphärisches Wasser bewirkt, wobei auch Luftverschmutzungen, Aerosole, sowie nicht-meteorologische Partikel und Objekte einen Beitrag liefern können.

Es ist umgekehrt auch von Interesse bei einer bestimmten Wetterlage die zu erwartende Dämpfung von durch die Atmosphäre übertragenen Signalen zu kennen. Die durch die einzelnen Zustandsformen des atmosphärischen Wasser bewirkten Signalabschwächungen (attenuation) sind z.B. der Recommendation ITU-R P.676-11 (für Gase einschl. Wasserdampf), der Recommendation ITU-R P.840-6 (für

Wolken- und Nebelwasser) und der Recommendation ITU-R P.838-3 (für Regen) der International Telecommunication Union zu entnehmen.

Der Nachteil der bekannten Verfahren zur Beschreibung der Wetterlage unter Zuhilfenahme der Signalabschwächungsdaten besteht darin, dass die damit ermittelten meteorologischen Größen sehr ungenau sind und weder ein hinreichend genaues Bild der aktuellen Wetterlage liefern, noch als hinreichend genaue Ausgangsdaten für die Berechnung einer zuverlässigen Wettervorhersage dienen. Dies liegt daran, dass sich die einzelnen Signalabschwächungen durch die verschiedenen Zustandsformen des Wassers in der Atmosphäre - Wasserdampf (gasförmiges Wasser), kondensiertes Wasser (Flüssigwasser in Wolken und Nebel), Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel) - linear überlagern und die gesamte Signalabschwächung keine Information darüber enthält, welche Zustandsformen in welchem Ausmaß zur Signalabschwächung beitragen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, die Nachteile des Standes der Technik zu überwinden und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, mit dem – unter Heranziehen von aus Signalmessungen gewonnenen Signalabschwächungsdaten – zumindest eine meteorologische Größe zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers ermittelt werden kann. Das Verfahren soll qualitative und quantitative Aussagen über die interessierende Zustandsform ermöglichen. Eine bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens soll die Ermittlung der Niederschlagsrate, insbesondere Regenrate, ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein eingangs erwähntes Verfahren gelöst mit den Schritten:

- (a) Bereitstellung von meteorologischen Eingangsdaten,
- (b) Schritt, bei dem für zumindest eine Zustandsform des atmosphärischen Wassers ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten zweite Daten berechnet werden, die ein Maß für die durch diese zumindest eine Zustandsform bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre gesendeten Signalen darstellen,

(c) Bereitstellung von dritten Daten, die ein Maß für die durch atmosphärisches Wasser bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen, wobei die dritten Daten aus der Messung von Signalen, die zwischen Signalübertragungseinrichtungen, insbesondere zwischen satellitengebundenen Signalübertragungseinrichtungen und erdgebundenen Signalübertragungseinrichtungen, durch die Atmosphäre übertragen wurden, gewonnen sind,

(d) Vergleichen der zweiten Daten mit den dritten Daten, und

(e) Schritt, bei dem für zumindest eine weitere, vorzugsweise bei der Berechnung gemäß Schritt (b) nicht berücksichtigte, Zustandsform des atmosphärischen Wassers in Abhängigkeit der Abweichung zwischen den zweiten Daten und den dritten Daten eine meteorologische Größe zur Beschreibung dieser zumindest einen weiteren Zustandsform berechnet wird.

Der Erfindung liegt zugrunde, dass jede Zustandsform von atmosphärischem Wasser einen jeweils unabhängigen Anteil zur Signalabschwächung liefert. Der Erfindung liegt außerdem zugrunde, dass mit dem Wissen um das gleichzeitige Auftreten dieser Zustandsformen eine stufenweise Ableitung der Anteile der einzelnen Zustandsformen zur Signalabschwächung möglich ist. Es wird außerdem vorausgesetzt, dass Wasserdampf ständig vorhanden ist und ohne dem Vorhandensein von Wolken im wesentlichen kein Niederschlag auftritt.

Die Ermittlung der meteorologischen Größe erfolgt dabei in zumindest zwei Stufen. (1) Zunächst wird für zumindest eine Zustandsform die Signalabschwächung berechnet und mit der aus Signalmessungen gewonnenen Signalabschwächung verglichen. Die aus Signalmessungen gewonnene Signalabschwächung enthält dabei die Anteile sämtlicher (entlang des Signalpfades) vorhandener Zustandsformen atmosphärischen Wassers. (2) Eine Abweichung zwischen der (für die zumindest eine Zustandsform) berechneten Signalabschwächung und der aus Signalmessungen gewonnenen Signalabschwächung kann nun für die Berechnung einer meteorologischen Größe für eine weitere Zustandsform herangezogen werden.

Ist die aus Signalmessungen gewonnene Signalabschwächung größer als (für die zumindest eine Zustandsform) berechnete Signalabschwächung, so wird das Vorhandensein einer weiteren Zustandsform angenommen, um diese Abweichung erklären zu können. Eine meteorologische Größe, die diese weitere Zustandsform beschreibt, kann nun anhand der besagten Abweichung berechnet werden.

Ist die aus Signalmessungen gewonnene Signalabschwächung kleiner als – oder genauso groß wie – die (für die zumindest eine Zustandsform) berechnete Signalabschwächung, kann angenommen werden, dass keine weitere Zustandsform vorliegt. Der entsprechenden meteorologischen Größe kann der Wert 0 zugeordnet werden.

Ausgangspunkt des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die meteorologischen Eingangsdaten, aus denen bereits eine meteorologische Größe zur Beschreibung einer Zustandsform, insbesondere die Wasserdampfdichte, ermittelt werden kann. Ziel ist es nun, in Schritt (e) eine Größe für eine weitere Zustandsform zu ermitteln. Dafür wird der Vergleich gemäß Schritt (d) herangezogen.

Gemäß vorliegender Anmeldung wird unter Wasserdampf Wasser im gasförmigen Zustand, unter kondensiertem Wasser Flüssigwasser (bzw. an Kondensationskeimen haftendes Flüssigwasser) in Wolken bzw. Nebel (Wolken- bzw. Nebelwasser) und unter Niederschlag jenes Wasser, das in flüssiger oder fester Form auf die Erdoberfläche fällt, verstanden.

Die Berechnung der Signalabschwächung für einzelne Zustandsformen (gemäß Schritt (b)) erfolgt vorzugsweise gemäß den Empfehlungen (insb. der jeweils aktuellen Empfehlungen) der International Telecommunication Union (www.itu.int):

- der Recommendation ITU-R P.676-11, „Attenuation by atmospheric gases“, approved in 2016-09-30 (für Gase einschl. Wasserdampf),
- der Recommendation ITU-R P.840-6, „Attenuation due to clouds and fog“, approved in 2013-09-30 (für Wolken- und Nebelwasser) und/oder
- der Recommendation ITU-R P.838-3, „Specific attenuation model for rain for use in prediction methods“, approved in 2005-03-08 (für Regen).

Diese Dokumente werden daher durch Bezugnahme in diese Anmeldung aufgenommen.

Die Erfindung ermöglicht es, genauere Aussagen über die Zustandsformen atmosphärischen Wassers zu treffen und damit die aktuelle Wetterlage genauer zu erfassen. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die Ermittlung der Niederschlagsrate besonders interessant und zuverlässig, wenn zuvor (d.h. in Schritt (b)) Wasserdampf und kondensiertes Wasser in Wolken berücksichtigt wurden bzw. die durch Wasserdampf und kondensiertes Wasser bewirkte Signalabschwächung (zweite Daten) von der aus Signalmessungen gewonnenen (Gesamt-)Abschwächung (dritte Daten) abgezogen wurde.

Die Daten (meteorologische Eingangsdaten, zweite Daten, dritte Daten, wasserdampfbezogene Daten, auf kondensiertes Wasser bezogene Daten) und Größen, die in dieser Anmeldung beschrieben sind, können – auch wenn sie in der Einzahl verwendet werden – zwei- oder mehrdimensional sein und somit auch mehrere Werte enthalten. So kann z.B. die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe die Niederschlagsraten für ein gesamtes Gebiet aufweisen. Die Daten und Größen können daher ortsabhängig vorliegen (und auch als Rasterdatensatz aufbereitet sein).

Die in Schritt (c) bzw. – siehe weiter unten – Schritt (b2) zu vergleichenden Daten sind selbstverständlich Daten derselben Art (insbesondere bezogen auf dieselbe Signalfrequenz, dieselbe Signalausbreitungsrichtung und dieselbe Einheit, z.B. dB) oder werden entsprechend für den Vergleich aufbereitet. Da die tatsächlichen Signalübertragungen nur selten in genau vertikaler Richtung erfolgen, ist jeweils die Elevation zu berücksichtigen. Die Signalabschwächung kann daher auf eine bestimmte (vorzugsweise vertikale) Signalausbreitungsrichtung umgerechnet (normalisiert) werden. Derartige Verfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt und müssen an dieser Stelle nicht tiefergehend erörtert werden.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Berechnung der zweiten Daten in Schritt (b) für die Zustandsform Wasserdampf erfolgt

und die zweiten Daten ein Maß für die durch Wasserdampf bewirkte Signalabschwächung darstellen. Die Berücksichtigung auch der gasförmigen Zustandsform erhöht die Genauigkeit der berechneten meteorologischen Größe gemäß Schritt (e), weil deren Anteil an der Signalabschwächung nicht in die Berechnung gemäß Schritt (e) einfließt.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, kondensiertes Wasser in Wolken und/oder Nebel ist, wobei vorzugsweise die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe der Gehalt an kondensiertem Wasser, vorzugsweise der integrierte Gehalt an kondensiertem Wasser, in Wolken und/oder Nebel ist. Die Berechnung kann z.B. dadurch erfolgen, dass Wolken in einem Bereich zwischen einer Wolkenuntergrenze und einer Wolkenobergrenze angenommen werden, z.B. in einem Bereich, in dem die (relative) Luftfeuchtigkeit 1 ist oder einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet (z.B. größer als 0,99 ist). Für diesen Bereich wird ein bestimmter Gehalt an kondensiertem Wasser angenommen. Dieser kann gemäß Erfahrungswerten und/oder in Abhängigkeit eines bestimmten Wolkentyps vorgegeben werden. Bevorzugt wird in der betreffenden Wolkenschicht ein (konstanter) Wert für den Gehalt an kondensiertem Wasser zwischen 0.05 g/m^3 und 0.5 g/m^3 , vorzugsweise ungefähr 0.1 g/m^3 , angenommen.

Die Berechnung einer meteorologischen Größe kann z.B. durch Integration des Gehalts an kondensiertem Wasser entlang der Vertikalen durch den Wolkenbereich erfolgen, sodass als Größe der integrierte Gehalt an kondensiertem Wasser (integrated liquid water content) erhalten wird.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Berechnung der zweiten Daten in Schritt (b) für die Zustandsformen Wasserdampf und kondensiertes Wasser in Wolken und/oder Nebel erfolgt und die zweiten Daten ein Maß für die durch Wasserdampf und durch kondensiertes Wasser in Wolken und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen. In dieser Ausführungsform fließen somit die Anteile von Wasserdampf und kondensiertem Wasser bei der Berechnung der weiteren Zustandsform (insb. Niederschlag) nicht mehr ein.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, Niederschlag ist, wobei vorzugsweise die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe die Niederschlagsrate, insbesondere die Regenrate, ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die meteorologischen Eingangsdaten zumindest Werte für die Lufttemperatur, den Luftdruck und/oder die Luftfeuchtigkeit auf einem bestimmten Niveau, vorzugsweise an der Erdoberfläche, umfassen. Die meteorologischen Eingangsdaten basieren vorzugsweise auf Messungen durch Wetterstationen. Dabei kann aus den an verschiedenen Orten aufgenommenen Messwerten durch Interpolation oder Anwenden von meteorologischen Modellen eine zwei- oder mehrdimensionale Datenstruktur hergestellt werden, in der den Ortskoordinaten jeweils Werte einer meteorologischen Größe zugeordnet sind. Die meteorologischen Eingangsdaten sind bevorzugt derart ausgestaltet, dass aus ihnen eine dreidimensionale Modellatmosphäre gebildet werden kann, in der jeder Volumeneinheit und/oder jedem Gitterpunkt zumindest ein Wert zumindest einer meteorologischen Größe zugeordnet ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass das Vergleichen der zweiten Daten mit den dritten Daten gemäß Schritt (d) durch Bildung einer Differenz oder eines Verhältnisses zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten erfolgt

und/oder dass

die Berechnung der meteorologischen Größe gemäß Schritt (e) aus der Differenz und/oder dem Verhältnis zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten erfolgt.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass der meteorologischen Größe gemäß Schritt (e) der Wert 0 zugeordnet wird, wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten kleiner ist als die Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten. In diesem Fall ist die Annahme des Vorhandenseins einer

weiteren Zustandsform nicht erforderlich, um die aus Signalmessungen gewonnene Signalabschwächung zu erklären.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass in Schritt (b) (b1) für die Zustandsform Wasserdampf ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten wasserdampfbezogene Daten berechnet werden, die ein Maß für die durch Wasserdampf bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre gesendeten Signalen darstellen, und

(b2) diese wasserdampfbezogenen Daten mit den dritten Daten verglichen werden, und

(b3) wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten größer ist als die Signalabschwächung gemäß der wasserdampfbezogenen Daten, auf kondensiertes Wasser bezogene Daten berechnet werden, die ein Maß für die durch kondensiertes Wasser in Wolken und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen,

wobei die zweiten Daten ein Maß für die durch Wasserdampf und kondensiertes Wasser in Wolken und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen.

In dieser Ausführungsform werden in Schritt (b) die Beiträge des Wasserdampfes und des kondensierten Wassers an der Signalabschwächung berücksichtigt. Dabei wird zunächst die durch Wasserdampf bewirkte Signalabschwächung berechnet und nach dem Vergleichen mit der aus Messungen gewonnenen Signalabschwächung die durch kondensiertes Wasser bewirkte Signalabschwächung berechnet. Es handelt sich somit um eine stufenweise Berechnung, wobei zwischen den Stufen jeweils ein Vergleich durchgeführt wird.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Berechnung gemäß Schritt (b) mittels eines Atmosphärenmodells erfolgt, welches in Abhängigkeit der meteorologischen Eingangsdaten jedem Höhenabschnitt und/oder jeder Volumeneinheit und/oder jedem (Gitter-)Punkt einer Modellatmosphäre zumindest einen Wert zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung

einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, vorzugsweise der Wasserdampfdichte und/oder des Gehalts an kondensiertem Wasser, zuordnet.

Es sind eine Vielzahl von Modellen zur vertikalen Schichtung der Atmosphäre (Atmosphärenmodellen) bekannt. Diese unterscheiden sich in ihrer grundsätzlichen Art und können z.B. eine adiabatische (trocken- oder feuchtadiabatische) Schichtung oder eine Inversions- Wetterlage (eine teilweise Zunahme der Temperatur mit der Höhe in einer bestimmten Schicht) repräsentieren: Im Detail können sich solche Schichtungsmodelle auch darin unterscheiden, wie ausgehend von meteorologischen Eingangsdaten jeder Volumeneinheit oder jedem (Gitter-)Punkt der Modellatmosphäre ein Wert zugeordnet wird. Dies kann durch analytische Funktionen, numerische Rechenvorschriften, Anwendungen von (linearen) Temperatur- und/oder (exponentiellen) Druckgradienten (entlang der Vertikalen), etc. erfolgen. So können ausgehend von einer Temperatur an der Erdoberfläche unter Zugrundelegung eines Schichtungsmodells (z.B. eines adiabatischen Modells) die Temperaturen und atmosphärischen Drücke in jeder beliebigen Höhe berechnet werden. Wenn auch die Luftfeuchtigkeit an der Erdoberfläche bekannt ist, kann auch die Wasserdampfdichte in jeder Höhe berechnet werden.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass aus den in der Modellatmosphäre enthaltenen Werten jeweils eine Signalabschwächung berechnet wird, wobei die zweiten Daten durch Integration oder Summation der Werte (z.B. der Wasserdampfdichte oder des Gehalts an kondensiertem Wasser oder damit korrelierende Schwächungswerte) entlang von vorzugsweise vertikalen Signalpfaden durch die Modellatmosphäre berechnet werden.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass bei der Berechnung von kondensiertem Wasser in Wolken eine obere Wolkengrenze berücksichtigt wird, wobei vorzugsweise die obere Wolkengrenze aus Satellitenbildern abgeleitet ist.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Berechnung der Regenrate gemäß der Beziehung

$$rr = \alpha \sqrt{\frac{\gamma}{k}}$$

erfolgt, wobei rr die Regenrate, γ die Differenz zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten ist und α und k Parameter sind, wobei vorzugsweise die Parameter α und k gemäß der Recommendation ITU-R P.838-3 gewählt sind.

Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass Berechnungen zumindest eines Schrittes, insbesondere des Schrittes (b) und/oder des Schrittes (d) und/oder des Schrittes (e),

in Abhängigkeit der Signalfrequenz und/oder der Signalpolarisation und/oder in Abhängigkeit der Elevation der Signalausbreitungsrichtung erfolgen und/oder

für eine oder mehrere Signalfrequenz(en) durchgeführt werden, wobei vorzugsweise die Signalfrequenz(en) zwischen 5GHz und 100GHz, insbesondere zwischen 10GHz und 50GHz liegen,

und/oder

nur unterhalb einer vorgegebenen Höhengrenze, vorzugsweise unterhalb von 20.000 m, vorzugsweise unterhalb von 10.000 m, besonders bevorzugt unterhalb von 7.500 m, (oberhalb des Meeresniveaus) durchgeführt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgen die Berechnungen unterhalb eines gewählten Höhenniveaus, das sich unterhalb der (breitenabhängigen) Tropopause befindet.

Die Aufgabe wird auch gelöst durch einen Algorithmus zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes, des kondensierten Wassers und/oder des Niederschlages, wobei der Algorithmus die Schritte eines erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist.

Die Aufgabe wird auch gelöst durch ein Datenverarbeitungssystem und/oder auf einem Datenträger gespeichertes Computerprogrammprodukt, zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes, des kondensierten

Wassers und/oder des Niederschlages, wobei auf dem Datenverarbeitungssystem und/oder in dem Computerprogrammprodukt ein erfindungsgemäßer Algorithmus hinterlegt ist.

Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

- Fig. 1 eine Atmosphäre, in der nur Wasserdampf enthalten ist;
- Fig. 2 eine Atmosphäre, in der nur Wasserdampf und kondensiertes Wasser (Wolkenwasser) enthalten ist;
- Fig. 3 eine Atmosphäre, in der Wasserdampf, kondensiertes Wasser (Wolkenwasser) und Niederschlag (Regen) enthalten ist;
- Fig. 4 schematisch die Signalübertragung zwischen satellitengebundenen und erdgebundenen Signalübertragungseinrichtungen durch die Atmosphäre;
- Fig. 5 ein Fließdiagramm zur Beschreibung einer Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 6 ein Fließdiagramm zur Beschreibung einer Ausführungsform der Erfindung;
- Fig. 7 eine schematische Darstellung der durch die einzelnen Zustandsformen bewirkten Signalabschwächungen an der Gesamtabschwächung;
- Fig. 8 Die einzelnen Beiträge zur Signalabschwächung.

Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile bzw. Verfahrensschritte mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit glei-

chen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

Die Ausführungsbeispiele zeigen mögliche Ausführungsvarianten, wobei an dieser Stelle bemerkt sei, dass die Erfindung nicht auf die speziell dargestellten Ausführungsvarianten derselben eingeschränkt ist, sondern vielmehr auch diverse Kombinationen der einzelnen Ausführungsvarianten untereinander möglich sind und diese Variationsmöglichkeit aufgrund der Lehre zum technischen Handeln durch gegenständliche Erfindung im Können des auf diesem technischen Gebiet tätigen Fachmannes liegt.

Der Schutzbereich ist durch die Ansprüche bestimmt. Die Beschreibung und die Zeichnungen sind jedoch zur Auslegung der Ansprüche heranzuziehen. Einzelmerkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen unterschiedlichen Ausführungsbeispielen können für sich eigenständige erfinderische Lösungen darstellen. Die den eigenständigen erfinderischen Lösungen zugrundeliegende Aufgabe kann der Beschreibung entnommen werden.

Sämtliche Angaben zu Wertebereichen in gegenständlicher Beschreibung sind so zu verstehen, dass diese beliebige und alle Teilbereiche daraus mitumfassen, z.B. ist die Angabe 1 bis 10 so zu verstehen, dass sämtliche Teilbereiche, ausgehend von der unteren Grenze 1 und der oberen Grenze 10 mit umfasst sind, d.h. sämtliche Teilbereiche beginnen mit einer unteren Grenze von 1 oder größer und enden bei einer oberen Grenze von 10 oder weniger, z.B. 1 bis 1,7 oder 3,2 bis 8,1 oder 5,5 bis 10.

Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis die in den Figuren dargestellten Sachverhalte teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

Die Fig. 1-3 zeigen mögliche Wetterkonstellationen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben werden können. In Fig. 1 ist ein Teil einer Atmosphäre A, die Troposphäre, dargestellt, in der Wasser nur in der (unsichtbaren) Zustandsform Wasserdampf *wv* vorkommt. E bezeichnet die Erdoberfläche. Es ist bevorzugt, wenn die der Erfindung zugrundeliegenden Berechnungen nur bis zu einer vorgegebenen oberen Grenze (oberste strichlierte Linie) durchgeführt werden. Die Grenze kann beispielsweise im Bereich zwischen 6.000 hm (ab Meeresniveau) und der (breitenabhängigen) Tropopause festgelegt werden. Dadurch wird einerseits der für das Wettergeschehen maßgebliche Bereich berücksichtigt und werden andererseits die erforderlichen Rechenoperationen auf ein handhabbares Maß beschränkt.

Fig. 2 zeigt eine Wetterlage, bei der zusätzlich zum Wasserdampf *wv* Wolken C und damit kondensiertes Wasser *lw* vorhanden sind. Die Wolken C befinden sich zwischen einer unteren Grenze und einer oberen Grenze CT (cloud top). In Fig. 3 liegt Wasser auch in der Zustandsform Niederschlag *r* (Regen) vor.

Wenn Signale 3 entlang von Signalpfaden P zwischen Datenübertragungseinrichtungen 1, 2 durch die Atmosphäre A übertragen werden, bewirken die vorhandenen Zustandsformen des atmosphärischen Wassers eine Signalabschwächung, die z.B. in Dezibel, erfasst und bereitgestellt werden kann. Die unterschiedlichen Elevationen der Signalpfade P (siehe Fig. 4) können umgerechnet werden, sodass die aufbereiteten Daten, die ein Maß für die Signalabschwächung darstellen, sich nur mehr auf eine Elevation beziehen, vorzugsweise auf die vertikale Richtung.

Anhand der Fig. 5 wird nun eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens näher beschrieben. Ziel ist es, eine meteorologische Größe zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers zu ermitteln. Wie bereits erwähnt liegt Wasser insbesondere in den Zustandsformen Wasserdampf *wv*, kondensiertes Wasser *lw* (in Wolken bzw. Nebel) und/oder Niederschlag *r* vor. Beispiele meteorologischer Größen für solche Zustandsformen sind: Wasserdampfdichte (water vapor content), integrierte Wasserdampfdichte *iwvc*, Gehalt an kondensiertem Wasser (liquid water content) *lwc*, integrierter Gehalt an kondensiertem Wasser *ilwc*, Niederschlagsrate (rain rate) *rr*.

Das Verfahren umfasst nun die Schritte:

(a) Bereitstellung von meteorologischen Eingangsdaten (d1). Diese umfassen bevorzugt Werte für die Lufttemperatur, den Luftdruck und/oder die Luftfeuchtigkeit auf einem bestimmten Niveau, vorzugsweise an der Erdoberfläche E.

(b) einen Schritt, bei dem für die Zustandsform(en) Wasserdampf wv und/oder kondensiertes Wasser lw ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten d1 zweite Daten d2 berechnet werden, die ein Maß für die durch Wasserdampf wv und/oder kondensiertes Wasser lw bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre A gesendeten Signalen darstellen. Dabei wird z.B. eine die Zustandsform beschreibende Größe – z.B. die Wasserdampfdichte wvc (z.B. in der Einheit kg/m^3) und/oder der Gehalt an kondensiertem Wasser lwc (z.B. in der Einheit kg/m^3) – berechnet. Aus dieser Größe kann dann die Signalabschwächung abgeleitet werden. Als „Nebenprodukt“ können weitere Größen wie z.B. die integrierte Wasserdampfdichte $iwvc$ (in der Einheit kg/m^2) und/oder der integrierte Gehalt an kondensiertem Wasser $ilwc$ (in der Einheit kg/m^2) berechnet werden.

(c) Bereitstellung von dritten Daten d3, die ein Maß für die durch atmosphärisches Wasser bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen, wobei die dritten Daten d3 aus der Messung von Signalen 3, die zwischen Signalübertragungseinrichtungen 1, 2, insbesondere zwischen satellitengebundenen Signalübertragungseinrichtungen 1 und erdgebundenen Signalübertragungseinrichtungen 2, durch die Atmosphäre A übertragen wurden (siehe Fig. 4), gewonnen sind,

(d) Vergleichen der zweiten Daten d2 mit den dritten Daten d3. Die Daten d2 und d3 können z.B. die Signalabschwächung in der Einheit dB enthalten. Das Vergleichen der zweiten Daten d2 mit den dritten Daten d3 kann durch Bildung einer Differenz oder eines Verhältnisses zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten d2 und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten d3 erfolgen.

(e) Schritt, bei dem für die Zustandsform Niederschlag r (diese wurde bei der Berechnung gemäß Schritt (b) nicht berücksichtigt) in Abhängigkeit der Abweichung

zwischen den zweiten Daten d_2 und den dritten Daten d_3 die Niederschlagsrate rr berechnet wird. Die Berechnung der Niederschlagsrate rr kann aus der Differenz und/oder dem Verhältnis zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten d_2 und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten d_3 erfolgen. D.h. die Niederschlagsrate rr (insbesondere Regenrate) kann z.B. als Funktion dieser Differenz dargestellt werden: $rr = f(d_3 - d_2)$. Der Niederschlagsrate wird der Wert 0 zugeordnet, wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten d_3 kleiner ist als die Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten d_2 .

Durch dieses Verfahren wird sichergestellt, dass die Signalabschwächung nicht nur der in Schritt (e) berechneten Zustandsform (hier: Niederschlag r) zugeordnet wird, sondern, dass zuvor schon Beiträge anderer Zustandsformen (hier: Wasserdampf wv und/oder kondensiertes Wasser lw) als solche berücksichtigt werden.

Für den Fall, dass in Schritt (b) bereits zwei Zustandsformen berücksichtigt werden, kann Schritt (b) gemäß der bevorzugten Ausführungsform der Fig. 6 erfolgen. Die übrigen Schritte können dann – wie oben beschrieben – gleich wie Fig. 5 erfolgen.

Gemäß Fig. 6 werden folgende Schritte durchgeführt:

(b1) für die Zustandsform Wasserdampf wv werden ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten d_1 wasserdampfbezogene Daten dwv berechnet, die ein Maß für die durch Wasserdampf wv bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre A gesendeten Signalen darstellen.

(b2) diese wasserdampfbezogenen Daten dwv werden mit den dritten Daten d_3 verglichen. Die dritten Daten d_3 können dieselben Daten sein, die bereits in dem Verfahren gemäß Fig. 5 verwendet wurden.

(b3) wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten d_3 größer ist als die Signalabschwächung gemäß der wasserdampfbezogenen Daten dwv , werden auf kondensiertes Wasser bezogene Daten dlw berechnet, die ein Maß für die durch kondensiertes Wasser lw in Wolken C und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen.

Die zweiten Daten d_2 stellen nun ein Maß für die durch Wasserdampf wv und durch kondensiertes Wasser lw in Wolken C und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung dar. Mit anderen Worten: Die zweiten Daten ergeben sich als Summe der wasserdampfbezogenen Daten dwv und der auf kondensiertes Wasser bezogenen Daten dlw .

Die zweiten Daten d_2 können dann, wie in Fig. 5 dargestellt, weiterverwendet werden.

Fig. 7 zeigt eine weitere Ausführungsform, bei der die Berechnung der zweiten Daten d_2 in Schritt (b) (nur) für die Zustandsform Wasserdampf wv erfolgt. Die zweiten Daten d_2 sind dann ein Maß für die durch Wasserdampf wv bewirkte Signalabschwächung. Die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, ist kondensiertes Wasser lw in Wolken C und/oder Nebel. Die meteorologische Größe kann dabei der Gehalt an kondensiertem Wasser lwc in Wolken C und/oder Nebel, vorzugsweise der integrierte Gehalt an kondensiertem Wasser $ilwc$ sein. Ein solches Verfahren eignet sich z.B. dann, wenn aus anderen Beobachtungen klar ist, dass in dem untersuchten Gebiet kein Niederschlag vorliegt.

Fig. 8 illustriert die Beiträge der einzelnen Zustandsformen atmosphärischen Wassers zur Signalabschwächung. Das oben beschriebene Prinzip beruht auf der Annahme, dass der Beitrag des Wasserdampfes dwv , der Beitrag des kondensierten Wassers dlw und der Beitrag des Niederschlages $dr = d_3 - d_2$ zusammen die aus Messungen gewonnene Signalabschwächung d_3 ergeben. Aus dieser Darstellung wird ersichtlich, dass das erfindungsgemäße Verfahren große Vorteile mit sich bringt, weil nicht nur das Vorhandensein einer Zustandsform festgestellt werden kann, sondern aufgrund der stufenweisen Zuteilung in Bezug auf die Signalabschwächung auch genaue quantitative Aussagen über eine Zustandsform getätigt werden können.

Im Folgenden werden bevorzugte Ausführungsformen beschrieben, die sich auf die einzelnen Schritte beziehen.

Die Berechnung gemäß Schritt (b) kann mittels eines Atmosphärenmodells, welches in Abhängigkeit der meteorologischen Eingangsdaten d1 jedem Höhenabschnitt und/oder jeder Volumeneinheit und/oder jedem Punkt einer Modellatmosphäre zumindest einen Wert zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung einer Zustandsform w_v , l_w atmosphärischen Wassers, vorzugsweise der Wasserdampfdichte w_{vd} und/oder des Gehalts an kondensiertem Wasser l_{wc} , zuordnet.

Es sind eine Vielzahl von verschiedenen Atmosphärenmodellen bekannt. Diese unterscheiden sich in ihrer grundsätzlichen Art und können z.B. eine adiabatische (trocken- oder feuchtadiabatische) Schichtung oder eine Inversions- Wetterlage (eine teilweise Zunahme der Temperatur mit der Höhe in einer bestimmten Schicht) repräsentieren. Durch mathematische Beziehungen kann ausgehend von aus Messungen im Bereich der Erdoberfläche gewonnen Daten, wie der Lufttemperatur, dem Luftdruck und der Luftfeuchtigkeit ein dreidimensionales Modell aufgebaut werden. Für die höhenabhängige Temperatur kann ein (linearer) Temperaturgradient (z.B. in der Einheit K/m) angenommen werden.

Die Berechnung der Wasserdampfdichte kann durch Berechnung des Sättigungsdampfdruckes bei der gegebenen Temperatur und der Herleitung des aktuell herrschenden Dampfdruckes aus dem Sättigungsdampfdruck und der relativen Feuchte erfolgen. Zur Umrechnung des Dampfdruckes in die Wasserdampfdichte (z.B. in der Einheit kg/m^3) kann die allgemeine Gasgleichung der Thermodynamik verwendet werden.

Die Berechnung der Wasserdampfdichte erfolgt z.B. durch die Anwendung der August-Roche-Magnus Formel zur Berechnung des Sättigungsdampfdruckes aus der Temperatur, der Bestimmung des aktuell herrschenden Dampfdruckes aus der relativen Feuchte und des Sättigungsdampfdruckes sowie der Anwendung der allgemeinen Gasgleichung zur Umrechnung des Dampfdruckes in die Wasserdampfdichte.

In diesem Fall setzt sich die Berechnung aus den folgenden Formeln zusammen:

$$e_{sat} = 610,94 \exp\left(\frac{17,25 \cdot t}{t + 243,04}\right)$$

$$e = r_H \cdot e_{sat}$$

$$\rho = \frac{e}{R_V T}$$

wobei e den aktuell vorherrschenden Dampfdruck in Pa, e_{sat} den Sättigungsdampfdruck in Pa, t die Temperatur in °C, T die Temperatur in K, r_H die relative Feuchte in %, ρ die Wasserdampfdichte in kg/m³ und $R_V = 461,5$ J/(kg K) die individuelle Gaskonstante für Wasser bezeichnen. Die in letzter Formel mit ρ bezeichnete Wasserdampfdichte (in vorliegender Anmeldung auch mit wvc bezeichnet) kann gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Berechnung der zweiten Daten d2 herangezogen werden.

Wenn gemäß Fig. 6 auch der Gehalt an kondensiertem Wasser lwc berechnet werden soll, dann können zusätzliche Annahmen wie die Wolkenunter- und Wolkenobergrenze getroffen werden oder aus zusätzlichen Messungen oder (Satelliten-)Bildern abgeleitet werden. Z.B. kann die Berechnung gemäß Schritt (b3) derart erfolgen, dass zunächst überall dort, wo (innerhalb der Wolkenunter- und Wolkenobergrenze) die relative Luftfeuchtigkeit 1 oder größer als ein vorgegebener Grenzwert (z.B. > 0,99) ist, ein (konstanter) Wert des Gehalts an kondensiertem Wasser angenommen wird. Bevorzugt wird in der betreffenden Wolkenschicht ein (konstanter) Wert für den Gehalt an kondensiertem Wasser zwischen 0.05 g/m³ und 0.5 g/m³, vorzugsweise ungefähr 0.1 g/m³, angenommen. Aus den (analytisch) berechneten oder (aus Erfahrungswerten) angenommenen Werten für den Gehalt an kondensiertem Wasser kann nun wiederum die Signalabschwächung berechnet werden.

Dies erfolgt bevorzugt dadurch, dass die zweiten Daten d2 durch Integration oder Summation entlang von vorzugsweise vertikalen Signalpfaden P (slant paths) durch die Modellatmosphäre berechnet werden.

Bevorzugt erfolgt die Berechnung der Regenrate rr gemäß der Beziehung

$$rr = \alpha \sqrt{\frac{\gamma}{k}}$$

wobei γ die Differenz zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten d2 und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten d3 ist und α und k Parameter sind. Letztere sind vorzugsweise gemäß der Recommendation ITU-R P.838-3 gewählt.

Die oben beschriebenen Berechnungen können in Abhängigkeit der Signalfrequenz und/oder der Signalpolarisation und/oder in Abhängigkeit der Elevation der Signalausbreitungsrichtung erfolgen. Sie können auch für eine oder mehrere Signalfrequenz(en) durchgeführt werden, wobei vorzugsweise die Signalfrequenz(en) zwischen 5GHz und 100GHz, insbesondere zwischen 10GHz und 50GHz liegen,

Wie bereits erwähnt können sich die Berechnungen auf unterhalb einer vorgegebenen Höhengrenze, vorzugsweise unterhalb von 20.000 m, vorzugsweise unterhalb von 10.000 m, besonders bevorzugt unterhalb von 7.500 m, (oberhalb des Meeresniveaus) beschränken. In der Regel bildet die (breitenabhängige) Tropopause eine oberste Grenze für obige Berechnungen.

Bezugszeichenliste

1	satellitengebundene Signalübertragungseinrichtung
2	erdgebundene Signalübertragungseinrichtung
3	Signal
A	Atmosphäre
C	Wolken
CT	Wolkenobergrenze
E	Erdoberfläche
P	Signalpfad
wv	Wasserdampf
wvc	Wasserdampfdichte
iwvc	integrierte Wasserdampfdichte
lw	kondensiertes Wasser in Wolken und/oder Nebel
lwc	Gehalt an kondensiertem Wasser
ilwc	integrierter Gehalt an kondensiertem Wasser
r	Niederschlag
rr	Regenrate
d1	meteorologische Eingangsdaten
d2	zweite Daten
d3	dritte Daten
dww	wasserdampfbezogene Daten
dlw	auf kondensiertes Wasser bezogene Daten

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlags (r), umfassend die Schritte:
 - (a) Bereitstellung von meteorologischen Eingangsdaten (d1),
 - (b) Schritt, bei dem für zumindest eine Zustandsform (wv, lw) des atmosphärischen Wassers ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten (d1) zweite Daten (d2) berechnet werden, die ein Maß für die durch diese zumindest eine Zustandsform (wv, lw) bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre (A) gesendeten Signalen darstellen,
 - (c) Bereitstellung von dritten Daten (d3), die ein Maß für die durch atmosphärisches Wasser bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen, wobei die dritten Daten (d3) aus der Messung von Signalen (3), die zwischen Signalübertragungseinrichtungen (1, 2), insbesondere zwischen satellitengebundenen Signalübertragungseinrichtungen (1) und erdgebundenen Signalübertragungseinrichtungen (2), durch die Atmosphäre (A) übertragen wurden, gewonnen sind,
 - (d) Vergleichen der zweiten Daten (d2) mit den dritten Daten (d3), und
 - (e) Schritt, bei dem für zumindest eine weitere, vorzugsweise bei der Berechnung gemäß Schritt (b) nicht berücksichtigte, Zustandsform (lw, r) des atmosphärischen Wassers in Abhängigkeit der Abweichung zwischen den zweiten Daten (d2) und den dritten Daten (d3) eine meteorologische Größe (ilwc, rr) zur Beschreibung dieser zumindest einen weiteren Zustandsform (lw, r) berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der zweiten Daten (d2) in Schritt (b) für die Zustandsform Wasserdampf (wv) erfolgt und die zweiten Daten (d2) ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) bewirkte Signalabschwächung darstellen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel ist, wobei vorzugsweise die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe der Gehalt an kondensiertem Wasser (lwc), vorzugsweise der integrierte Gehalt an kondensiertem Wasser (ilwc), in Wolken (C) und/oder Nebel ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der zweiten Daten (d2) in Schritt (b) für die Zustandsformen Wasserdampf (wv) und kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel erfolgt und die zweiten Daten (d2) ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) und durch kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, Niederschlag (r) ist, wobei vorzugsweise die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe die Niederschlagsrate, insbesondere Regenrate (rr), ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die meteorologischen Eingangsdaten (d1) zumindest Werte für die Lufttemperatur, den Luftdruck und/oder die Luftfeuchtigkeit auf einem bestimmten Niveau, vorzugsweise an der Erdoberfläche (E), umfassen.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

das Vergleichen der zweiten Daten (d2) mit den dritten Daten (d3) gemäß Schritt (d) durch Bildung einer Differenz oder eines Verhältnisses zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2) und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) erfolgt

und/oder dass

die Berechnung der meteorologischen Größe (ilwc, rr) gemäß Schritt (e) aus der Differenz und/oder dem Verhältnis zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2) und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der meteorologischen Größe gemäß Schritt (e) der Wert 0 zugeordnet wird, wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) kleiner ist als die Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2).

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt (b)

- (b1) für die Zustandsform Wasserdampf (wv) ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten (d1) wasserdampfbezogene Daten (dwv) berechnet werden, die ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre (A) gesendeten Signalen darstellen, und
- (b2) diese wasserdampfbezogenen Daten (dwv) mit den dritten Daten (d3) verglichen werden, und
- (b3) wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) größer ist als die Signalabschwächung gemäß der wasserdampfbezogenen Daten (dwv), auf kondensiertes Wasser bezogene Daten (dlw) berechnet werden, die ein Maß für die durch kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen,

wobei die zweiten Daten (d2) ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) und durch kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung gemäß Schritt (b) mittels eines Atmosphärenmodells erfolgt, welches in Abhängigkeit der meteorologischen Eingangsdaten (d1) jedem Höhenabschnitt und/oder jeder Volumeneinheit und/oder jedem Punkt oder Gitterpunkt einer Modellatmosphäre zumindest einen Wert zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung einer Zustandsform (wv, lw) atmosphärischen Wassers, vorzugsweise der Wasserdampfdichte (wvd) und/oder des Gehalts an kondensiertem Wasser (lwc), zuordnet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass aus den in der Modellatmosphäre enthaltenen Werten jeweils eine Signalabschwächung berechnet wird, wobei die zweiten Daten (d2) durch Integration oder Summation entlang von vorzugsweise vertikalen Signalpfaden (P) durch die Modellatmosphäre berechnet werden.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Berechnung von kondensiertem Wasser (lw) in Wolken (C) eine obere Wolkengrenze (ct) berücksichtigt wird, wobei vorzugsweise die obere Wolkengrenze aus Satellitenbildern abgeleitet ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der Regenrate (rr) gemäß der Beziehung

$$rr = \alpha \sqrt{\frac{\gamma}{k}}$$

erfolgt, wobei rr die Regenrate, γ die Differenz zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2) und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) ist und α und k Parameter sind, wobei vorzugsweise die Parameter α und k gemäß der *Recommendation ITU-R P.838-3* gewählt sind.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Berechnungen zumindest eines Schrittes, insbesondere des Schrittes (b) und/oder des Schrittes (d) und/oder des Schrittes (e), in Abhängigkeit der Signalfrequenz und/oder der Signalpolarisation und/oder in Abhängigkeit der Elevation der Signalausbreitungsrichtung erfolgen und/oder für eine oder mehrere Signalfrequenz(en) durchgeführt werden, wobei vorzugsweise die Signalfrequenz(en) zwischen 5GHz und 100GHz, insbesondere zwischen 10GHz und 50GHz liegen, und/oder nur unterhalb einer vorgegebenen Höhengrenze, vorzugsweise unterhalb von 20.000 m, besonders bevorzugt unterhalb von 10.000 m, noch mehr bevorzugt unterhalb von 7.500 m, durchgeführt werden.
15. Algorithmus zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlages (r), wobei der Algorithmus die Schritte eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.
16. Datenverarbeitungssystem und/oder auf einem Datenträger gespeichertes Computerprogrammprodukt, zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlages (r), wobei auf dem Datenverarbeitungssystem und/oder in dem Computerprogrammprodukt ein Algorithmus nach Anspruch 15 hinterlegt ist.

Fig.1



Fig.2

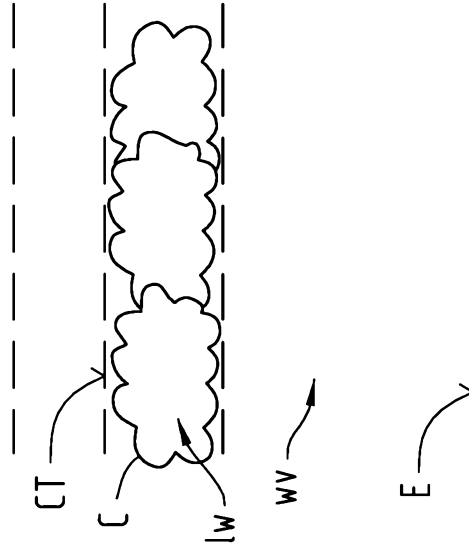


Fig.3

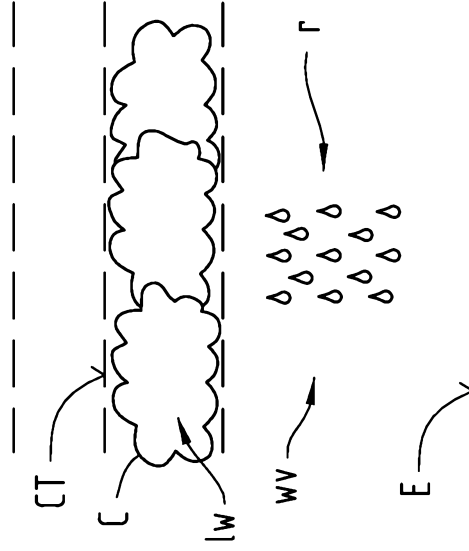


Fig.4

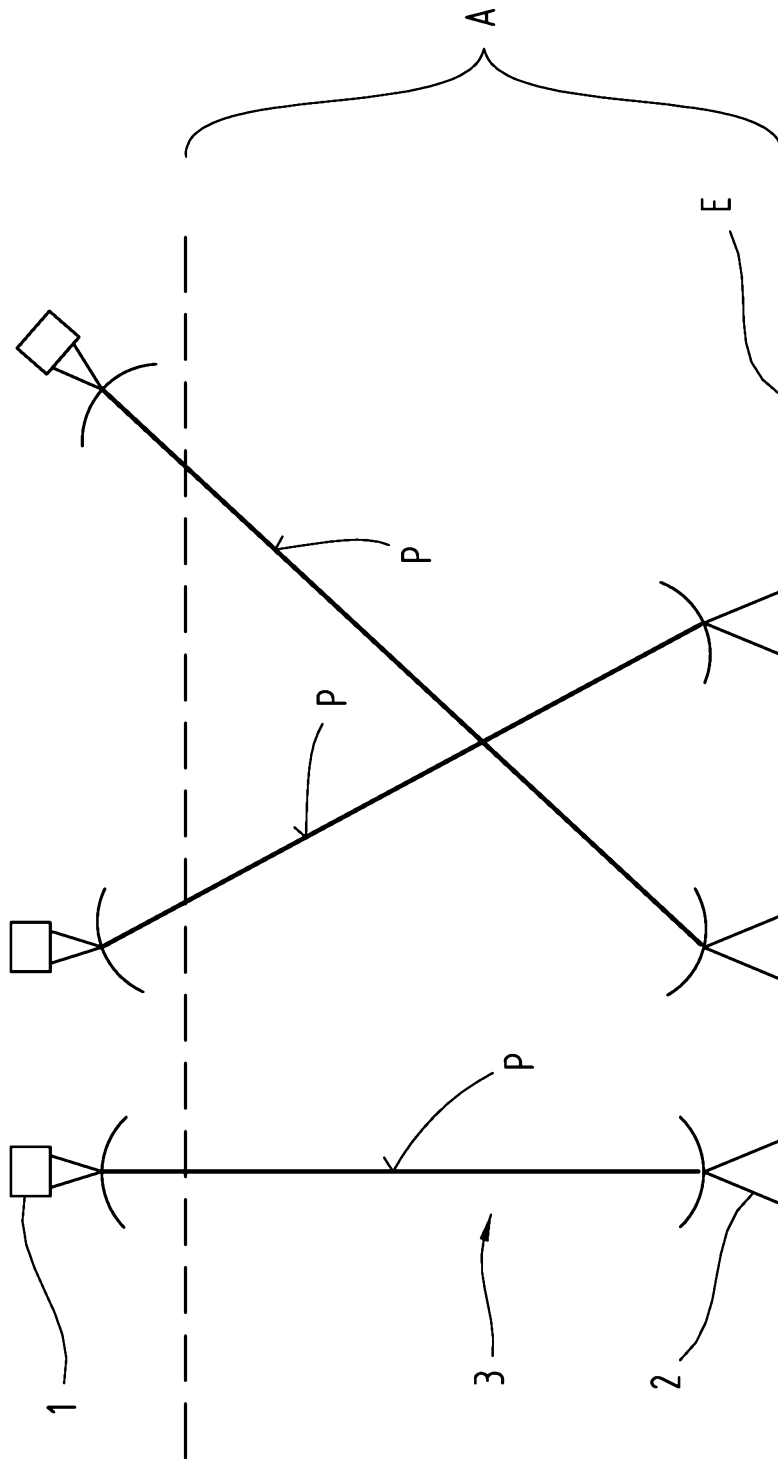


Fig.5

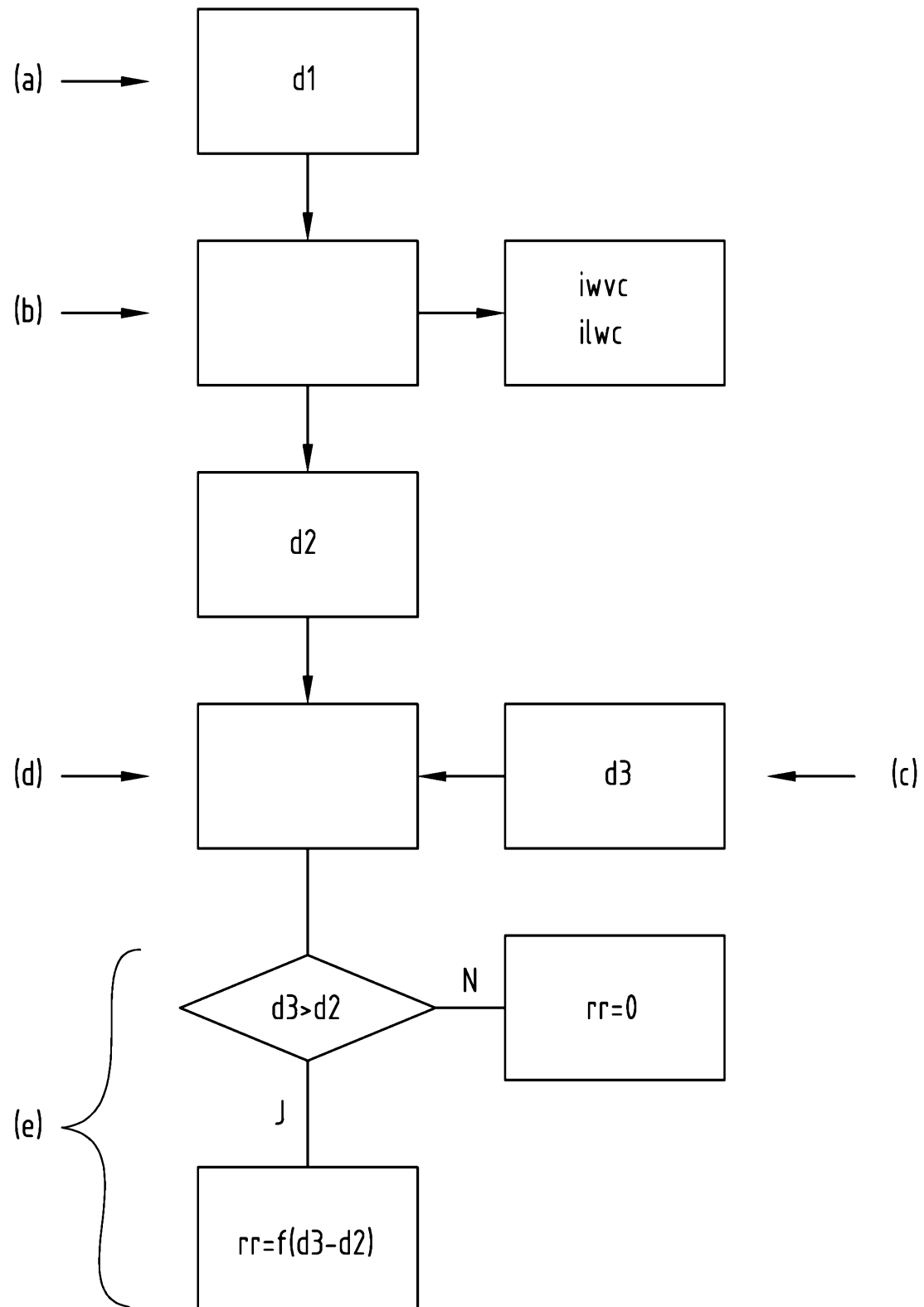


Fig.6

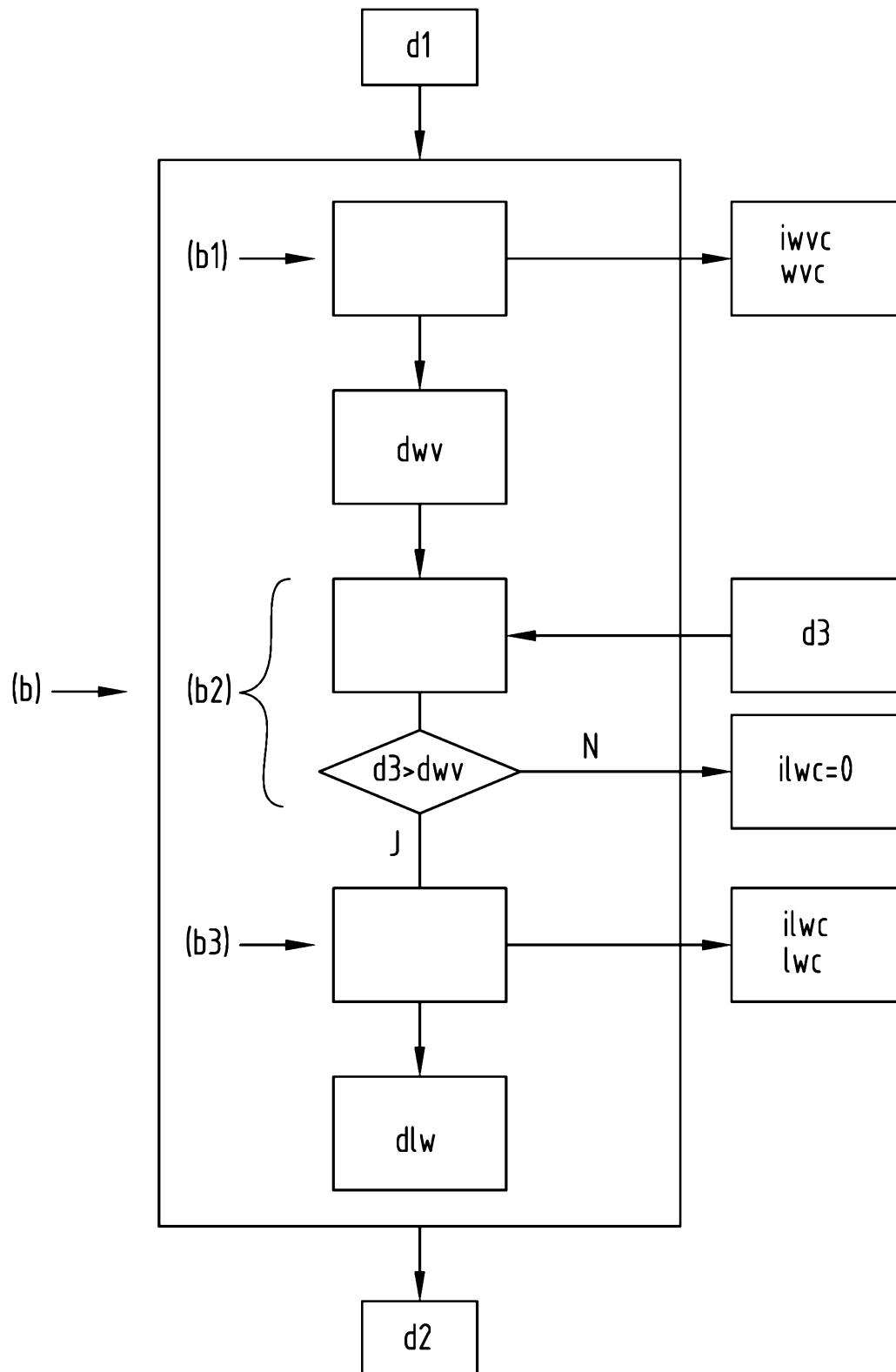


Fig.7

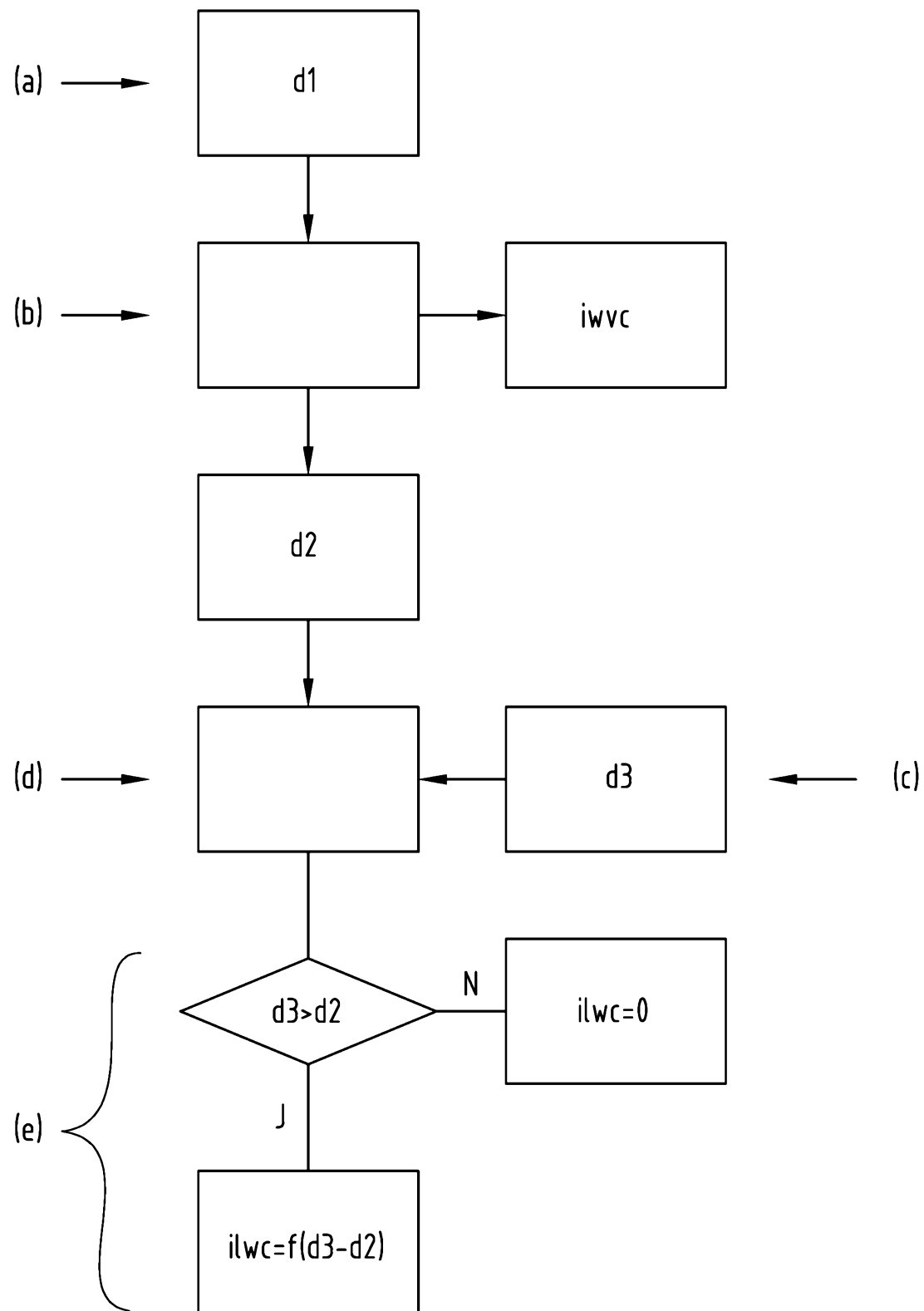
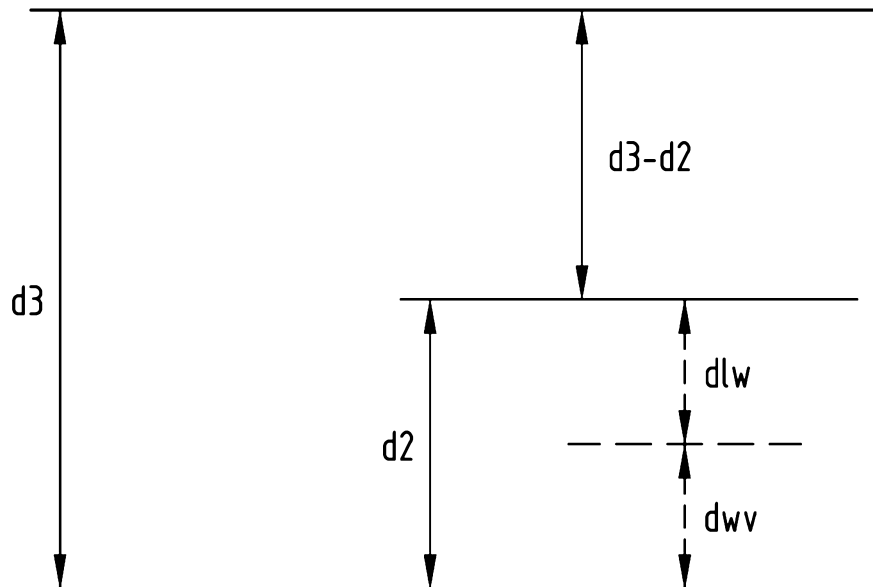


Fig.8



Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlags (r), umfassend die Schritte:
 - (a) Bereitstellung von meteorologischen Eingangsdaten (d1),
 - (b) Schritt, bei dem für zumindest eine Zustandsform (wv, lw) des atmosphärischen Wassers ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten (d1) zweite Daten (d2) berechnet werden, die ein Maß für die durch diese zumindest eine Zustandsform (wv, lw) bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre (A) gesendeten Signalen darstellen,
 - (c) Bereitstellung von dritten Daten (d3), die ein Maß für die durch atmosphärisches Wasser bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen, wobei die dritten Daten (d3) aus der Messung von Signalen (3), die zwischen Signalübertragungseinrichtungen (1, 2), insbesondere zwischen satellitengebundenen Signalübertragungseinrichtungen (1) und erdgebundenen Signalübertragungseinrichtungen (2), durch die Atmosphäre (A) übertragen wurden, gewonnen sind,
 - (d) Vergleichen der zweiten Daten (d2) mit den dritten Daten (d3), und
 - (e) Schritt, bei dem für zumindest eine weitere, vorzugsweise bei der Berechnung gemäß Schritt (b) nicht berücksichtigte, Zustandsform (lw, r) des atmosphärischen Wassers in Abhängigkeit der Abweichung zwischen den zweiten Daten (d2) und den dritten Daten (d3) eine meteorologische Größe (ilwc, rr) zur Beschreibung dieser zumindest einen weiteren Zustandsform (lw, r) berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der zweiten Daten (d2) in Schritt (b) für die Zustandsform Wasserdampf (wv) erfolgt und die zweiten Daten (d2) ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) bewirkte Signalabschwächung darstellen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel ist, wobei vorzugsweise die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe der Gehalt an kondensiertem Wasser (lwc), vorzugsweise der integrierte Gehalt an kondensiertem Wasser (ilwc), in Wolken (C) und/oder Nebel ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der zweiten Daten (d2) in Schritt (b) für die Zustandsformen Wasserdampf (wv) und kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel erfolgt und die zweiten Daten (d2) ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) und durch kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zustandsform, für die in Schritt (e) eine meteorologische Größe berechnet wird, Niederschlag (r) ist, wobei vorzugsweise die in Schritt (e) berechnete meteorologische Größe die Niederschlagsrate, insbesondere Regenrate (rr), ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die meteorologischen Eingangsdaten (d1) zumindest Werte für die Lufttemperatur, den Luftdruck und/oder die Luftfeuchtigkeit auf einem bestimmten Niveau, vorzugsweise an der Erdoberfläche (E), umfassen.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

das Vergleichen der zweiten Daten (d2) mit den dritten Daten (d3) gemäß Schritt (d) durch Bildung einer Differenz oder eines Verhältnisses zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2) und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) erfolgt

und/oder dass

die Berechnung der meteorologischen Größe (ilwc, rr) gemäß Schritt (e) aus der Differenz und/oder dem Verhältnis zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2) und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der meteorologischen Größe gemäß Schritt (e) der Wert 0 zugeordnet wird, wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) kleiner ist als die Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2).

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt (b)

- (b1) für die Zustandsform Wasserdampf (wv) ausgehend von den meteorologischen Eingangsdaten (d1) wasserdampfbezogene Daten (dwv) berechnet werden, die ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) bewirkte Signalabschwächung von durch die Atmosphäre (A) gesendeten Signalen darstellen, und
- (b2) diese wasserdampfbezogenen Daten (dwv) mit den dritten Daten (d3) verglichen werden, und
- (b3) wenn die Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) größer ist als die Signalabschwächung gemäß der wasserdampfbezogenen Daten (dwv), auf kondensiertes Wasser bezogene Daten (dlw) berechnet werden, die ein Maß für die durch kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung darstellen,

wobei die zweiten Daten (d2) ein Maß für die durch Wasserdampf (wv) und durch kondensiertes Wasser (lw) in Wolken (C) und/oder Nebel bewirkte Signalabschwächung von Signalen darstellen.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung gemäß Schritt (b) mittels eines Atmosphärenmodells erfolgt, welches in Abhängigkeit der meteorologischen Eingangsdaten (d1) jedem Höhenabschnitt und/oder jeder Volumeneinheit und/oder jedem Punkt oder Gitterpunkt einer Modellatmosphäre zumindest einen Wert zumindest einer meteorologischen Größe zur Beschreibung einer Zustandsform (wv, lw) atmosphärischen Wassers, vorzugsweise der Wasserdampfdichte (wvd) und/oder des Gehalts an kondensiertem Wasser (lwc), zuordnet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass aus den in der Modellatmosphäre enthaltenen Werten jeweils eine Signalabschwächung berechnet wird, wobei die zweiten Daten (d2) durch Integration oder Summation entlang von vorzugsweise vertikalen Signalpfaden (P) durch die Modellatmosphäre berechnet werden.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Berechnung von kondensiertem Wasser (lw) in Wolken (C) eine obere Wolkengrenze (ct) berücksichtigt wird, wobei vorzugsweise die obere Wolkengrenze aus Satellitenbildern abgeleitet ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Berechnung der Regenrate (rr) gemäß der Beziehung

$$rr = \frac{\alpha \sqrt{\gamma}}{\sqrt{k}}$$

erfolgt, wobei rr die Regenrate, γ die Differenz zwischen der Signalabschwächung gemäß der zweiten Daten (d2) und der Signalabschwächung gemäß der dritten Daten (d3) ist und α und k Parameter sind.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Berechnungen zumindest eines Schrittes, insbesondere des Schrittes (b) und/oder des Schrittes (d) und/oder des Schrittes (e),

in Abhängigkeit der Signalfrequenz und/oder der Signalpolarisation und/oder in Abhängigkeit der Elevation der Signalausbreitungsrichtung erfolgen

und/oder

für eine oder mehrere Signalfrequenz(en) durchgeführt werden, wobei vorzugsweise die Signalfrequenz(en) zwischen 5GHz und 100GHz, insbesondere zwischen 10GHz und 50GHz liegen,

und/oder

nur unterhalb einer vorgegebenen Höhengrenze, vorzugsweise unterhalb von 20.000 m, besonders bevorzugt unterhalb von 10.000 m, noch mehr bevorzugt unterhalb von 7.500 m, durchgeführt werden.

15. Algorithmus zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlages (r), wobei der Algorithmus die Schritte eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

16. Datenverarbeitungssystem und/oder auf einem Datenträger gespeichertes Computerprogrammprodukt, zur Ermittlung zumindest einer meteorologischen Größe (iwvc, ilwc, rr) zur Beschreibung einer Zustandsform atmosphärischen Wassers, insbesondere des Wasserdampfes (wv), des kondensierten Wassers (lw) und/oder des Niederschlages (r), wobei auf dem Datenverarbeitungssystem und/oder in dem Computerprogrammprodukt ein Algorithmus nach Anspruch 15 hinterlegt ist.