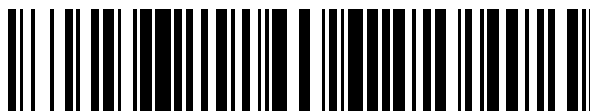


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 492 565**

51 Int. Cl.:

**G01S 5/06** (2006.01)

**G01W 1/16** (2006.01)

**G01R 29/08** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.01.2005** **E 05716601 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.05.2014** **EP 1711843**

54 Título: **Sistema y procedimiento para detectar, transmitir y evaluar datos e información que se producen por radiación electromagnética**

30 Prioridad:

**29.01.2004 DE 102004004580**

**09.02.2004 DE 102004006253**

**09.07.2004 DE 102004033386**

**18.08.2004 DE 102004000025**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.09.2014**

73 Titular/es:

**NOWCAST GMBH (100.0%)**  
**SAUERBRUCHSTRASSE 48**  
**81377 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**OETTINGER, WOLF PETER**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 492 565 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para detectar, transmitir y evaluar datos e información que se producen por radiación electromagnética

### Campo técnico

La presente invención se refiere a un sistema y a un procedimiento para detectar, transmitir y evaluar datos e información que se producen por radiación electromagnética (véase el documento US 6 246 367 B1 del estado de la técnica).

### Estado de la técnica

Desde más de una década se utilizan a nivel mundial sistemas de posicionamiento de rayos que permiten la localización de rayos de suelo con una precisión local creciente, que en el caso de redes modernas se sitúa en el intervalo de menos de un kilómetro. La eficacia de demostración se indica para rayos con una intensidad superior a cinco kiloamperios con más de un noventa por ciento en la mayoría de los casos, aunque en el caso de rayos más débiles no se conocen datos estadísticamente fiables.

Tradicionalmente, las redes operativas están concebidas de modo que se notifican principalmente rayos de suelo (= CG o Cloud-Ground) y se suprimen, en la medida de lo posible, rayos nube-nube (= I[ntra] C[loud] dentro de una nube de tormenta o C[loud]-C[loud] entre nubes de tormenta). Sin embargo, últimamente aumenta la tendencia de detectar también descargas en las nubes para fines de uso meteorológico.

Una diferenciación de rayos CG y rayos IC/CC es posible con métodos especiales, en particular con procedimientos tridimensionales (los denominados procedimientos 3D), pudiendo también combinarse entre sí mediciones en el intervalo V[ery]H[igh]F[requency] (de frecuencia muy elevada) y en el intervalo V[ery]L[ow]F[requency] (de frecuencia muy baja) [véase Kawasaki, Z.-I. *et al.* (1994), "SAFIR operation and evaluation of its performance", Geophys. Res. Lett. 21(12), páginas 1133 a 1166; Thery, C. (2001), "Evaluation of LPATS data using VHF Interferometric observations of lightning flashes during the EULINOX experiment", Atmospheric research 56, páginas 397 a 409].

En el artículo de Jacobson *et al.* (2000), "FORTE radio-frequency observations of lightning strokes detected by the National Lightning Detection Network", J. Geophys. Res. 105, páginas 15653 a 15662, se describe por ejemplo un procedimiento tridimensional en el que se realiza una marcación tridimensional en primer lugar con frecuencias de radio VHF y, a continuación, se busca mediante una coincidencia temporal la señal VLF asociada a partir de una red VLF bidimensional existente (la denominada NLDN).

Además, Smith *et al.* (1999) describen en el artículo "A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions", J. Geophys. Res. 104, páginas 4189 a 4212, un procedimiento tridimensional que sin embargo prevé una marcación meramente VHF sin ninguna relación con VLF.

Un procedimiento tridimensional con una buena resolución de canales de descarga describen Krehbiel *et al.* (1999) en la publicación "Three-dimensional lightning mapping observations during MEAPRS in central Oklahoma", 11th Int. Conf. on Atmosph. Electricity, NASA/CP, Alabama, junio de 1999, páginas 376 a 379. Sin embargo, este procedimiento a su vez no tiene ninguna relación con VLF y se basa meramente en la marcación VHF en las nubes.

Ya de forma muy temprana se indica en el documento de Taylor (1978), "A VHF technique for space-time mapping of lightning discharge processes", J. Geophys. Res. 83, páginas 3575 a 3583, la posibilidad de realizar una marcación espacial directa de lugares de emisión altos mediante mediciones de tiempo de propagación.

En este procedimiento conocido se miden mediante dos estaciones muy contiguas, que requieren en cada caso también dos sensores en una disposición vertical (entre otras cosas, cerca del suelo y a una altura de aproximadamente quince metros), diferencias de tiempo de propagación en el intervalo de los nanosegundos y de este modo se determinan los ángulos de elevación cuyo punto de intersección mediante una triangulación da como resultado los lugares de emisión.

Procedimientos tridimensionales adicionales se describen en los siguientes documentos:

- Richard and Auffray (1985), "VHF-UHF interferometric measurements, applications to lightning discharge mapping", Radio Science 20, páginas 171 a 192;
- Rhodes *et al.* (1994), "Observations of lightning phenomena using radio interterometry", J. Geophys. Res. 99, páginas 13059 a 13082;
- Laroche *et al.* (1996), "3D structure of lightning discharge within storms", 10th Int. Conf. Atmosph. Electricity, Osaka, 10 de junio de 1996 hasta 14 de junio de 1996, páginas 330 a 332;
- Onuki *et al.* (1996), "Imaging of lightning channel in three dimensions using interferometer", 10th Int Conf. Atmosph. Electricity, Osaka, 10 de junio 1996 hasta 14 de junio de 1996, páginas 325 a 332; y

- Richard and Lojou (1996), "Assessment of application of storm cell electrical activity monitoring to intense precipitation fore-cast", 10th Int. Conf. Atmosph. Electricity, Osaka, 10 de junio de 1996 hasta 14 de junio de 1996, páginas 284 a 287.

Sin embargo, los procedimientos de posicionamiento empleados a nivel mundial por superficies grandes se basan en sistemas bidimensionales menos complicados (los denominados sistemas 2D) en los que la diferenciación entre rayos CG y rayos IC/CC resulta más difícil. Aunque algunos fabricantes señalan procedimientos de diferenciación fiables que dependen de la forma de impulso, no obstante, en total la literatura con respecto a esta problemática es extremadamente contradictoria.

## Exposición de la invención: Objetivo, solución, ventajas

Partiendo de los inconvenientes y deficiencias anteriormente expuestos así como valorando el estado de la técnica definido, la presente invención se basa en el objetivo de perfeccionar un sistema del tipo mencionado al inicio así como un procedimiento del tipo mencionado al inicio de modo que se garantice una caracterización precisa de la fuente de impulso, por ejemplo, una diferenciación fiable entre rayos nube-tierra (C[loud]G[round]) y rayos nube-nube (= I[ntra]C[loud] dentro de una nube o C[loud]-C[loud] entre nubes).

Este objetivo se consigue según la enseñanza de la presente invención mediante un sistema con las características indicadas en la reivindicación 1 así como mediante un procedimiento con las características indicadas en la reivindicación 10. Configuraciones ventajosas y perfeccionamientos convenientes de la presente invención están identificados en las respectivas reivindicaciones dependientes.

Por tanto, la parte fundamental de la presente invención consiste en la marcación tridimensional de emisiones de impulsos/envíos de impulsos de origen natural y/o no natural, en particular de rayos, de emisiones de descarga, de envíos de descarga o similares, en redes V[ery]L[ow]F[requency] (de frecuencia muy baja); en particular no es necesario un uso de frecuencias en el intervalo de radio o V[ery]H[igh]F[requency] (de frecuencia muy elevada).

Para la diferenciación con respecto a procedimientos de marcación convencionales ya conocidos es válido para la presente invención que la marcación no se realiza sólo con uno o dos sensores próximos a la fuente de impulso, en particular próximos al rayo, de forma directa, es decir, no mediante una marcación local en altura, sino mediante el uso de desviaciones de los tiempos de llegada de señal en las estaciones de sensor más próximas en cada caso a la fuente de impulso, en particular más próximas al rayo, con respecto a otras estaciones de sensor, no más próximas a la fuente de impulso, en particular no más próximas al rayo.

Por consiguiente, la presente invención trata de un sistema de posicionamiento de impulsos nuevo concebido, en particular un sistema de posicionamiento de rayos, que en principio se basa en primer lugar en los procedimientos bidimensionales que han demostrado ser útiles (la denominada marcación de rayos 2D) en el intervalo V[ery]L[ow]F[requency].

A este respecto cabe señalar que en numerosos países están en funcionamiento sistemas de posicionamiento de rayos 2D. A modo de ejemplo se mencionan la red norteamericana NALDN en EEUU [véase Orville, R. E. *et al.* (2002), "The North American Lightning Detection Network (NALDN) - First results: 1998-2000", Monthly Weather Review 130 (8), páginas 2098 a 2109 y el sistema unificado europeo EUCLID.

Dicho sistema EUCLID resultó de una fusión del sistema BLIDS de la República Federal de Alemania operado por Siemens (con un software de red y una técnica de sensor de Estados Unidos) y de la red austriaca ALDIS [véase Diendorfer, G. *et al.* (1994), "Results of a performance analysis of the Austrian Lightning Location Network ALDIS". In: 22nd Int. Conf. on Lightning Protection, sept. 19-23, Budapest, Hungría] así como su extensión a numerosos países alrededor.

Estas redes funcionan en el intervalo VLF y aprovechan los métodos clásicos de la marcación de dirección (el denominado D[irection]F[inding]) y/o de los tiempos de propagación de señal (T[ime]O[f]A[rrival]). La radiación VLF irradiada por una fuente de impulso, en particular por un rayo, se puede recibir, en caso de que tenga una intensidad suficiente, en varias estaciones de sensor. Para determinar la fuente se pueden usar entonces las direcciones de incidencia (DF) medidas en las estaciones individuales y/o las diferencias de tiempo de propagación (TOA).

Si ahora se determinan las señales en sólo dos sensores, las direcciones proporcionan un lugar de marcación que se puede optimizar incluyendo los tiempos de señal. En caso de una detección de señales en más de dos estaciones es preferible el método T[ime]O[f]A[rrival] por motivos de precisión, ya que precisiones que se pueden alcanzar de manera relativamente sencilla de aproximadamente un microsegundo ya llevan a posicionamientos mejores que un kilómetro.

Por consiguiente, en el esquema principal según la figura 5 se representa el retardo de tiempo de propagación  $dT = T_P - T_H$  decisivo, provocado por descargas I[ntra] C[loud] (entre nubes) (en comparación con rayos C[loud]G[round] (entre nube y tierra)).

La configuración del tratamiento de señales y del procesamiento de impulsos está realizada por tanto de manera ventajosa de modo que se consiguen unas precisiones de tiempo claramente mayores (mejores que un microsegundo, es decir, inferiores a un microsegundo) que en sistemas convencionales. Esta precisión es fundamental para determinar lugares de evento de impulsos, en particular de rayos, según el método de tiempo de propagación.

Mediante el procedimiento de análisis empleado de manera ventajosa también se posibilita en el caso de formas de impulsos irregulares una determinación precisa del tiempo (mejor que un microsegundo, es decir, inferior a un microsegundo), en particular para señales que se detectan en diferentes sensores y que pertenecen al mismo evento de impulso, en particular al mismo resultado de rayo. Esto se puede conseguir de una manera fundamental para la invención, entre otras cosas, mediante algoritmos de detección de formas y de patrones.

Por ejemplo, en la centralita de red se averiguan por tanto mediante algoritmos especiales, en particular mediante una detección algorítmica de patrones, a partir de las numerosas señales que llegan desde los sensores individuales aquéllas que pertenecen al mismo evento de impulso.

Para este fin, los patrones de pico recibidos por los diferentes sensores individuales se „colocan unos por encima de otros“ en una forma digitalizada para de este modo poder identificar claramente el pico inicial. Mediante este método "de emparejamiento" se puede conseguir un resultado de marcación preciso con respecto al tiempo y por tanto bueno, lo que a su vez es fundamental para la marcación de altura. De este modo, se puede conseguir la alta sensibilidad de evento, y el número elevado provocado de este modo de señales que se pueden detectar de forma primaria realmente se puede seguir usando y también se puede aprovechar de manera conveniente con respecto a las propiedades de señal.

El filtrado de señales que pertenecen al mismo evento de rayo no es trivial en caso de una producción elevada de datos, ya que se producen solapamientos temporales. Sin embargo, si en un grupo de señales está contenida una señal errónea, entonces no puede tener lugar con éxito una marcación de rayos. En sistemas convencionales no se soluciona esta problemática; esto se refleja también en el hecho de que sistemas de marcación de rayos convencionales

- por un lado, notifican varias veces un rayo muy intenso, ya que las señales individuales de los sensores no se agrupan correctamente, y
- por otro lado, no detectan señales débiles como relacionadas debido a formas de impulsos no idénticas.

Además, en sistemas de marcación de rayos convencionales se pueden producir marcaciones erróneas con desviaciones de lugar considerables.

Si están disponibles más de tres datos de medición, entonces se pueden calcular las tres magnitudes desconocidas a determinar (= la longitud; la latitud; el tiempo de emisión de impulsos, en particular el tiempo de rayo) con procedimientos de minimización habituales. Siempre que errores sistemáticos también permanezcan en el orden de magnitud de aproximadamente un microsegundo, se puede conseguir dicha precisión de marcación también de forma sostenible en el funcionamiento permanente práctico y, por ejemplo, se puede verificar mediante impactos en torres de medición.

Dado que el sistema según la presente invención igual que el procedimiento según la presente invención consiguen una eficacia de demostración especialmente elevada también en el intervalo de impulsos débiles, en particular de rayos débiles, y no se tienen que aplicar medidas para suprimir descargas IC, en particular de rayos IC, la red novedosa proporciona considerablemente más eventos de descarga que sistemas de comparación convencionales. Por ese motivo es especialmente relevante el origen de las descargas.

Para este fin, la red se amplía según la enseñanza de la presente invención por un modo tridimensional (el denominado modo 3D), de modo que se pueden determinar alturas de emisión de impulsos, en particular de descargas. De este modo se propone según la invención una contribución novedosa y decisiva para la identificación de descargas IC/CC, en particular de rayos IC/CC.

Un modo de proceder de este tipo ofrece una serie de ventajas técnicas y económicas:

- Como sólo una estación debe ser próxima a la fuente de impulso, en particular próxima al rayo, son posibles grandes distancias de sensor, es decir, no es necesaria una red cara densa;
- Debido al uso de mediciones de tiempo controladas por G[lobal]P[ositioning]S[y]stem, aún distancias mayores de hasta aproximadamente cien kilómetros hasta la estación de rayos se pueden considerar "próximas a la fuente de impulso" o "próximas al rayo" y pueden producir desviaciones de tiempo significativas, es decir, útiles para la marcación de altura:

- El uso de redes de medición V[ery]L[ow]F[requency] (= en el intervalo alrededor de diez kilohertzios) asegura un gran alcance de las estaciones de medición no más próximas a la fuente de impulso, por ejemplo, de las estaciones de rayo no más próximas al rayo (que aún deben detectar el rayo), es decir, se pueden emplear redes VLF establecidas siempre que las mediciones de tiempo tengan una precisión en el intervalo de los microsegundos;
- El sistema según la presente invención igual que el procedimiento según la presente invención se pueden basar en el hardware de procedimientos de posicionamiento de rayos 2D convencionales; un uso de técnicas 3D "auténticas" en el intervalo de radio o VHF no es necesario en el sentido en que el objetivo de la presente invención no es la resolución espacialmente precisa de canales de descarga, por ejemplo, de canales de rayo, en el intervalo de 100 metros, sino la puesta a disposición de una base de datos para tomar una decisión con respecto a la cuestión de si el evento detectado se debe clasificar como impulso I[ntra]C[loud], en particular como rayo I[ntra]C[loud];
- La existencia de emisiones de impulsos o envíos de impulsos, en particular de emisiones de rayo, desde alturas kilométricas, se puede detectar libre de teoría y sin suponer parámetros ajustables a partir de una comparación de las distribuciones medidas en sensores individuales (más próximos en cada caso al rayo) y en grupos de sensores (no más próximos al rayo) de desviaciones de tiempo de dos tiempos de emisión de impulsos (el tiempo de impulso determinado en la red mediante una marcación global menos la diferencia entre el tiempo de llegada y el tiempo de propagación en la respectiva estación más próxima a la fuente de impulso), en particular de dos tiempos de rayo (el tiempo de rayo determinado en la red mediante una marcación global menos la diferencia entre el tiempo de llegada y el tiempo de propagación en la respectiva estación más próxima al rayo);
- La altura de emisión se puede calcular con algoritmos que al menos se pueden comparar con aquéllos de la marcación de lugar mediante la adición de las variables de altura;
- El procedimiento se puede integrar en otros sistemas de posicionamiento de impulsos existentes, en particular sistemas de posicionamiento de rayo, siempre que se consiga la precisión necesaria del tiempo;
- El procedimiento se puede emplear también en impulsos de intensidad baja, en particular en rayos de intensidad baja, siempre que el impulso, en particular el rayo, se mida en tres sensores, en el caso de usar direcciones de incidencia para la marcación también en sólo dos sensores;
- Los resultados del procedimiento se pueden usar para aclarar cuestiones de una discriminación de la forma de impulsos de descargas nube-nube (IC), en particular de rayos nube-nube, con respecto a descargas nube-tierra (CG), en particular rayos nube-tierra; y
- El sistema según la presente invención igual que el procedimiento según la presente invención se pueden emplear junto con el análisis de forma de impulsos para la discriminación para resolver el porcentaje (pequeño) de casos discutidos que no se puede decidir claramente ni con un procedimiento ni con el otro procedimiento.

En una forma de realización ventajosa de la presente invención, el sensor funciona de manera pasiva y sin alimentación de corriente eléctrica. Esto ahorra fuentes de error en comparación con sistemas conocidos. Además, el sensor, cuando funciona de manera pasiva y sin alimentación de corriente eléctrica, puede procesar unas tasas de transmisión de datos claramente mayores de lo que era el caso en sistemas descritos anteriormente o existentes del estado de la técnica.

Además de las ventajas técnicas y económicas anteriormente expuestas, la presente invención ofrece también una serie de ventajas de aplicación, como, por ejemplo

- Conocimientos importantes desde el punto de vista meteorológico y de la física de las nubes acerca de la apariencia de rayos IC,
- Una diferenciación sumamente segura de rayos CG con respecto a rayos IG,
- Una mejor identificación de rayos CG, lo que lleva a datos consecutivos importantes en forma de mapas de densidad de rayos más fiables (mejora de la protección contra rayos, lo que resulta interesante, por ejemplo, para la industria automovilística, para la industria de la construcción, para organizadores de ocio, para operadores de viajes y/o para la industria de los seguros) o
- Una detección de fundamentalmente más rayos de lo que notifican redes convencionales, lo que en relación con identificaciones CG lleva a unas densidades de rayos de suelo claramente mayores de lo que se suponía hasta el momento.

Además, la presente invención contribuye a la solución de una serie de dificultades, como, por ejemplo

- El requisito de una determinación precisa del tiempo también con señales de intensidad baja, con ruido, conformadas de forma compleja y/o sobreexcitadas para garantizar una detección y diferenciación lo más cuantitativas posible de impulsos (I[ntra]C[loud] con respecto a impulsos C[loud]-G[round]), en particular de

rayos,

- La necesidad de realizar una detección eficaz de señales parásitas no correlacionadas con respecto a impulsos, en particular no correlacionadas con respecto a rayos,
- El requisito de una configuración óptima de la gestión de tiempo de todos los componentes de estación y red o
- La necesidad de usar algoritmos complejos para realizar una diferenciación de emisión de impulsos lo más fiable posible, en particular una diferenciación de descarga, de marcaciones de altura aleatorias auténticas y provocadas estadísticamente y por errores sistemáticos.

El requisito de la determinación de tiempo contiene por tanto, según un perfeccionamiento ventajoso de la presente invención, una marca de tiempo especialmente precisa de las señales que llegan a los sensores individuales. Esta marca de tiempo se realiza para señales del mismo impulso, en particular del mismo rayo, en las diferentes estaciones de sensor de la misma manera en la medida de lo posible.

Debido a esta marca de tiempo precisa se puede determinar a partir de los tiempos de marca si en un sensor próximo a la fuente de impulso, en particular en un sensor próximo al rayo - con respecto a los demás sensores - se mide un tiempo de señal retardado; si existe un retardo de este tipo del tiempo de señal, esto es un indicio de un recorrido de propagación prolongado y, con ello, de un origen desde una altura elevada.

Dado que esta diferencia de tiempo de propagación a aprovechar se vuelve cada vez más pequeña a medida que aumenta la distancia entre el lugar de fuente de impulso, en particular el lugar de rayo, y el sensor en cuestión, una marcación de altura eficaz requiere la medición y el uso de diferencias de tiempo muy pequeñas de como máximo aproximadamente un microsegundo. Por tanto, en una configuración ventajosa de la invención, las marcas de las señales individuales no son más imprecisas que esta diferencia de tiempo.

Además, la presente invención posibilita analizar nuevas cuestiones respecto a la emisión VLF desde nubes de tormenta. Así, es fundamental para la invención con respecto a la posibilidad de la marcación de altura que el retardo del tiempo de llegada de impulsos, en particular del tiempo de llegada de rayos, se deba al mayor tiempo de propagación con respecto a la fuente de emisión y no se provoque por errores de aparatos u otros errores sistemáticos. A continuación se analizan los cinco posibles efectos más importantes que pueden influir en la determinación de altura:

(i) En primer lugar se podría suponer que tiempos de llegada retardados debido a errores de sistema aparezcan meramente de forma estadísticamente distribuida y no tengan una importancia física. Dado que los retardos en cuestión ascienden, según la distancia con respecto a la fuente de impulso, en particular con respecto al rayo, en la mayoría de los casos a varios microsegundos, se deberían suponer unos errores de tiempo relativamente grandes que se pueden excluir debido a las marcaciones que tienen una precisión demostrable. Además, se esperaría entonces que errores con menores tiempos de retardo aparezcan con una frecuencia mayor y que la distribución de altura resultante aumente mucho hacia cero, a diferencia de los resultados reales con respecto a altura reducidas de la fuente de impulso, en particular con respecto a alturas reducidas de rayos. Un análisis de los intervalos de tiempo entre el tiempo de emisión de impulsos o el tiempo de envío de impulsos determinado, en particular el tiempo de rayo determinado, y los tiempos de emisión de impulsos o tiempos de envío de impulsos que resultan de las estaciones individuales según el tiempo de llegada y el tiempo de propagación con respecto al lugar de la fuente de impulso, en particular con respecto al lugar de rayo, en particular los tiempos de rayo, no dan como resultado según la invención ninguna desviación sistemática de las notificaciones de tiempo de una estación con respecto a la totalidad de las estaciones.

(ii) Retardos de señal en una estación de sensor se pueden producir por efectos electrónicos y pueden estar pronunciados con una intensidad diferente en las diferentes estaciones. Si éste sería el caso, entonces la marcación 3D llevaría en prácticamente todos los casos a alturas de fuente de impulso ficticias diferentes, relacionadas con la estación, en particular alturas de rayos, y no sólo en el caso de una pequeña parte de los grupos de señales. Además, este error se podría descubrir en la comprobación según el punto anterior (i).

(iii) Tiempos de llegada no correctos pueden estar provocados por una evaluación errónea de las señales que llegan; en particular en el caso de impulsos con varios valores extremos significativos o, en el caso de estructuras de doble pico no resueltas, se podría producir una marca de tiempo no correcta. Sin embargo, en el caso de picos con una resolución aún buena, un error de este tipo llevaría por regla general al efecto contrario (- > un tiempo de llegada demasiado temprano en lugar de un tiempo de llegada demasiado tarde), ya que la estación más próxima al impulso, en particular la estación más próxima al rayo, recibe la señal más intensa y por tanto apenas se puede esperar que se suprima el primer pico de señal relevante y, en su lugar, se detecte el segundo pico ("retardado") con respecto a la marca de tiempo. Sin embargo, en el caso de estructuras dobles con una mala resolución, en la estación más próxima al impulso, en particular más próxima al rayo, el máximo se podría situar en la parte posterior con respecto al tiempo, mientras que, en el caso de estaciones más alejadas, la estructura ya no se resuelve y se encuentra un máximo más temprano en el centro del pico global como consecuencia de efectos de atenuación y extensión. La evaluación de señales según la presente invención considera y soluciona problemas de este tipo.

(iv) Los sensores e pueden sobreexcitar en particular en caso de fuentes de impulso próximas, en particular en caso de rayos próximos, y, por tanto, es posible que no notifiquen ninguna marca de tiempo ni dirección de incidencia o que notifiquen marcas de tiempo y direcciones de incidencia falsificadas. Se informa a menudo acerca de redes de posicionamiento existentes que para evitar complicaciones de este tipo no se tienen en cuenta en la evaluación estaciones próximas a la fuente de impulso, en particular estaciones próximas al rayo. Para una marcación 3D se perdería entonces la información más interesante. Las estaciones de recepción según la presente invención están diseñadas por tanto para una resolución elevada de intensidad con un gran intervalo de dinámica – sin volverse resistentes en el caso de las señales más débiles –, y el tratamiento de impulsos también puede procesar de manera fiable señales saturadas. Esto se facilita por que se mide el campo  $B(t)$  y no la derivación  $dB/dt$ , de modo que se omiten procedimientos de integración.

(v) Se conoce bien que "errores de sitio" locales llevan a una falsificación de las direcciones de incidencia medidas; se ha informado menos acerca de los errores de tiempo asociados. Si estos errores de tiempo sobrepasan el intervalo de aproximadamente un microsegundo, lo que parece absolutamente imaginable, entonces no resultarían errores obligatoriamente graves en la localización 2D de la red, pero sí alturas de emisión ficticias en el posicionamiento tridimensional. Un efecto de este tipo aparecería entonces en casi todas las señales y se podría determinar de este modo (véase el punto anterior (i)).

Teniendo en cuenta los hallazgos anteriores, se puede partir en la presente invención de que las marcaciones 3D aquí presentadas señalizan retardos de tiempo de propagación reales que se producen mediante una emisión en las nubes de tormenta en lugar de en proximidad del suelo.

Las alturas determinadas según la invención de las fuentes de impulso, en particular las alturas de rayo, también son compatibles con la geometría de nubes de tormenta típicas. Dado que en general y por buenos motivos se supone que descargas CG, en particular rayos CG, generan en proximidad del suelo la emisión principal en el intervalo VLF, parece lógico concluir que en el caso de las marcaciones 3D se trata de descargas IC negativas y positivas, en particular rayos IC, que presentan una dirección de descarga vertical intensa.

Resulta poco probable que descargas IC o CC orientadas más bien de forma horizontal, por ejemplo, rayos IC o CC, se reciban en varias estaciones con amplitudes según una dependencia  $1/R$  debido a la característica de radiación menos favorable para la técnica de medición aplicada según la invención.

La presente invención contiene, especialmente para fuentes de impulso lineales, también la opción de separar fuentes de impulso, por ejemplo, rayos IC (o CC), en canales de descarga verticales y horizontales, en particular canales de rayo, es decir, la posibilidad de una discriminación de descargas IC(o CC), en particular de rayos IC (o CC), que discurren principalmente de manera vertical u horizontal.

Esto se consigue según la invención por que las amplitudes  $A$  medidas en un número suficiente de estaciones de sensor se comprueban con respecto a su distancia  $R$ :

Si la amplitud  $A(R)$  dependiente de la distancia es compatible con una ley  $1/R$ , y si el evento de impulso, en particular el evento de rayo, se puede clasificar mediante el método 3D como tipo  $I_{[ntra]C[loud]}$  o  $I_{[nter]C[loud]}$ , entonces se trata de un rayo principalmente vertical.

Sin embargo, si se pueden determinar grandes desviaciones con respecto a la ley  $1/R$ , y si se pueden corregir éstas por que la característica de radiación se considera según dos ángulos, por ejemplo, el ángulo de altura y el ángulo entre el eje de emisión de impulsos/eje de envío de impulsos, en particular el eje de rayo, y la dirección hacia el sensor, entonces se trata de un canal de descarga, en particular un canal de rayo, principalmente horizontal.

Las amplitudes  $A(R)$  que dependen de la distancia  $R$  pueden estar atenuadas por una conductividad de suelo variable, lo que puede perturbar una dependencia  $1/R$ . En la presente invención se tiene en cuenta esta circunstancia al analizarse conjuntamente grupos de fuentes de impulso, por ejemplo, de rayos, desde intervalos espaciales estrechos según un perfeccionamiento preferido del presente sistema y del presente procedimiento. Con esta medida técnica opcional se puede determinar si, con el mismo recorrido de propagación o un recorrido de propagación muy similar, los efectos de atenuación aparecen de forma constante o sólo en el caso de impulsos individuales (horizontales), en particular rayos.

Este análisis de grupo mencionado en último lugar se puede realizar de manera conveniente incluso en línea, por ejemplo, cuando la respectiva tormenta proporciona dentro del periodo de tiempo de notificación seleccionado para posicionamientos de impulsos tridimensionales, en particular posicionamientos de rayo, (de por ejemplo un minuto) suficientes rayos desde la misma región. En caso contrario, esta información adicional se puede determinar a través de impulsos horizontales, en particular a través de rayos horizontales, en cualquier caso fuera de línea, esto es, con un análisis posterior.

Resulta interesante en relación con la presente invención además la cuestión en qué medida irradian las descargas tierra-nube ( $G_{[round-]C[loud]}$ ) dirigidas de manera ascendente, por ejemplo, rayos tierra-nube, en el límite inferior de

las nubes. En este sentido resulta útil comprobar los hallazgos obtenidos según la invención a modo de ejemplo mediante sistemas 3D auténticos [véase Defer, E. *et al.* (2000), "*Simultaneous observations of CG activity from NALDN and ONERA-ITF interferometric mapper during the STERAO-A experiment*". In: Int. Lightning Detection Conf., nov. 7-8, Tucson, Arizona (Global Atmospherics Inc.)].

Un perfeccionamiento de la presente invención, esto es, del pseudosistema 3D o del pseudoprocedimiento 3D para determinar alturas de fuentes de impulso, por ejemplo, de alturas de emisión de rayos, en el intervalo VLF con respecto a unas resoluciones de tiempo aún más precisas de lo que están realizadas en la primera fase de la red, y la combinación con análisis de formas de impulsos permite con un despliegue temporal mínimo una discriminación (en línea) más fiable y casi cuantitativa de impulsos CG, en particular de rayos CG, e impulsos IC, en particular rayos IC.

Básicamente, el uso transmitido por la enseñanza según la presente invención de la red de posicionamiento de rayos 2D como pseudored 3D permite la identificación de descargas que se emiten en nubes de tormenta desde una altura elevada.

En una forma de realización ventajosa de la presente invención, el sensor mide realmente la inducción magnética  $B(t)$  directamente como función del tiempo. A este respecto se usa la ley de inducción – tal como está establecido obligatoriamente de forma física. El uso de la ley de inducción lleva, con una aplicación convencional, a una tensión de medición que es proporcional a la derivación  $dB/dt$  de la inducción magnética  $B(t)$  según el tiempo  $t$ .

Sin embargo, una forma de realización conveniente de la presente invención contiene un modo de conexión electrotécnico que en el intervalo de frecuencia seleccionado lleva realmente a  $B(t)$ . Un efecto secundario importante es que de este modo no son necesarios elementos consecutivos para la integración de  $dB/dt$  con respecto a  $B(t)$  (en caso de que hubieran sido necesarios, entonces elementos consecutivos de este tipo a su vez llevarían a imprecisiones adicionales, ya que también se integraría a través de las partes de ruido inevitables). Según la invención, el sistema también está diseñado de modo que se produce al mismo tiempo una sensibilidad de señal extremadamente elevada.

El requisito para la aplicación del sistema y del procedimiento según la presente invención es una determinación con una precisión de aproximadamente un microsegundo, también en el caso de formas de impulsos complejas, en particular formas de impulsos de rayos, de los tiempos de llegada de señal en las estaciones de sensor individuales que se puede conseguir con un uso óptimo de receptores GPS y con un análisis inteligente de impulsos.

Por tanto, según la invención es posible someter una gran parte de los impulsos que se pueden marcar en una red de posicionamiento, en particular rayos, en redes con menores distancias de estación incluso la mayoría de todos los impulsos, en particular rayos, a un análisis 3D y determinar de forma muy directa - sin ninguna suposición teórica y sin ningún parámetro ajustable – si la emisión se realizó en proximidad del suelo.

De este modo se consigue una contribución fundamental a una identificación fiable de forma comprensible de impulsos CG, en particular de rayos CG, también en redes de espacios grandes, sin un despliegue adicional relevante. Esto no afecta en absoluto a las ventajas de sistemas 3D "auténticos", ya que éstos tienen como objetivo unos procesos físicos más básicos así como unas resoluciones de canal de descarga, por ejemplo, resoluciones de canal de rayo, en un espacio menor de lo que es el caso en el mero posicionamiento de rayos aquí tratado.

Tal como ya se expuso al inicio en la exposición de la presente invención, el posicionamiento de fuentes de impulso, en particular el posicionamiento de rayos, se puede realizar mediante mediciones  $V[ery]L[ow]F[requency]$  mediante el método de la marcación de dirección (el denominado " $D[irection]F[inding]$ ") y/o mediante el procedimiento de diferencia de tiempo de propagación (el denominado procedimiento " $T[ime]O[f]A[rrival]$ ").

En la marcación de dirección tradicional (DF = direction finding) se mide en las estaciones de sensor la dirección de incidencia de la radiación electromagnética, en particular la dirección de incidencia de la señal de rayo, y se localiza la fuente de impulso mediante métodos de puntos de intersección, en particular se determina el lugar del rayo. En este método convencional aparecen imprecisiones que se denominan error local o "error de sitio".

En el pasado se han publicado procedimientos para corregir estos errores posteriormente y de este modo aumentar la precisión de posicionamiento. Esto se realiza en la mayoría de los casos por que se realiza un posicionamiento sin un determinado sensor; de este modo resulta del lugar de la fuente de impulso, en particular del lugar del rayo y del lugar de sensor, un ángulo teórico. Este ángulo teórico se compara con el ángulo realmente medido, y de la diferencia se deriva una corrección de ángulo. Mediante una repetición cíclica del procedimiento se puede realizar una optimización. A este respecto se puede recurrir también a determinaciones de lugar  $T[ime]O[f]A[rrival]$  (más precisas).

Los errores de ángulo a corregir están provocados por errores de la estructura de antena así como por efectos como reflexiones o gradientes de conductividad del entorno. Los procedimientos de corrección compensan el error global, en particular cuando no se determina una única corrección de ángulo, sino una función de corrección en función de

los ángulos de incidencia.

En el procedimiento T[ime]O[f]A[rrival] son posibles también de manera correspondiente los dos errores anteriormente mencionados, concretamente

- diferentes tiempos de propagación de las señales en el sistema electrónico de los emplazamientos de sensor individuales y/o
- retardos de tiempo debido al entorno, tal como pueden aparecer, por ejemplo, por diferencias en la conductividad y, con ello, en la velocidad de propagación de señales o por reflexiones y solapamientos como consecuencia de estructuras de terreno no planas.

Hasta el momento no se conoce para ello ningún procedimiento de corrección correspondiente a la corrección D[irection]F[inding] para el método T[ime]O[f]A[rrival].

Debido a la problemática descrita, el sistema del tipo mencionado al inicio así como el procedimiento del tipo mencionado al inicio se deben perfeccionar de modo que se minimizan errores a la hora de determinar el respectivo desarrollo temporal, en particular el respectivo tiempo de llegada y/o el respectivo tiempo de propagación de señales, de las señales detectadas.

Este problema se soluciona mediante un sistema así como mediante un procedimiento en los que al menos una de las estaciones de medición o (estación de) sensor se ajusta y/o se calibra, realizándose esta ajuste y/o este calibrado en lugar de o de manera complementaria a

- la localización de la altura, en particular de la altura de emisión o de la altura de envío, de la fuente de impulso y/o
- la determinación de la direccionalidad, en particular del desarrollo de dirección espacial, de la emisión de impulsos/del envío de impulsos de origen natural y/o no natural, en particular del rayo, de la emisión de carga, del envío de carga o similares.

Este procedimiento de corrección de calibrado y/o ajuste se puede emplear en particular para optimizar y/o para corregir la técnica T[ime]O[f]A[rrival], ya que ofrece una ventaja fundamental con respecto a la obtención de marcaciones de tiempo o marcas de tiempo mejoradas. Mediante este procedimiento de calibrado y/o ajuste se pueden realizar tanto marcaciones de lugar 2D como marcaciones de altura 3D de descargas de rayos con una precisión mejorada.

En una forma de realización ventajosa se localiza en primer lugar la posición, en particular el lugar y/o la altura, de la fuente de impulso, al determinarse, excluyendo la estación de medición a ajustar y/o a calibrar del respectivo desarrollo temporal determinado, en particular del respectivo tiempo de llegada determinado, la respectiva diferencia de tiempo de propagación de impulsos de la misma fuente de impulso con respecto a la respectiva estación de medición.

Además, se calcula el respectivo desarrollo temporal, en particular el respectivo tiempo de llegada, de las señales que proceden de la fuente de impulso localizada y detectadas en la estación de medición a ajustar y/o a calibrar.

Basándose en ello se determina y se prepara de forma estadísticamente relevante la diferencia entre el respectivo desarrollo temporal calculado, en particular el respectivo tiempo de llegada calculado, y el respectivo desarrollo temporal determinado, en particular el respectivo tiempo de llegada determinado, de las señales que proceden de la fuente de impulso localizada y detectadas en la estación de medición a ajustar y/o a calibrar.

Si es necesario, se determina finalmente debido a la respectiva diferencia determinada al menos un término de corrección de tiempo, en particular para localizaciones posteriores y/o para posicionamientos posteriores, y se ajusta y/o se calibra la estación de medición a ajustar y/o a calibrar mediante este término de corrección de tiempo determinado.

El presente procedimiento de ajuste y/o de calibrado se basa de una manera fundamental para la invención en que el análisis de señales en la estación central prepara de forma estadísticamente relevante la detección de la distribución de desviaciones de tiempo entre el tiempo de llegada de señal medido y el tiempo de llegada calculado debido a la marcación realizada de radiación electromagnética, en particular la marcación de rayos realizada, para comprobar a partir de la forma de la distribución determinada el tratamiento de tiempo técnico correcto de los tiempos de propagación de señal y, dado el caso, ajustarlo posteriormente. Tras realizar este procedimiento de comprobación y ajuste se garantiza un uso óptimo de las diferencias de tiempo de propagación para la marcación de altura.

La presente invención se refiere finalmente al uso de al menos un sistema según el tipo anteriormente expuesto y/o de un procedimiento según el tipo anteriormente expuesto para localizar

- la altura de la fuente de impulso, en particular la altura de emisión o la altura de envío, y/o
- la direccionalidad, en particular del desarrollo de dirección espacial, de la emisión de impulsos o del envío de impulsos provocado por la fuente de impulso;

5 en particular, la presente invención se puede emplear con una diferenciación precisa y fiable de emisiones de impulsos o envíos de impulsos, por ejemplo, de descargas, dentro de una nube de tormenta (los denominados rayos [ntra]C[loud]) y/o entre al menos dos nubes de tormenta (los denominados rayos C[loud]C[loud]), con respecto a emisiones de impulsos o envíos de impulsos, por ejemplo, descargas, entre nube y tierra (los denominados rayos C[loud]G[round]), lo que a su vez posibilita una creación fiable en comparación con el estado de la técnica de mapas de densidad de impulsos, por ejemplo, de mapas de densidad de rayos.

El sistema según el tipo anteriormente expuesto y/o el procedimiento según el tipo anteriormente expuesto se pueden emplear para calibrar y/o para ajustar al menos una estación de medición o sensor en redes para el posicionamiento de rayos.

Independientemente de ello o en relación con ello, la presente invención, es decir, el sistema según el tipo anteriormente expuesto y/o el procedimiento según el tipo anteriormente expuesto, se puede utilizar en el ámbito de tiempo real o de corto plazo

- para la predicción y para la localización, en particular para el diagnóstico precoz, de procesos climatológicos y/o meteorológicos, como, por ejemplo, la descarga de rayos, precipitaciones (extremas), tormentas, granizos, huracanes, lluvia (intensa), viento fuerte, temporales, viento o de otros eventos climatológicos y/o meteorológicos especiales,
- para el posicionamiento tridimensional de fuentes de impulso, por ejemplo, de rayos, incluyendo señales débiles para optimizar la predicción y la localización, en particular el diagnóstico precoz, de células de tormenta,
- para detectar centros de señales para la predicción y la localización, en particular para el diagnóstico precoz, de células de tormenta,
- para el análisis de grupos de los datos e información para la caracterización de clases meteorológicas,
- para la extrapolación de trayectos espaciales de tormentas de centros de tormenta detectados y/o
- para obtener información biometeorológica.

### Breve descripción de los dibujos

Tal como ya se analizó anteriormente, existen diferentes posibilidades de configurar y perfeccionar de manera ventajosa la enseñanza de la presente invención. Para ello, por un lado, se hace referencia a las reivindicaciones dependientes de las reivindicaciones 1 y 10, por otro lado, a continuación se explican en más detalle configuraciones, características y ventajas de la presente invención mediante el ejemplo de realización ilustrado mediante las figuras 1 a 8D.

#### Muestra

la figura 1 en una representación esquemática, un ejemplo de realización de un sistema según la presente invención que funciona según el procedimiento según la presente invención;

la figura 2A en una representación esquemática, un ejemplo de realización de una estación de medición del sistema de la figura 1;

la figura 2B en una representación en perspectiva, un ejemplo de realización de una unidad de antena que está asignada a la estación de medición de la figura 2A;

la figura 3 en una representación esquemática, un ejemplo de realización de una estación central del sistema de la figura 1;

la figura 4 en una representación topográfica, un ejemplo de realización de una distribución geográfica de las estaciones de medición y de la estación central del sistema de la figura 1;

la figura 5 en una representación esquemática, el principio del procedimiento según la presente invención, siendo H la altura de emisión de la radiación de rayo V[ery]L[ow]F[requency];

la figura 6 en una representación en diagrama, las señales que se realizan dentro de un intervalo de grados de longitud indicado en el eje horizontal así como dentro de un intervalo de grados de latitud indicado en el eje vertical de descargas atmosféricas evaluadas según el procedimiento según la presente invención;

la figura 7A en una representación en diagrama, el retardo temporal determinado según el procedimiento según la presente invención, indicado en el eje vertical, de los tiempos de llegada de señal como

función de la distancia de observación indicada en el eje horizontal para diferentes alturas de emisión;

- 5 la figura 7B en una representación en diagrama, un primer ejemplo de una distribución de alturas y descargas determinada según el procedimiento según la presente invención (= el número de descargas indicado en el eje horizontal, indicado con respecto a la altura de emisión medida en kilómetros, indicada en el eje vertical);
- 10 la figura 7C en una representación en diagrama, un segundo ejemplo de una distribución de alturas y descargas determinada según el procedimiento según la presente invención (= el número de descargas indicado en el eje horizontal, indicado con respecto a la altura de emisión medida en kilómetros, indicada en el eje vertical);
- 15 la figura 7D en una representación en diagrama, un tercer ejemplo de una distribución de alturas y descargas determinada según el procedimiento según la presente invención (= el número de descargas indicado en el eje horizontal, indicado con respecto a la altura de emisión medida en kilómetros, indicada en el eje vertical); y
- 20 la figura 8 en una representación en diagrama, la distribución indicada en el eje vertical (= el número) de las desviaciones de tiempo determinadas según el procedimiento según la presente invención, indicadas en el eje horizontal (en  $\mu$ s o microsegundos) de las señales de llegada (tiempos negativos significan un retardo de tiempo).

25 Configuraciones, elementos o características idénticos o similares están provistos de números de referencia idénticos en las figuras 1 a 8.

#### **Mejor modo de llevar a cabo la invención**

30 En la figura 1 se representa un sistema 100 que se puede emplea

- tanto para la caracterización de radiación no natural, por ejemplo,
- de señales enviadas mediante un emisor K de un avión M o
- de señales de comunicación móvil,
- como para la caracterización de radiación natural, por ejemplo, de descargas de rayo P.

35 Dado que los principios de procedimiento en los que se basa la medición de emisiones de impulsos o envíos de carga (emisiones de carga) de este tipo son idénticos o al menos análogos para la radiación electromagnética que procede de fuentes de impulso de origen no natural y para la radiación electromagnética que procede de fuentes de impulso de origen natural, el sistema 100 se describe a continuación a modo de ejemplo durante el uso en la

40 medición de rayos.

El sistema ilustrado mediante las figuras 1 a 8, configurado especialmente como disposición de medición de rayos/sferics (= de cierto modo una red de posicionamiento de rayos tridimensional 100), presenta varias, concretamente hasta cien, estaciones de medición individuales 20, 20\* (en la figura 1 se representan a modo de

45 ejemplo cuatro estaciones de medición 20, 20\* de este tipo) así como un dispositivo central o estación central 10.

Tal como se puede deducir de la representación de las figuras 1 y 2A, está dispuesto a cada estación de medición 20, 20\* una antena o un cuerpo de antena 30 (véase la figura 2B) que está diseñado para la medición de campos magnéticos de baja frecuencia.

50 A este respecto se puede ver en la figura 2B que este cuerpo de antena 30 está diseñado en una forma mecánicamente autoportante sin componentes móviles y/o sensibles a la intemperie para colocarse al aire libre. El círculo primario del cuerpo de antena 30 está separado galvánicamente del círculo secundario del cuerpo de antena 30; los campos electromagnéticos de banda ancha se pueden desacoplar con poco ruido y, con ello, se pueden

55 medir con una precisión temporal.

El sistema electrónico de estación 40 dispuesto en la carcasa de la estación de medición 20 o 20\* presenta en primer lugar un amplificador 42 para la amplificación con poco ruido de las señales S o S\* que proceden del cuerpo de antena 30. Una etapa de filtro 44 está conectada aguas abajo del amplificador 42. La señal S\* filtrada mediante la

60 unidad de filtro 44 se somete entonces a una digitalización de señal en la unidad 46.

Mediante el amplificador con poco ruido 42 y la etapa de filtro 44 se puede realizar un procedimiento de alisamiento y optimización de las señales S o S\*, lo que constituye una ventaja fundamental debido a la problemática expuesta a

65 continuación.

En señales con una gran amplitud y con una forma sencilla no perturbada se puede realizar de manera relativamente sencilla la determinación de un tiempo de llegada característico. Sistemas convencionales según el estado de la técnica se refieren, con respecto a su aplicación - a diferencia de la presente invención - sólo a casos de formas de curva lisas y sólo buscan el máximo de la respectiva señal.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, las señales S o S\* que en la práctica llegan a los sensores 20 o 20

- son pequeñas,
- tienen estructuras propias, a menudo complejas e irregulares y
- están solapadas con partes de ruido.

De este modo se vuelve más difícil obtener una marcación de tiempo clara, en particular cuando la señal S o S\* es débil y se sitúa cerca del umbral inferior de demostración.

En particular, entonces la búsqueda del (único) máximo absoluto de la señal en diferentes sensores lleva de manera convencional a imprecisiones que independientemente del uso de los patrones de tiempo más precisos, como, por ejemplo, el método G[lobal]P[ositioning]S[y]stem], en la mayoría de los casos, son claramente superiores a un microsegundo. En casos frecuentes, la dificultad o la imprecisión de una búsqueda convencional del máximo lleva finalmente a que se descarte toda la señal.

Para eliminar los problemas anteriormente mencionados, en el sistema 100 según la figura 1 en relación con la figura 2A, las amplitudes de señal que se sitúan de manera principal aunque no exclusiva en torno de un máximo, se someten a un procedimiento de alisamiento y optimización con el que se pueden compensar irregularidades en el desarrollo de señal.

Los algoritmos correspondientes se basan fundamentalmente en procedimientos estandarizados, sin embargo,

- están adaptados con respecto al tipo de la aplicación a las condiciones especiales del sistema 100 y
- están optimizados matemáticamente con respecto a un tiempo de cálculo corto.

De este modo se vuelve posible marcar también señales débiles, irregulares y con ruido con una precisión de tiempo aún suficiente.

Además, en el sistema 100 según la figura 1 en relación con la figura 2A no sólo el pico más grande de una señal S o S\* se somete al procedimiento de alisamiento y optimización anteriormente expuesto; más bien se analiza toda la estructura de señal situada por encima del umbral de ruido según este procedimiento de alisamiento y optimización. De este modo puede estar disponible para cada señal S o S\* individual en función de la forma de impulso global realmente existente una pluralidad de informaciones de tiempo o estructura.

Con respecto al sistema electrónico de estación 40 cabe señalar que entre la unidad de digitalización 46 y una unidad de almacenamiento 50 prevista para almacenar los datos e información D o D\* procesados por el sistema electrónico de estación 40 está conectado un P[ersonal]C[omputer] (ordenador personal) 22. En el software de evaluación central del P[ersonal]C[omputer] 22 se compensan las estructuras de la información de tiempo determinadas según el procedimiento descrito de alisamiento y optimización.

En este contexto cabe tener en cuenta que de manera convencional sólo está disponible una marca de tiempo para la señal de sensor, de modo que en el estado de la técnica puede aparecer una inclusión (accidental) de señales parásitas simultáneas.

Para evitar este inconveniente, las propiedades de análisis de la evaluación central están diseñadas con respecto al procedimiento de alisamiento y optimización de modo que las informaciones múltiples en forma de estructuras de tiempo dado el caso existentes son lo suficientemente compatibles entre sí en las señales de sensor individuales, es decir, dentro de un grupo de señales que pertenece al mismo rayo, debido a la detección y marcación precisas del tiempo.

Mediante el uso preferido según el sistema de marcas de tiempo múltiples y/o estructuras de tiempo múltiples

- se aumenta la precisión de la marcación de tiempo de señal y
- se reduce considerablemente la probabilidad de una inclusión (no deseada) de una señal parásita, por ejemplo, de origen técnico, con otras estructuras de tiempo,

de modo que el análisis siguiente no lleva a una marcación errónea.

Partiendo de la disposición de almacenamiento 50 se puede realizar finalmente a través de una conexión 60 configurada básicamente de manera bidireccional una transmisión de parámetros seleccionados de las señales S o S\* a la estación central 10.

En la figura 3 se representa la estructura de la estación central 10. La grabación en línea de sferics se realiza en diferentes intervalos de amplitud y tiempo en dos sistemas de grabación separados 40, 40'. Para ambos sistemas de grabación 40, 40' está disponible una base de tiempo G[lobal]P[ositioning]S[y]stem 38 muy precisa con una precisión de aproximadamente trescientos nanosegundos. Para todos los demás componentes individuales de la red de estación local se proporciona el tiempo GPS a través de un servidor de datos central 70.

El primer sistema de grabación 40 configurado como sistema electrónico de estación (véase para ello también la figura 2A) sirve para detectar los denominados sferics estandarizados y no sólo forma parte de la estación central 10 sino también de todas las estaciones de medición 20 o 20\*. La grabación de las amplitudes de campo se realiza en este caso respectivamente durante un intervalo de tiempo de 512 microsegundos en un intervalo de amplitud de la intensidad de campo magnética hasta seis nanoteslas.

Si se cumple la condición de disparo específica para una componente de la señal S o S\*, se congela el tiempo de evento GPS en un registro de hardware. Tras finalizar la digitalización se calcula a partir de la relación de los desarrollos de campo magnético que dependen del tiempo el vector de campo magnético y se visualiza su valor en función del tiempo, es decir, la ubicación de esférico actual, en una pantalla o monitor 72.

El vector de campo magnético indica la dirección de incidencia de la señal S o S\* con una incertidumbre de 180 grados. Si también está disponible el desarrollo temporal de la amplitud de campo eléctrica, entonces se puede determinar de manera relativamente exacta la dirección de incidencia. Esta dirección de incidencia se almacena junto con el momento de disparo y el desarrollo temporal del valor de campo magnético en el servidor de datos central 70. Adicionalmente, se realiza una F[ast]F[ourier]T[ransformation] (transformada rápida de Fourier) 74 de la señal S o S\* con una visualización en línea.

Para intereses de la investigación de rayos mediante disposiciones de medición en el intervalo V[ery]L[ow]F[requency] (la denominada investigación aplicada de esféricos) está instalado en la estación central 10 un segundo sistema de grabación 40' que graba en cada caso amplitudes

- para un intervalo de tiempo de 512 microsegundos así como
- para un intervalo de tiempo de 655 milisegundos

en un intervalo de intensidad de campo hasta sesenta nanoteslas.

Por tanto, con este segundo sistema de grabación 40' se pueden detectar tanto los respectivos primeros eventos de una posible secuencia de rayos parciales durante un intervalo de tiempo de 512 microsegundos como toda la estructura temporal de impulsos parciales dentro de un rayo P. La grabación de las señales S o S\* intensas que proceden del intervalo cercano se realiza por tanto al mismo tiempo en dos ventanas de tiempo diferentes con una diferente resolución temporal:

Además de la ventana de tiempo estándar de 512 microsegundos (véase la primera unidad de grabación 40) que en general graba la señal S o S\* generada por el primer rayo parcial (= la denominada "First Return Stroke" (primera carrera de retorno)) con una resolución elevada, se detecta la secuencia temporal de las carreras individuales en una ventana de tiempo de 655 milisegundos (puntos de apoyo temporales de dieciséis kilobits).

La sensibilidad se puede reducir debido a las señales S o S\* intensas en general, de modo que en la segunda unidad de grabación 40' resulta un intervalo de medición de hasta aproximadamente sesenta nanoteslas. El momento de disparo, la dirección de incidencia así como ambos desarrollos de señal digitalizados se almacenan a su vez de forma central en el servidor 70.

El segundo sistema de grabación 40' en la estación central 10 permite por tanto observar eventos en dos ventanas de tiempo diferentes con una resolución diferente. De este modo se pueden grabar tanto la secuencia temporal de las carreras en un evento de rayo como los esféricos provocados por las carreras individuales con una resolución alta.

Mediante la unidad de comunicación 76 todos los datos e información D o D\* necesarios se pueden consultar por las estaciones de medición 20 o 20\* externas y se pueden almacenar en el servidor central 70. Para determinados datos estandarizados esto tiene lugar de manera completamente automática en momentos fijados; conjuntos de datos especiales se pueden transmitir manualmente.

Además, mediante la unidad de comunicación 76 también se atiende a peticiones de datos desde fuera; para ello están disponibles un servidor f[ile]t[ransfer]p[rotocol] (de protocolo de transferencia de archivos) así como un buzón electrónico. Todas las estaciones de medición 20 o 20\* están conectadas a través de un modem 76m y una línea conmutada 76w a la estación central 10.

Para poder examinar los datos de esféricos obtenidos con respecto a correlaciones con parámetros meteorológicos es necesaria información de tiempo Q. Para ello están disponibles fundamentalmente dos fuentes, concretamente

- un receptor Meteosat 16 que siempre visualiza y archiva las imágenes de satélite actuales, así como
- el buzón electrónico 18 de un servicio meteorológico que a través de una línea conmutada posibilita el acceso a mapas meteorológicos de suelo, a mapas meteorológicos de radar o similares.

Mediante una pantalla o un monitor se visualizan por tanto en línea imágenes de satélite, los mapas meteorológicos de suelo, los mapas meteorológicos de radar y similares (= número de referencia 78 en la figura 3). Tal como se puede deducir finalmente de la representación según la figura 3, sitios de trabajo 80 para el análisis de datos (en la figura 3 a modo de ejemplo tres sitios de trabajo) están conectados al servidor central 70 [= servidor de archivos, servidor de tiempo GPS (servidor network)].

Las funciones fundamentales para la invención de la estación central 10 consisten en

- evaluar los datos e información D o D\* transmitidos por las respectivas estaciones de medición 20 o 20\*, en particular también a tasas elevadas y/o en particular también sin una pérdida temporal y
- proporcionar avisos graduados y/o completamente automáticos con respecto a procesos climatológicos y/o meteorológicos, en particular con respecto a tormentas.

En el sistema de posicionamiento de rayos 100 según la invención se ha logrado diseñar todos los componentes fundamentales de forma especialmente eficaz, dándose importancia a la sencillez y la minimización de costes. Las propiedades fundamentales se exponen brevemente a continuación:

Los sensores para la radiación V[ery]L[ow]F[requency] de rayos son dos bobinas sencillas dispuestas de forma cruzada con las que se mide el flujo magnético B(t) desde los dos componentes B<sub>x</sub>(t) y B<sub>y</sub>(t) del campo de rayo como consecuencia de un dimensionamiento de sistema adecuado (véase la figura 2B).

Una reproducción lo suficientemente precisa del desarrollo temporal de los impulsos que llegan se da en el intervalo de casi diez kilohertzios hasta aproximadamente cuatrocientos kilohertzios. A partir de la relación de los componentes de campo magnéticos B<sub>x</sub> y B<sub>y</sub> se puede determinar la dirección de incidencia de la radiación de rayo. El sensor VLF funciona de manera pasiva y no requiere una alimentación de corriente eléctrica.

Para la marcación de tiempo se utiliza un receptor G[lobal]P[ositioning]S[y]stem habitual en el mercado, montado por separado, con el que se puede fijar exactamente el tiempo de llegada de señal con una precisión de aproximadamente un microsegundo; esta precisión es importante para el funcionamiento correcto y para la eficacia de las marcaciones.

Los datos de sensor se introducen en un P[ersonal]C[omputer] habitual en el mercado con una tarjeta de módulo especialmente desarrollada para la digitalización y el procesamiento previo.

La tasa de exploración para la digitalización de señales está ajustada a un megahertzio. Señales entrantes se detectan de forma continua y se analizan de forma paralela, de modo que también en caso de tasas extremadamente elevadas no se produce una pérdida. La tasa de procesamiento máxima se sitúa a más de mil señales por segundo.

Mediante una exploración continua y el uso de un circuito de procesamiento paralelo, el sensor 20, 20\* mide sin tiempo muerto. De este modo, el sensor 20, 20\* puede procesar unas tasas de transmisión de datos claramente mayores de lo que es el caso en sistemas convencionales según el estado de la técnica. En sistemas convencionales no se puede reaccionar frente a señales adicionales tras una detección de señales durante un determinado tiempo (de procesamiento), por lo que se produce una pérdida de datos con tasas de transmisión de señales elevadas.

Dado que el sistema 100 según la presente invención puede procesar unas tasas de transmisión de datos claramente mayores en comparación con el estado de la técnica, son posibles dos propiedades consecutivas:

- Señales se pueden medir de forma más temprana temporalmente, por lo que se posibilita un diagnóstico precoz fiable de tormentas; y
- la forma de células de tormenta se vuelve claramente más visible, ya que debido a la alta sensibilidad de aproximadamente un orden de magnitud (= aproximadamente por el factor diez) se detectan más señales que en sistemas según el estado de la técnica. De este modo se vuelven más visibles los contornos de célula y se posibilita un uso meteorológico novedoso de los datos. En particular, estos datos son adecuados debido a su gran número para la introducción en otras aplicaciones meteorológicas, como, por ejemplo, para un refinamiento y un uso de previsiones mediante la técnica M[odel]O[utput]S[tatistics] (de estadísticas de salida de modelos).

Con respecto a cada señal se forma un paquete de datos compacto que se transmite por una línea telefónica a una centralita; debido al ancho de banda D[aten]F[ern]Ü[bertragung] (de telecomunicación de datos) sólo se pueden transmitir realmente de forma aproximada cien señales por segundo, lo que sin embargo también demuestra ser suficiente en el caso de las tormentas más intensas, de modo que funciones de almacenamiento intermedio sólo se

requieren pocas veces.

Todos los impulsos digitalizados  $B_x(t)$  y  $B_y(t)$  se archivan en cada estación y se consultan durante tiempos con poca actividad, es decir, en la mayoría de los casos, por la noche, para que sean útiles para fines de investigación y desarrollo.

Los sensores 20, 20\* (véase la figura 2A) están montados, por ejemplo, en seis emplazamientos en el sur de Alemania (véase la figura 4) a una distancia media de aproximadamente 115 kilómetros, funcionan en una operación permanente y envían datos a la centralita 10 (véase la figura 3).

El ordenador central es también un P[ersonal]C[omputer] habitual que está equipado con software para la organización de datos y para la marcación de rayos y está diseñado para una operación continua. También redes más grandes se pueden operar según la invención con un P[ersonal]C[omputer] equipado de manera adecuada debido a los modos operativos y soluciones de software diseñados de manera eficaz, de modo que no son necesarias medidas adicionales nuevas y/o complicadas para la aplicación de la presente invención.

Basándose en el principio de la presente invención ilustrado mediante la figura 5, según el que se puede localizar

- la altura de emisión H y/o
- la direccionalidad C, es decir, el desarrollo de dirección espacial

de una descarga de rayo P cuando se puede determinar la desviación del tiempo de llegada de la señal S en la estación de medición 20 más próxima a la descarga de rayo P con respecto al tiempo de llegada de la señal correspondiente S\* en, por ejemplo, tres estaciones de medición 20\* no próximas a la misma descarga de rayo P (véase la figura 1), se representan como ejemplo práctico rayos medidos en la zona de vigilancia con longitudes de 9,5 grados hasta 13,3 grados y con latitudes de 47 grados hasta 49,8 grados en la figura 6.

Se trata de algo más de 14.000 rayos incluyendo rayos parciales que se detectaron en al menos tres sensores 20, 20\*. Marcaciones con sólo dos sensores 20, 20\* no están contenidas y aumentarían adicionalmente el número global de eventos: sin embargo, la inclusión de estos datos requiere, por motivos de evitar marcaciones erróneas, una corrección previa de las direcciones de marcación con respecto al denominado "error de sitio" que sólo se puede realizar tras una evaluación global de datos de temporada.

Los datos de la red 100 según la presente invención presentados en las figuras 6 a 8 están marcados en sí de forma consistente y muestran una estructura meteorológicamente razonable evidente. Surge ahora la cuestión acerca de cómo se debe realizar la distribución en rayos C[loud]G[round] y en rayos I[ntra]C[loud].

La literatura existente para la discriminación de rayos CG e IC es contradictoria y no se debe entrar más profundamente en la misma aquí. De todas maneras, esta cuestión aún se puede considerar como abierta, pudiéndose esperar una mayor claridad de análisis de formas de impulsos que aún prosiguen con una resolución temporal mejorada.

Por consiguiente se amplía la red 2D según la enseñanza de la presente invención, concretamente en forma del uso de esta red 2D como pseudored 3D, por lo que se realiza una detección precisa de los tiempos de señal, en particular de los tiempos de propagación de señal, en las estaciones de sensor 20, 20\* individuales.

De este modo se da la posibilidad de realizar marcaciones tridimensionales en caso de rayos lo suficientemente próximos a la estación. El esquema se muestra en la figura 7A, mientras que las figuras 7B, 7C y 7D exponen la sensibilidad correspondiente para marcaciones de altura:

Así, en la figura 7A se representa el retardo esperado de los tiempos de llegada de las señales S, S\* (en microsegundos:  $\mu s = \mu sec$ ) como función de la distancia (de observación) (en kilómetros) para diferentes alturas de emisión H, concretamente

- para una altura de emisión H de cinco kilómetros (= curva más inferior),
- para una altura de emisión H de 7,5 kilómetros (= segunda curva más inferior),
- para una altura de emisión H de diez kilómetros (= curva media),
- para una altura de emisión H de 12,5 kilómetros (= segunda curva más superior) y
- para una altura de emisión H de quince kilómetros (= curva más superior).

La figura 7B muestra la distribución (= el número indicado sobre el eje horizontal) de las alturas de emisión H indicadas sobre el eje vertical, medidas en kilómetros, de 951 rayos que se marcan en un perímetro de hasta aproximadamente sesenta kilómetros alrededor de tres estaciones de medición. Se muestra un máximo de emisión a una altura H de poco menos que diez kilómetros.

A este respecto, al menos tres estaciones de medición adicionales han detectado los rayos. En total se han marcado durante el mismo periodo de tiempo 6.929 rayos en cuatro o más estaciones de medición; además existen aproximadamente 7.800 marcaciones con tres estaciones de medición que sólo permiten marcaciones 3D utilizando adicionalmente direcciones de marcación.

En las figuras 7C y 7D se muestra en cada caso una distribución de alturas de rayos correspondiente, es decir, una distribución de la altura de emisión H de rayos marcados de forma tridimensional durante una tormenta en momentos diferentes de los mostrados en la figura 7B. Resulta un máximo de emisión

- a una altura H de entre seis y siete kilómetros (véase la figura 7C) o
- a una altura H de aproximadamente diez kilómetros (véase la figura 7D).

Los datos representados no contienen rayos de suelo.

Según la presente invención, con una supuesta resolución temporal de los tiempos de llegada de rayo de aproximadamente un microsegundo es posible una marcación de altura al menos en el intervalo de distancia de hasta aproximadamente cien kilómetros.

Los resultados de las evaluaciones que se basan en ello están representados a modo de ejemplo en las figuras 7A a 7D. Resulta que el centro de la radiación V[ery]L[ow]F[requency] de descargas en muchos casos no se sitúa en proximidad del suelo sino a una altura mayor dentro de las nubes de tormenta.

Ahora se deben cuestionar más en detalle el método según la presente invención así como sus resultados para poder valorar mejor la relevancia y la fiabilidad.

Si el procedimiento se ilustra mediante un ejemplo concreto que es típico de las marcaciones de altura aquí presentadas, entonces se puede recurrir a un rayo extraordinariamente intenso al que 251 milisegundos después sigue una única descarga más débil en el mismo lugar.

La **tabla 1** enumera los datos fundamentales del procedimiento de marcación con respecto a este resultado, concretamente los datos de marcación del rayo principal con el rayo consecutivo que ocurre **251** milisegundos después:

|                  | Longitud | Latitud | Tipo |
|------------------|----------|---------|------|
| Rayo principal   |          |         |      |
| Marcación 3D     | 11,1832  | 47,1962 | CC   |
| Marcación 2D     | 11,1889  | 47,1965 | -    |
|                  |          |         |      |
| Rayo consecutivo |          |         |      |
| Marcación 3D     | 11,1846  | 47,1974 | CC   |
| Marcación 2D     | 11,1909  | 47,1979 | -    |

Las desviaciones indicadas se aplican con respecto a la marcación mencionada en primer lugar; la calidad interior del resultado de marcación conseguido con datos de seis estaciones según la presente invención mejora considerablemente al pasar de la marcación bidimensional a la marcación tridimensional.

Cuando el posicionamiento de rayos se realiza sin tener en cuenta alturas de emisión, entonces resulta un posicionamiento aceptable con respecto a la calidad, sin embargo, el error de marcación es mayor de lo que sería de esperar por promedio.

Una inspección de los tiempos de rayo detectados en todas las seis estaciones de la red muestra que el tiempo de llegada en la estación en cuestión está retardado con respecto al tiempo esperado de la red global y a diferencia de los errores de tiempo correspondientes de las otras cinco estaciones de manera atípica por casi siete microsegundos.

Si ahora se conecta según la invención el efecto 3D y se realiza una nueva marcación con la altura de rayo como parámetro adicional a optimizar, entonces se obtiene un resultado global fundamentalmente más coherente. La altura de emisión nueva introducida y optimizada resulta a 15,7 kilómetros con un error estadístico de 3,5 kilómetros. Si también se analiza el rayo consecutivo completamente independiente, entonces se obtiene un lugar de rayo casi idéntico con una altura de emisión de  $16,4 \pm 3,5$  kilómetros.

El modo de proceder descrito se aplica a todos los datos considerados y proporciona en cada caso resultados comparables. Para diseñar la marcación 3D con la mayor fiabilidad posible existe la posibilidad de recurrir sólo a casos en los que se miden descargas en al menos cuatro estaciones de sensor.

Sin embargo, según la invención también es posible realizar una marcación 3D con una precisión suficiente mediante señales más débiles que están detectadas en sólo tres estaciones incluyendo las direcciones de incidencia en el procedimiento de optimización.

- 5 La tabla 2 muestra el número de los rayos marcados de forma tridimensional (= señales detectadas) en el perímetro alrededor de una estación de medición, por ejemplo, alrededor de la estación central 10 y los compara con el número total en la red según la presente invención (R designa al radio de perímetro, Ns al número de las estaciones usadas respectivamente para marcaciones bidimensionales; por debajo de "H>0" están numeradas las señales S o S\* marcadas de forma tridimensional con al menos cuatro estaciones de medición 20 o 20\* con grandes alturas de emisión H; se considera una zona de vigilancia ejemplar con grados de longitud entre 9,5 grados y 13,3 grados y con grados de latitud entre 47 grados y 49,8 grados):

| R (km)      | Ns>=3  | Ns>=4  | H>0   |
|-------------|--------|--------|-------|
| 20          | 365    | 173    | 36    |
| 30          | 1.459  | 718    | 202   |
| 40          | 5.254  | 2.788  | 540   |
| 50          | 9.088  | 4.851  | 679   |
| 60          | 13.508 | 7.098  | 711   |
| Zona global | 60.327 | 36.909 | 2.114 |

- 15 Un hallazgo se puede detectar en el sentido de que de las señales registradas en la red según la presente invención sólo una parte notable se puede asignar a lugares de emisión situados más altos.

Según la invención, con el presente sistema 100 así como con el procedimiento en que se basa este sistema 100 también se puede realizar una diferenciación o separación de rayos de nube (= descargas P dentro de una nube W y/o entre al menos dos nubes W) con respecto a rayos de tierra (= descargas P entre la nube W y la tierra E).

20 Así, en la figura 8 se puede identificar la curva simétrica en el punto cero de tiempo (= sin desviación temporal) como curva de rayo de suelo o curva de rayo de tierra, es decir, la curva simétrica en la figura 8 muestra los 4.450 rayos de suelo que no se pueden someter a una marcación de altura (C[loud]G[round] \*0,26).

25 Las cuatro curvas adicionales representadas en la figura 8 proceden de los rayos de nube, significando los tiempos negativos un retardo de tiempo; éstos están indicados para cuatro intervalos de distancia diferentes entre el rayo y la estación de sensor, concretamente

- 30 - para el intervalo de distancia de hasta veinte kilómetros (= curva de rayo de nube con el pico más bajo en la figura 8),
- para el intervalo de distancia entre veinte y cuarenta kilómetros (= curva de rayo de nube con el tercer pico más bajo en la figura 8),
- para el intervalo de distancia entre cuarenta y sesenta kilómetros (= curva de rayo de nube con el cuarto pico más bajo en la figura 8) y
- 35 - para el intervalo de distancia de más de sesenta kilómetros (= curva de rayo de nube con el segundo pico más bajo en la figura 8).

En total se representa en la figura 8 una distribución de 2.247 desviaciones de tiempo determinadas de la respectiva estación más próxima al rayo con 6.697 rayos marcados en total.

40 En resumen, la presente invención se refiere a un sistema así como a un procedimiento para detectar rayos que no sólo tiene una eficacia elevada sino también ofrece la posibilidad fundamental para la invención de realizar una diferenciación tridimensional de descargas dentro de una nube y descargas entre nube y suelo:

45 Durante los veinte últimos años se han desarrollado sistemas para la localización de rayos para fines comerciales principalmente en EEUU, aunque también en Francia y en Japón; este desarrollo culminó en el establecimiento de la red de demostración de rayos norteamericana (N[orth]A[merican]L[ightning] D[etection]N[etwork]) en el año 1989. Desde entonces se han realizado diferentes mejoras, y la técnica se introdujo en muchos países.

50 Según el estado de la técnica al que se recurre habitualmente, analizado al inicio

- se informa acerca de eficacias con respecto a demostraciones de rayos que ascienden aproximadamente a un noventa por ciento,
- 55 - las precisiones de localización alcanzadas son mejores que un kilómetro y
- se denomina la diferenciación IC-CG mediante criterios de forma de onda como casi perfecta.

Densidades de rayos de suelo se calculan a partir de resultados operativos y deben representar datos importantes para tecnologías de protección contra rayos.

Para redes modernas se ha comprobado de manera convencional la posibilidad de una localización de rayos precisa sobre todo mediante mediciones que contienen rayos en torres de radio, no obstante, la eficacia de demostración y el procedimiento para diferenciar una descarga IC con respecto a una descarga CG sigue siendo un asunto absolutamente dudoso; así, al principio se desarrollaron redes que sólo debían indicar descargas CG que posiblemente causan daños en el suelo, mientras que descargas IC se suprimieron mediante métodos no publicados en detalle.

Si bien es cierto que supuestamente se puede usar el tiempo de aumento y el tiempo de paso por cero de pico de los impulsos VLF demostrados; sin embargo, en el pasado, los parámetros de diferenciación relevantes se han sometido de forma repetida a cambios. En los últimos años se halló finalmente que descargas IC son relevantes al menos desde el punto de vista meteorológico, y, por tanto, redes modernas también indican los resultados de rayos IC demostrados.

Por consiguiente, según la invención se da una opción tridimensional de determinar alturas de emisión así como de realizar una diferenciación en línea de descargas C[loud]G[round] o G[round]C[loud] a diferencia de o en comparación con descargas I[ntra]C[loud] o C[loud]C[loud]:

la nueva red de posicionamiento de rayos según la presente invención que se puede pasar a la operación permanente y que, por ejemplo, en el sureste de Alemania cubre una región de aproximadamente 300 kilómetros por 400 kilómetros, posibilita analizar la actividad de rayo grabada en particular con respecto a la apariencia de fuertes tormentas y realizar una comparación con datos de redes de posicionamiento de rayos establecidas.

Los resultados más notables se pueden resumir de la siguiente manera:

- En comparación con redes convencionales según el estado de la técnica, la red según la presente invención indica más descargas hasta un orden de magnitud; la mayoría de las señales adicionales tienen una menor amplitud.
- Para la diferenciación de descargas dentro de una nube (I[ntra]C[loud]) con respecto a descargas nube-suelo (C[loud]G[round]) se aplica una nueva técnica tridimensional; esto significa, entre otras cosas, que la diferenciación convencional realizada mediante criterios de forma de onda de descargas IC y descargas CG se debe modificar según la presente invención, no en último lugar por que la mayoría de los resultados localizados eran rayos de suelo.
- En comparación con el estado de la técnica también se deben someter las densidades de rayos de suelo a una revisión con una tendencia a cantidades mayores.

La red según la presente invención comprende, por ejemplo, seis estaciones de sensor y está diseñada de modo que mide la mayor cantidad posible de actividad V[ery]L[ow]F[requency] que se produce a partir de tormentas inminentes; en la presente invención está implementado un procesamiento de datos altamente eficaz y moderno para maximizar el rendimiento relevante desde el punto de vista meteorológico y para determinar posibles oportunidades de mejores datos e información con respecto a fines de aviso precoz.

Como resultado, mediante la presente invención se pueden acumular descargas de rayo en cantidades mucho más grandes de lo esperado. Una comparación con los datos de redes convencionales muestra un exceso de un factor de tres a diez, de modo que se vuelve posible una detección mucho mejor de células de tormenta y contornos de tormenta. Estos resultados llevan a la cuestión respecto a desde dónde vienen los aciertos adicionales y dan motivos para un análisis detallado de los procedimientos para diferenciaciones IC-CG.

Dado que el método conocido por el estado de la técnica de analizar criterios de forma de onda es muy complejo, se aplica según la invención el procedimiento más directo de la localización 3D que no requiere ni suposiciones de ningún tipo ni parámetros a adaptar de ningún de tipo.

De manera sorprendente para el experto en la técnica, esta técnica según la invención, que hasta el momento no se ha aplicado en ninguna otra red, resulta muy exitosa y permite la identificación de rayos IC en casi el 85 por ciento de todos los casos. El principio de este método se representa a continuación:

Cuando un sensor que se encuentra lo suficientemente cerca de una descarga detecta un evento IC (a diferencia de una expansión horizontal en el caso de una tormenta CG), entonces este sensor recibe la señal VLF con un retardo de tiempo  $dT = T_P - T_H$  (véase la figura 5). Una altura de emisión de diez kilómetros provoca, por ejemplo, con una distancia de sensor de cincuenta kilómetros, un retardo de aproximadamente tres microsegundos.

Dado que la precisión de mediciones basadas en GPS de los tiempos de llegada se sitúa habitualmente en el orden de magnitud de un microsegundo o mejor, es posible una diferenciación 3D de rayos IC, siempre que la distancia media de los sensores de red con respecto al evento de descarga no sea demasiado grande.

5 La aplicabilidad del método 3D a una red previamente establecida se puede determinar mediante un análisis de la distribución del retardo de tiempo  $P(dT)$  que se obtiene por el respectivo sensor que está situado más próximamente al rayo localizado. En este contexto, la localización incluye que la descarga se debe demostrar con un número suficiente de estaciones de sensor.

10 En ausencia de descargas IC,  $P(dT)$  es una distribución altamente simétrica, mientras que la existencia de descargas IC demostrables provoca un desplazamiento de la distribución  $P(dT)$  hacia tiempos negativos (de manera correspondiente a un retardo temporal) (véase la figura 8).

15 En vista de estas últimas circunstancias, la altura de emisión  $H$  se puede introducir como parámetro adicional en el algoritmo de localización. Las distribuciones experimentales  $p(dT)$  según la presente invención son realmente asimétricas y proporcionan resultados típicos. Las alturas de emisión derivadas de algunos kilómetros parecen razonables, no pueden resultar de descargas CG y por consiguiente constituyen descargas IC.

20 En un perfeccionamiento fundamental para la invención se usan simulaciones de red para conseguir que los resultados según la presente invención se vuelvan más resistentes:

Así, se deforman estadísticamente tiempos de llegada calculados hasta que la precisión de toda la localización para la red se ajuste a los resultados reales y, de este modo, se sitúa entre medio kilómetro en el centro y un kilómetro en proximidad del límite de red.

25 Cuando no se suponen descargas IC, entonces los desplazamientos de tiempo artificiales dan como resultado en aproximadamente un quince por ciento identificaciones IC "falsas", mientras que, al suponer un cien por ciento de descargas IC con la supuesta distribución de altura, se detecta un 85 por ciento.

30 Un análisis de los casos ejemplares de datos reales según la presente invención aclara que menos de un treinta por ciento de los eventos se puede asignar a descargas IC. Como consecuencia se debe exponer que la mayor parte de los eventos detectados adicionalmente son descargas CG.

Diferentes conclusiones de los resultados según la presente invención requieren una consideración adicional:

- 35 - Se proporciona una nueva técnica para diferenciaciones IC-CG que en principio puede realizar cualquier red de localización moderna y que proporciona una nueva entrada con respecto a la investigación física de nubes.
- 40 - Los resultados según la presente invención se pueden usar para comprobar y mejorar los criterios de forma de onda conocidos en sí anteriormente mencionados; cabe esperar que una combinación de los dos procedimientos de como resultado una diferenciación IC-CG muy fiable.
- La apariencia de un gran número de eventos adicionales requiere una actualización de las eficacias de demostración de redes.
- 45 - El aumento que se puede obtener según la invención de descargas CG requiere una actualización de los mapas de densidades de rayos de suelo.

50 Con los resultados de la presente invención se pueden comprobar los criterios de forma de onda con respecto a una base de datos mucho más grande que hasta el momento; también se garantiza según la invención una optimización de la eficacia de demostración, una comparación con datos VHF de otros sistemas de investigación 3D altamente especializados y un análisis de los procesos con respecto a descargas IC.

55 Finalmente, la aplicación del análisis de señales según la invención permite el uso de impulsos de rayo débiles y conformados de forma irregular y posibilita en todos estos casos una detección de tiempo lo suficientemente exacta. Tal como se puede demostrar, esto lleva a una mejora considerable de la eficacia de demostración de la red de medición de rayos así como, además de una marcación de lugar bidimensional fiable, a una marcación de altura unívoca de emisiones de rayo en el intervalo VLF.

60 De forma complementaria a esta marcación de lugar bidimensional y/o a esta marcación de direccionalidad o marcación de altura tridimensional también se puede ajustar y/o calibrar según la presente invención al menos una de las estaciones de medición 20 o 20°, por lo que se consigue una detección de tiempo mejorada.

Un procedimiento (de corrección) de calibrado de este tipo presenta de manera ventajosa las siguientes etapas.

65

- a) la localización bidimensional de rayos se realiza sin incluir la estación 20 o 20\* a calibrar  
b) se determina el tiempo de propagación desde el lugar de rayo hasta la estación 20 o 20\* en cuestión  
c) se compara el tiempo de llegada de señal así determinado con el tiempo de llegada realmente medido;  
d) se crea una estadística acerca de las diferencias de tiempo determinadas en la etapa c);  
5 e) en caso de un calibrado correcto, la diferencia debería presentar el valor medio cero y oscilar en torno de cero;  
f) resulta en general que dicha diferencia tiene una tendencia o hacia valores positivos o hacia valores negativos;  
esta diferencia es el término de corrección de tiempo;  
g) sin embargo, se debe estar atento y considerar mediante medidas adecuadas que un retardo de señal no se  
provoca por rayos nube-nube (véase más adelante) o se detecta como tal;  
10 h) en los siguientes posicionamientos se debe aplicar la diferencia promediada de la etapa f) como corrección de  
tiempo;  
i) dicha corrección también se puede determinar en función de la dirección hacia el lugar de rayo como función  
de corrección para dado el caso incluir efectos de entorno no isótropos.
- 15 Como resultado de la corrección de calibrado o ajuste (posterior)
- se mejora el posicionamiento de lugar bidimensional y/o
  - al incluir (una) estación(es) de sensor próxima(s) al rayo, la marcación de altura tridimensional se vuelve más  
segura con respecto a la discriminación nube-tierra-rayo, ya que retardos de tiempo aún más pequeños se deben  
20 interpretar como significativos; la marcación de altura se mejora de forma cuantitativa, ya que las alturas  
determinadas también se vuelven automáticamente más precisas debido a diferencias de tiempo más exactas.

#### Lista de números de referencia

- 25 100 Sistema  
10 Estación central o centralita  
16, 18 Interfaz de la estación central 10, en particular  
16 Receptor Meteosat  
18 Buzón electrónico de un servicio meteorológico
- 30 20 Estación de medición o (estación de) sensor más próximos localmente a una fuente de impulso  
20\* Estación de medición o (estación de) sensor no más próximos localmente a una fuente de impulso  
22 Instalación de procesamiento de datos, en particular P[ersonal]C[omputer]  
30 Antena, en particular cuerpo de antena de banda ancha  
38 Dispositivo de medición de tiempo, en particular reloj G[lobal]P[ositioning]S[ystem]
- 35 40 Sistema electrónico de estación de la estación central 10 así como de la estación de medición 20, 20\*, en  
particular primer sistema de grabación en línea de esféricos de la estación central 10  
40' Segundo sistema electrónico de estación de la estación central 10, en particular segundo sistema de  
grabación en línea de esféricos de la estación central 10  
42 Unidad amplificadora del sistema electrónico de estación 40  
40 42' Unidad amplificadora de la estación central 10  
44 Unidad de filtro del sistema electrónico de estación 40  
44' Unidad de filtro de la estación central 10  
46 Unidad de conversión A[nalógico]/D[igital] del sistema electrónico de estación 40  
50 Unidad de almacenamiento de la estación de medición 20, 20\*
- 45 60 Conexión entre la estación central 10 y la estación de medición 20, 20\*  
70 Unidad de servidor de la estación central 10, en particular servidor de datos central y/o servidor de tiempo  
72 Unidad de visualización asignada a la unidad de servidor 70, por ejemplo, pantalla o monitor, en particular  
para visualizar la ubicación actual de esféricos  
74 F[ourier]T[ransformation] de la señal S, S\* con una visualización en línea
- 50 76 Centro de comunicación de la estación central 10  
76m Modem del centro de comunicación 76  
76w Línea conmutada del centro de comunicación 76  
78 Visualización en línea de imágenes de satélite, de mapas meteorológicos de suelo, de mapas  
meteorológicos de radar y similares mediante al menos una unidad de visualización, en particular mediante  
55 al menos una pantalla o monitor
- 80 Sitio de trabajo para el análisis de los datos e información D, D\*  
A Amplitud de la señal S, S\*  
C Direccionalidad, en particular desarrollo de dirección espacial, de la emisión de impulsos o del envío de  
impulsos
- 60 d Distancia de las estaciones de medición 20, 20\* entre sí  
dT Retardo de tiempo de propagación, siendo  $dT = T_P - T_H$   
D Datos e información que proceden de una estación de medición o (estación de) sensor 20 más próxima  
localmente a una fuente de impulso  
D\* Datos e información que proceden de una estación de medición (estación de) sensor 20\* no más próxima  
65 localmente a una fuente de impulso  
E Tierra, en particular suelo de tierra

|    |                |                                                                                                                                                                             |
|----|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | H              | Altura de la fuente de impulso, en particular altura de emisión o altura de envío                                                                                           |
|    | K              | Emisor                                                                                                                                                                      |
|    | M              | Avión                                                                                                                                                                       |
|    | P              | Descarga atmosférica, en particular rayo                                                                                                                                    |
| 5  | Q              | Fuente de datos e información climatológica y/o meteorológica adicional                                                                                                     |
|    | R              | Distancia de la fuente de impulso con respecto a la estación de medición 20, 20*                                                                                            |
|    | S              | Señal asignada a una estación de medición o (estación de) sensor 20 más próxima localmente a una fuente de impulso                                                          |
| 10 | S*             | Señal asignada a una estación de medición o (estación de) sensor 20* no más próxima localmente a una fuente de impulso                                                      |
|    | S'             | Señal amplificada mediante la unidad amplificadora 42                                                                                                                       |
|    | S''            | Señal filtrada mediante la unidad de filtro 44                                                                                                                              |
|    | T <sub>H</sub> | Tiempo de emisión de impulsos o tiempo de envío de impulsos corregido por el efecto de la altura H, en particular tiempo de descarga corregido por el efecto de la altura H |
| 15 | T <sub>P</sub> | Tiempo de emisión de impulsos o tiempo de envío de impulsos, en particular tiempo de descarga                                                                               |
|    | W              | nube                                                                                                                                                                        |

## REIVINDICACIONES

1. Sistema (100) para detectar, transmitir y evaluar datos e información (D o D\*) que se producen por radiación electromagnética, en particular de baja frecuencia, que presenta

- varias estaciones de medición (20 o 20\*) separadas espacialmente

-- con en cada caso al menos un cuerpo de antena (30), en particular de banda ancha, para detectar señales (S o S\*) que se pueden asignar a la radiación electromagnética así como

-- con en cada caso al menos un dispositivo de medición de tiempo (38), en particular al menos un reloj G[lobal]P[ositioning]S[y]stem], para determinar el respectivo desarrollo temporal, en particular el respectivo tiempo de llegada, de las señales detectadas (S o S\*),

- procediendo la radiación electromagnética de al menos una fuente de impulso de origen natural, en particular de al menos una descarga atmosférica (P), y

- en el que

-- la altura (H) de la fuente de impulso, en particular la altura de emisión, y

-- la direccionalidad (C), en particular el desarrollo espacial de la dirección de la emisión de impulsos o del envío de impulsos provocado por la fuente de impulso

- se localizan al determinarse la desviación del tiempo de llegada de la señal (S) en la estación de medición (20) más próxima a la fuente de impulso con respecto al tiempo de llegada de la señal (S\*) en al menos una, preferiblemente al menos dos de las estaciones de medición (20\*) no más próximas a la misma fuente de impulso,

**caracterizado por que**, en particular en el caso de fuentes de impulso lineales, la direccionalidad (C) de la emisión de impulsos o del envío de impulsos

– se identifica como fundamentalmente vertical cuando la amplitud (A) de la señal (S o S\*) se comporta de manera proporcionalmente recíproca con respecto a la distancia (R) de la fuente de impulso con respecto a la respectiva estación de medición (20 o 20\*), y

- se identifica como fundamentalmente horizontal cuando la amplitud (A) de la señal (S o S\*) se desvía con respecto a la proporcionalidad recíproca, y se puede corregir esta desviación teniendo en cuenta

-- el ángulo de altura y

-- el ángulo entre el eje de emisión de impulsos o el eje de envío de impulsos, en particular el eje de descarga, y la dirección hacia la respectiva estación de medición (20 o 20\*).

2. Sistema según la reivindicación 1, **caracterizado**

- **por que** varias señales (S o S\*) que proceden de fuentes de impulso de un intervalo delimitado de manera espacial y/o temporal se agrupan y

- **por que** la desviación de la amplitud (A) de una señal individual (S o S\*) se relaciona con la desviación, en particular media, de la amplitud (A) del grupo asignado a la señal (S o S\*), en particular para eliminar un efecto de atenuación provocado por una conductividad de suelo variable.

3. Sistema según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** la emisión de impulsos o el envío de impulsos se constata desde alturas (H) en el intervalo kilométrico mediante una comparación de distribuciones de desviaciones de tiempo (dT) medidas en al menos una estación de medición (20) más próxima a la fuente de impulso y en al menos dos estaciones de medición (20\*) no más próximas a la misma fuente de impulso de al menos dos tiempos de emisión de impulsos o tiempos de envío de impulsos, en particular de al menos dos tiempos de descarga (T<sub>P</sub>).

4. Sistema según al menos una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la altura (H) de la fuente de impulso y la direccionalidad (C) de la emisión de impulsos o del envío de impulsos se determina mediante la estación de medición (20) más próxima a la fuente de impulso así como mediante una única estación de medición (20\*) no más próxima a la fuente de impulso cuando se determina la dirección de incidencia de la emisión de impulsos o del envío de impulsos.

5. Sistema según al menos una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** las estaciones de medición (20 o 20\*) presentan en cada caso al menos un sistema electrónico de estación (40) dispuesto separado del cuerpo de antena (30) para procesar las señales (S o S\*) detectadas mediante el respectivo cuerpo de antena (30) con respecto a los datos y la información (D o D\*), presentando el sistema electrónico de estación (40)

- al menos una unidad amplificadora (42) para la amplificación con poco ruido de las señales (S o S\*) detectadas mediante el respectivo cuerpo de antena (30);

- al menos una unidad de filtro (44) para filtrar las señales (S') amplificadas mediante la unidad amplificadora

(42), en particular con respecto a señales parásitas técnicas que proceden de, por ejemplo, emisoras de radio;  
 - al menos una unidad de conversión A[nalógico]/D[igital] (46) para convertir las señales (S'') filtradas mediante la unidad de filtro (44) con respecto a los datos y la información digitales (D o D\*); así como  
 - al menos un umbral autorregulador para optimizar la sensibilidad del sistema electrónico de estación (40).

6. Sistema según al menos una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la señal (S o S\*)

- se dota al menos de una marca de tiempo, en particular múltiple, y/o con al menos una trama de tiempo y/o de al menos un sello de tiempo y, en particular mediante la unidad amplificadora (42) y/o mediante la unidad de filtro (44), se alisa y se optimiza y  
 - se analiza con respecto a su estructura de señal, en particular con respecto a su estructura de señal situada por encima del umbral autorregulador, después de este alisamiento y la optimización, de modo que con respecto a la señal (S o S\*), en particular en función de su forma de impulso, se proporciona una multitud o pluralidad de informaciones de tiempo y/o de estructura.

7. Sistema según al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado**

- **por que** el cuerpo de antena (30) está diseñado en una forma mecánicamente autoportante sin componentes móviles o sensibles a la intemperie para colocarse al aire libre,  
 - **por que** el círculo primario del cuerpo de antena (30) está separado galvánicamente del círculo secundario del cuerpo de antena (30) y  
 - **por que** los campos electromagnéticos se desacoplan con una banda ancha y con poco ruido y, con ello, se miden con una precisión temporal.

8. Sistema según al menos una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** las estaciones de medición (20 o 20\*)

- están dispuestas a una distancia (d) de aproximadamente cien kilómetros entre sí y  
 - están conectadas en cada caso mediante una conexión bidireccional (60), en particular alámbrica o inalámbrica, con una estación central (10) a la que se transmite al menos una parte, en particular al menos un parámetro seleccionado, de los datos e información (D o D\*) detectados, procesados y almacenados por la respectiva estación de medición (20 o 20\*).

9. Sistema según al menos una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por** al menos una interfaz (16, 18) asignada en particular a una estación central (10) para conectar al menos una fuente de datos e información climatológica o meteorológica adicional (Q) para caracterizar la situación meteorológica global que se puede valorar en particular mediante M[odel]O[utput] S[tatistics].

10. Procedimiento para detectar, transmitir y evaluar datos e información (D o D\*) que se producen por radiación electromagnética, en particular de baja frecuencia, procediendo la radiación electromagnética de al menos una fuente de impulso de origen natural, en particular de al menos una descarga atmosférica (P), en el que

[i] se detectan señales (S o S\*) que se pueden asignar a la radiación electromagnética mediante varias estaciones de medición (20 o 20\*) separadas espacialmente, con en cada caso al menos un cuerpo de antena (30), por ejemplo de banda ancha, asignado a la respectiva estación de medición (20 o 20\*),

[ii] se determina el respectivo desarrollo temporal, en particular el respectivo tiempo de llegada, de las señales (S o S\*) detectadas mediante al menos un dispositivo de medición de tiempo (38) asignado a la respectiva estación de medición (20 o 20\*), en particular mediante al menos un reloj GPS y

[iii] se localiza la altura (H) de la fuente de impulso, en particular la altura de emisión, y la direccionalidad (C), en particular el desarrollo de dirección espacial, de la emisión de impulsos provocada por la fuente de impulso, al determinarse la desviación del tiempo de llegada de la señal (S) en la estación de medición (20) más próxima a la fuente de impulso con respecto al tiempo de llegada de la señal (S\*) en al menos una, preferiblemente al menos dos estaciones de medición (20\*) no más próximas a la misma fuente de impulso,

**caracterizado por que** la direccionalidad (C) de la emisión de impulsos o del envío de impulsos

- se identifica como fundamentalmente vertical cuando la amplitud (A) de la señal (S o S\*) se comporta de manera proporcionalmente recíproca con respecto a la distancia (R) de la fuente de impulso con respecto a la respectiva estación de medición (20 o 20\*), y

- se identifica como fundamentalmente horizontal cuando la amplitud (A) de la señal (S o S\*) se desvía con respecto a la proporcionalidad recíproca, y se puede corregir esta desviación teniendo en cuenta

-- el ángulo de altura y

-- el ángulo entre el eje de emisión de impulsos o el eje de envío de impulsos, en particular el eje de descarga, y la dirección hacia la respectiva estación de medición (20 o 20\*).

11. Procedimiento según la reivindicación 10, **caracterizado por que** se diferencian emisiones de impulsos o envíos

de impulsos, en particular descargas (P), dentro de una nube (W) o entre al menos dos nubes (W) con respecto a emisiones de impulsos o envíos de impulsos, en particular descargas (P), entre la nube (W) y la tierra (E).

12. Procedimiento según las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado por que** mediante al menos un sistema electrónico de estación (40)

- se analiza la radiación electromagnética que normalmente se produce en ondas individuales con respecto a sus propiedades espectrales mediante una F[ast]F[ourier]T[ransformation] (transformada rápida de Fourier),
- se detecta completamente el respectivo desarrollo temporal de las señales (S o S\*) con formas de pulso variables,
- se detectan todas las señales (S o S\*) sin tiempo muerto también con tasas elevadas de transmisión de señales y/o,
- se determinan, en particular basándose en al menos un algoritmo, parámetros específicos de señales para clasificar y asignar las señales (S o S\*) con respecto a determinados procesos atmosféricos.

13. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado**

- **por que** las señales (S o S\*) que llegan a las estaciones de medición (20 o 20\*) se dotan de al menos una marca de tiempo exacta, en particular señales (S o S\*) de la misma fuente de impulso se proveen de manera uniforme con una marca de tiempo, y
- **por que** se determina con ayuda de la marca de tiempo la desviación del tiempo de llegada de la señal (S) en la estación de medición (20) más próxima a la fuente de impulso con respecto tiempo de llegada de la señal (S\*) en las estaciones de medición (20\*) no más próximas a la misma fuente de impulso.

14. Procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado por que** de manera complementaria a la localización de la altura (H) de la fuente de impulso y de la direccionalidad (C) de la emisión de impulsos (= etapa de procedimiento [iii] en la reivindicación 10) se ajusta o calibra al menos una de las estaciones de medición (20 o 20\*).

15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado por que**

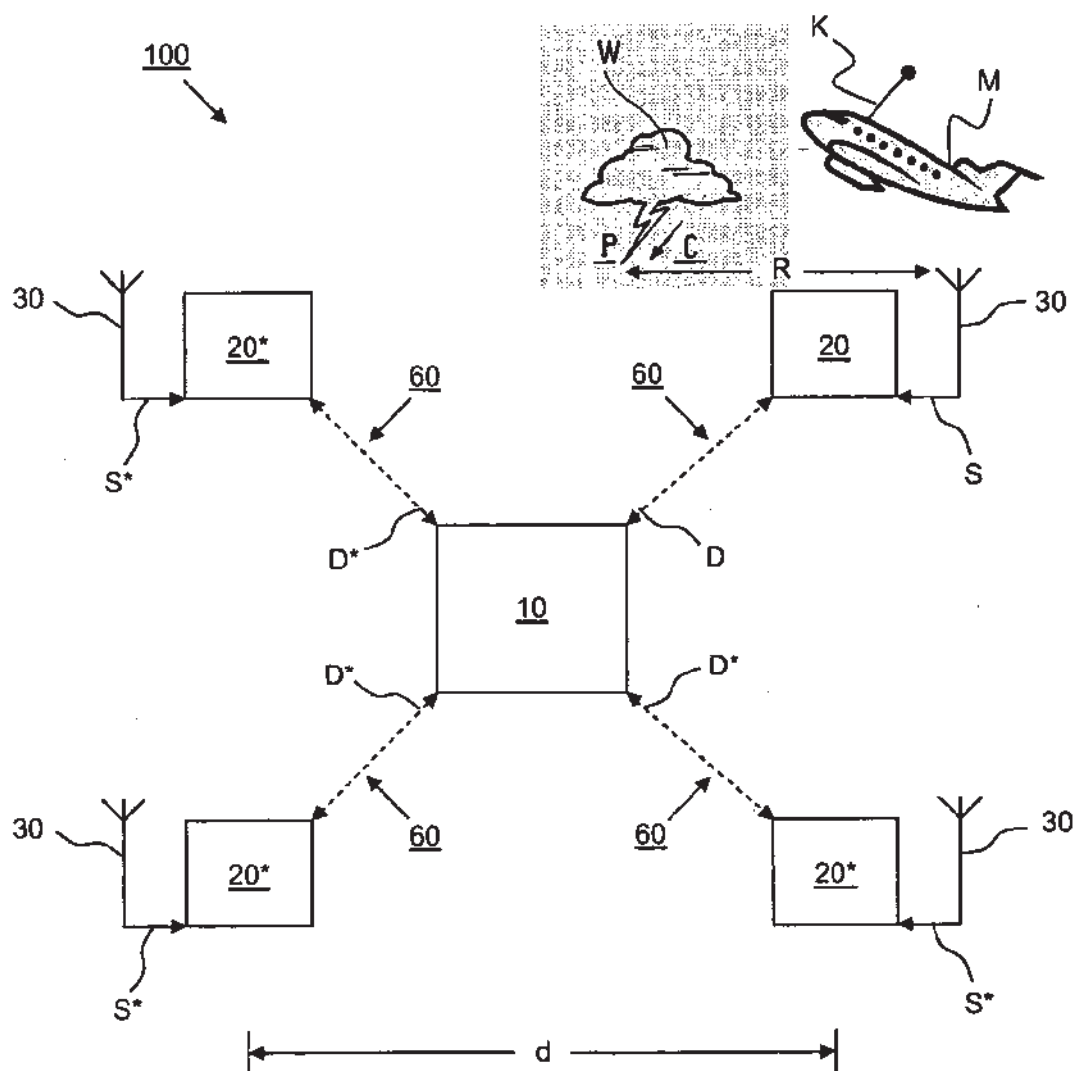
- [iii.a] se localiza la posición, en particular el lugar y la altura, de la fuente de impulso, al determinarse, excluyendo la estación de medición (20 o 20\*) a ajustar o a calibrar del respectivo desarrollo temporal determinado, en particular del respectivo tiempo de llegada determinado, la respectiva diferencia de tiempo de propagación de impulsos de la misma fuente de impulso con respecto a la respectiva estación de medición (20 o 20\*),
- [iv] se calcula el respectivo desarrollo temporal, en particular el respectivo tiempo de llegada, de las señales (S o S\*) que proceden de la fuente de impulso localizada y detectadas en la estación de medición (20 o 20\*) a ajustar o a calibrar,
- [v] se determina y se prepara de forma estadísticamente relevante la diferencia entre el respectivo desarrollo temporal calculado, en particular el respectivo tiempo de llegada calculado, y el respectivo desarrollo temporal determinado, en particular el respectivo tiempo de llegada determinado, de las señales (S o S\*) que proceden de la fuente de impulso localizada y detectadas en la estación de medición (20 o 20\*) a ajustar o a calibrar y
- [vi] si es necesario
- [vi.a] se determina, debido a la respectiva diferencia determinada, al menos un término de corrección de tiempo, en particular para localizaciones o posicionamientos posteriores, así como
- [vi.b] se ajusta o se calibra la estación de medición (20 o 20\*) a ajustar o a calibrar mediante este término de corrección de tiempo determinado.

16. Uso de al menos un sistema (100) según al menos una de las reivindicaciones 1 a 9 o de un procedimiento según al menos una de las reivindicaciones 10 a 15

- para la localización

- de la altura (H) de la fuente de impulso, en particular de la altura de emisión, y
- de la direccionalidad (C), en particular del desarrollo de dirección espacial, de la emisión de impulsos o del envío de impulsos provocados por la fuente de impulso,

- para calibrar o para ajustar al menos una de las estaciones de medición (20 o 20\*),
- para diferenciar emisiones de impulsos o envíos de impulsos, en particular descargas (P), dentro de una nube (W) o entre al menos dos nubes (W), con respecto a emisiones de impulsos o envíos de impulsos, en particular descargas (P), entre la nube (W) y la tierra (E),
- para crear mapas de densidad de rayos, o
- para la detección precisa de tiempo y/o estructura de los impulsos, también usando impulsos de rayo débiles y/o conformados de forma irregular.



**Fig. 1**

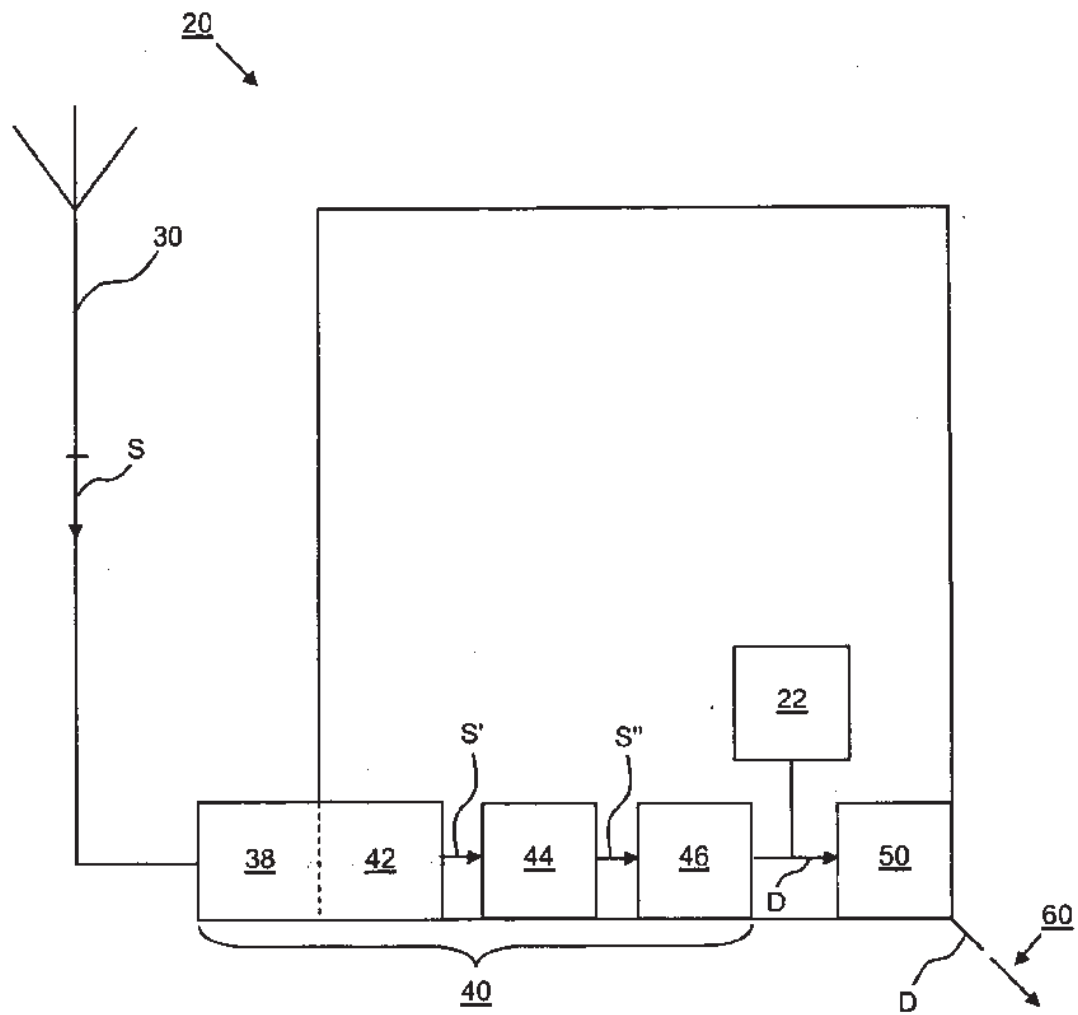
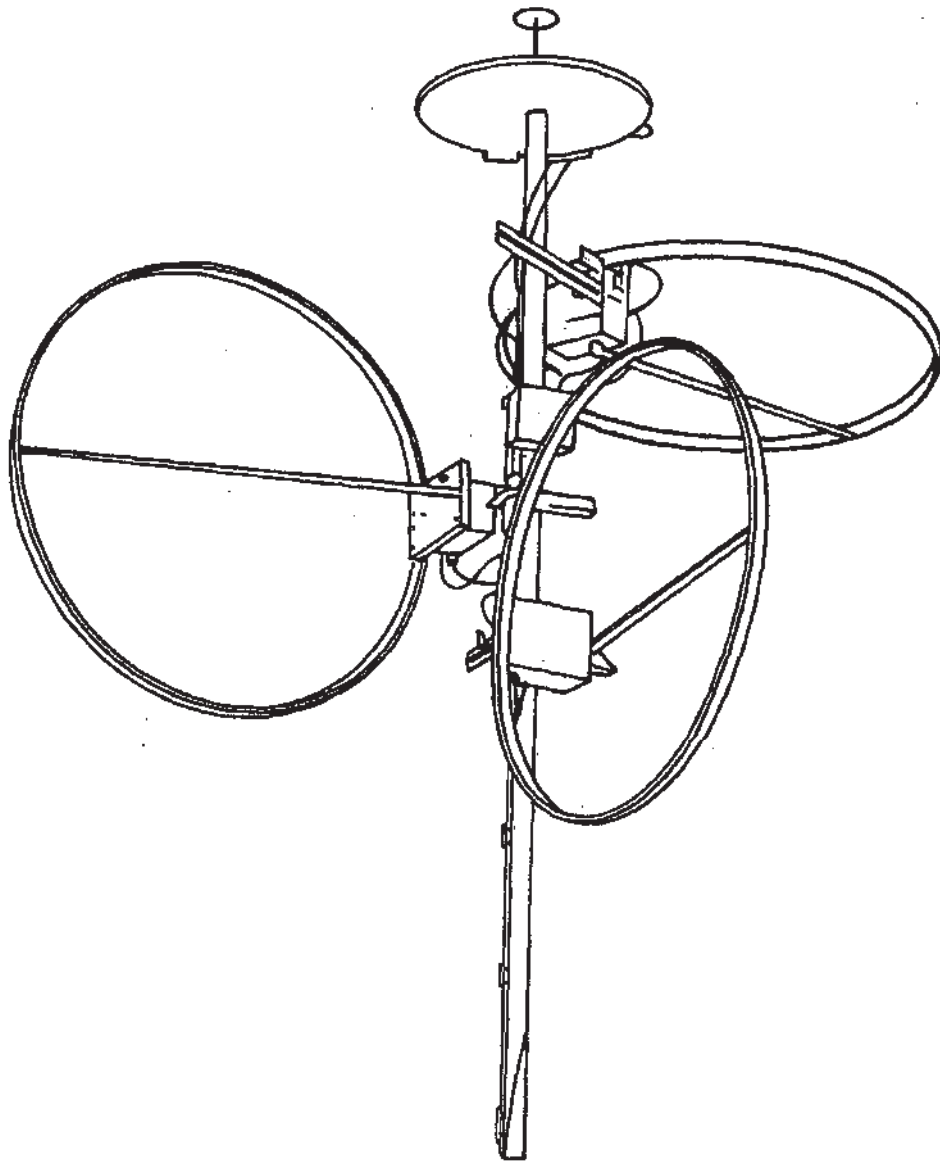


Fig. 2A



**Fig. 2B**

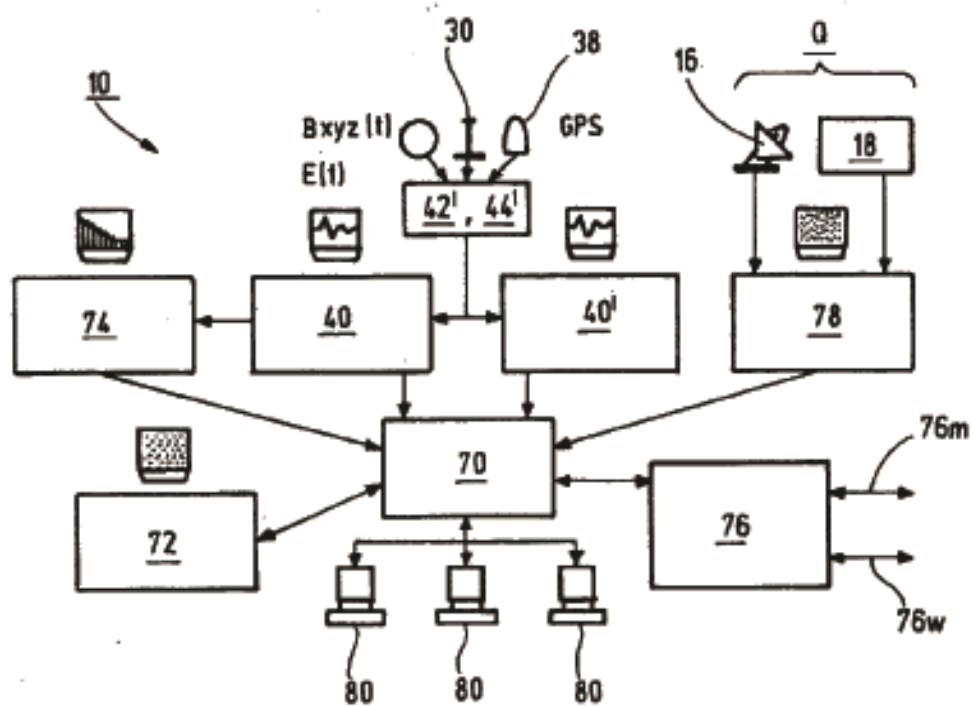


Fig. 3

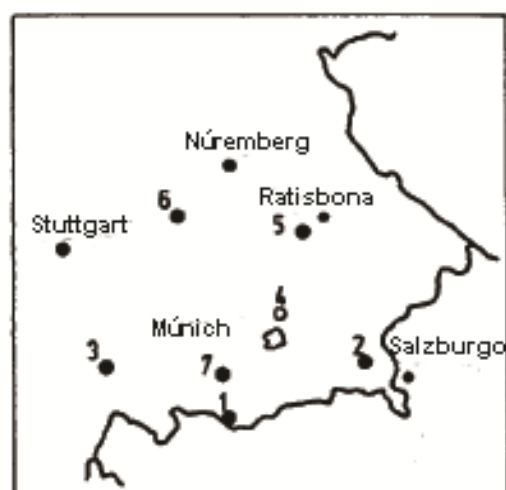
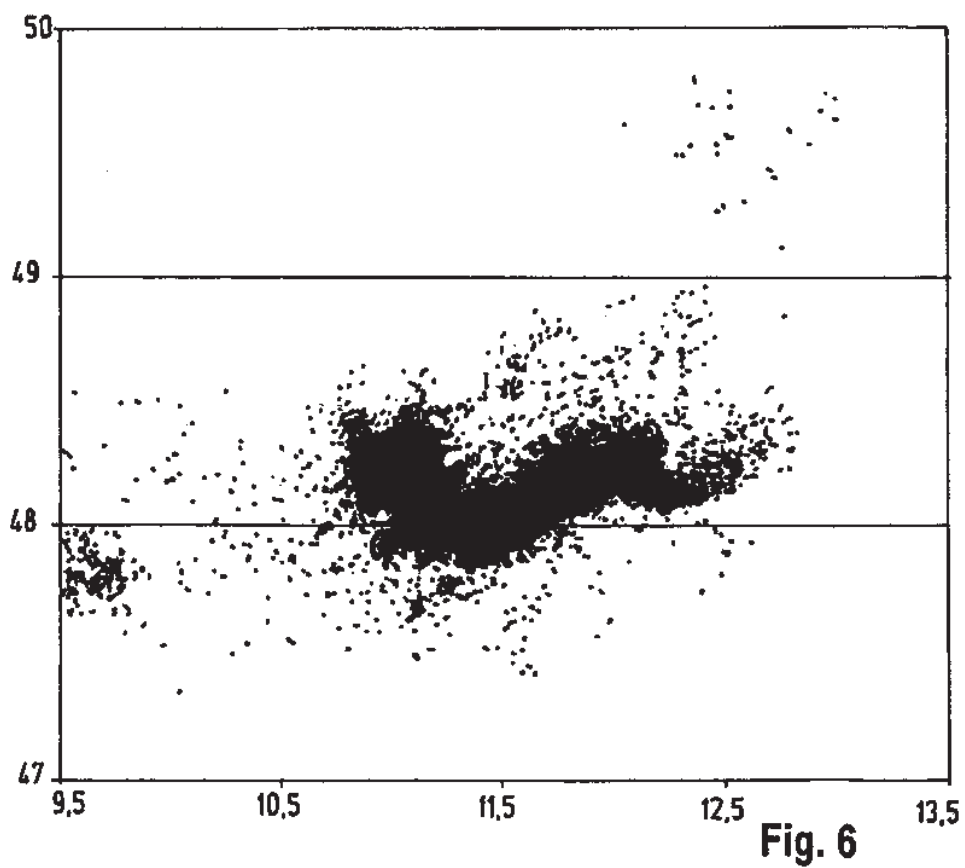
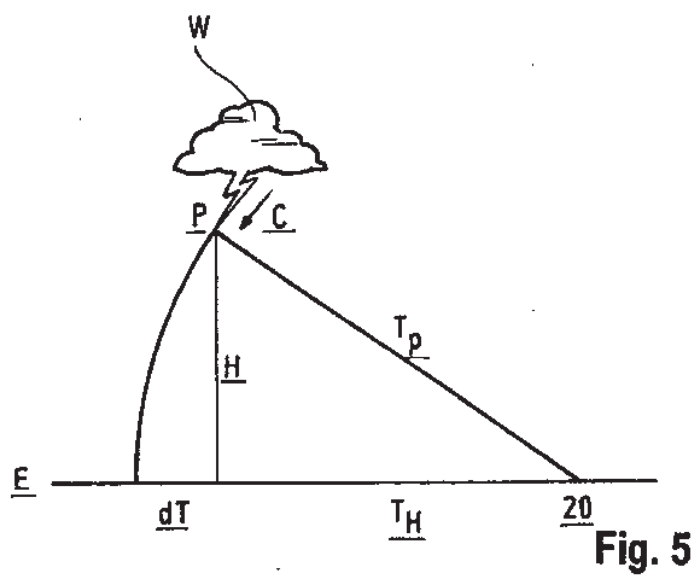
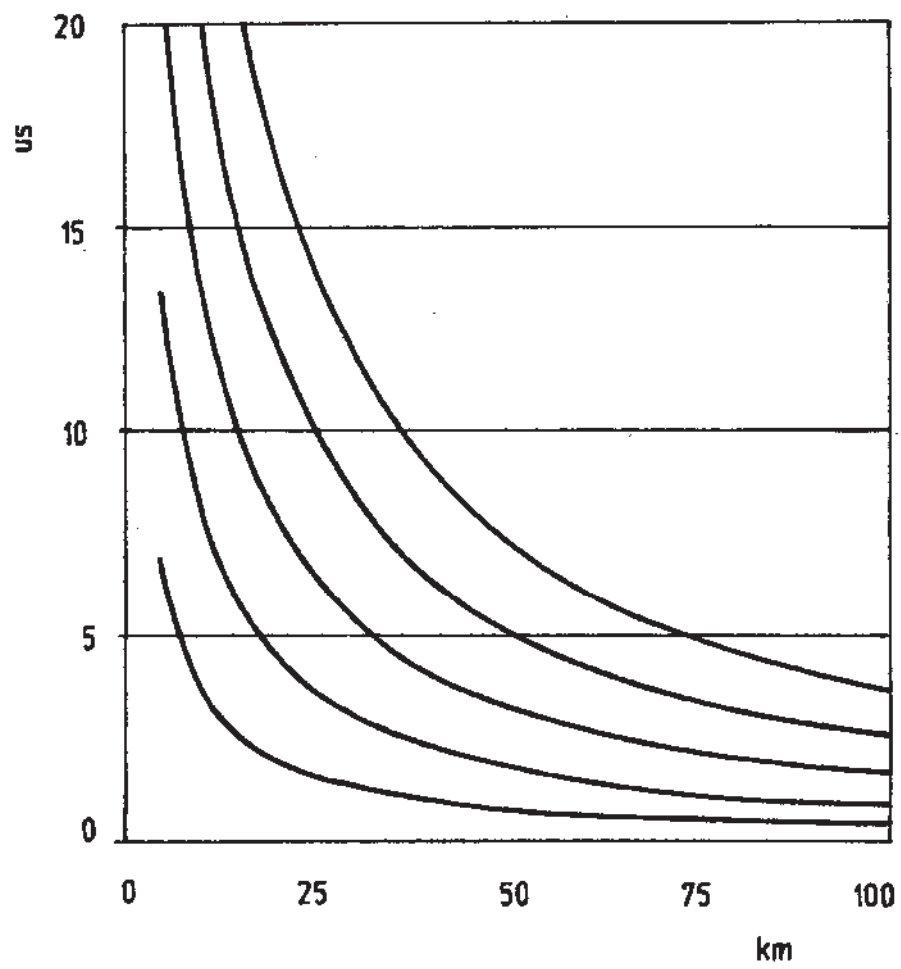


Fig. 4





**Fig. 7A**

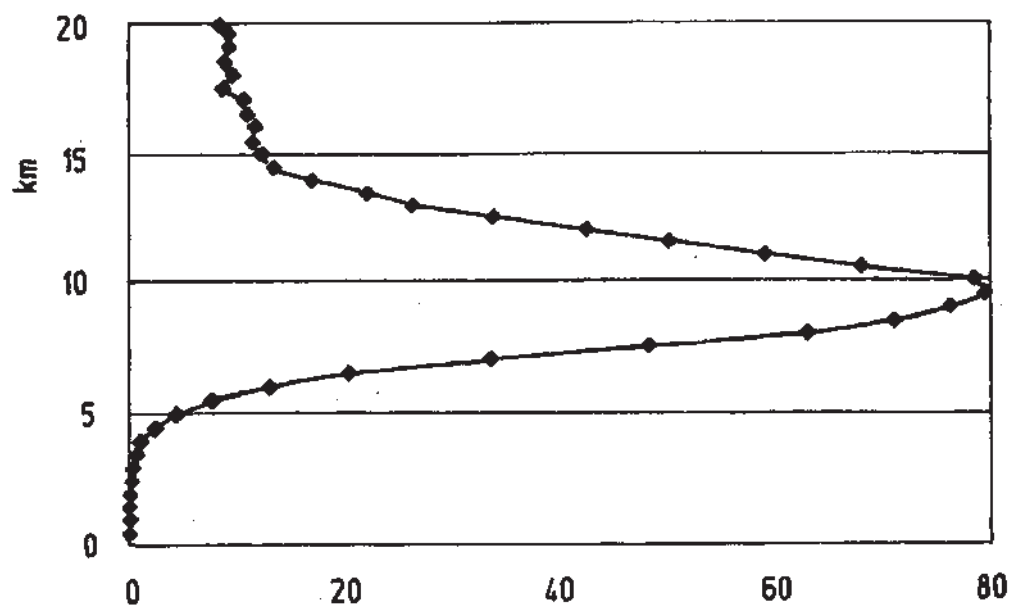


Fig. 7B

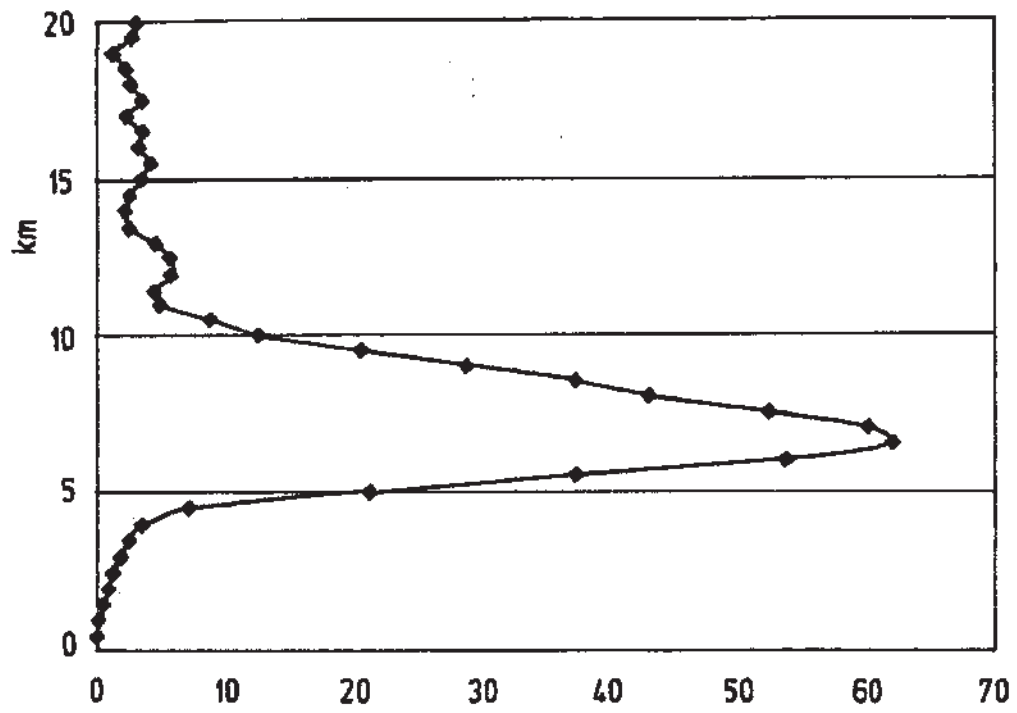


Fig. 7C

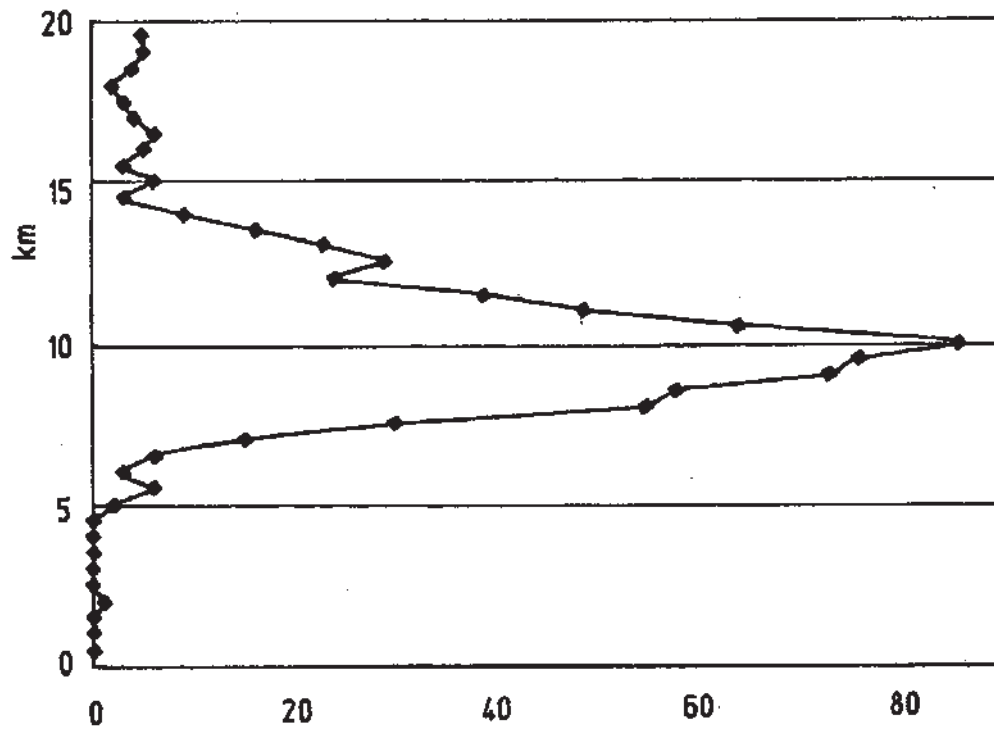
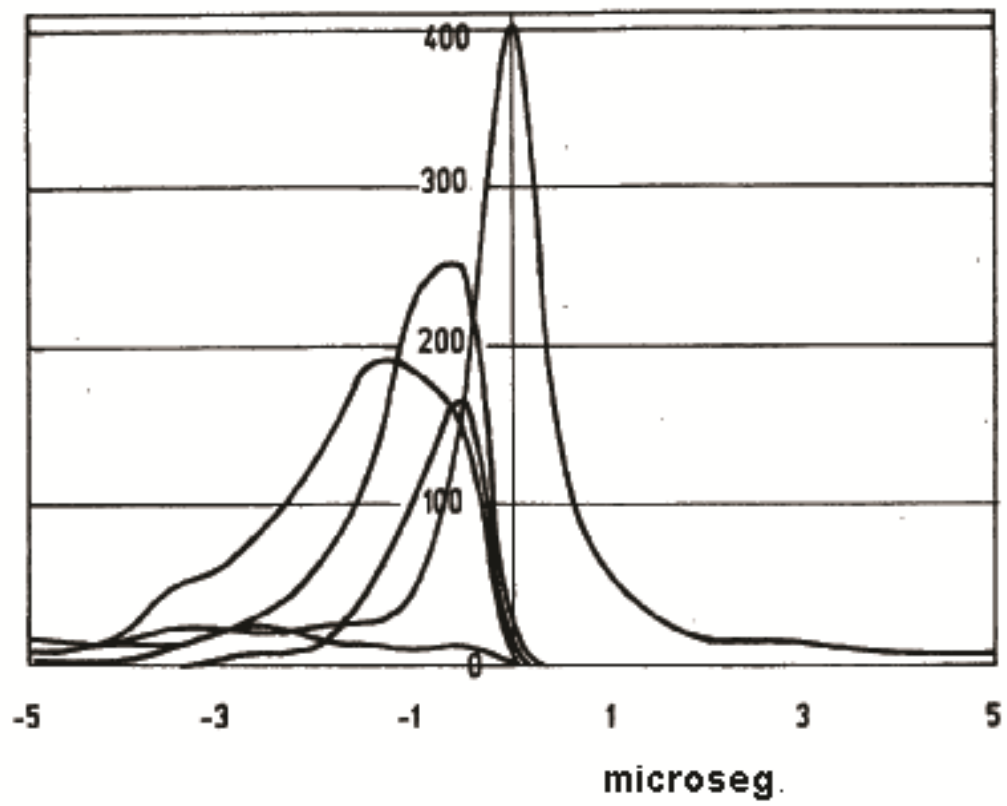


Fig. 7D



**Fig. 8**