(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 529 124**

(51) Int. Cl.:
G08B 17/107 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.09.2012** **E 12183529 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.11.2014** **EP 2706515**

(54) Título: **Dispositivo y procedimiento para la detección de señales de luz dispersada**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2015

(73) Titular/es:

AMRONA AG (100.0%)
Untermüli 7
6302 Zug, CH

(72) Inventor/es:

SIEMENS, ANDREAS y
WAGNER, ERNST-WERNER

(74) Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 529 124 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

Dispositivo y procedimiento para la detección de señales de luz dispersada

La presente invención se refiere a un dispositivo así como a un procedimiento para la detección de señales de luz dispersada según el preámbulo de las reivindicaciones independientes 1 y 19.

Un dispositivo de este tipo es conocido a partir de la publicación GB 2 259 763 A.

En particular en el campo de los dispositivos de detección de incendios, son conocidos detectores de humos que operan según principios ópticos, los cuales aplican luz procedente de una fuente luminosa a una zona de luz dispersada, en la que podrían encontrarse dado el caso partículas distribuidas en el aire. Partículas de este tipo pueden ser por ejemplo partículas de polvo o partículas de humo de tabaco, pero pueden proceder también de incendios en habitaciones, cuya aparición hay que detectar. Fuera de la trayectoria directa de la luz emitida desde la fuente luminosa, en dispositivos habituales de este tipo están dispuestos sensores ópticos tales como por ejemplo fotodiodos, fotorresistores o similares con un circuito amplificador correspondientemente asociado. Los sensores detectan dado el caso luz dispersada por las partículas y emiten una señal de alarma por ejemplo al superarse un determinado valor umbral.

Además, a partir de la técnica son conocidos sistemas para la clasificación de tipos de partículas diferentes, es decir en particular sistemas para la clasificación de tipos de incendios diferentes con ayuda de las propiedades de las partículas. Por ejemplo, a partir del documento EP 2281 286 A1 es conocido un dispositivo, que hace posible una diferenciación de partículas de polvo y de aquellas partículas que aparecen durante incendios. Sistemas habituales de este tipo para la clasificación del tipo de partículas aplican para ello junto a sensores de luz dispersada (sensores ópticos) por regla general también sensores de otro tipo – por ejemplo sensores de gases o similares -.

Los dispositivos habituales citados tienen la desventaja de que o bien en caso de una estructura relativamente barata sólo es posible una clasificación poco fiable según tipos de partículas diferentes y no se tiene un reconocimiento o respectivamente una supresión efectivas de magnitudes perturbadoras, o bien tienen que aplicarse técnicas de sensor relativamente caras como por ejemplo sensores de gases o similares. A través de ello son impulsados al alza los costes y la complicación de circuitos.

Además, en particular los sensores de gases tienen la desventaja de que necesitan relativamente mucha energía.

La presente invención tiene como base la tarea de perfeccionar un dispositivo habitual para la detección de señales de luz dispersada de tal modo que pueda ser construido y fabricado de forma sencilla y económica y se mejore la precisión de reconocimiento. Además de ello, debe reducirse el consumo de energía.

La tarea es resuelta por un dispositivo según la reivindicación independiente 1 así como por un procedimiento según la reivindicación independiente 19.

Perfeccionamientos ventajosos de la solución conforme a la invención están indicados en las reivindicaciones dependientes.

La invención tiene como base los siguientes conocimientos de principio:

El principio básico de dispositivos que operan ópticamente para la detección de señales de luz dispersada en particular en detectores de humos y similares es el aprovechamiento de propiedades de dispersión diferentes de partículas de distinto tipo distribuidas en el aire del entorno. El aire del entorno representa aquí un fluido portador, en el que están distribuidas las partículas, es decir por regla general partículas microscópicas sólidas, pero posiblemente también líquidas.

Según sea la relación del tamaño de partícula a la longitud de onda de la luz, que se aplica a una zona de luz dispersada, actúan diferentes mecanismos de reflexión y dispersión en las diferentes partículas o respectivamente los diferentes tipos de partículas. Mientras que para ciertas relaciones de tamaño de partícula a longitud de onda de la luz aplicada puede suponerse que puede observarse luz dispersada en todas las direcciones espaciales, visto desde una partícula, para otras relaciones de longitud de onda a tamaño de partícula resultan otras distribuciones de intensidad, por ejemplo en función del ángulo sólido o de la polarización, por cada partícula que refleja o dispersa.

En otras palabras, la distribución de luz dispersada, en función del ángulo sólido, de una partícula, la cual es alcanzada por un haz de luz que ilumina la partícula, no es sólo dependiente de la longitud de onda de la luz incidente, sino dado el caso también del ángulo de observación, del tamaño de la partícula, del índice de refracción del medio de la partícula así como de la polarización de la radiación incidente.

En el intervalo de partículas muy pequeñas, respectivamente con relación a la longitud de onda de la luz excitadora, predomina entonces por regla general un mecanismo de dispersión elástico de la onda electromagnética incidente, que es denominado dispersión de Rayleigh. En un intervalo en el que la longitud de onda de la luz excitadora corresponde aproximadamente al tamaño de partícula, el mecanismo de dispersión de la dispersión elástica de la onda electromagnética incidente puede describirse con la teoría de Mie, la cual describe ciertamente una solución

exacta del proceso de dispersión, pero implica una suposición acerca de la geometría de las partículas (partículas esféricas). Al seguir aumentando el tamaño de las partículas, la dispersión puede ser descrita por refracción geométrica clásica en las partículas.

En el intervalo de la dispersión de Rayleigh y en el intervalo de la dispersión de Mie, las intensidades de dispersión de la radiación dispersada en las partículas son funciones entre otras cosas del ángulo sólido, del tamaño de partícula (del radio de partícula), del plano de polarización, del ángulo de dispersión y del ángulo de refracción complejo del medio de suspensión, es decir en particular del aire.

La distribución espacial de la luz dispersada por una partícula propiamente tiene aquí evoluciones de intensidad que dependen de la dirección de observación. Durante el proceso de dispersión, en particular en el intervalo de la dispersión de Rayleigh y de Mie, intervienen conjuntamente en esta evolución de intensidad las partes que se solapan de difracción, refracción y reflexión en la respectiva partícula dispersante. Mediante este proceso de dispersión solapado no sólo son dependientes de la dirección entonces las evoluciones de intensidad; las intensidades de dispersión varían también en sus respectivas direcciones de polarización.

Para la detección de la luz dispersada juega además un papel que por ejemplo en caso de detección de luz dispersada basada en la potencia la apertura del sensor óptico aplicado sea finita. Con ello es necesario entonces que también haya que tener en cuenta el ángulo sólido de detección.

El solapamiento anteriormente representado de las diferentes partes durante el proceso de dispersión contiene con ello el solapamiento de difracción, refracción y reflexión en la partícula. Con ello, y debido a las limitaciones relativas al ángulo sólido de detección de un sensor óptico, y debido a la dependencia entre otras cosas del radio de la partícula, de la longitud de onda de la luz aplicada, del índice de refracción del medio circundante, del ángulo de dispersión y del ángulo de polarización, las evoluciones de intensidad de la luz dispersada por tipos de partículas diferentes dependen en particular de la posición del sensor relativa a la zona de luz dispersada y de filtros de polarización eventualmente existentes delante del sensor.

Aquí se aprovecha la circunstancia de que la composición de las partículas que se producen por ejemplo en un tipo de incendio determinado tiene una distribución característica, la cual da como resultado, al solaparse los diferentes mecanismos de dispersión o respectivamente características de dispersión en la zona de la luz dispersada, respectivamente distribuciones de intensidad igualmente características, dependientes de la posición y de la polarización.

En otras palabras, la intensidad, medida en un lugar determinado en torno a la zona de luz dispersada, de la luz dispersada tiene un patrón característico dependiente del lugar y de la polarización, con relación a la evolución temporal durante la generación de las partículas, es decir por ejemplo durante un incendio.

Mientras que para un único lugar de medida en torno a la zona de luz dispersada, con una única polarización, puede haber aún desde luego colisiones entre patrones característicos relativos a partículas diferentes y con ello a tipos de incendios diferentes, la probabilidad de colisiones de este tipo relativas a patrones disminuye al aumentar los lugares de medición o respectivamente las direcciones de polarización detectadas.

Con relación al dispositivo conforme a la invención para detectar señales de luz dispersada, la tarea es resuelta en particular mediante el recurso de que el dispositivo incluye una fuente luminosa, una multiplicidad de sensores ópticos para la detección de luz dispersada y una unidad de evaluación para evaluar las señales detectadas por los sensores ópticos. La fuente luminosa emite aquí luz hacia una zona de luz dispersada, en que la luz incidente define un eje de incidencia. Cada uno de los sensores ópticos está dispuesto formando un ángulo de sensor con respecto al eje de incidencia, para detectar luz dispersada procedente de la zona de luz dispersada. Uno de la pluralidad de sensores ópticos, preferiblemente un sensor óptico dispuesto esencialmente en un ángulo recto de sensor, está diseñado como sensor de referencia. La propia unidad de evaluación está diseñada para referir evoluciones de señal de los restantes sensores ópticos a la evolución de señal del sensor de referencia, en que las evoluciones de señal de los sensores ópticos sirven para la clasificación del tipo de partículas que se encuentran igualmente en la zona de luz dispersada.

Por supuesto hay que tener en cuenta aquí que la fuente luminosa emite un haz de luz con un ensanchamiento pequeño finito hacia la zona de luz dispersada; como eje de incidencia de la luz incidente se entiende también en el caso de un haz de luz incidente de ensanchamiento finito una dirección preferente de la emisión de luz de la fuente luminosa, es decir en particular una dirección de luz con la mayor intensidad relativa.

La pluralidad de sensores ópticos no tienen que estar conformados en este caso forzosamente de forma discreta o incluso puntual; entran en consideración igualmente sensores de extensión superficial o también en forma de líneas tales como por ejemplo dispositivos de acoplamiento de carga (CCDs, del inglés “Charge Coupled Devices”) o sensores fabricados según la técnica CMOS (del inglés “Complementary Metal Oxide Semiconductor”, transistores complementarios de metal-óxido-semiconductor) para la detección de luz dispersada, siempre que se haga posible sólo una evaluación, dependiente del lugar, de la intensidad de luz incidente. Por una pluralidad de sensores ópticos hay que entender con ello en particular también un dispositivo conformado en forma de líneas o con extensión

superficial, el cual, por ejemplo en forma de puntos de sensor acoplados en forma de líneas o con extensión superficial, hace posible una evaluación, dependiente del lugar, de la intensidad de luz incidente.

Como sensores ópticos (fotodetectores) entra en consideración en particular cualquier tipo de componentes semiconductores sensibles a la luz, tales como por ejemplo fotodiodos, pero también fotorresistores, fototransistores o fotomultiplicadores.

Hay que tener en cuenta también que los ángulos de sensor de la pluralidad de sensores ópticos son respectivamente distintos entre sí. Habitualmente, los sensores ópticos están dispuestos en este caso en un plano, de modo que los ángulos de sensor, que son referidos respectivamente al eje de incidencia de la luz excitadora, pueden ser definidos dentro del mismo plano. En relación con ello hay que tener en cuenta que las consideraciones realizadas más arriba con relación al ensanchamiento finito del haz de luz emitido por la fuente luminosa son por supuesto válidas también para la dirección de detección de los sensores ópticos, con ayuda de la cual es determinado el respectivo ángulo de sensor de un sensor individual.

En un caso en el que algunos de los sensores ópticos no están situados en un plano común, es decir en un caso en el que en particular el eje de incidencia y algunos ejes de sensor no se cortan (el eje de incidencia y los ejes de sensor son rectas ladeadas), hay que entender por ángulo de sensor aquel ángulo que puede ser definido entre aquella paralela al eje de incidencia y aquella paralela al ángulo de sensor que se cortan en un punto en el espacio.

Hay que tener en cuenta además que el referimiento de las evoluciones de señal de los restantes sensores ópticos a la evolución de señal del sensor de referencia es convenientemente una normalización respecto a la potencia de señal del sensor de referencia. Aquí entra en cuestión por ejemplo una normalización continua sobre el transcurso de las evoluciones de señal respectivamente medidas, es decir por ejemplo en caso de muestreo temporalmente discreto de señal (*sampling*) una normalización de cada muestra individual de cada una de las señales de medida de los restantes sensores ópticos respecto a aquella muestra de la evolución de señal del sensor de referencia, que corresponde al mismo momento de muestreo.

Un referimiento de este tipo a la evolución de señal del sensor de referencia, es decir en particular una normalización de este tipo respecto a la señal del sensor de referencia, es posible sin embargo también en el marco de una regresión de los distintos puntos de medida sobre el tiempo transcurrido, en que una pendiente de la recta de regresión del sensor de referencia está fijada en este caso a uno. Para los restantes sensores es válido entonces que para realizar las regresiones válidas para el respectivo sensor, las potencias de señal de los sensores, las cuales son en el caso ideal proporcionales a la intensidad de luz dispersada medida, son referidas a las potencias de señal del sensor de referencia, de modo que las pendientes de las rectas de ajuste para los restantes sensores estén referidas a la pendiente, normalizada a uno, del sensor de referencia.

El dispositivo conforme a la invención para la detección de señales de luz dispersada tiene una serie de ventajas respecto a los dispositivos previamente conocidos. Así, mediante el recurso de que se emplea una pluralidad de sensores ópticos en ángulos de detección diferentes, se tiene una posibilidad económica y con ahorro de energía para la clasificación segura y precisa del tipo de las partículas que se encuentran en la zona de luz dispersada. En particular, mediante la previsión de una pluralidad de sensores ópticos se garantiza que patrones de partículas, que son característicos para determinados tipos de partículas, sean asignados de forma segura. Mientras que en sensores de luz dispersada individuales, en particular cuando se emplean procedimientos de regresión supresores de ruido o respectivamente reductores de ruido, son posibles colisiones de patrones, de las que resultan entonces clasificaciones erróneas, mediante la previsión de una pluralidad de sensores ópticos se reduce fuertemente la posibilidad de una colisión de patrones así. A través de ello aumenta la precisión de reconocimiento y de clasificación, sin que haya que emplear por ejemplo sensores de gases caros y energéticamente desventajosos, o dispositivos similares.

Mediante el recurso de que uno de la pluralidad de sensores ópticos se utiliza como sensor de referencia, es decir que su evolución de señal detectada se utiliza como señal de referencia, se tiene una amplia independencia de las evoluciones de señal individuales respecto a las intensidades de señal absolutas, lo que reduce el esfuerzo de calibración y simplifica adicionalmente la clasificación.

Conforme a otro aspecto de la solución conforme a la invención está previsto que el dispositivo de evaluación esté diseñado además para comparar las evoluciones de señal de las señales detectadas de la pluralidad de sensores ópticos con patrones de evolución de señal. Una comparación de este tipo se produce preferiblemente de forma continua en el tiempo. En caso de un grado de coincidencia suficientemente grande de las evoluciones de señal de las señales detectadas con uno de los patrones de evolución de señal, se emite entonces una señal de caracterización, que caracteriza el patrón de evolución de señal reconocido.

Hay que tener en cuenta en este contexto que por el concepto “patrones de evolución de señal” se entiende en el caso de una pluralidad de sensores ópticos un conjunto de evoluciones de señal, es decir la evolución de señal respecto al eje temporal de cada uno de los sensores empleados es comparada con el correspondiente patrón de evolución de señal del correspondiente sensor a partir del conjunto de patrones de evolución de señal. Por supuesto, tampoco en este caso no hay que interpretar nuevamente el concepto “evolución de señal” o respectivamente

“patrón de evolución de señal” en el sentido estrecho de que sólo las evoluciones de señal realmente registradas de los sensores individuales deben ser comparadas entre sí, sin llevar a cabo por ejemplo un procesamiento de señal para estas señales. Así, también en este caso, en el que el dispositivo de evaluación está diseñado para una comparación autónoma de las evoluciones de señal con patrones de evolución de señal, es imaginable realizar una regresión de las evoluciones de señal por ejemplo tras normalizar respecto a la señal de referencia, y comparar las pendientes respectivas de las rectas de ajuste de las señales detectadas con el conjunto de pendientes de los patrones de evolución de señal.

Los patrones de evolución de señal han sido registrados para ello preferiblemente con una disposición similar o del mismo tipo de fuente luminosa y una pluralidad de sensores ópticos en escenarios de prueba (incendios de prueba y similares), y han sido almacenados en una memoria apropiada. Aquí hay que tener en cuenta que un registro de este tipo de los patrones de evolución de señal se lleva a cabo por supuesto con la misma disposición espacial de sensores (o dado el caso también más sensores) que se utiliza posteriormente para la evaluación en el dispositivo conforme a la invención para la detección de señales de luz dispersada.

El grado de coincidencia que se toma como base para la comparación, está o bien ajustado fijamente con anterioridad o bien es ajustable por un usuario u operario. Una determinación de grados de coincidencia puede producirse en este caso según procedimientos habituales apropiados, estadísticos u otros, en particular procedimientos habituales y conocidos para la comparación de patrones y similares.

La señal de caracterización puede ser una señal apropiada para el procesamiento digital o analógico ulterior, la cual codifica de modo apropiado el tipo de partícula reconocido (es decir el tipo de incendio clasificado o el tipo clasificado de otras partículas). En el caso más sencillo es sin embargo también posible presentar la señal de caracterización por un visualizador óptico apropiado, por ejemplo una pantalla o similar, en el cual un usuario u operario puede leer entonces la clasificación. Es posible también controlar un interruptor electrónico o electromecánico tal como por ejemplo un relé o similar con ayuda de la señal de caracterización, para transmitir la existencia de un incendio por ejemplo a otra instalación anexa.

Mediante la comparación, que discurre de forma ampliamente automatizada, de las señales detectadas con patrones de evolución de señal (o respectivamente con un conjunto de patrones de evolución de señal) es con ello posible de modo sencillo escoger de forma selectiva acciones adicionales dependientes del tipo de incendio (selección de un medio de extinción o medio de inertización apropiado, selección de un nivel de inertización apropiado, etc.), para poder proceder de forma efectiva contra un incendio. Mientras que una comparación así de las señales detectadas con patrones de evolución de señal no tiene que realizarse forzosamente de forma automatizada, una clasificación de este tipo, que discurre de forma automatizada y ampliamente autónoma, del tipo de incendio tiene la ventaja de un procesamiento adicional automatizado, dependiente del tipo de incendio, de la señal así como un ahorro de tiempo grande para un operario o usuario eventual.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que la fuente luminosa emita luz esencialmente monocromática en el intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 560 a 420 nanómetros. Preferiblemente, la fuente luminosa emite luz en el intervalo entre aproximadamente 470 y aproximadamente 450 nanómetros. Estas longitudes de onda corresponden a un espectro de luz verde hasta azul. La utilización de luz de longitud de onda relativamente corta tiene aquí la ventaja de que para los tamaños de partícula predominantes por regla general en incendios típicos tienen lugar de forma predominante la dispersión de Rayleigh y la de Mie, mediante las cuales la luz de onda corta es dispersada de forma considerablemente más fuerte que la luz de onda relativamente larga. A través de ello resulta una distribución de intensidad ventajosa en los sensores ópticos que detectan la luz dispersada.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que al menos uno de los sensores ópticos tenga un filtro de polarización para polarizar la luz dispersada a detectar.

Mediante el empleo de un filtro de polarización en al menos uno de los sensores ópticos, puede reducirse adicionalmente el riesgo de colisiones de patrones mediante la evaluación adicional de esta característica de dispersión adicional, lo que mejora la precisión de reconocimiento.

En este contexto puede estar previsto que varios de los sensores ópticos y preferiblemente cada uno de los sensores ópticos tengan o tenga respectivamente un filtro de polarización. Para ello, los planos de polarización de al menos dos filtros de polarización están dispuestos esencialmente de forma perpendicular entre sí. Mediante el giro del plano de polarización de al menos un filtro de polarización respecto a por lo menos otro filtro de polarización, estando asociados estos filtros de polarización a sensores diferentes de entre los varios sensores ópticos, se garantiza que incluso cuando para un determinado tipo de partícula la distribución de intensidad sólo depende muy poco de la dirección de observación, pero por el contrario tanto más de la dirección de polarización, resulten de todos modos evoluciones de señal o respectivamente patrones de evolución de señal que se diferencian suficientemente entre sí, los cuales siguen reduciendo incluso en este caso el riesgo de colisiones de patrones y aumentan otra vez la precisión de detección o respectivamente de clasificación. El aumento de precisión conseguible mediante el empleo de los filtros de polarización así como mediante su orientación especial entre sí

puede alcanzarse aquí de forma extremadamente económica, ya que los filtros de polarización son fáciles y baratos de producir.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que cada uno de los sensores ópticos esté orientado esencialmente en dirección a una zona de detección común de la zona de luz dispersada.

Una orientación de este tipo hacia una zona de detección común, que es un subconjunto de la zona de luz dispersada y rodea por regla general un centro de luz dispersada común, puede mejorar nuevamente la precisión de reconocimiento. En particular, a través de ello se toma en consideración el hecho de que la apertura de los sensores ópticos es por regla general pequeña y finita y con ello resulta una forma o ensanchamiento, dependiente del ángulo sólido, del campo de recepción del respectivo sensor óptico. Mediante una orientación hacia una zona de detección común pueden reducirse con ello nuevamente imprecisiones de medida.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que algunos o todos los sensores ópticos estén conformados como fotodiodos. En diodos semiconductores de este tipo, se aplica a la unión pn la luz dispersada a detectar, con lo que los fotones de la luz dispersada provocan la generación de un par electrón-hueco en la unión pn. Fotodiodos de este tipo son relativamente baratos y permiten una estructura sencilla en cuanto a técnica de circuitos, con lo que no es necesario un control electrónico costoso. Según sea el tipo de funcionamiento (tipo de curva característica), un fotodiodo de este tipo puede operar además sobre varios órdenes de magnitud preferiblemente en la zona lineal.

Por supuesto es posible sin embargo también emplear otros sensores ópticos apropiados, tales como por ejemplo fototransistores o también fotomultiplicadores. Los fotomultiplicadores poseen una sensibilidad mayor en varios órdenes de magnitud en comparación con los fotodiodos y se basan en el efecto de la multiplicación de electrones secundarios. Aprovechando el efecto fotoeléctrico exterior (liberación de electrones desde una capa de electrones por fotones incidentes) estos electrones primarios liberados son acelerados mediante una tensión eléctrica de aceleración hacia otros electrodos dispuestos a continuación, en los cuales se produce otra liberación, inducida ahora por los electrones respectivamente acelerados, de electrones secundarios. En un ánodo son evaluados en cuanto a cantidad finalmente los electrones multiplicados que inciden ahí y son convertidos en una señal eléctrica que puede ser procesada adicionalmente.

En este contexto o también separadamente es imaginable que la fuente luminosa sea un diodo emisor de luz. Un diodo emisor de luz así para la excitación de la zona de luz dispersada es muy económico y puede obtenerse además en los intervalos de longitudes de onda ventajosos. Para una compensación de temperatura, necesaria dado el caso, del dispositivo conforme a la invención para la detección de señales de luz dispersada es imaginable por ejemplo que un diodo emisor de luz así opere a impulsos de modo muy sencillo, para reducir el desarrollo de calor. Por supuesto es posible sin embargo también una excitación continua – dado el caso asumiendo un desarrollo de calor mayor.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que el dispositivo incluya un sensor óptico en un primer ángulo de sensor, un sensor óptico en un segundo ángulo de sensor y un sensor óptico en un tercer ángulo de sensor, en que el primer ángulo de sensor es un ángulo agudo y completa 360º con el segundo ángulo de sensor, y en que el tercer ángulo de sensor es un ángulo obtuso.

Mediante esta disposición especial es posible obtener patrones muy bien diferenciables entre sí para los distintos tipos de partícula con relativamente pocos sensores en una disposición espacial particular. Preferiblemente, el primer ángulo de sensor vale aquí aproximadamente 45º, con lo que para el segundo ángulo de sensor resulta un valor preferido de aproximadamente 315º. El tercer ángulo de sensor vale de modo preferido aproximadamente 112,5º. Preferiblemente, el sensor de referencia está dispuesto en un ángulo de sensor de aproximadamente 90º. Un sensor de referencia dispuesto en un ángulo recto ha demostrado ser particularmente ventajoso para una normalización de las señales de los respectivos sensores ópticos restantes para una multiplicidad de tipos de partícula (cualidades de partícula) que entran en cuestión.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que para la disposición particular, que acaba de ser descrita, del primer, segundo y tercer sensor así como del sensor de referencia, el sensor óptico en el primer ángulo de sensor, el sensor óptico en el segundo ángulo de sensor y el sensor óptico en el tercer ángulo de sensor así como el sensor de referencia tengan respectivamente un filtro de polarización. El filtro de polarización del sensor de referencia, del sensor óptico en el primer ángulo de sensor y del sensor óptico en el tercer ángulo de sensor están orientados entre sí para ello en un primer plano de polarización, mientras que el filtro de polarización del sensor óptico en el segundo ángulo de sensor está orientado en un segundo plano de polarización, que es perpendicular al primer plano de polarización. Una disposición de este tipo de los distintos planos de polarización de los filtros de polarización ha demostrado ser particularmente ventajosa en el sentido de que las características particulares de los distintos patrones determinados quedan nuevamente más claras, con lo que se mejora nuevamente la precisión de reconocimiento o respectivamente la precisión de clasificación.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que el dispositivo de evaluación esté diseñado para determinar el grado de coincidencia por correlación de las evoluciones de señal de las señales con los patrones de evolución de señal. Una correlación de este tipo, es decir una aplicación de un procedimiento estocástico conocido a

las señales detectadas o respectivamente a los patrones de señal hace posible determinar de modo sencillo y eficiente la similaridad entre las evoluciones de señal detectadas y los patrones de evolución de señal, con lo que el esfuerzo de cálculo y con ello el coste de circuitos se mantiene dentro de unos límites y es posible con ello de forma económica.

Igual de bien es también posible que el dispositivo de evaluación esté diseñado para determinar el grado de coincidencia por determinación de la distancia de la distribución, obtenida según un análisis de componentes principales, de las evoluciones de señal respecto a agrupaciones (*cluster*) de patrones de evolución de señal.

Un análisis de componentes principales (análisis PCA, del inglés “Principal Component Analysis”) de este tipo ofrece aquí la ventaja de aplicar, al conjunto de datos de las señales de luz dispersada afectadas por ruido, un procedimiento no paramétrico para extraer información relevante, con lo que por principio no es necesario ningún conocimiento de los grados de libertad matemáticos de la distribución subyacente de luz dispersada. A través de ello se toma en consideración el hecho de que mediante la determinación de los patrones de evolución de señal son registradas más dimensiones que las realmente necesarias, en que el análisis de componentes principales sirve, sin que sea necesario un procedimiento paramétrico, para reducir las dimensiones necesarias para la evaluación, para poder extraer las informaciones relevantes (componentes principales) de modo sencillo.

Igual de bien es posible sin embargo también que el dispositivo de evaluación esté diseñado para determinar el grado de coincidencia mediante evaluación de las evoluciones de señal de las señales detectadas y de los patrones de evolución de señal en una red neuronal. Esta red neuronal tiene preferiblemente al menos 38 neuronas. Mediante la evaluación en una red neuronal es posible un “aprendizaje” sencillo del dispositivo conforme a la invención con patrones de evolución de señal al mismo tiempo que se tiene una precisión de reconocimiento elevada durante la evaluación de evoluciones de señal de señales detectadas.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que los patrones de evolución de señal correspondan a evoluciones de señal para distribuciones de partículas de uno o varios del grupo de sucesos compuesto por emisión de polvo, emisión de vapor, emisión de humo de tabaco, incendio sin llamas de papel, incendio sin llamas de cartón, incendio abierto de papel, incendio abierto de cartón, incendio de ABS (acrónimo de “Acrylonitrile Butadiene Styrene”, polímero de acrilonitrilo, butadieno y estireno), incendio de n-heptano, incendio de PVC (acrónimo de “Poly(Vinyl Chloride)”, poli(cloruro de vinilo)), incendio de algodón, incendio de madera u otras emisiones de partículas.

A través de ello es posible poder proporcionar indicaciones de apagado o también procesos de apagado o inertización automáticos en función de un determinado grupo de incendios que se producen típicamente. Cuando se detectan otras emisiones de partículas, que no pueden ser asociadas a ninguno de los sucesos concretos, puede partirse en un caso así de un escenario para el peor de los casos y ponerse en marcha por ejemplo en cualquier caso una inertización total o una intervención de apagado con todos los medios existentes a disposición. En todos los demás casos es posible una lucha selectiva contra el incendio conociendo el tipo de incendio específico.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que el dispositivo se utilice en un sistema de detección de incendios aspirativo. El sistema de detección de incendios aspirativo tiene una alimentación de aire activa, conformada preferiblemente de modo controlable, para alimentar aire a clasificar a la zona de luz dispersada del dispositivo para la detección de señales de luz dispersada. El empleo en un sistema de detección de incendios aspirativo de este tipo es ventajoso sobre todo, o está incluso prescrito dado el caso, cuando por ejemplo un espacio cerrado es mantenido constantemente a un nivel de inertización básico. En este caso es posible que sin un sistema de detección de incendios que trabaja aspirativamente las partículas no alcancen la zona de luz dispersada en caso de que aparezca un incendio. Mediante una alimentación activa de aire a la zona de luz dispersada puede mejorarse con ello la precisión de reconocimiento en particular en espacios cerrados con inertización básica o respectivamente inertización permanente.

En particular en este contexto es imaginable además que el dispositivo tenga una disposición para detectar un nivel mínimo de partículas así como una disposición para hacer posible de forma optativa la alimentación de aire a clasificar a la zona de luz dispersada. La alimentación del aire a clasificar se hace posible justo entonces cuando se detecta una superación del nivel mínimo de partículas. A través de ello se garantiza que en reposo no fluya aire a través de la zona de luz dispersada del dispositivo conforme a la invención, para proteger los sensores ópticos frente a la suciedad. Sólo cuando se tiene un nivel mínimo de humo (nivel mínimo de partículas), es liberada entonces la alimentación de aire a la zona de luz dispersada.

Hay que indicar en este punto que puede llevarse a cabo la bajada, es decir la reducción del contenido de oxígeno por ejemplo introduciendo un gas inerte apropiado tal como por ejemplo nitrógeno, que es generado preferiblemente mediante un generador de nitrógeno. Por el concepto “reducción controlada” hay que entender un proceso tanto de técnica de control como preferiblemente de técnica de regulación. En un proceso de técnica de regulación apropiado, que discurre preferiblemente de forma automática, por ejemplo la concentración de oxígeno del espacio cerrado a inertizar se mediría constantemente mediante un sensor apropiado y se compararía continuamente con un valor nominal o prefijado, que debe alcanzarse como objetivo mediante una introducción apropiada de gas inerte. Este objetivo es ajustado preferiblemente de forma automática por un sistema de inertización con un dispositivo

conforme a la invención para la detección de luz dispersada, es decir que en función de un tipo de incendio clasificado mediante el dispositivo es fijado según sea necesario un nivel de inertización apropiado o respectivamente suficiente para el apagado efectivo del material incendiado específico.

Hay que mencionar en este contexto que el nivel de inertización, es decir el objetivo de concentración de oxígeno, es mantenido por regla general durante un periodo de tiempo determinado, para lo que se presta aquí nuevamente un sistema de técnica de regulación. A través de ello, puede llevarse a cabo por ejemplo un proceso de apagado por inertización, que necesita un cierto tiempo hasta terminar.

Por supuesto es posible también, una vez que se ha producido una clasificación de incendio por el dispositivo, determinar por ejemplo manualmente un objetivo de este tipo con ayuda de una tabla e introducirlo manualmente en un sistema de inertización apropiado.

Conforme a otro aspecto de la invención está previsto que la señal de control sea una señal de caracterización, que caracteriza un patrón de evolución de señal reconocido, y que el sistema de inertización esté diseñado además para ajustar automáticamente el contenido reducido de oxígeno.

Con relación al procedimiento conforme a la invención, la tarea es resuelta en particular mediante el recurso de que en un procedimiento para detectar señales de luz dispersada, el procedimiento incluye los pasos de procedimiento de alimentación de luz, detección de luz dispersada y referimiento preferiblemente continuo de evoluciones de señal de los sensores ópticos a una evolución de señal de un sensor de referencia. En el paso de procedimiento de alimentación de luz, es alimentada luz preferiblemente en un intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 560 hasta aproximadamente 420 nm, de forma particularmente preferida de aproximadamente 470 hasta aproximadamente 450 nm y en particular desde un diodo emisor de luz a una zona de luz dispersada. La luz incidente define aquí un eje de incidencia. En el paso de procedimiento de detección de luz dispersada, la luz dispersada, que es reflejada en partículas existentes dado el caso en la zona de luz dispersada, es detectada con una pluralidad de sensores ópticos, en que la pluralidad de sensores ópticos es preferiblemente una pluralidad de fotodiodos, que están dispuestos en un ángulo de sensor respectivamente relativo al eje de incidencia. Con relación al paso de procedimiento del referimiento preferiblemente continuo de evoluciones de señal de los sensores ópticos a una evolución de señal de un sensor de referencia, para la clasificación del tipo de partículas que se encuentran dado el caso en la zona de luz dispersada las evoluciones de señal de los sensores ópticos son referidas a la evolución de señal del sensor de referencia, preferiblemente a la evolución de señal de un sensor de referencia dispuesto esencialmente en un ángulo recto de sensor.

Las ventajas descritas anteriormente con relación al dispositivo conforme a la invención son válidas análogamente también para el procedimiento conforme a la invención.

Conforme a otro aspecto de la invención, con relación al procedimiento está previsto que el procedimiento incluya además el paso de procedimiento de la comparación preferiblemente continua de evoluciones de señal de las señales detectadas con patrones de evolución de señal utilizando la evolución de señal de la señal detectada del sensor de referencia, y el paso de procedimiento de la emisión, en caso de un grado de coincidencia suficientemente grande con uno de los patrones de evolución de señal, de una señal de caracterización, preferiblemente dirigida a una instalación de inertización para la reducción controlada del contenido de oxígeno en un espacio cerrado, en que la señal de caracterización caracteriza el patrón de evolución de señal reconocido.

En lo que sigue son explicados más detalladamente ejemplos de realización de la solución conforme a la invención con ayuda de un dibujo.

Muestran:

la figura 1: esquemáticamente un dispositivo para la detección de señales de luz dispersada según una primera forma de realización de la invención;

la figura 2: esquemáticamente un dispositivo para la detección de señales de luz dispersada según una segunda forma de realización de la invención;

la figura 3: evoluciones de señal de los sensores ópticos, que encuentran aplicación en el dispositivo según la figura 1, por el lado izquierdo de la figura 1 durante un proceso de detección de luz dispersada en función del tiempo;

la figura 4: una representación, referida a la señal de un sensor de referencia, de rectas de regresión de las evoluciones de señal de la figura 3;

la figura 5: evoluciones de señal análogamente a la figura 3, para los sensores ópticos dispuestos por el lado derecho de la figura 1;

la figura 6: rectas de regresión referidas al mismo sensor de referencia que en la figura 4, análogamente a la figura 4, para los sensores dispuestos por el lado derecho de la figura 1;

la figura 7: las pendientes de las rectas de ajuste determinadas en la figura 4 y la figura 6, referidas al índice de sensor para la medición de partículas realizada;

la figura 8: evoluciones de señal análogamente a la figura 3, para un segundo incendio de prueba;

la figura 9: rectas de regresión análogamente a la figura 4, para el segundo incendio de prueba;

la figura 10: evoluciones de señal análogamente a la figura 5, para el segundo incendio de prueba;

la figura 11: rectas de regresión análogamente a la figura 6, para el segundo incendio de prueba;

la figura 12: pendientes de las rectas de ajuste análogamente a la figura 7, para el segundo incendio de prueba;

la figura 13: evoluciones de señal análogamente a la figura 3, para el tercer incendio de prueba;

la figura 14: rectas de regresión análogamente a la figura 4, para el tercer incendio de prueba;

la figura 15: evoluciones de señal análogamente a la figura 5, para el tercer incendio de prueba;

la figura 16: rectas de regresión análogamente a la figura 6, para el tercer incendio de prueba;

la figura 17: pendientes de las rectas de regresión análogamente a la figura 7, para el tercer incendio de prueba;

la figura 18: representación de agrupaciones de los datos de sensor, apropiada para la realización de un análisis de componentes principales, para diversos tipos de incendio, componente principal 2 (PC2) sobre componente principal 1 (PC1);

la figura 19: representación de agrupaciones análogamente a la figura 18, para un tercer componente principal (PC3) sobre el primer componente principal (PC1);

la figura 20: una representación de agrupaciones análogamente a las figuras 18 y 19, para el tercer componente principal (PC3) sobre el segundo componente principal (PC2).

La figura 1 muestra una vista esquemática de un dispositivo 100 conforme a la invención para la detección de señales de luz dispersada en una primera forma de realización. El dispositivo tiene una fuente luminosa 10, la cual emite luz a lo largo de un eje de incidencia 11 hacia una zona de luz dispersada 15 indicada con línea discontinua. La fuente luminosa 10 está conformada en el ejemplo de realización de la figura 1 como diodo emisor de luz y emite de acuerdo con ello luz con un campo de radiación pequeño y finito. Convenientemente, el eje de incidencia 11 es definido de tal modo que discurre a lo largo de la recta, que uniría los respectivos puntos centrales del cono de radiación en caso de proyección del cono de luz de la fuente luminosa sobre planos de corte situados en la zona de luz dispersada 15 y que discurren perpendicularmente al plano del papel de la figura 1.

La fuente luminosa 10 emite luz esencialmente monocromática en el intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 560 hasta aproximadamente 420 nm (intervalo verde a azul de la luz visible). Preferiblemente la fuente 10 emite luz en el intervalo de aproximadamente 470 hasta aproximadamente 450 nm (intervalo azul de la luz visible).

La luz en este intervalo de longitudes de onda, en comparación con luz de longitud de onda más larga, es dispersada más fuertemente por los mecanismos de dispersión (dispersión de Rayleigh o respectivamente de Mie) predominantes para las partículas, lo que en comparación con luz de longitud de onda más larga lleva a niveles de señal relativamente altos en los detectores de luz dispersada 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y con ello tiene como consecuencia una relación señal-ruido relativamente buena.

En la primera forma de realización conforme a la figura 1, están dispuestos en el mismo plano, en el que también está dispuesta la fuente luminosa 10, varios sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, los cuales están dispuestos respectivamente en un ángulo de sensor W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10 correspondiente (tomado de forma matemáticamente negativa en la figura 1), relativo al eje de incidencia 11, y están orientados en dirección a una zona de detección 16 que rodea el centro de la zona de luz dispersada 15.

Los ángulos de sensor W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10 de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 son conforme al primer ejemplo de realización por lo tanto respectivamente diferentes entre sí. Además, los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 están dispuestos en un plano, es decir conforme a la representación en la figura 1 en el plano del papel. A través de ello, los ángulos de sensor, que son referidos respectivamente al eje de incidencia 11 de la luz excitadora, pueden ser definidos dentro del mismo plano. En este contexto hay que tener en cuenta que las consideraciones realizadas anteriormente con relación al ensanchamiento finito del haz de rayos emitido por la fuente luminosa 11 son válidas por supuesto también para la dirección de detección de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, con ayuda de la cual es determinado el

respectivo ángulo de sensor W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10 de un sensor individual 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30.

Apartándose de ello es también posible no disponer algunos de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 en un plano común. Con otras palabras, en un caso en el que en particular el eje de incidencia 11 y algunos ejes de sensor de los sensores 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 no se cortan (el eje de incidencia 11 y los ejes de sensor son rectas ladeadas), por ángulo de sensor W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10 hay que entender aquel ángulo que puede ser definido entre aquella paralela al eje de incidencia 11 y aquella paralela al eje de sensor que se cortan en un punto en el espacio.

En el primer ejemplo de realización conforme a la figura 1, cada uno de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, que en el ejemplo de realización conforme a la figura 1 están conformados como fotodiodos, está dotado de un filtro de polarización 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 asociado. Cada uno de los filtros de polarización 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 polariza la luz dispersada que incide dado el caso sobre los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, la cual es dispersada por partículas dado el caso existentes en la zona de luz dispersada 15 que hay que clasificar, cuando la luz excitadora procedente de la fuente luminosa 10 incide sobre las partículas.

Como sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 (fotodetectores) entran en consideración en vez de los fotodiodos fundamentalmente también cualquier otro tipo de componentes semiconductores sensibles a la luz, tales como por ejemplo fotorresistores, fototransistores o fotomultiplicadores.

Los filtros de polarización 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49 de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 están orientados en este caso en un plano de polarización común, mientras que el filtro de polarización 50 del sensor óptico 30 está orientado perpendicularmente a este plano de polarización común.

Hay que indicar en este punto que, en particular para sensores con extensión superficial o en forma de líneas, como se ha discutido anteriormente, filtros de polarización de este tipo pueden estar dispuestos también directamente sobre el chip de sensor, es decir sobre la superficie del chip de sensor. En otras palabras, en particular para soluciones de sensor integradas con extensión superficial o en forma de líneas (CDD, CMOS o similares), en las distintas zonas de sensor o respectivamente zonas de reconocimiento sobre la superficie de sensor o respectivamente sobre la línea de sensores puede estar prevista una capa, que está en conexión directa o indirecta con el chip de sensor y tiene un efecto polarizador.

El sensor óptico 23, que conforme al ejemplo de realización de la figura 1 está dispuesto formando un ángulo de sensor W3 en amplia medida recto, sirve en este primer ejemplo de realización como sensor de referencia, es decir las señales de detección de los restantes sensores ópticos 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 son referidas al sensor de referencia 23 o respectivamente a su evolución de señal.

Hay que tener en cuenta además que el referimiento de las evoluciones de señal de los restantes sensores ópticos 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 a la evolución de señal del sensor de referencia 23 es convenientemente una normalización respecto a la potencia de señal del sensor de referencia 23. Aquí entra en cuestión por ejemplo una normalización continua sobre el transcurso de las evoluciones de señal respectivamente medidas, es decir por ejemplo en caso de muestreo temporalmente discreto de señal (*sampling*) una normalización de cada muestra individual de cada una de las señales de medida de los restantes sensores ópticos 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 respecto a aquella muestra de la evolución de señal del sensor de referencia 23, que corresponde al mismo momento de muestreo.

Mediante el número relativamente grande de sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 conforme al primer ejemplo de realización representado en la figura 1 pueden evitarse ampliamente colisiones de patrones y con ello colisiones de reconocimiento, es decir que para un número relativamente grande de sensores ópticos como en el primer ejemplo de realización conforme a la figura 1 pueden obtenerse con una alta precisión patrones de señal o conjuntos de patrones de señal.

La intensidad, medida en un lugar determinado en torno a la zona de luz dispersada 15, de la luz dispersada tiene – por ejemplo durante un incendio – un patrón característico dependiente del lugar y de la polarización, el cual puede ser detectado de forma segura y sencilla con el dispositivo conforme a la figura 1.

En dispositivos habituales, que sólo detectan un único lugar de medida en torno a la zona de luz dispersada 15 sin filtro de polarización dispuesto delante, es muy probable que se produzcan desde luego colisiones entre patrones de detección de tipos de incendio diferentes. Mediante el dispositivo conforme a la invención descrito en el primer ejemplo de realización con ayuda de la figura 1, con una pluralidad de sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, en que un sensor 23 es un sensor de referencia, disminuye la probabilidad de colisiones de este tipo relativas a patrones.

La figura 2 muestra la estructura esquemática de un segundo ejemplo de realización del dispositivo 100 conforme a la invención, similar al de la figura 1, pero con un número claramente reducido de sensores ópticos.

Con relación a la estructura y al efecto de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y de la fuente luminosa 10, son válidas para el segundo ejemplo de realización las consideraciones realizadas en conexión con el primer ejemplo de realización.

En el dispositivo 100 para la detección de señales de luz dispersada están previstos, además de la fuente luminosa 10, que está conformada nuevamente como diodo emisor de luz, sólo cuatro sensores ópticos 21, 23, 24, 30, los cuales están dispuestos en ángulos de sensor asociados tales como W1, W3, W4, W10 en torno al centro de luz dispersada 15. El sensor óptico 23, dispuesto esencialmente en un ángulo recto de sensor W 3, sirve nuevamente como sensor de referencia. También en el segundo ejemplo de realización todos los sensores ópticos 21, 23, 24, 30 están dotados de filtros de polarización 41, 43, 44, 50 correspondientemente asociados.

El sensor óptico 21 está dispuesto en este caso en un ángulo agudo W1 de preferiblemente unos 45º; dispuesto frente a él y con respecto a la fuente luminosa 10 está dispuesto el sensor 30 en un ángulo W10 de preferiblemente unos 315º, de modo que el ángulo agudo W 1 y el ángulo W 10 se complementan formando un ángulo pleno, es decir 360º. El sensor óptico 24 está dispuesto en un ángulo obtuso W 4, en que el ángulo obtuso W 4 vale preferiblemente unos 112,5º. Mientras que los filtros de polarización 41, 43, 44 de los sensores ópticos 21, 23, 24 están orientados en el mismo plano de polarización, el plano de polarización del filtro de polarización 50 del sensor óptico 30 está girado 90º respecto al anterior plano. Con la realización especial conforme al segundo ejemplo de realización de la figura 2 pueden determinarse, pese a un número de sensores reducido, patrones de evolución de señal o respectivamente conjuntos de patrones de evolución de señal significativos característicos o respectivamente puede llevarse a cabo una detección de señales de luz dispersada, dado el caso con clasificación automática por comparación de patrones con uno de los conjuntos de patrones de evolución de señal, con alta precisión de reconocimiento o respectivamente de clasificación.

En las figuras 1 y 2 respectivamente no está representado un dispositivo de evaluación para evaluar las señales detectadas por los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, que lleva a cabo la normalización, representada teniendo en cuenta las representaciones en las figuras siguientes, de las evoluciones de señal de los sensores con respecto a la evolución de señal de un sensor de referencia (en los ejemplos de realización conforme a las figuras 1 y 2, el sensor de referencia 23).

Convenientemente, una unidad de evaluación así será una unidad digital de evaluación, en particular un microordenador, un sistema integrado o similar. En este caso hay que garantizar mediante la selección de convertidores analógico-digitales apropiados que en un proceso de muestreo de los valores de señal de los sensores ópticos se tenga una suficiente resolución de amplitud. Además hay que muestrear por supuesto con una tasa de muestreo suficientemente alta como para evitar efectos de solapamiento espectral.

Una unidad de evaluación de este tipo, no representada en las figuras 1 y 2, está diseñada preferiblemente para comparar las señales detectadas de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) preferiblemente de forma continua con los patrones de evolución de señal representados en las figuras siguientes. En caso de un grado de coincidencia suficientemente grande con uno de los patrones de evolución de señales, una unidad de evaluación de este tipo diseñada correspondientemente emitirá preferiblemente una señal de caracterización, que caracteriza el patrón de evolución de señal reconocido.

Una emisión de una señal de caracterización de este tipo puede producirse preferiblemente por un visualizador óptico sencillo igualmente no representado (diodo emisor de luz o pantalla óptica o similar) o un controlador de relé. Es posible además emitir la señal de caracterización hacia un sistema de inertización igualmente no representado en las figuras 1 y 2, el cual, de acuerdo con un tipo de incendio clasificado automáticamente y adecuadamente codificado correspondientemente en la señal de caracterización, realiza un procedimiento de inertización apropiado para el tipo de incendio en cuestión.

La figura 3 muestra un diagrama de evolución de señal de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25 del primer ejemplo de realización conforme a la figura 1 durante una primera medición de prueba en función del tiempo. Están representadas aquí las tensiones eléctricas de salida o respectivamente tensiones eléctricas de detección DS de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25. La primera medición de prueba representada en la figura 3 ha sido realizada con el dispositivo conforme al primer ejemplo de realización durante un incendio abierto de papel, para obtener patrones de evolución de señal característicos de los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25 dispuestos a la izquierda del eje de incidencia en la figura 1. El sensor óptico 21 está asociado aquí a la evolución de señal designada por S1 PAP; análogamente, las evoluciones de señal S2 PAP, S3 PAP, S4 PAP y S5 PAP corresponden a las señales de medida emitidas por los sensores ópticos 22, 23, 24, 25 en un periodo de 0 hasta aproximadamente 500 segundos. Hay que hacer notar en este punto que por supuesto con una elección de una tasa de muestreo suficientemente alta también puedan llevarse a cabo mediciones de evolución de señal temporalmente discretas, para poder procesar adicionalmente de forma sencilla las evoluciones de señal en un sistema de procesamiento digital.

En la figura 4 están representadas las rectas de regresión pertenecientes a la figura 3 tras el referimiento de los puntos de medición individuales de la figura 3 a la señal de salida S3 PAP del sensor de referencia 23. Tras la normalización realizada con ello de las señales de medición respecto a la señal de salida del sensor de referencia 23, la pendiente de la recta de ajuste R3 PAP de este último vale uno, mientras que las pendientes de las restantes

rectas de ajuste R1 PAP, R2 PAP, R4 PAP y R5 PAP, relativas a los sensores ópticos 21, 22, 24 y 25, son distintas de uno.

En la figura 5 se muestran las evoluciones de señal de los sensores ópticos 26, 27, 28, 29, 30 situados a la derecha del eje de incidencia 11 en la figura 1, y a saber igualmente durante una primera medición de prueba durante el incendio abierto de papel anteriormente citado. Las evoluciones de señal S6 PAP, S7 PAP, S8 PAP, S9 PAP y S10 PAP corresponden aquí a las evoluciones de señal que son emitidas por los sensores ópticos 26, 27, 28, 29, 30.

En la figura 6 están representadas a su vez las rectas de regresión R6 PAP, R7 PAP, R8 PAP, R9 PAP y R10 PAP asociadas, las cuales están referidas nuevamente – de forma análoga a la representación de la figura 4 – a la evolución de señal de detección del sensor de referencia 23 (es decir a la evolución de señal S3 PAP).

En la figura 7 se muestra finalmente el patrón de distribución asociado de las rectas de regresión de las figuras 4 y 6 durante la medición de la luz dispersada, tal como aparece en caso de un incendio de papel. Las pendientes MR de las rectas de regresión de las figuras 4 y 6 están representadas en la figura 7 como diagrama de barras respecto al índice de sensor IDX, en que los índices de sensor 1 a 10 corresponden a los sensores ópticos 21 a 30.

El patrón obtenido en la figura 7 es característico para la distribución de luz dispersada durante un incendio de papel y puede encontrar aplicación en comparaciones siguientes con patrones, en particular y preferiblemente también comparaciones automáticas con patrones en un dispositivo de evaluación diseñado correspondientemente. En particular, también cuando para un proceso de medición real posterior encuentra aplicación un dispositivo conforme al segundo ejemplo de realización de la figura 2 con un número reducido de sensores, puede hacerse uso de la distribución de patrones de la figura 7 (con índices de sensor IDX correctamente asociados). Así se ha determinado que en particular con la disposición especial de sensores conforme al segundo ejemplo de realización de la figura 2, las señales de sensor de los sensores ópticos 21, 23, 24 y 30, que corresponden a los índices de sensor 1, 3, 4 y 10, son suficientes, en caso de normalización respecto a la evolución de señal del sensor de referencia 23 (índice de sensor 3), para clasificar el tipo de incendio con una precisión suficientemente alta.

En las figuras 8 a 12 o respectivamente 13 a 17 están representados patrones de evolución de señal, sus rectas de regresión así como sus distribuciones de patrón referidas a la pendiente para una segunda medición de prueba (incendio de cigarrillos, ZIG) y una tercera medición de prueba (incendio de PVC, PVC). En detalle, las figuras 8 o respectivamente 10 muestran las evoluciones de señal durante la segunda medición de prueba durante un incendio de cigarrillo en función del tiempo en un intervalo temporal de 0 hasta aproximadamente 500 segundos, respectivamente separadas para los sensores ópticos 21, 22, 23, 24, 25 a la izquierda en la figura 1 y los sensores ópticos 26, 27, 28, 29, 30 a la derecha en la figura 1 con las rectas de regresión (del lado izquierdo) asociadas en la figura 9 y las rectas de regresión (del lado derecho) en la figura 11. La regresión es realizada con referencia nuevamente a la señal de sensor del sensor óptico 23 que sirve como sensor de referencia (evolución de señal S 3 ZIG). El patrón característico para un incendio de cigarrillo de la figura 12 se diferencia aquí ya en una comparación puramente óptica claramente del patrón característico para un incendio de papel de la figura 7, lo que muestra la buena adecuación del dispositivo conforme a la invención para la detección de señales de luz dispersada, en el que las evoluciones de señal de los sensores ópticos sirven para la clasificación del tipo de partículas que se encuentran dado el caso en la zona de luz dispersada 15. También aquí llama nuevamente la atención que ya la evolución de las pendientes para el número reducido de sensores conforme al segundo ejemplo de realización de la figura 2 (sólo los índices de sensor 1, 3, 4 y 10 son tomados en cuenta) es suficiente para poder clasificar con alta precisión el tipo de incendio.

Las figuras 13 y 15 muestran a su vez evoluciones de señal de los sensores izquierdos o respectivamente derechos durante la medición de prueba durante un incendio de PVC con sus rectas de regresión asociadas (referidas nuevamente a la señal de detección del sensor óptico 23 que sirve como sensor de referencia) en las figuras 14 o respectivamente 16. Una comparación del patrón, representado en la figura 17, de las pendientes MR de las rectas de regresión durante un incendio de PVC muestra en comparación con las figuras 7 y 12 nuevamente las características claramente diferentes de luz dispersada, que permiten una elevada precisión de detección y clasificación.

En las figuras 18 a 20 está ilustrada otra posibilidad de evaluación, distinta a las rectas de regresión, de las señales de medición mediante un análisis de componentes principales (PCA).

El empleo de un análisis de componentes principales es particularmente ventajoso en el presente caso, ya que un modo de proceder paramétrico presupondría un conocimiento complicado y costoso en cuanto a cálculo acerca de la estructura del sistema matemático compuesto por fuente luminosa y sensores de luz dispersada. Con ayuda del análisis de componentes principales (PCA) puede conseguirse una reducción de dimensión basada puramente en métodos estadísticos.

En las figuras 18 a 20 están representadas distintas agrupaciones BUC, BAU, PUR, HEP, ABS, PAP, PAE, PVC, ZIG, ZRE, MEH, ZEM, TEP de patrones de evolución de señal según un análisis de componentes principales con reducción a tres componentes principales PC1, PC2, PC3, en que en la figura 18 está representado el componente principal 2 (PC2) respecto al componente principal 1 (PC1), en la figura 19 el componente principal 3 (PC3) respecto

al componente principal 1 (PC1), y en la figura 20 el componente principal 3 (PC3) respecto al componente principal 2 (PC2). Las distintas agrupaciones BUC, BAU, PUR, HEP, ABS, PAP, PAE, PVC, ZIG, ZRE, MEH, ZEM, TEP corresponden aquí a características de los siguientes tipos de incendio:

Agrupación	Tipo de incendio
BUC	Madera de haya
BAU	Algodón
PUR	PUR
HEP	n-heptano
ABS	ABS
PAP	Papel
PAE	Cartón
PVC	PVC
ZIG	Cigarrillo
ZRE	Cigarro
MEH	Polvo de harina
ZEM	Polvo de cemento
TEP	Alfombra

Cuando se llevan a cabo mediciones de incendios reales con el dispositivo conforme a la invención para la detección de señales de luz dispersada, se produce una evaluación con ayuda de las agrupaciones de las figuras 18 a 20 mediante un análisis de componentes principales por una determinación de distancia de la distribución, obtenida tras un análisis de componentes principales, de las evoluciones de señal de las señales detectadas (agrupaciones medidas) respecto a agrupaciones de los patrones de evolución de señal de las figuras 18 a 20 (patrones de agrupación).

El análisis de componentes principales ofrece aquí la ventaja de una reducción de dimensiones posible de forma relativamente sencilla con una reducción de ruido ventajosa asociada a ello, con lo que se consideran esencialmente sólo partes de señal relevantes para la clasificación de incendios o respectivamente la clasificación de partículas.

Hay que indicar en este punto que todas las partes anteriormente descritas, consideradas por sí solas y en cualquier combinación, en particular los detalles representados en los dibujos, son reivindicados como esenciales para la invención. Variaciones respecto a ello son familiares para el técnico en la materia.

Lista de símbolos de referencia

10	Fuente luminosa
11	Eje de incidencia
15	Zona de luz dispersada
16	Zona de detección
21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30	Sensores ópticos
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50	Filtros de polarización
100	Dispositivo para la detección de señales de luz dispersada

DS	Señal de detección
S1PAP, S2PAP, S3PAP, S4PAP, S5PAP, S6PAP, S7PAP, S8PAP, S9PAP, S10PAP, S1ZIG, S2ZIG, S3ZIG, S4ZIG, S5ZIG, S6ZIG, S7ZIG, S8ZIG, S9ZIG, S10ZIG, S1PVC, S2PVC, S3PVC, S4PVC, S5PVC, S6PVC, S7PVC, S8PVC, S9PVC, S10PVC	Señales de sensor
R1PAP, R2PAP, R3PAP, R4PAP, R5PAP, R6PAP, R7PAP, R8PAP, R9PAP, R10PAP, R1ZIG, R2ZIG, R3ZIG, R4ZIG, R5ZIG, R6ZIG, R7ZIG, R8ZIG, R9ZIG, R10ZIG, R1PVC, R2PVC, R3PVC, R4PVC, R5PVC, R6PVC, R7PVC, R8PVC, R9PVC, R10PVC	Evoluciones de regresión
MR	Pendiente de las evoluciones de regresión
IDX	Índices de sensor
BUC, BAU, PUR, HEP, ABS, PAR, PAE, PVC, ZIG, ZRG, MEH, ZEM, TEP	Agrupaciones de evoluciones de señal
W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10	Ángulos de sensor

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (100) para la detección de señales de luz dispersada, en que el dispositivo incluye lo siguiente:

- una fuente luminosa (10);

- una pluralidad de sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) para la detección de luz dispersada; y

- un dispositivo de evaluación para evaluar las señales detectadas por los sensores ópticos,

en que la fuente luminosa (10) emite luz hacia una zona de luz dispersada (15), en que la luz incidente define un eje de incidencia (11), en que cada uno de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) está dispuesto en un ángulo (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10) respecto al eje de incidencia (11), para detectar luz dispersada procedente de la zona de luz dispersada (15),

caracterizado porque

uno de la pluralidad de sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) es un sensor de referencia, en que la unidad de evaluación está diseñada para referir evoluciones de señal de los restantes sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) a la evolución de señal del sensor de referencia, en que las evoluciones de señal de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) sirven para la clasificación del tipo de partículas que se encuentran dado el caso en la zona de luz dispersada (15).

2. Dispositivo (100) según la reivindicación 1,

en que un sensor óptico (23), dispuesto esencialmente en un ángulo recto de sensor (W3), de la pluralidad de sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) es el sensor de referencia.

3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, en que el dispositivo de evaluación está diseñado además para comparar las evoluciones de señal de las señales detectadas de la pluralidad de sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) con patrones de evolución de señal y, en caso de un grado de coincidencia suficientemente alto con uno de los patrones de evolución de señal, emitir una señal de caracterización, que caracteriza el patrón de evolución de señal reconocido.

4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, en que la fuente luminosa (10) emite esencialmente luz monocromática en un intervalo de longitudes de onda de aproximadamente 560 hasta aproximadamente 420 nm.

5. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que al menos uno de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) tiene un filtro de polarización (41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50) para polarizar la luz dispersada a detectar.

6. Dispositivo según la reivindicación 5, en que varios de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) tienen respectivamente un filtro de polarización (41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50), en que los planos de polarización de al menos dos filtros de polarización (41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50) están dispuestos esencialmente de forma perpendicular entre sí.

7. Dispositivo según la reivindicación 5, en que cada uno de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) tiene respectivamente un filtro de polarización (41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50), en que los planos de polarización de al menos dos filtros de polarización (41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50) están dispuestos esencialmente de forma perpendicular entre sí.

8. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que cada uno de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) está orientado esencialmente en dirección a una zona de detección (16) común de la zona de luz dispersada (15).

9. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que cada algunos o todos los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) están conformados como fotodiodos y/o en que la fuente luminosa (10) es un diodo emisor de luz.

10. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que el dispositivo incluye un sensor óptico (21) en un primer ángulo de sensor (W1), un sensor óptico (30) en un segundo ángulo de sensor (W10) y un sensor óptico (24) en un tercer ángulo de sensor (W4), y en que el primer ángulo de sensor (W1) es un ángulo agudo y completa 360º con el segundo ángulo de sensor (W10), y en que el tercer ángulo de sensor (W4) es un ángulo obtuso.

11. Dispositivo según la reivindicación 10, en que el primer ángulo de sensor (W1) vale aproximadamente 45º y el segundo ángulo de sensor (W10) aproximadamente 315º, y en que el tercer ángulo de sensor (W4) vale aproximadamente 112,5º.

12. Dispositivo según la reivindicación 10 u 11, en que el sensor de referencia (23), el sensor óptico (21) en el primer ángulo de sensor (W1), el sensor óptico (30) en el segundo ángulo de sensor (W10) y el sensor óptico (24) en el tercer ángulo de sensor (W4) tienen respectivamente un filtro de polarización (43, 41, 50, 44), y en que los filtros de polarización (43, 41, 44) del sensor de referencia (23), del sensor óptico (21) en el primer ángulo de sensor (W1) y del sensor óptico (24) en el tercer ángulo de sensor (W4) están orientados entre sí en un primer plano de polarización, y en que el filtro de polarización (50) del sensor óptico (30) en el segundo ángulo de sensor (W10) está orientado en un segundo plano de polarización, que es perpendicular al primer plano de polarización.

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que el dispositivo de evaluación está diseñado para determinar el grado de coincidencia mediante correlación de las evoluciones de señal de las señales con los patrones de evolución de señal.

14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 12, en que el dispositivo de evaluación está diseñado para determinar el grado de coincidencia por determinación de distancia de la distribución, obtenida según un análisis de componentes principales, de las evoluciones de señal de las señales detectadas respecto a agrupaciones (BUC, BAU, PUR, HEP, ABS, PAP, PAE, PVC, ZIG, ZRE, MEH, ZEM, TEP) de los patrones de evolución de señal.

15. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1-12, en que el dispositivo de evaluación está diseñado para determinar el grado de coincidencia mediante evaluación de las evoluciones de señal de las señales detectadas y de los patrones de evolución de señal en una red neuronal.

16. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que los patrones de evolución de señal corresponden a evoluciones de señal de distribuciones de partículas de uno o varios del grupo de sucesos siguientes:

- emisión de polvo;
- emisión de vapor;
- emisión de humo de tabaco;
- incendio sin llamas de papel;
- incendio sin llamas de cartón;
- incendio abierto de papel;
- incendio abierto de cartón;
- incendio de ABS;
- incendio de n-heptano;
- incendio de PVC;
- incendio de algodón;
- incendio de madera;
- otras emisiones de partículas.

17. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que el dispositivo se emplea en un sistema de detección de incendios aspirativo, en que el sistema de detección de incendios aspirativo incluye una alimentación de aire activa para alimentar a las zonas de luz dispersada (15) aire a clasificar.

18. Dispositivo según una de las reivindicaciones precedentes, en que además están previstos un dispositivo para la detección de un nivel mínimo de partículas así como un dispositivo para hacer posible opcionalmente la alimentación a la zona de luz dispersada (15) de aire a clasificar, en que la alimentación del aire a clasificar se hace posible cuando se detecta una superación del nivel mínimo de partículas.

19. Procedimiento para la detección de señales de luz dispersada, en que el procedimiento incluye los siguientes pasos de procedimiento:

- alimentación de luz a una zona de luz dispersada (15), en que la luz incidente define un eje de incidencia (11); y
- detección de luz dispersada, que se refleja en partículas existentes dado el caso en la zona de luz dispersada (15), con una pluralidad de sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30), con una pluralidad de fotodiodos, que están dispuestos en un ángulo de sensor (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7, W8, W9, W10) respectivamente con respecto al eje de incidencia (11),

caracterizado por los siguientes pasos de procedimiento:

- referimiento de evoluciones de señal de los sensores ópticos (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) a una evolución de señal de un sensor de referencia para la clasificación del tipo de las partículas que se encuentran dado el caso en la zona de luz dispersada (15).

20. Procedimiento según la reivindicación 19, en que el procedimiento incluye además los siguientes pasos de procedimiento:

- comparación de evoluciones de señal de las señales detectadas con patrones de evolución de señal empleando la evolución de señal del sensor de referencia; y

- en caso de un grado de coincidencia suficientemente grande con uno de los patrones de evolución de señal: emisión de una señal de caracterización hacia un sistema de inertización para la reducción, controlada opcionalmente de forma automática, del contenido de oxígeno en un espacio cerrado, en que la señal de caracterización caracteriza el patrón de evolución de señal reconocido.

21. Sistema de inertización para la reducción, controlada opcionalmente de forma automática, del contenido de oxígeno en un espacio cerrado y para el mantenimiento del contenido reducido de oxígeno durante un periodo de tiempo fijado o fijable, en que el sistema de inertización incluye un dispositivo para la detección de señales de luz dispersada según una de las reivindicaciones 1 a 18, en que el sistema de inertización está diseñado para ajustar el contenido reducido de oxígeno en función de una señal de control.

22. Sistema de inertización según la reivindicación 21, en que la señal de control es la señal de caracterización que caracteriza el patrón de evolución de señal reconocido y el sistema de inertización está diseñado para ajustar automáticamente el contenido reducido de oxígeno y mantenerlo durante el periodo de tiempo fijado o fijable.

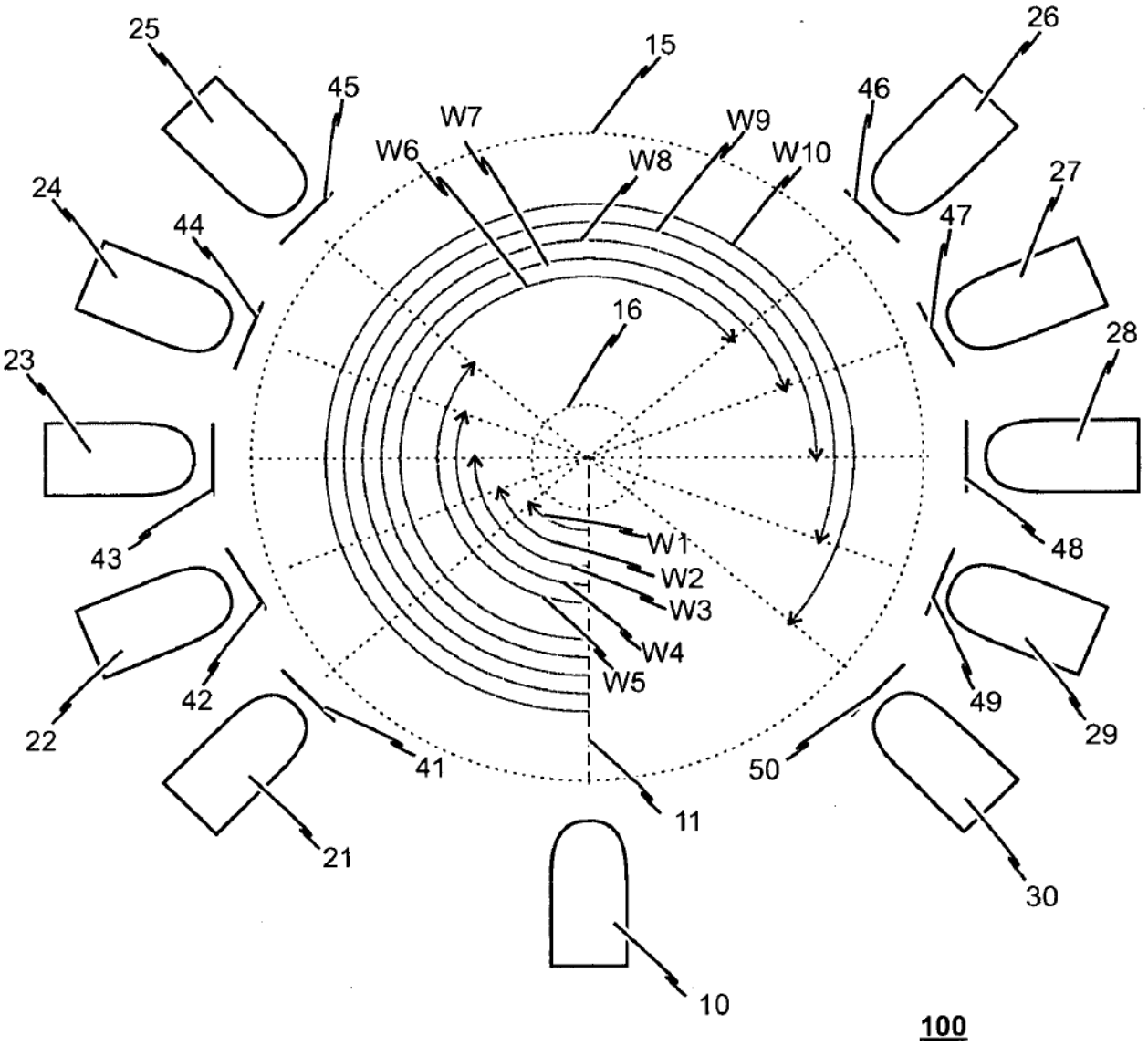
25
45
15
26
46
W7
W9
W6
W8
W10
24
44
27
47
16
28
23
W1
W2
W3
W4
W5
43
48
42
49
22
29
41
50
11
21
30
10
100

Fig. 1

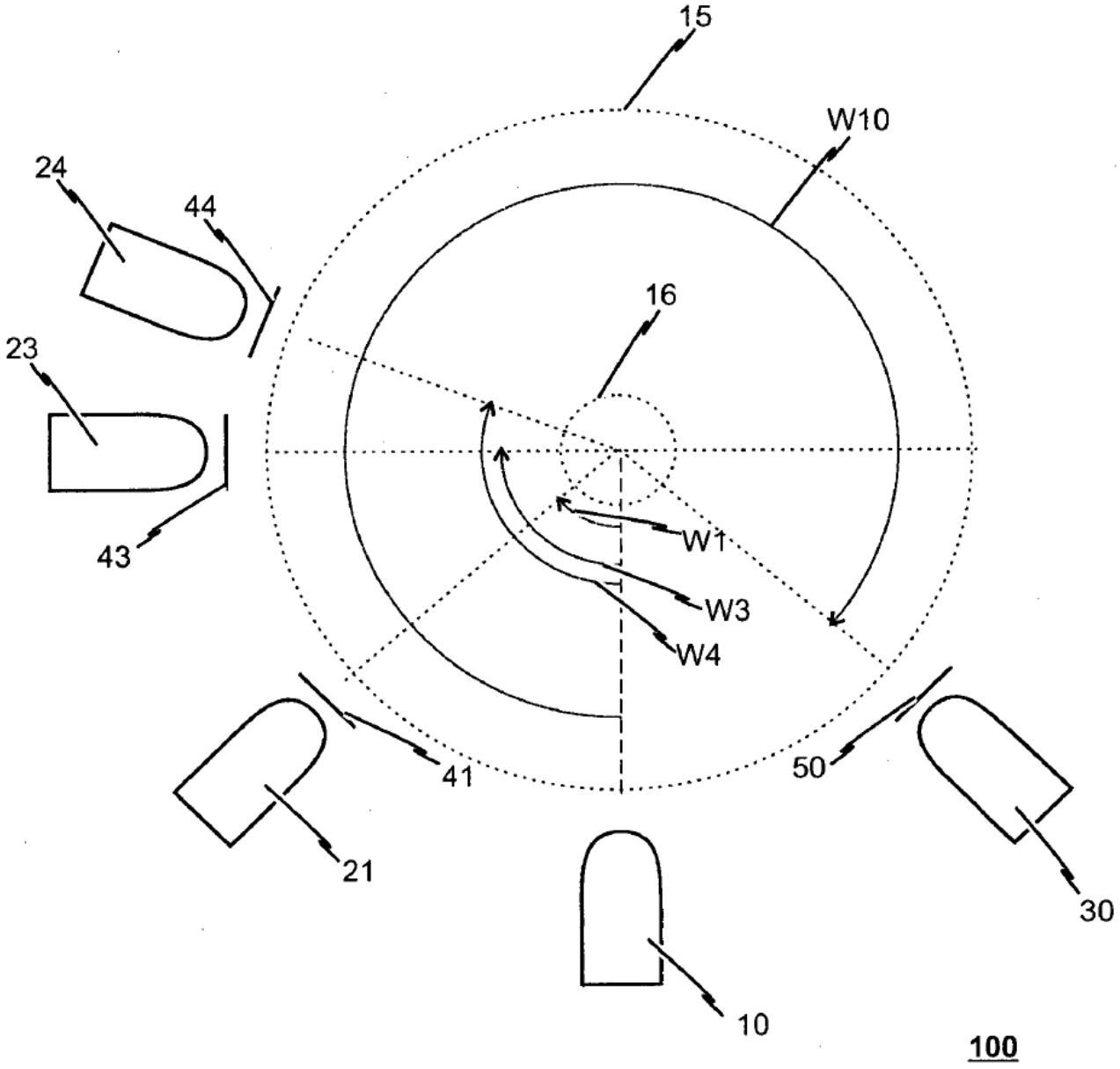

Fig. 2

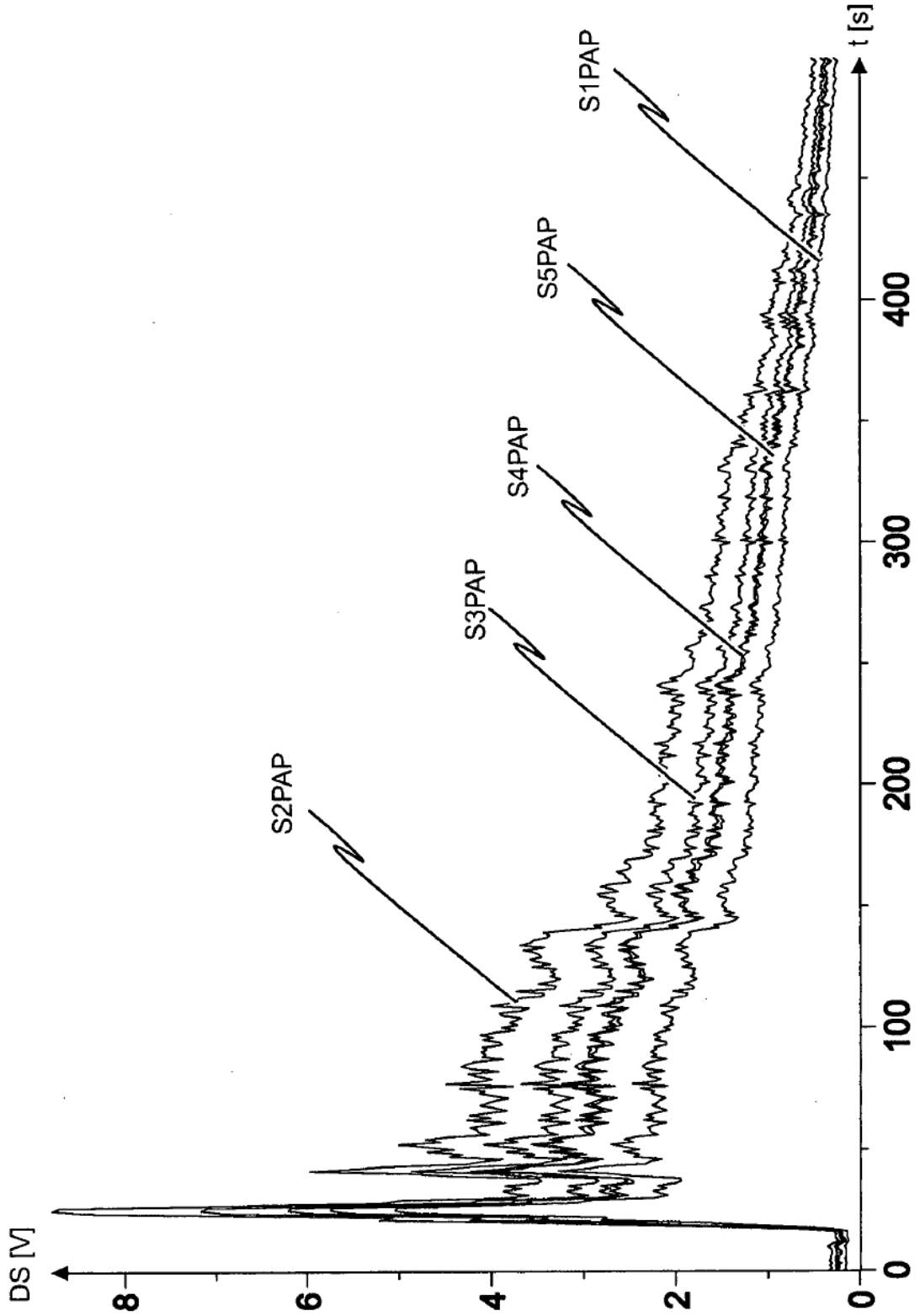

Fig. 3

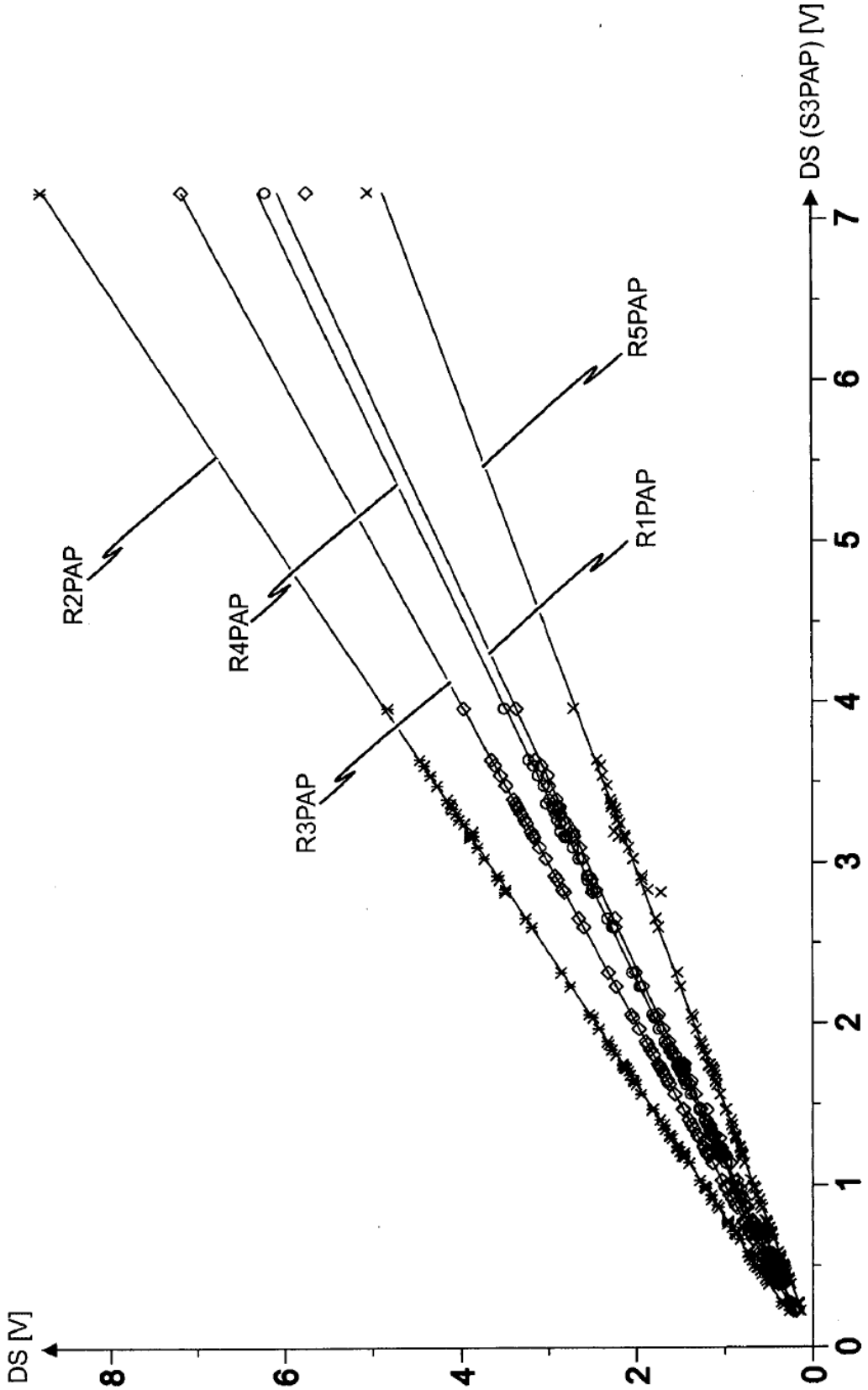

Fig. 4

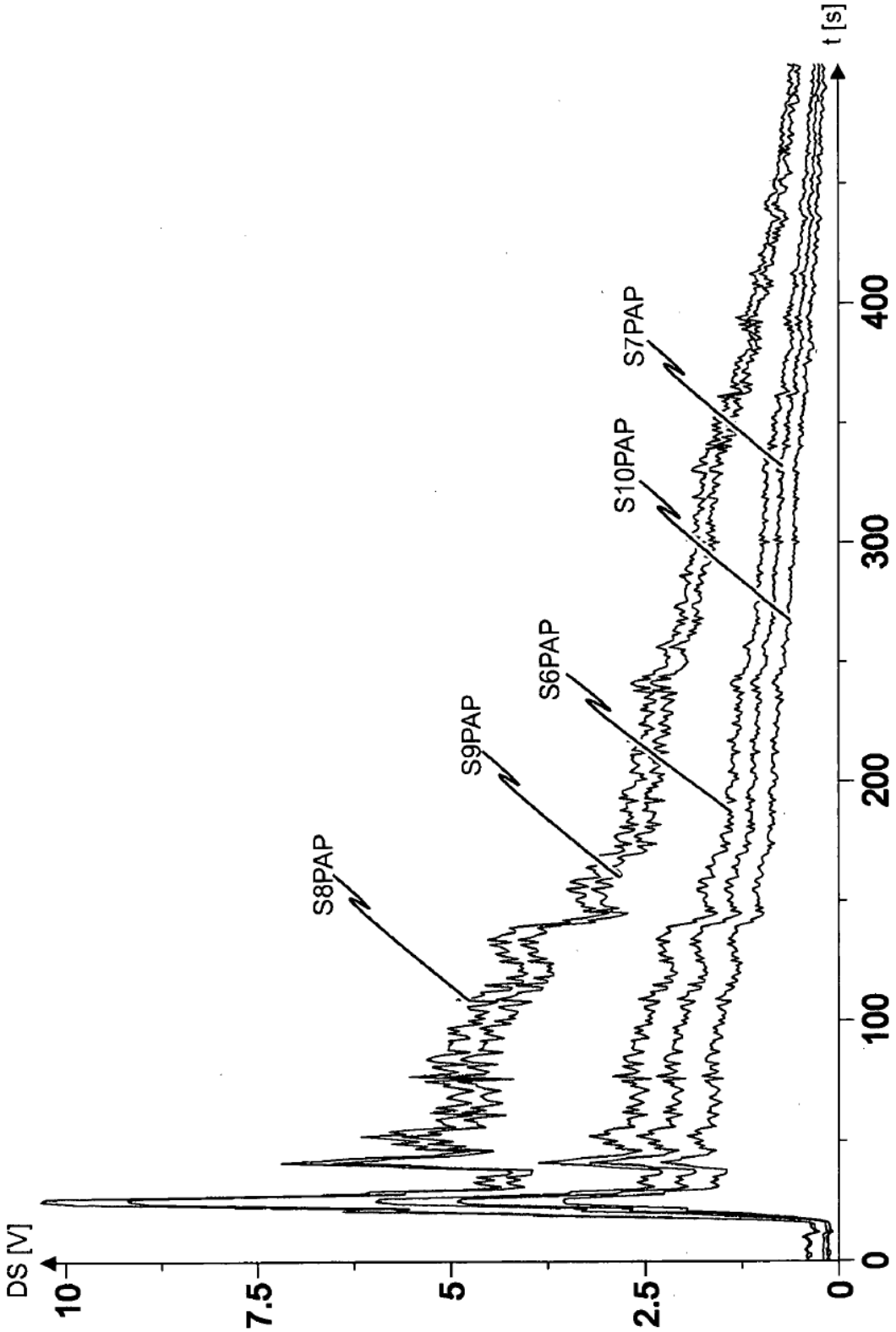
DS [V]
10
7.5
5
2.5
0
0
100
200
300
400
t [s]
S8PAP
S9PAP
S6PAP
S10PAP
S7PAP

Fig. 5

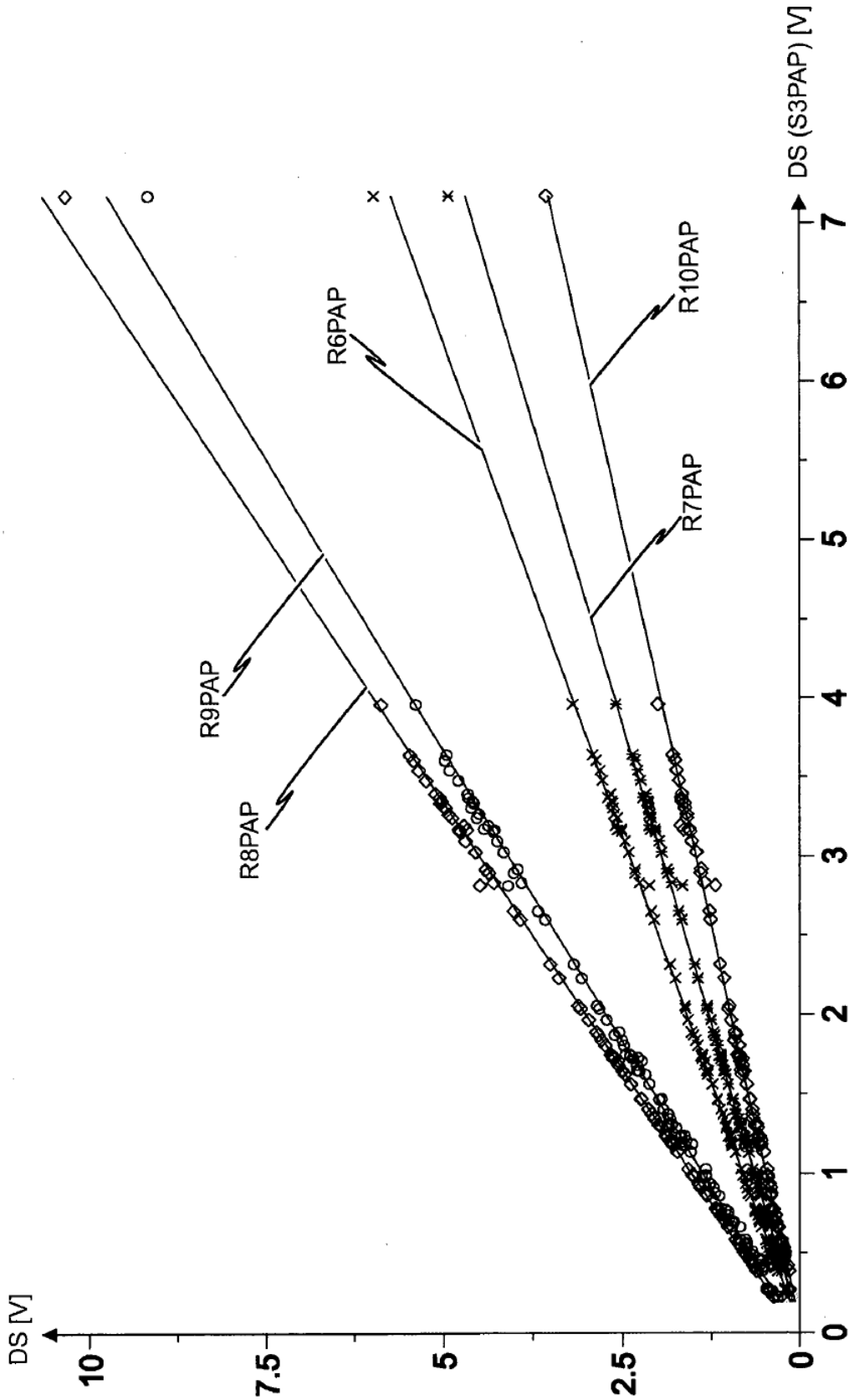
DS [V]
10
7.5
5
2.5
0
0
1
2
3
4
5
6
7
DS (S3PAP) [V]
R9PAP
R8PAP
R6PAP
R7PAP
R10PAP

Fig. 6

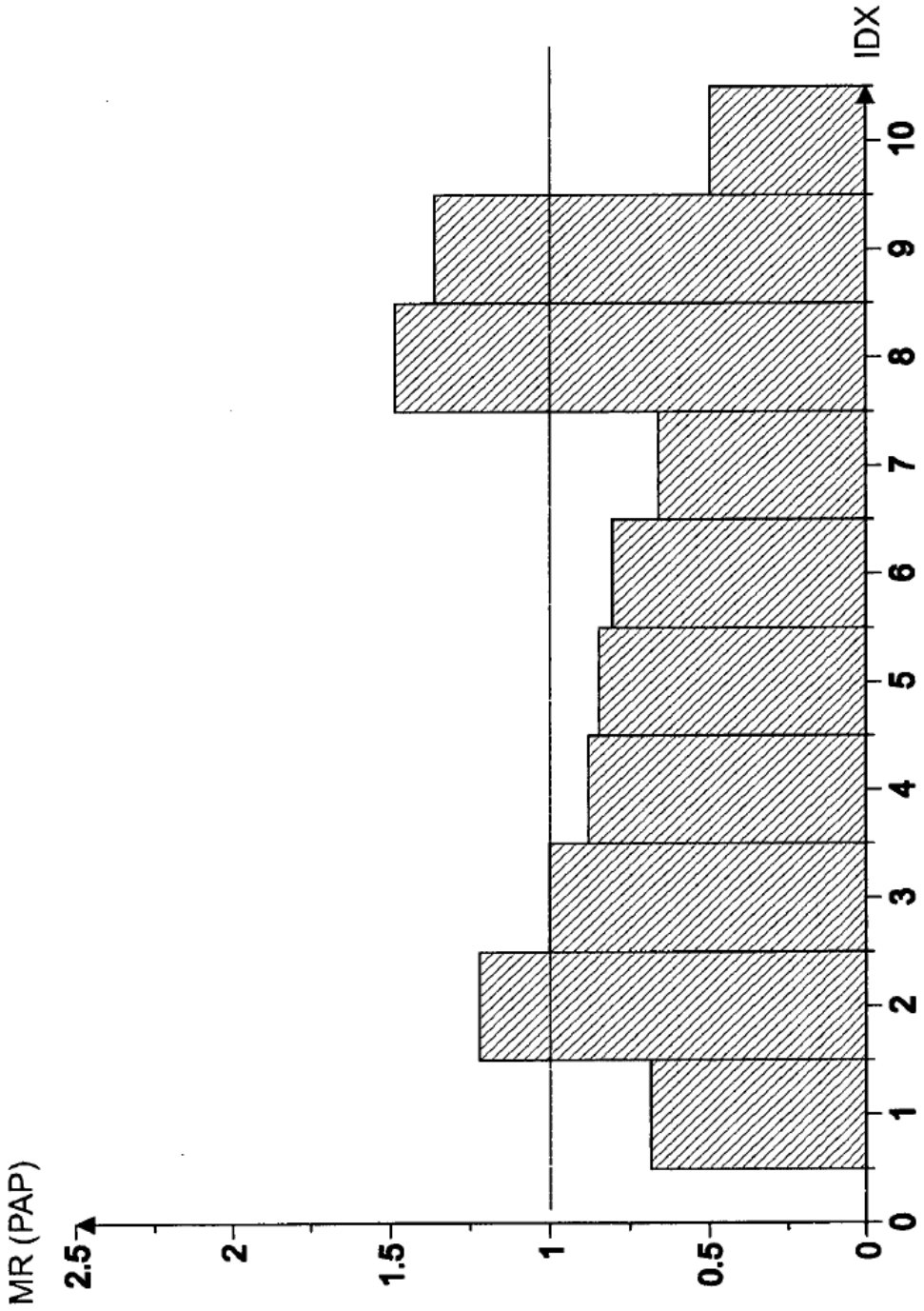

Fig. 7

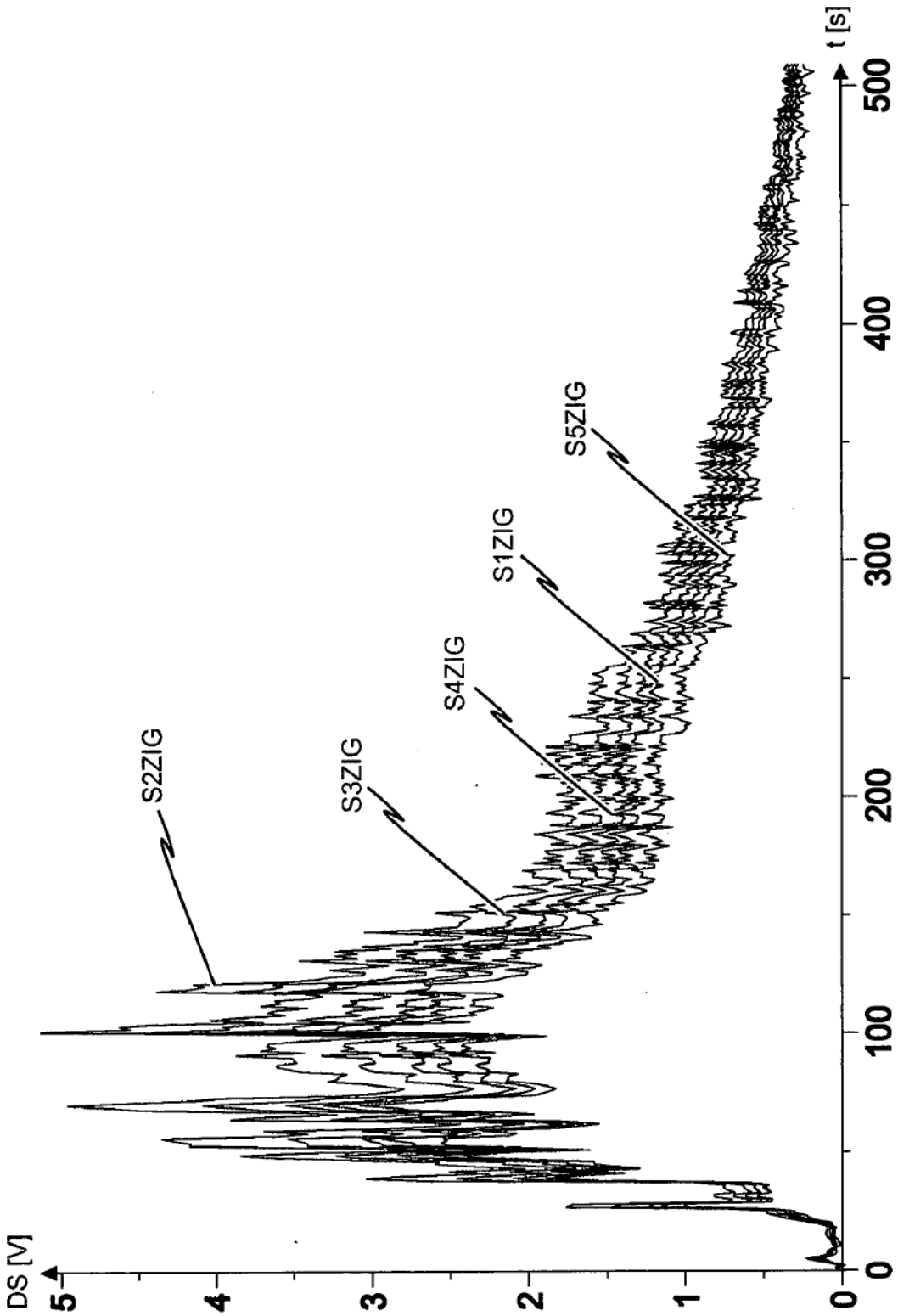
DS [V]
5
4
3
2
1
0
0
100
200
300
400
500
t [s]
S2ZIG
S3ZIG
S4ZIG
S1ZIG
S5ZIG

Fig. 8

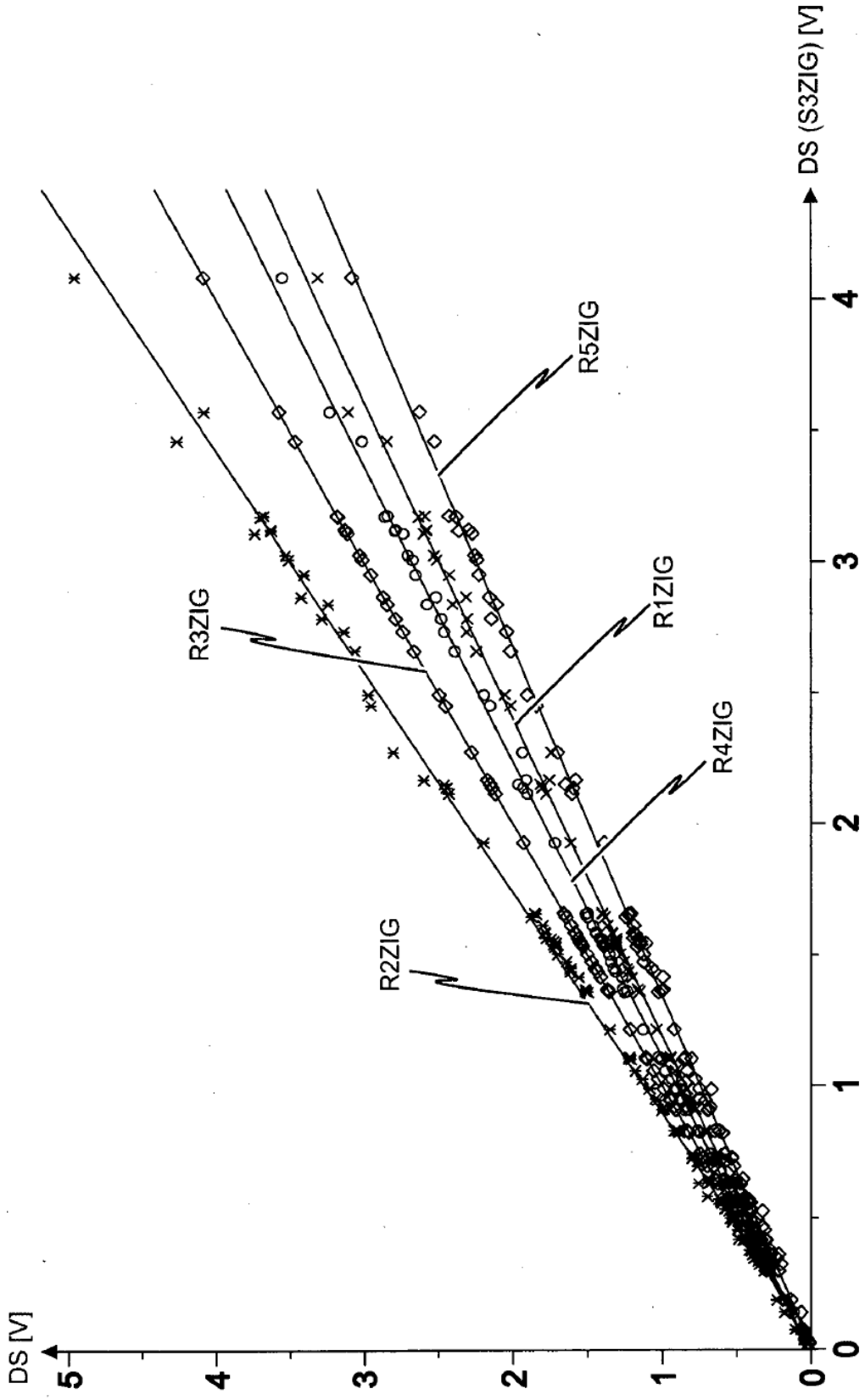

Fig. 9

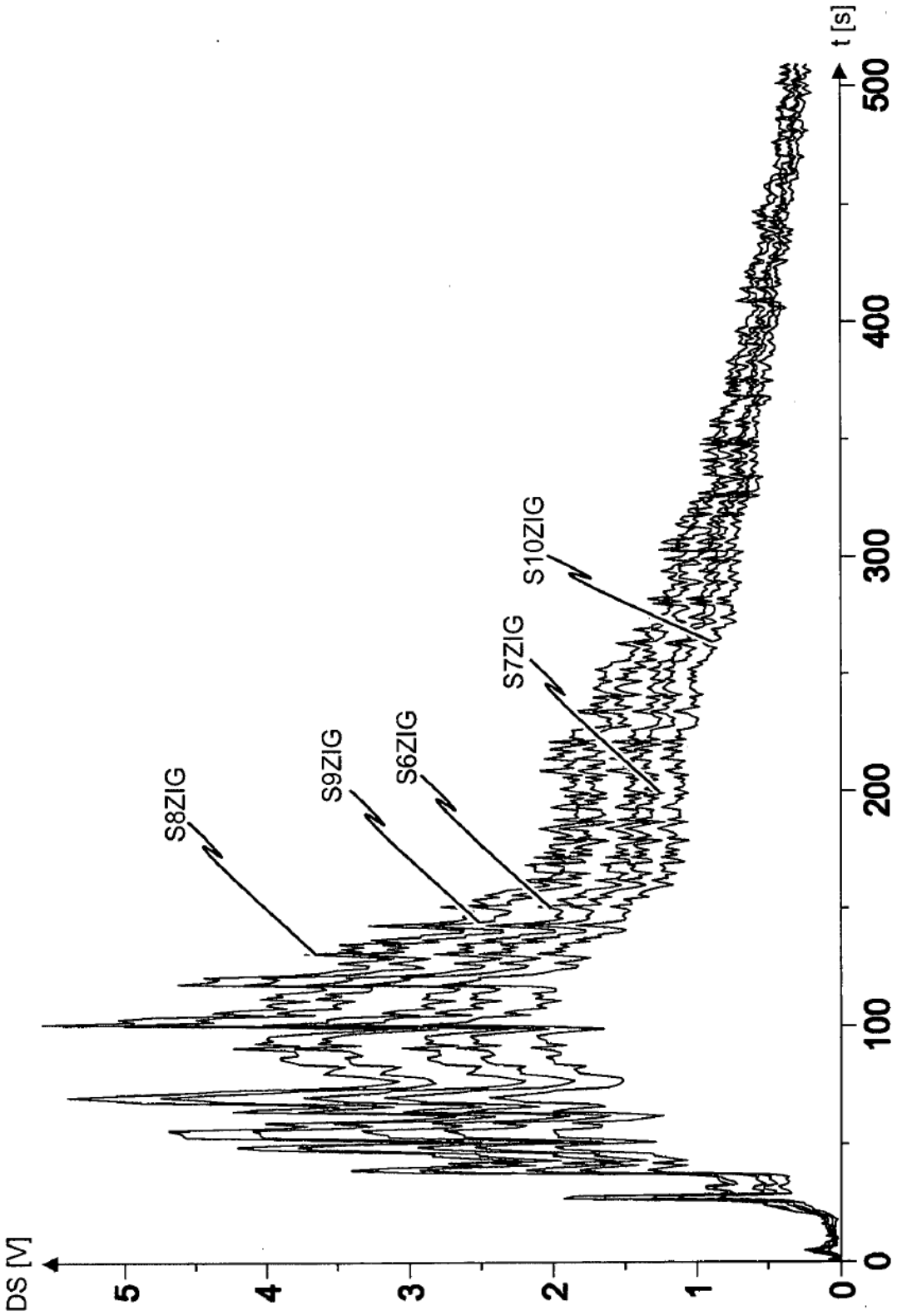
DS [V]
5
4
3
2
1
0
0
100
200
300
400
500
t [s]
S8ZIG
S9ZIG
S6ZIG
S7ZIG
S10ZIG

Fig. 10

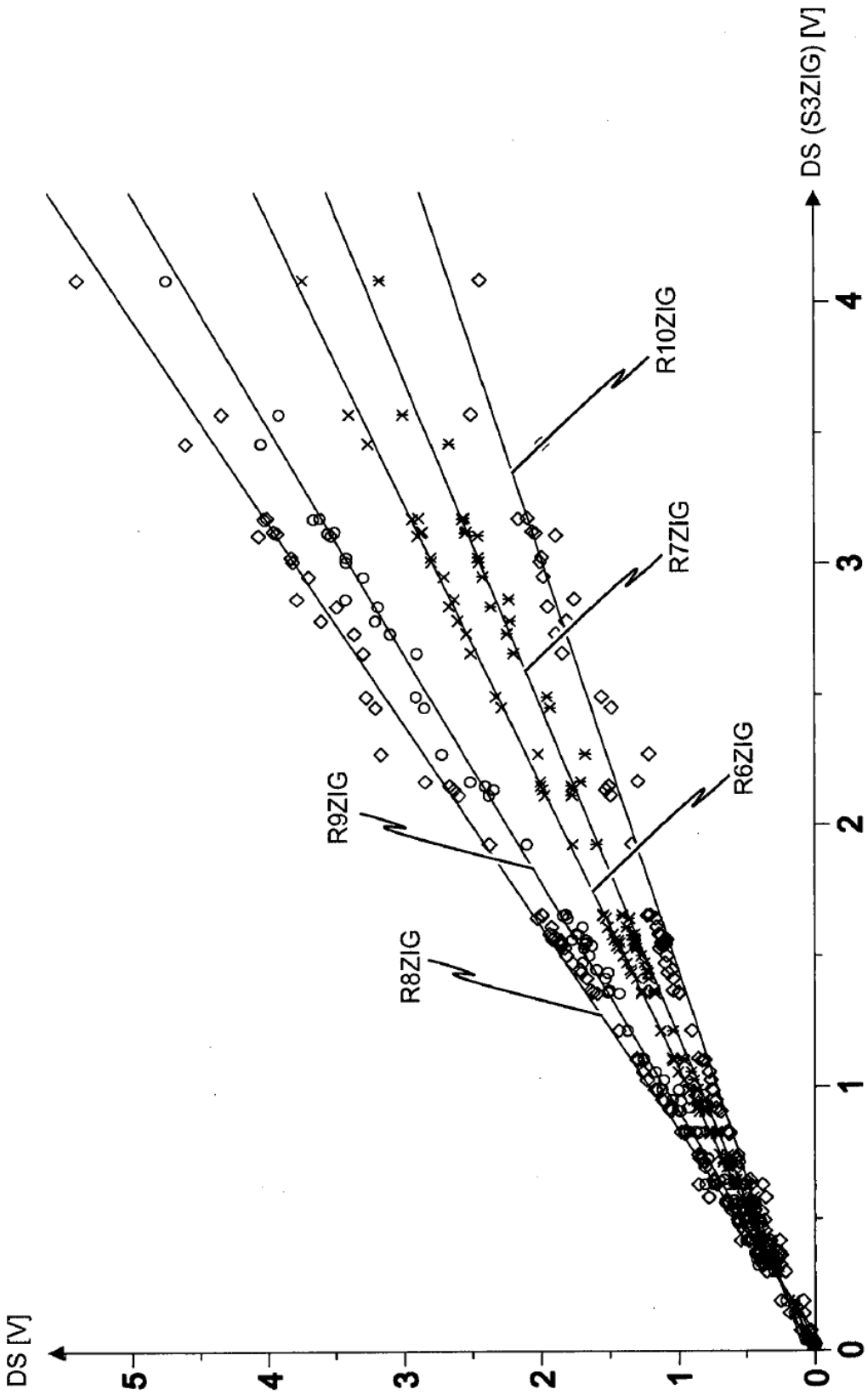

Fig. 11

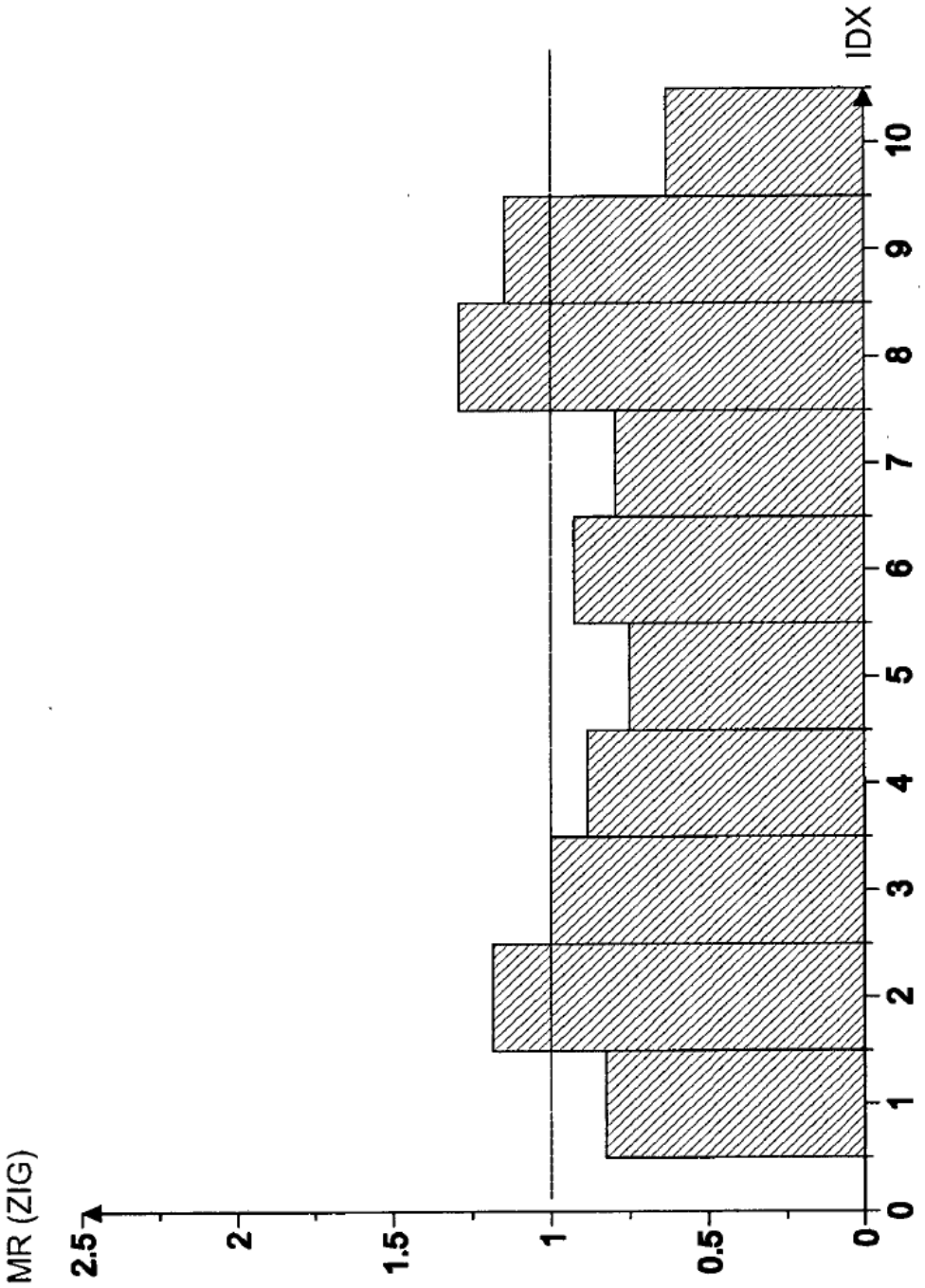

Fig. 12

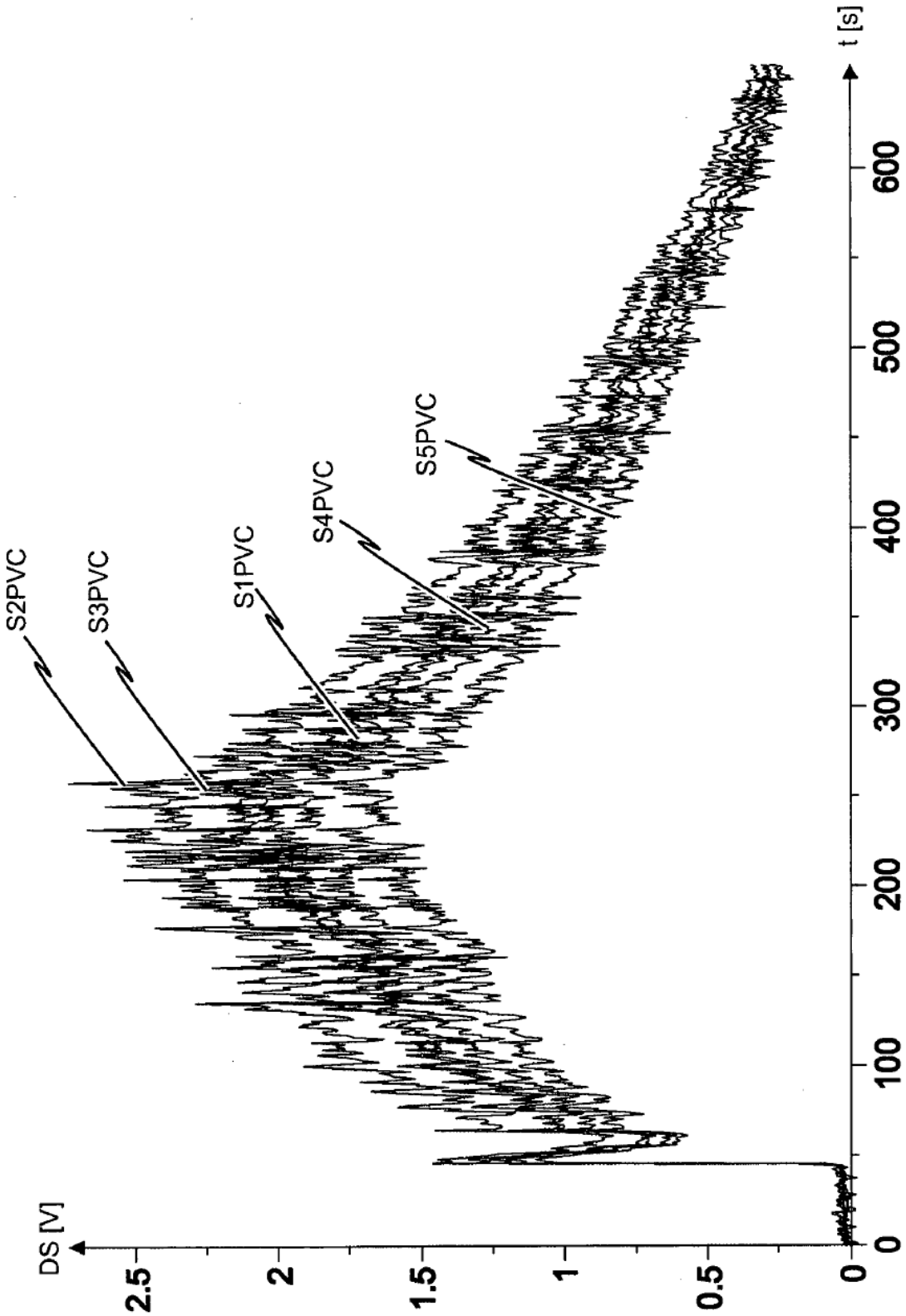
DS [V]
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
100
200
300
400
500
600
t [s]
S2PVC
S3PVC
S1PVC
S4PVC
S5PVC

Fig. 13

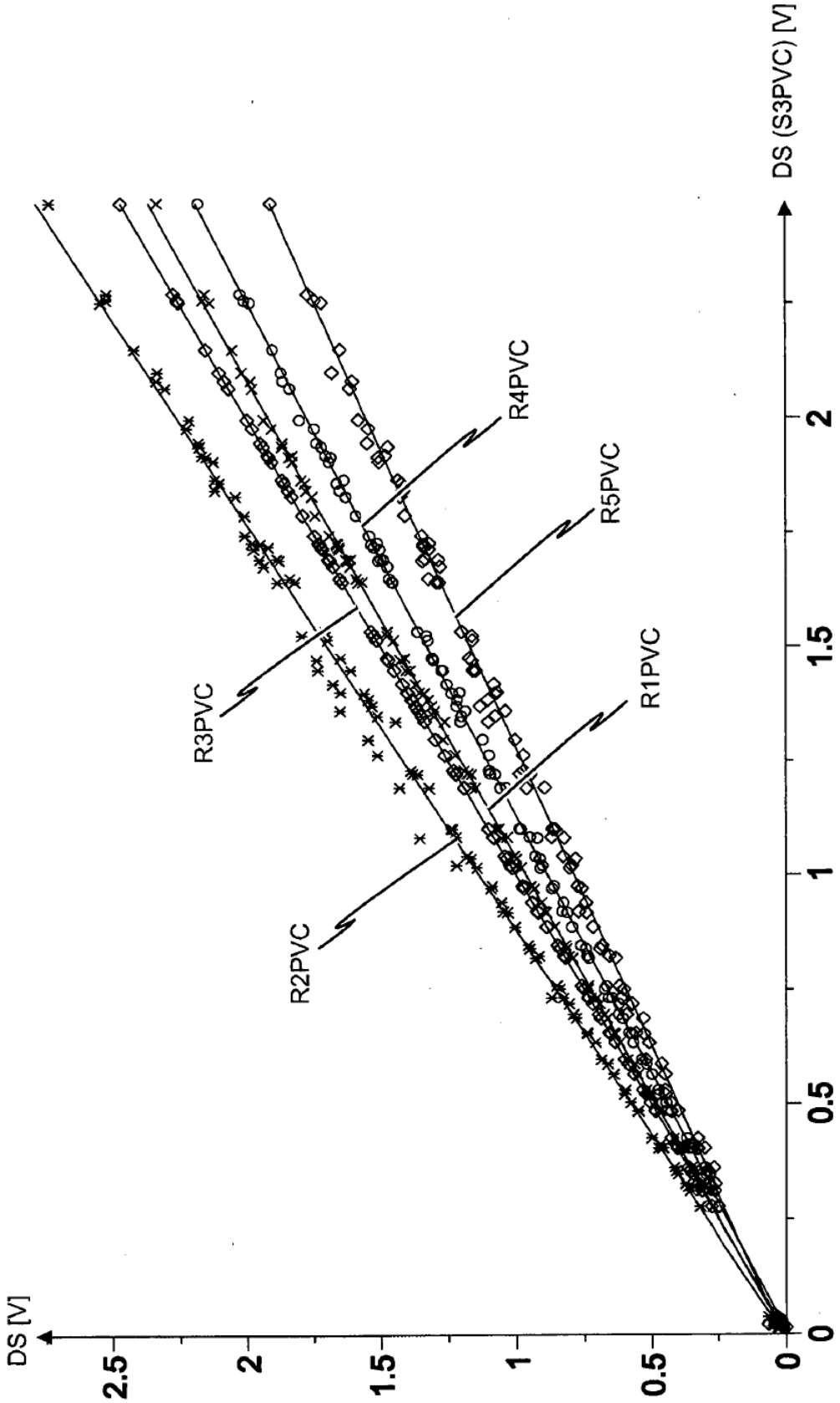
DS [V]
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
0.5
1
1.5
2
DS (S3PVC) [V]
R2PVC
R3PVC
R1PVC
R5PVC
R4PVC

Fig. 14

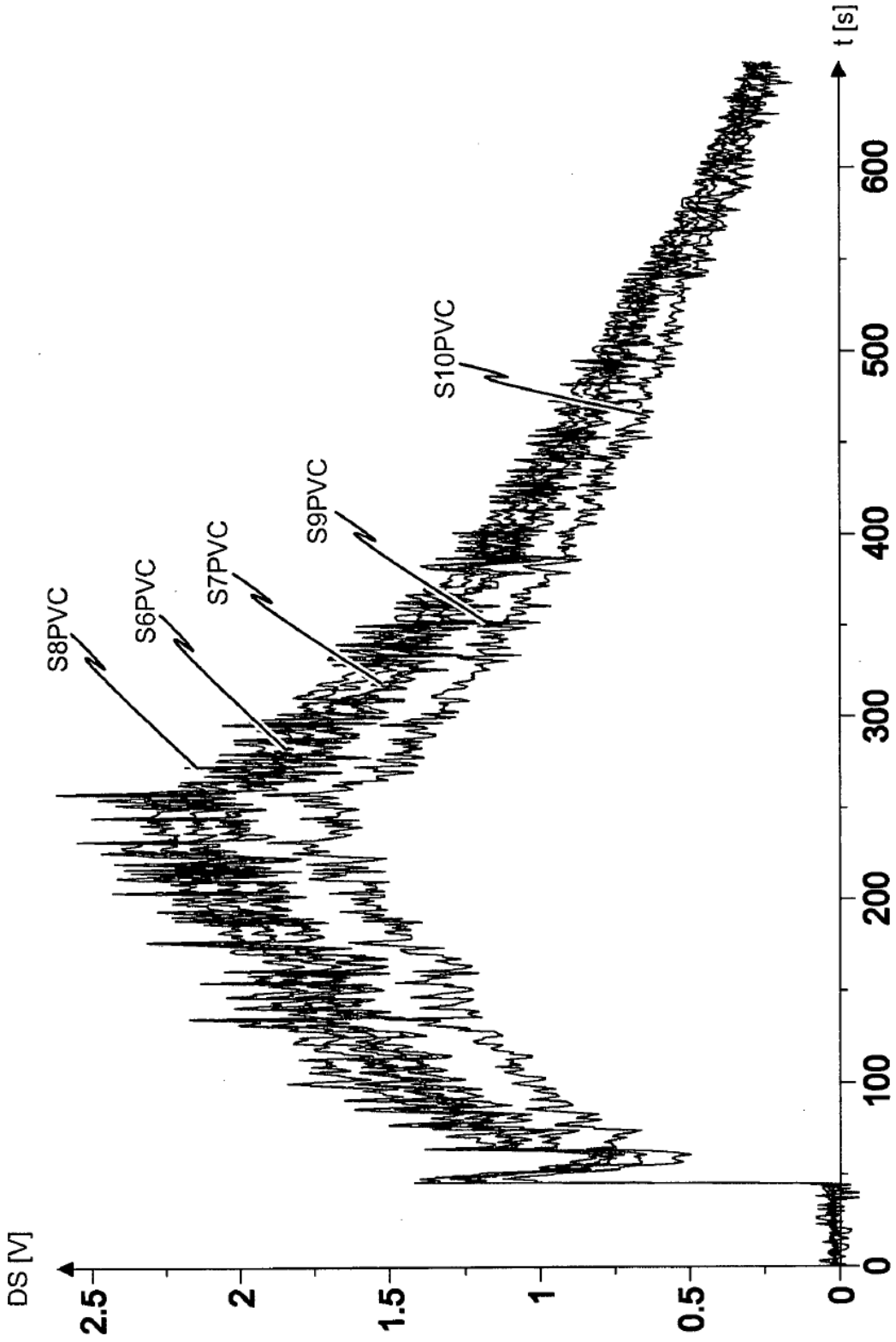
DS [V]
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
100
200
300
400
500
600
t [s]
S8PVC
S6PVC
S7PVC
S9PVC
S10PVC

Fig. 15

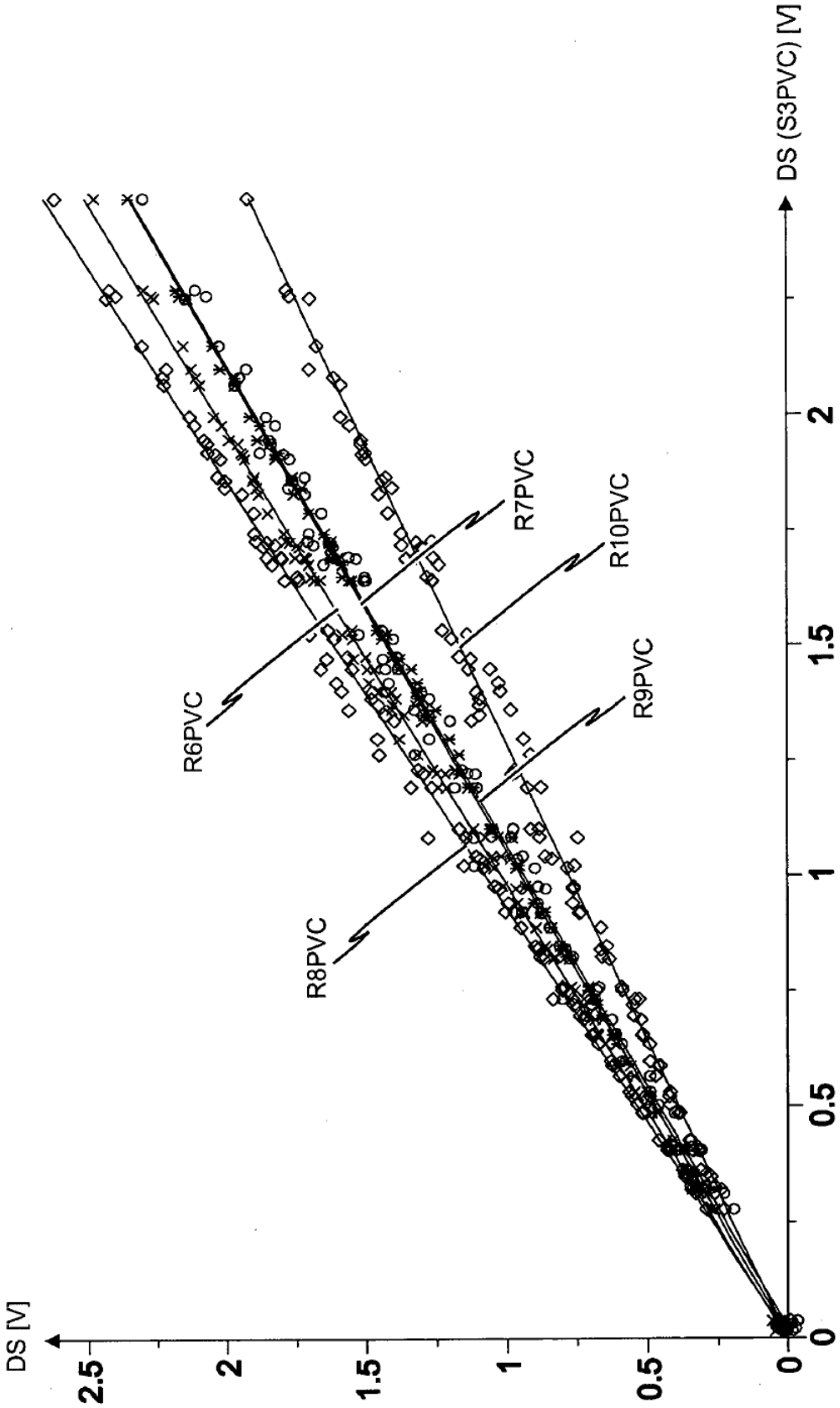
DS [V]
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
0.5
1
1.5
2
DS (S3PVC) [V]
R6PVC
R7PVC
R8PVC
R9PVC
R10PVC

Fig. 16

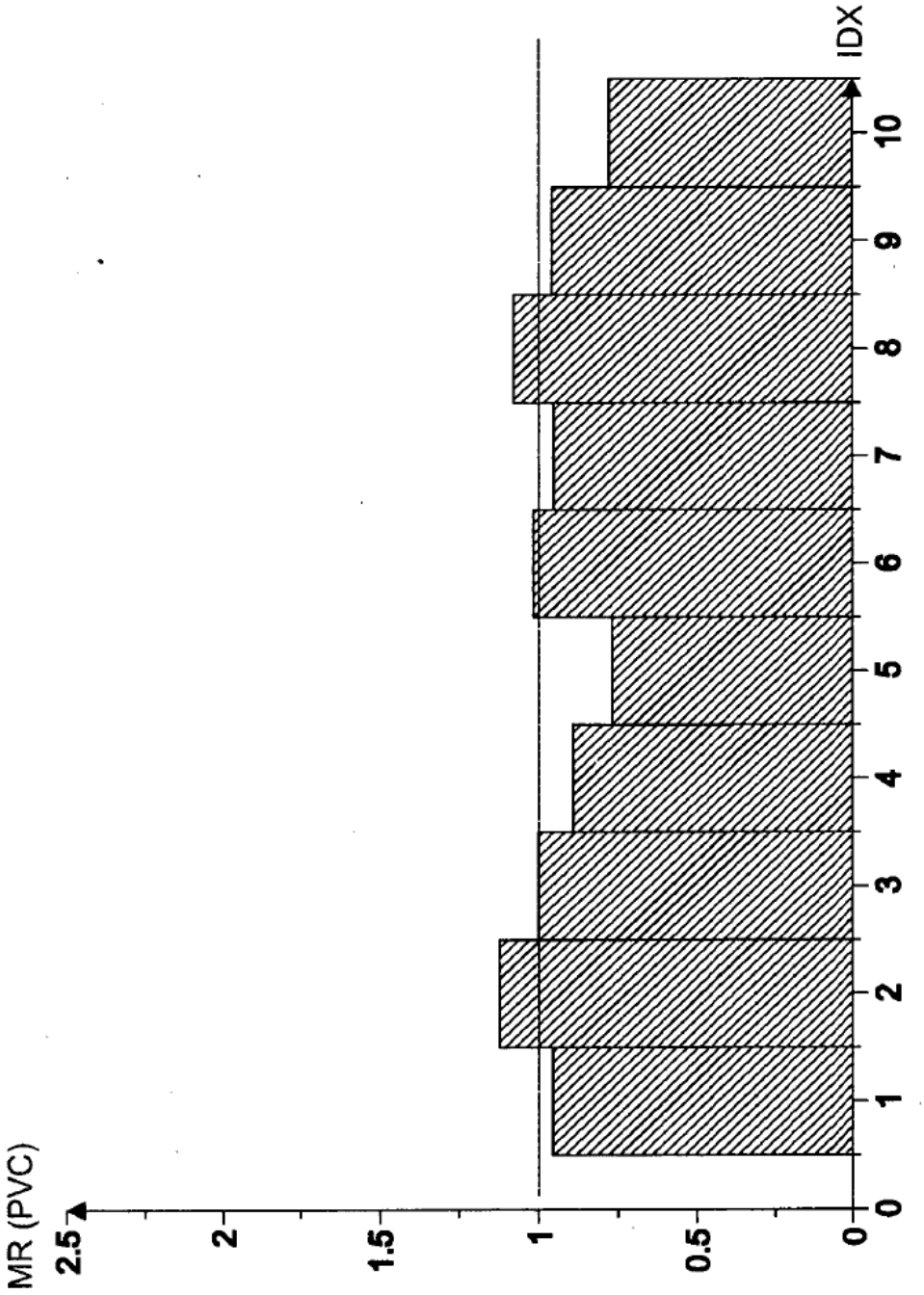

Fig. 17

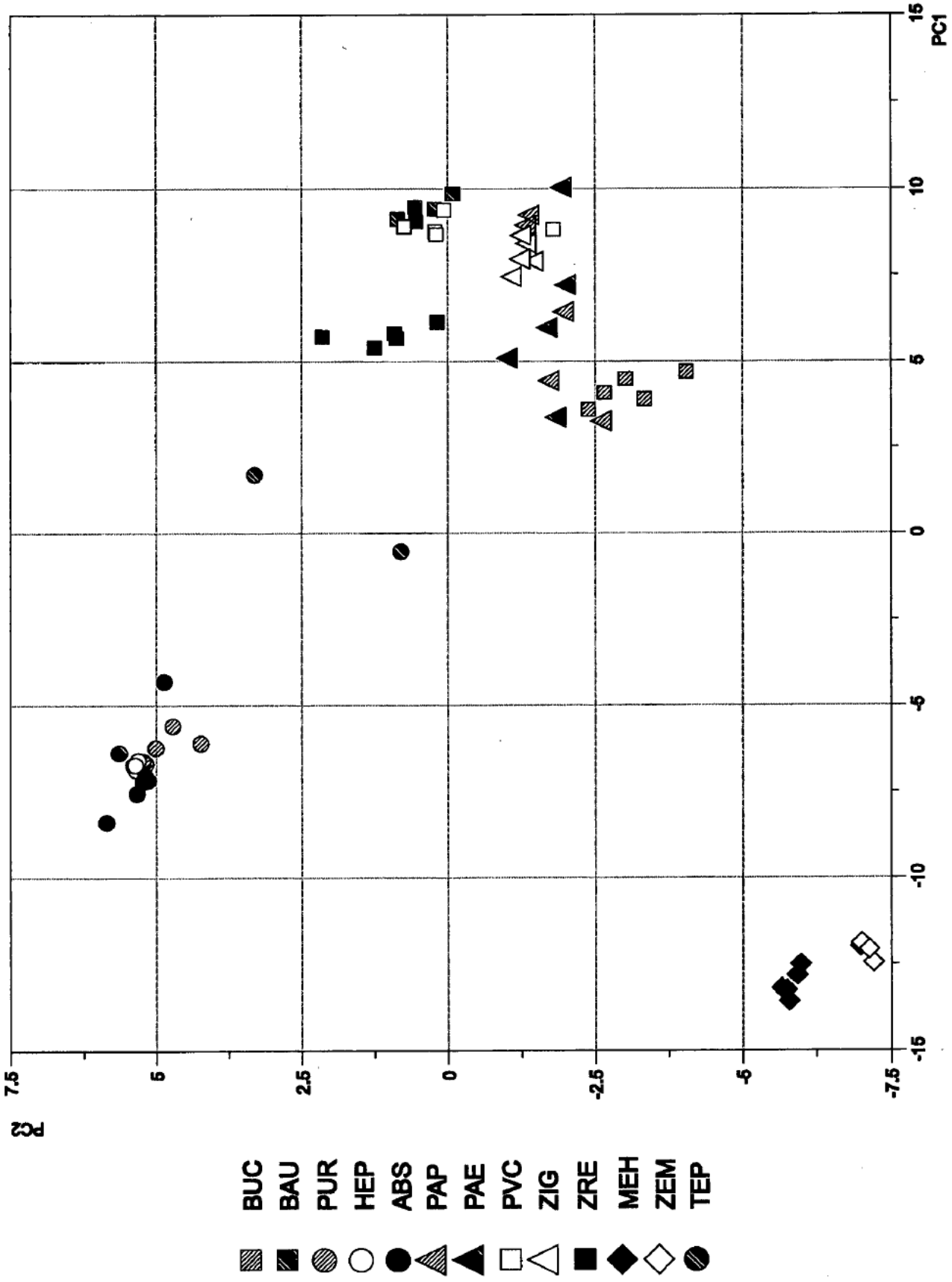
PC2
7.5
5
2.5
0
-2.5
-5
-7.5
-15
-10
-5
0
5
10
15
PC1
BUC
BAU
PUR
HEP
ABS
PAP
PAE
PVC
ZIG
ZRE
MEH
ZEM
TEP

Fig. 18

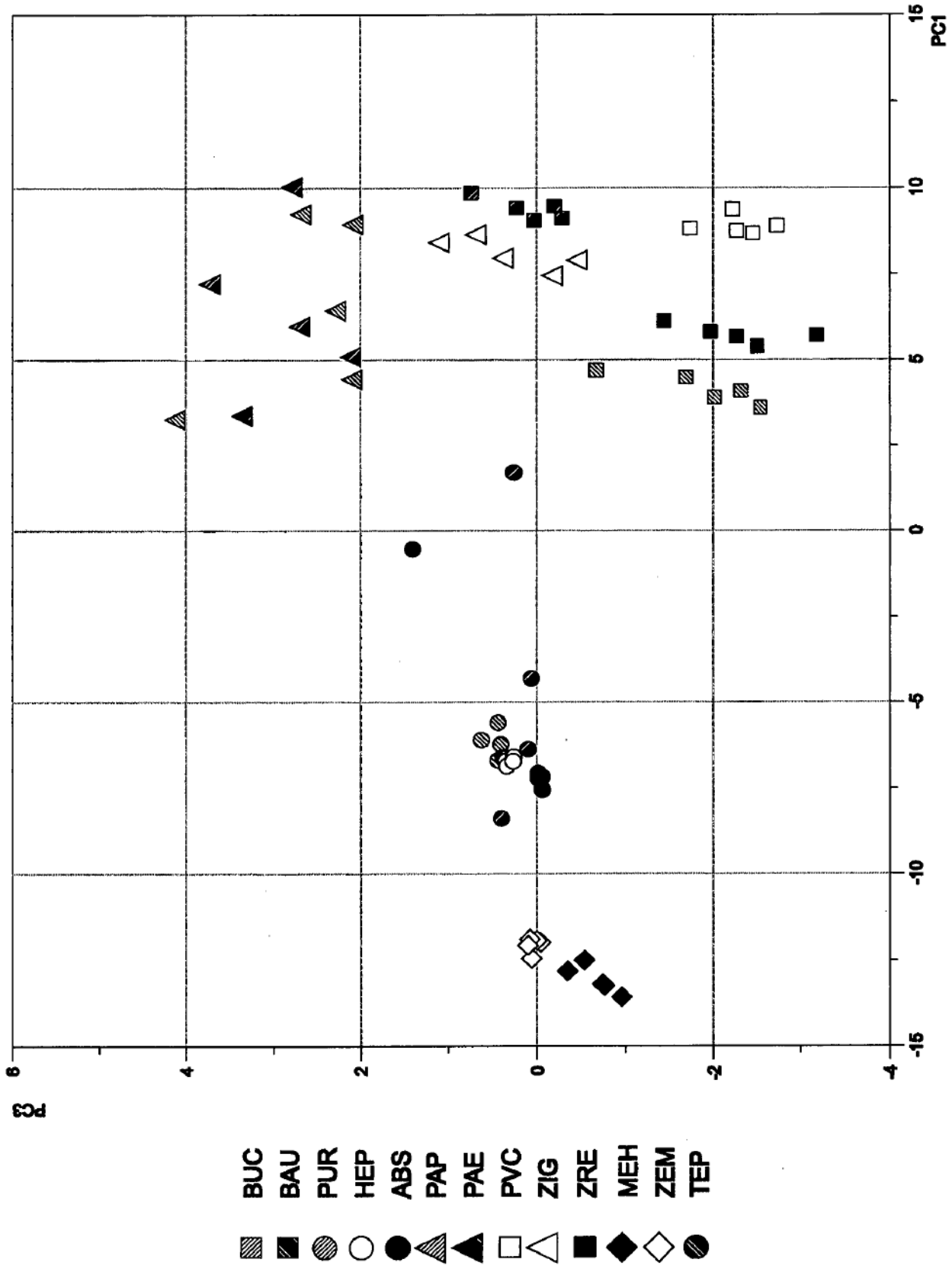
PC3
6
4
2
0
-2
-4
-15
-10
-5
0
5
10
15
PC1
BUC
BAU
PUR
HEP
ABS
PAP
PAE
PVC
ZIG
ZRE
MEH
ZEM
TEP

Fig. 19

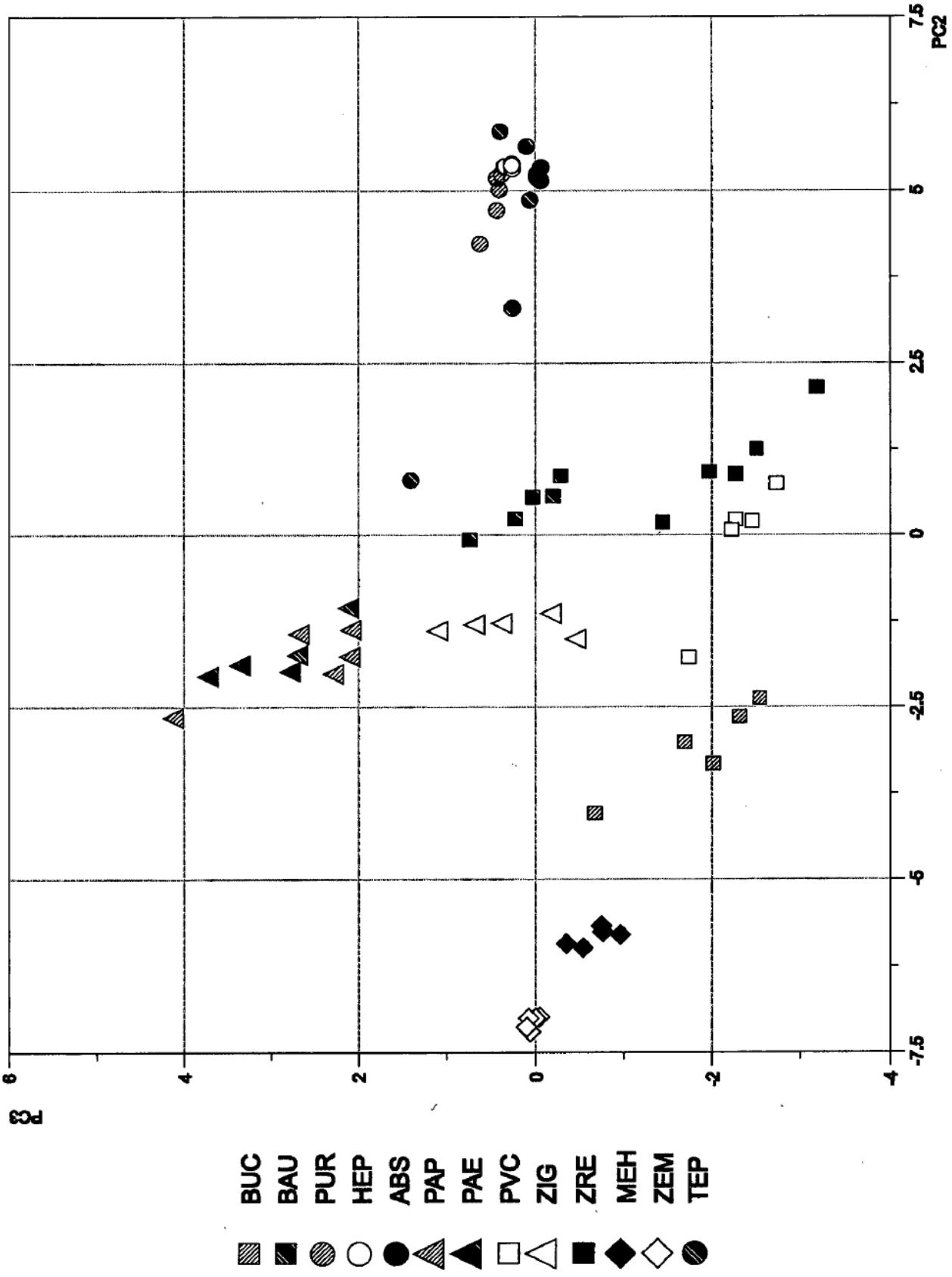
PC3
6
4
2
0
-2
-4
-7.5
-5
-2.5
0
2.5
5
7.5
PC2
BUC
BAU
PUR
HEP
ABS
PAP
PAE
PVC
ZIG
ZRE
MEH
ZEM
TEP

Fig. 20