

Complemento a la Norma Técnica de Medición en *Baubiologie* SBM-2024  
y a sus Valores Indicativos para zonas de descanso

# **CONDICIONES MARCO PARA MEDICIONES TÉCNICAS**

## **ACLARACIONES Y COMPLEMENTOS**

5. Proyecto 8/2024

Estas Condiciones Marco y aclaraciones amplían y profundizan de forma resumida los criterios esenciales para la realización experta de mediciones, análisis y procedimientos. Adicionalmente hay que tener en cuenta las instrucciones de uso de los fabricantes de los aparatos, las indicaciones de las asociaciones, los contenidos de las normas y la literatura especializada.

En el libro «*Stress durch Strom und Strahlung*» (Estrés causado por la electricidad y las radiaciones) de Wolfgang Maes se encuentra información adicional sobre la realización de las mediciones de los apartados de la Norma Técnica en *Baubiologie*. Los seminarios básicos y avanzados «Técnicas de Medición en *Baubiologie*» organizados por el Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit (Instituto de Bioconstrucción + Sostenibilidad) IBN, así como otros cursos de formación, como los seminarios prácticos organizados por la Asociación de *Baubiologie* (VB), ofrecen una amplia formación teórica y práctica sobre la Norma, los Valores Indicativos y las Condiciones Marco. La Asociación Profesional de *Baubiologie* en Alemania VDB ofrece directrices complementarias para los distintos puntos de la Norma.

La disponibilidad de varios métodos de medición y análisis dentro de un punto de la Norma garantiza una mayor fiabilidad de la medición. Los métodos descritos se complementan entre sí, no se sustituyen, y deben utilizarse o combinarse adecuadamente según el caso y la tarea a realizar.

# A CAMPOS, ONDAS, RADIACIÓN

## 1 CAMPOS ELÉCTRICOS ALTERNOS (baja frecuencia)

Medición de la **intensidad de campo eléctrico** de baja frecuencia y de la **tensión corporal**, con identificación de la **frecuencia** dominante y los **armónicos** significativos

### - **Intensidad del campo eléctrico** (voltios por metro, V/m)

#### a) contra el potencial de la tierra

Medición del valor eficaz RMS considerando el cuerpo en concordancia con la norma para ordenadores TCO.

Mediante instrumento de medición de campo o sonda de campo (sonda TCO o sonda de plato, sonda pequeña), medidor de campos, analizador LF, etc.:

- rango de frecuencias 10 Hz – 100 kHz (mejor 400 kHz y superiores),
- rango de medición hasta 5000 V/m o más, sensibilidad de detección 0,1 V/m,
- margen de error  $\pm 10 \%$ .

*Atención:* referencia a un potencial de tierra sólido (conductor de compensación de potencial, base de enchufe, instalación sanitaria, piqueta de tierra...). Orientación de la sonda cercana o alejada del cuerpo (según indicaciones del fabricante). Las sondas pequeñas a menudo indican valores de medición inferiores a las de los platos sonda TCO de diámetros hasta 30 cm, el patrón será la sonda TCO. Orientación de la sonda directa, libre de obstáculos en dirección al origen – a menudo provenientes de diferentes direcciones – de los campos ("detección de dirección" máxima). Distancia mínima de 30 cm a la fuente del campo.

#### b) libre de potencial

Medición efectiva del campo "puro" sin la tensión inducida del cuerpo según DIN/VDE o 26 BlmSchV.

Mediante dispositivo de medición de campo o sonda de campo (sonda cúbica 3D, sonda plana 1D), medidor de campo, analizador LF, etc.:

- rango de frecuencias 10 Hz – 100 kHz (mejor hasta 400 kHz y superiores),
- sensibilidad de detección 0,1 V/m,
- margen de error  $\pm 10 \%$ .

*Atención:* No debe haber personas u otros cuerpos, superficies, cables y objetos conductores en el campo, mantener una distancia suficiente, 2 m distancia mínima al dispositivo de medición o cable de fibra óptica para la conexión de la sonda al dispositivo de visualización.

### - Medición de la **tensión corporal inducida** (milivoltios, mV)

Medición del potencial corporal en la persona acostada en la cama, aislada eléctricamente, contra el potencial de tierra.

Mediante medidor de tensión corporal, voltímetro, multímetro, medidor de campo, analizador LF... y electrodo de mano o electrodos de dedo, ajustado a ACV:

- resistencia interna del dispositivo de medición 10 Megaohmios ( $M\Omega$ ) y capacitancia  $< 100$  Picofaradios (pF) en todos los rangos de medición utilizados,
- rango de frecuencias alrededor de 50 Hz (mejor 400 kHz y superior),
- sensibilidad de detección 1 mV,
- margen de error  $\pm 10\%$ ;

Longitud del cable de entrada del electrodo de mano inferior a 50 cm.

*Atención:* referencia a un potencial de tierra sólido (conductor de compensación de potencial, base de enchufe, instalación sanitaria, piqueta de tierra...). Evitar que la persona estudiada se encuentre cerca de superficies con toma de tierra (apantallamiento cercano a la cama, etc.), o tenga contacto con la tierra (manta de apantallamiento bajo el cuerpo, entre otros).

### - Determinación de la **frecuencia** dominante (hercios, Hz)

Mediante analizador de espectro LF, osciloscopio, voltímetro, medidor de campo, etc.

- **Armónicos** significativos (voltios por metro, V/m, o microvatios por metro cuadrado,  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )

Con analizador de espectro LF, osciloscopio (USB), medidor de campo... o con un analizador de espectro de alta frecuencia: gama de frecuencias de 2 kHz a 1 MHz aproximadamente.

Los campos alternos eléctricos se producen como consecuencia de la tensión alterna eléctrica. Las líneas de campo discurren abiertamente desde un potencial más alto hacia el más bajo, y finalmente hacia la tierra (campo origen). El campo está influenciado por objetos conductores, aparatos de medición, la persona que realiza el análisis y la que es objeto de la prueba.

La intensidad de campo eléctrico consiste en medir las diferencias de tensión, conocidas como diferencias de potencial. Un sensor recoge el campo y lo compara con un potencial de referencia. En la medición de la potencia de campo referida a la tierra (TCO), medición aplicada y probada desde hace más de 30 años en la *Baubiologie*, está referencia la constituye el potencial de tierra, la sonda de campo está conectada a tierra mediante un cable. En la medición de intensidad de campo libre de potencial (DIN/VDE), introducida en *Baubiologie* con el SBM-2008, se colocan en una sonda de campo uno (sensor de área 1D) o tres (sensor de cubo 3D) pares de placas de electrodos, se determina sin referencia a tierra la diferencia de potencial de las superficies de electrodos colocadas a una distancia definida entre sí. La medición de intensidad de campo referida a la tierra (TCO) tiene en cuenta a las personas dentro del campo, ya que atraen los campos eléctricos y los concentra en sí mismas, las personas forman parte del fenómeno de campo. La medición libre de potencial (DIN/VDE) requiere un campo "inalterado" sin la persona que influya sobre el mismo.

Ambos métodos de medición, contra tierra y libre de potencial, tienen sus pros y sus contras en el día a día de la *Baubiologie* y juntos garantizan una mayor seguridad. Los métodos se complementan, no se sustituyen. En determinadas situaciones, en las que uno muestra cierta debilidad, el otro es más clarificador, y viceversa. Si existe la más mínima sospecha de una situación propensa a errores, deben utilizarse ambos métodos, siempre en combinación con la medición de la tensión corporal. Las comparaciones solo son posibles con los mismos métodos de medición.

Ejemplos de ventajas e inconvenientes: El método TCO referido a la tierra flaquea, originando resultados erróneos, si la referencia a la toma de tierra no es óptima, lo cual no es un problema para la medición libre de potencial. El método libre de potencial DIN/VDE flaquea cuando los gradientes de potencial debidos a los campos no están muy marcados o están ausentes, porque los orígenes de campos que proceden de diferentes direcciones son parecidos o de igual intensidad, de manera que los valores medidos resultan demasiado débiles o inexistentes a pesar de que hay emisores evidentes; a su vez, no es problema para la medición referida a la tierra. Se debe tener cuidado en las mediciones TCO con las superficies y objetos con toma de tierra cercanos; esto también es válido para la comprobación de las medidas de apantallamiento de grandes superficies. Atención durante las mediciones DIN/VDE con todos los materiales conductores y con las personas que están en el campo y en las intermediaciones; es necesario mantener varios metros de distancia. Si se dispone de una orientación óptima hacia el máximo valor del campo, la medición TCO unidimensional es muy apropiada para la búsqueda y localización de fuentes ("medición de emisiones"). La medición DIN/VDE de tres dimensiones es especialmente adecuada, con independencia de la orientación, para obtener la suma de fuentes de campos en un punto ("medición de inmisiones"). La medición a tierra 1D a menudo es (más) sencilla y rápida, los aparatos de medición son asequibles. La medición 3D libre de potencial según DIN/VDE puede ser más complicada y cara, los aparatos son más caros y algunos requieren ordenadores para su visualización y evaluación.

También en el caso de la tensión corporal se trata de la medición de una diferencia de potencial respecto a la tierra, en esta ocasión del cuerpo humano, que debido a la suma de todos los campos que inciden en él está bajo tensión. La sencilla y sensible medición de la tensión corporal inducida, que se emplea de forma segura desde hace más de 30 años en *Baubiologie* ("acoplamiento corporal capacitivo" según Ing. E.W. Fischer), solamente puede funcionar de forma óptima si se garantiza (!) que la persona a medir se encuentra en una posición aislada de la tierra, como suele ocurrir cuando se está tumbada en la cama. Si la persona sometida al ensayo está muy cerca o incluso tiene contacto con la tierra, como es el caso de disponer de superficies de pared apantalladas cerca de la cama y mantas de apantallado con toma de tierra en la estructura de la cama o directamente bajo el cuerpo, los valores de medición resultan demasiado bajos o incluso nulos. En estos casos, en los que se mide la tensión corporal cerca de la tierra o en contacto con la misma, se producen mediciones erróneas o incluso nulas, aunque la persona en el campo sigue estando expuesta a campos eléctricos, posiblemente incluso más que sin proximidad a la tierra. Estos imperdonables errores de medición son usados y aprovechados a menudo por fabricantes de mantas de apantallamiento de dudosa reputación para demostrar el supuesto efecto de sus productos, un «efecto» que no es tal.

La frecuencia de un campo y el número y las características de los armónicos, es decir, los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, son -además de la intensidad del campo- un aspecto de evaluación biológica. Algunos organismos reaccionan en ocasiones a los campos más débiles de determinadas frecuencias más intensamente que a los campos más potentes de otras frecuencias, mezcla de frecuencias o componentes armónicos. En los seres vivos, órganos, células, etc., existen diferentes "ventanas de frecuencia" con mayor sensibilidad.

Los armónicos son menos acusados en los consumidores óhmicos (bombilla, cocinas, secadores de pelo, etc.) y normalmente en las líneas de alta tensión, electrificación ferroviaria, transformadores convencionales, etc., que en los consumidores con mucha electrónica (bombillas de bajo consumo, fuentes de alimentación electrónicas, reguladores de tensión, cargadores, atenuadores, PC, pantallas, cocinas de inducción, etc.), y se les suele denominar «electricidad sucia» o «energía sucia». La frecuencia de la red típica en Europa es de 50 Hz (en USA 60 Hz), muchos aparatos electrónicos funcionan a mayores frecuencias (las lámparas de bajo consumo a 20-60 kHz) o con frecuencias mixtas (PC, pantalla, etc.); el ferrocarril en Alemania funciona a 16,7 Hz.

## 2 CAMPOS MAGNÉTICOS ALTERNOS (baja frecuencia)

Medición y registro de larga duración de la **densidad de flujo** de baja frecuencia de la corriente de la red y de tracción con identificación de la **frecuencia** dominante y los **armónicos** significativos

- Medición de la **densidad de flujo** magnético (Nanotesla, nT) de la corriente de la red y de tracción

Medición 3D del valor eficaz RMS de la suma de todas las direcciones de líneas de campo según la norma TCO o DIN/VDE para ordenadores.

Mediante instrumento de medición de campo o sonda de campo (bobina de inducción 3D isotrópica/ortogonal o 1D), medidor de campo, analizador LF, etc.:

- rango de frecuencias 10 Hz – 100 kHz (mejor 400 kHz y superiores),
- rango de medición hasta 100.000 nT o más,
- sensibilidad de detección 0,1 nT,
- margen de error  $\pm 10 \%$ ,
- superficie de la sonda  $< 100 \text{ cm}^2$ .

*Atención:* Analizar la corriente de la red (50 Hz) y de tracción (16,7 Hz) por separado, medición 1D para localizar la fuente del campo mediante la dirección principal de las líneas de campo. Tamaño de la bobina según el objetivo: las bobinas de inducción grandes según TCO o DIN/VDE con diámetros de 10 cm o más muestran valores menores en el entorno inmediato para fuentes de campos pequeñas (transformadores pequeños, fuentes de alimentación lámparas de bajo consumo, etc.). No mover enérgicamente los dispositivos de medición o bobinas durante la medición, ya que esto puede provocar interacciones con el campo magnético terrestre y, por tanto, errores de medición, especialmente en el caso de frecuencias bajas (por ejemplo, en el ferrocarril).

- **Registro de larga duración**

Medición 3D del valor eficaz RMS de la suma de todas las direcciones de las líneas de campo.

Mediante un registrador de datos, un aparato de registro, ordenador, medidor de campo, analizador LF, multímetro (min-máx.-media), entre otros:

- respuesta en frecuencia de al menos 16,7 Hz y 50 Hz (mejor hasta 2 kHz y superiores),
- intervalos de medición  $< 10 \text{ s}$ ,
- sensibilidad de detección 0,1 nT,
- margen de error  $\pm 10 \%$ .

*Atención:* Medición de larga duración de red eléctrica pública (líneas de alimentación subterráneas, líneas aéreas, ferrocarriles, transformadores, alumbrado público, etc.) acumuladores de calor nocturnos y corrientes de compensación siempre durante la noche, especialmente en días laborables, en caso de sospecha 24 horas o más. Para campos pequeños y no homogéneos, emplear simultáneamente varios registradores de datos. Prestar atención a apagar o mantener distancia a emisores en el interior de las casas cuando se midan fuentes públicas de campos. No mover el registrador de datos durante todo el tiempo de registro.

- Determinación de la **frecuencia** dominante (hercios, Hz)

Mediante analizador de espectro LF, osciloscopio, voltímetro, medidor de campo, etc.

- **Armónicos** significativos (nanotesla, nT, o microvatios por metro cuadrado,  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )

Con analizador de espectro LF, osciloscopio, medidor de campo... o con un analizador de espectro de alta frecuencia: gama de frecuencias de 2 kHz a 1 MHz aproximadamente.

Los campos magnéticos alternos se producen a causa de la corriente alterna eléctrica. Las líneas de campo discurren de forma cerrada sobre sí mismas, sin principio ni fin (campo de vórtice). El campo no se ve prácticamente influenciado por objetos conductores de electricidad, aparatos de medición, ni personas que realizan la medición o son analizadas.

La medición de la intensidad de campo magnético o densidad de flujo se realiza mediante la inducción de tensión en bobinas estacionarias, que solamente se produce en caso de campos alternos. La medición se realiza mediante bobinas de 3D o 1D. La 3D consta de tres bobinas dispuestas ortogonalmente (ejes x, y, z) en un cabezal de medición, que mide, calcula y muestra simultáneamente todas las líneas de campo. La 1D capta un eje, solamente puede indicar el máximo de campo en caso de una clara progresión de la línea de campo, pero es muy útil para determinar la posición espacial de fuentes de campo lineales. Si se trata de varias fuentes de campo o emisores con líneas de campo mezcladas, deben realizarse tres mediciones, cada una desplazada 90°, con bobinas 1D y elevar sus resultados al cuadrado:  $\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}$ . Esto debe hacerse simultáneamente, especialmente con intensidades de campo fluctuantes, lo que rara vez es posible en la práctica. En el caso de los cursos de campo inequívocos más frecuentes, (líneas aéreas, líneas de suministro enterradas, tuberías de instalaciones bajo tensión...) la medición 1D puede ser suficiente. Para las mezclas de líneas de campo que se encuentran con menos frecuencia (transformadores, dispositivos, varios emisores ...) la medición 3D es más segura o indispensable. En *Baubiologie* se evalúa la suma de todas las direcciones de las líneas de campo.

La medición a corto plazo sirve para obtener una primera visión de conjunto y determinar las distintas fuentes de campo en el hogar (electrodomésticos, cuadros eléctricos, corrientes de compensación en la instalación doméstica...) y en el exterior (cables enterrados, líneas aéreas, estaciones transformadoras, corriente de tracción, corrientes de compensación en la red pública...). Una medición a largo plazo durante varias horas o días establece un perfil de las fluctuaciones temporales de campo que se observan con frecuencia en los campos magnéticos como consecuencia de las variaciones en la intensidad de la corriente. Especialmente en el caso de fluctuaciones intensas del campo (por ejemplo, con picos de campo elevados a corto plazo), debe utilizarse para la evaluación el percentil 95 determinado a partir de registros a largo plazo, especialmente durante la noche.

Se denominan corrientes de compensación aquellas corrientes eléctricas que no discurren por las vías usuales previstas para ello (como el conductor de retorno de un cable eléctrico o neutro), y en cambio pasan por conductores de toma de tierra, conductores de protección, pantallas de protección, tuberías metálicas de gas y agua, etc., de forma descompensada y que por ello causan campos magnéticos considerables; corresponden a corrientes de un único conductor cuya densidad de flujo aumenta o disminuye en una relación de 1/distancia. En el caso de las corrientes de compensación internas, es posible realizar una medición directa adicional o un registro a largo plazo de las fuentes portadoras de corriente con, por ejemplo, multímetros, pinzas amperimétricas o transformadores de corriente. En el caso de campos producidos por corrientes de compensación externas, realizar una medición simultánea con varios registradores de datos en la casa y cerca de la fuente de campo.

Para la medición de la distribución de los campos magnéticos, por ejemplo, en el entorno de líneas de alta tensión, de vías férreas, estaciones de transformación o conductos de suministro enterrados (especialmente conducciones en anillo que presentan a menudo amplias expansiones de campo), especialmente en caso de fluctuaciones temporales del campo y/o varias fuentes de campo, se utilizan dos o más dispositivos de medición a diferentes distancias de la fuente de campo al mismo tiempo, pudiendo servir uno de ellos como dispositivo de referencia estacionario.

Los armónicos son menos frecuentes y menos marcados con cargas resistivas y por lo general en líneas de alta tensión, corriente de tracción, transformadores... que con cargas con mucha electrónica (esto se suele denominar «electricidad sucia» o «energía sucia»). La frecuencia de la red típica en Europa es de 50 Hz (en USA 60 Hz), muchos aparatos electrónicos funcionan a frecuencias más altas o frecuencias mixtas; el ferrocarril en Alemania funciona a 16,7 Hz, en otros países también con 50 Hz o corriente continua. A veces, una onda armónica puede tener mayor intensidad de campo que la misma frecuencia básica, por ejemplo, en estaciones transformadoras.

La frecuencia de un campo, así como la de sus armónicos y el tipo de estos últimos, son, además de la intensidad del campo, un aspecto de evaluación biológica. Algunos organismos reaccionan con mayor facilidad a campos más débiles de determinadas frecuencias que a campos más intensos de otras frecuencias, mezclas de frecuencias o armónicos. En los seres vivos, órganos, células... existen «ventanas de frecuencia» muy delimitadas con mayor sensibilidad.

Respecto a la frecuencia de campo de baja frecuencia y sus armónicos, ver también el punto A1 "Campos alternos eléctricos".

### 3 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS (alta frecuencia)

Medición de la **densidad de potencia** electromagnética, con determinación de las **frecuencias** dominantes, o **servicios de radiocomunicación** y sus **características de señal** (pulsaciones de baja frecuencia, periodicidad, banda ancha, modulación, etc.)

- Medición de la **densidad de potencia** electromagnética (microvatios por metro cuadrado,  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )

a) Medición orientativa de banda ancha de la suma de todas las influencias de campo en **toda la banda de frecuencias**

Mediante un medidor de banda ancha, sonda de campo RF, analizador RF, detector de radiaciones, radiómetro...:

- rango de frecuencias lo más amplio posible desde 100 kHz hasta más de 6 GHz (como mínimo 10 MHz – 3 GHz para determinar los servicios predominantes de radiocomunicación actuales),
- medición hasta como mínimo 20.000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  o (mejor) más,
- sensibilidad de detección de 0,1  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ,
- margen de error  $\pm 5$  dB sobre la totalidad del rango de medición,
- posibilidad de medición de larga duración.

*Atención:* Medición del valor pico en todas las direcciones de propagación, planos de polarización, reflexiones... en el campo lejano con antena 3D isotrópica o antena 1D mediante el método de agitación.

b) Medición selectiva detallada con determinación de **frecuencias de radiación singulares** (kHz, MHz, GHz; GSM/2G, UMTS/3G, LTE/4G, 5G, TETRA, LTE, WiMAX, WLAN, DECT, Bluetooth, radio, televisión, radioenlace, radar, radioafición, etc.)

Mediante analizador de espectro y antenas de medición calibradas (antena logarítmica-periódica, dipolo, monopolo, bicono, bucle, bocina...) o dispositivo de medición de banda ancha con filtrado selectivo de frecuencias o analizador RF:

- rango de frecuencias lo más amplio posible desde 100 kHz (mejor más bajo) hasta más de 6 GHz (como mínimo 3 GHz para la determinación de la mayor parte de los servicios de radiocomunicación actuales),
- ámbito de medición hasta como mínimo 10.000.000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ,
- sensibilidad de detección de 0,01  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ,
- margen de error  $\pm 3$  dB sobre todo el ámbito de medición y ajuste de medición.

*Atención:* Medición del valor pico como en el caso anterior, observar la carga base (tráfico mínimo) y la carga plena (tráfico máximo) para el número de canales de tráfico disponibles. Los Valores Indicativos en *Baubiologie* se aplican a los servicios de radiocomunicación por separado, no a los radares.

- Determinación de los servicios de **radiocomunicación** dominantes y de las **señales** de baja frecuencia (pulsación, periodicidad, banda ancha, modulación, etc.)

Visualmente con el analizador de espectro o acústicamente con dispositivo de medición de banda ancha, medidor de señal o modulación... en base a señales demoduladas audibles; rango de frecuencias lo más amplio posible, como en el caso anterior.

*Atención:* En caso de existir varias fuentes de pueden producirse solapamientos acústicos, lo que dificulta e incluso puede hacer imposible un diagnóstico.

Las ondas electromagnéticas, también conocidas como radiofrecuencia, se utilizan para la transmisión inalámbrica de información y aplicaciones radioeléctricas. El espectro de frecuencias disponible para el aprovechamiento de radiotransmisión comienza con 9 kHz, cubre toda la gama de MHz y finaliza en 300 GHz. Las ondas radiadas son ondas transversales que se propagan a la velocidad de la luz.

Las ondas de radio se componen de una señal portadora de alta frecuencia sobre la que se modula información de baja frecuencia, como imágenes, voz, música o datos. Los principales tipos de modulación son la amplitud modulada (AM, a menudo señales de onda corta, media y larga y pulsadas, como el radar), la frecuencia modulada (FM, a menudo VHF) o la modulación de fase (PM, a menudo las tecnologías digitales y pulsadas más recientes, como GSM, UMTS, TETRA, DECT, WLAN), con numerosas mezclas y subtipos.

Las redes de telefonía móvil, los teléfonos móviles, DECT, WLAN y otras tecnologías digitales modernas también utilizan la transmisión pulsada para poder transmitir la mayor cantidad de información posible de forma prácticamente simultánea. La pulsación, en especial la periódica, recibe una atención especial en las mediciones de *Baubiologie* (analizador de espectro en modo zero spam y/o diagnóstico acústico, también con dispositivo de medición de banda ancha o modulación) y se pondera de forma crítica.

En el campo cercano (por debajo de una longitud de onda), los componentes del campo eléctrico y magnético deben medirse por separado como intensidad de campo eléctrico (E, V/m) y magnético (H, A/m), al igual que con los campos de baja frecuencia. En el campo lejano (por encima de una longitud de onda), la medición de una componente del campo es suficiente para deducir la densidad de radiación (S), por ejemplo,  $S = E^2:Z_0$ , respectivamente  $S = H^2 \times Z_0$ . ( $Z_0 =$  impedancia característica del campo 377  $\Omega$ ).

Cuando se tienen varias fuentes de campo, se forma la suma aritmética para establecer la densidad total de radiación.

En *Baubiologie*, a menudo se lleva a cabo el método de agitación en la medición de alta frecuencia. La antena de medición se guía isotrópicamente, es decir, tridimensionalmente, lo más lejos posible del cuerpo en todas las áreas de la estancia (especialmente en la zona de dormir) y direcciones espaciales, la zona a medir se explora, se «escanea», se gira en los distintos planos de polarización y se registra mediante retención de picos (Peak Hold). Dependiendo de la situación, este procedimiento debería durar al menos un minuto, como mínimo hasta que la pantalla deje de mostrar un aumento del valor medido.

Utilizamos el analizador de espectro para examinar, por ejemplo, las redes de telefonía móvil GSM: Medición de los canales de organización constantemente activos (BCCH, Broadcast Control Channel) en posición max-hold según el método de agitación y suma de las densidades de radiación. Este resultado corresponde aproximadamente a la carga mínima de la estación de base durante la noche, que no suele estar muy frecuentada por usuarios de telefonía móvil. Para determinar la densidad de radiación en el momento de máxima utilización de una estación base, por ejemplo, cuando se realizan muchas llamadas de telefonía móvil a través de sus canales de tráfico (TCH, Traffic Channel) durante el día, se puede multiplicar teórica y de forma aproximada el valor medido de los canales de organización por el factor 2-4 (a no ser que se disponga de datos más exactos del operador), o de forma empírica mediante una medición a largo plazo con un dispositivo de banda ancha.

Todos los servicios (GSM, UMTS, TETRA, DECT, WLAN, radiodifusión, radiotransmisión...) se evalúan por separado utilizando los Valores Indicativos en *Baubiologie*.

En el informe se recoge el resultado obtenido en el momento de la medición, con su valor mínimo y el valor máximo detectado o posible.

No todos los emisores transmiten siempre y, si lo hacen, no siempre con la misma intensidad. Por ello puede ser necesario realizar mediciones o registros durante largos periodos. Algunas emisoras de radio o militares, por ejemplo, solamente emiten a determinadas horas, mientras que algunos transmisores gubernamentales e industriales o radioaficionados solo transmiten cuando es necesario. Los teléfonos DECT y las redes WLAN a veces transmiten sin parar, pero otras solo cuando están en uso. También las señales de banda ancha (UMTS, televisión digital...) con sus significativos factores de cresta, deben ser observadas pacientemente, pues oscilan.

También en este caso está claro que los métodos se complementan y proporcionan, cuando se combinan entre ellos, la necesaria seguridad de análisis. La medición de banda ancha suele ser (más) sencilla, rápida, las tecnologías (más) económicas. El análisis de espectro es (más) complicado, largo, los analizadores de espectro más caros, pero más seguros, más diferenciados y más precisos. Un dispositivo de medición de banda ancha no puede sustituir a ningún analizador de espectro o al diagnóstico acústico, pero tampoco un analizador de espectro puede sustituir a un dispositivo de medición de banda ancha o modulación.

Al igual que en los puntos de la norma A1 «Campos eléctricos alternos» y A2 «Campos magnéticos alternos», aquí también se aplica lo siguiente: La frecuencia de las ondas de radiocomunicación, su modulación y pulsación son, junto a la intensidad de radiación, un aspecto de la evaluación biológica. Algunos organismos reaccionan a los campos débiles de determinadas frecuencias y pulsaciones más intensamente que a los campos más intensos de otras frecuencias. En los seres vivos, órganos, células, etc., existen diferentes «ventanas de frecuencia» con mayor sensibilidad. Según la experiencia adquirida, cuanto más baja sea la frecuencia del pulso, más crítica será la pulsación de baja frecuencia. Los armónicos son menos marcados en ondas de alta frecuencia que en campos de baja frecuencia.

## 4 CAMPOS ELÉCTRICOS CONTINUOS (electrostática)

Medición de la **tensión superficial** electrostática, así como su **tiempo de descarga** y de la **electricidad atmosférica**

### - **Tensión superficial** (Voltio, V).

Medición de superficies cargadas electrostáticamente contra el potencial de tierra, mediante molinillo electrostático, medidor de campo eléctrico, sonda electrostática, sensor estático, entre otros:

- rango de medición hasta  $\pm 20.000$  V o más,
- sensibilidad de detección de 10 V o inferior,
- margen de error  $\pm 10$  %.

*Atención:* Realizar la medición a una distancia de 2-10 cm de la superficie del material o la pantalla (utilizar separador si es necesario). Provocar y con ello cargar el material mediante una fricción típica habitual (por ejemplo, con el dorso de la mano o un material no conductor) durante 1-2 segundos antes de la medición. Especificar la polaridad de la carga: positiva o negativa (+ o -). Indicar la humedad relativa del aire de la estancia, idealmente 40 - 60 %, parámetros del clima interior de la estancia (humedad del aire, temperatura del aire, humedad de las superficies, posible ionización del aire, etc.). Puesta a tierra del aparato de medición y de la persona que realiza la medición.

### - **Tiempo de descarga** (segundos, s)

Comprobación del tiempo que tarda la superficie cargada del material o de la pantalla en volver a los valores normales (es decir, a los valores anteriores a la provocación).

### - **Electricidad atmosférica o electricidad del aire** (voltios por metro, V/m)

Medición del campo continuo eléctrico del aire contra el potencial de tierra, con molinillo electrostático, medidor de campo eléctrico, etc.:

- rango de medición  $\pm 200$  V/m -  $\pm 20.000$  V/m o superior,
- sensibilidad de detección 10 V/m,
- margen de error  $\pm 10$  %.

*Atención:* Medición de la electricidad del aire en el ámbito de influencia del ser humano (especialmente tras la exposición a materiales y pantallas electrostáticamente cargables) y como referencia sobre la electricidad del aire exterior.

Los campos eléctricos continuos se producen a consecuencia de cargas eléctricas unilaterales en materiales aislantes (plásticos, materiales sintéticos, gomas, etc.), pantallas sin revestimiento y a causa de la corriente continua (catenaria del tranvía, purificadores de aire, entre otros). Modifican la electricidad natural del aire y otros aspectos del clima interior (ionización del aire, levantamiento de polvo...). El campo eléctrico continuo natural en el exterior depende básicamente de la meteorología.

También en la medición de la electrostática, las cargas sin frecuencias y las intensidades de campo, se trata de diferencias de potencial y algunas de las relaciones y problemas descritos para los campos eléctricos alternos (A1) pueden transponerse. La tensión superficial se mide sobre materiales sospechosos (alfombras, cortinas, ropa de cama, objetos, pantallas, entre otros) y con ella la consiguiente variación de la electricidad del aire que los rodea. Equivalencias: tensión superficial (V) = intensidad de campo (V/m) x distancia (m).

Para obtener resultados comparables, la humedad relativa del aire debe ser del 40-60 % y las superficies a medir deben estar expuestas a este ambiente interior durante varias horas. Con una humedad superior a 60 % cabe esperar valores de tensión superficial más bajos, por encima del 70 % se dificultan las mediciones, más de 80 % las hace casi imposibles y con más de 90 % son totalmente irrealizables. Por debajo de 40 % los resultados son más claros, por debajo del 30 % cabe esperar un aumento múltiple y por debajo del 20 % de humedad un aumento de decenas de veces. A veces es necesario realizar comprobaciones en diferentes estaciones del año (verano húmedo, invierno seco). Las pantallas de tubo de rayos catódicos CRT (monitores y televisores más antiguos) deben encenderse antes de la medición durante algunos minutos, para que se carguen plenamente; la electrostática cambia con el brillo de la imagen.

Los materiales y pantallas recomendados en Baubiologie apenas se cargan y si lo hacen, se descargan en cuestión de segundos. Los materiales críticos pueden cargarse mucho en segundos tras una provocación y las pantallas tras su encendido, y descargarse muy lentamente a lo largo de minutos, horas o días. Las cargas negativas, indicativas de plásticos y materiales sintéticos, son más críticas que las positivas, que a veces también pueden darse en la naturaleza (ámbar, lana, etc.).



## 5 CAMPOS MAGNÉTICOS CONTINUOS (magnetostática)

Medición de la **distorsión del campo magnético terrestre** como **desviación espacial de densidad de flujo** (metal) o **fluctuación temporal de la densidad de flujo** (corriente continua), así como la desviación de la brújula.

- **Distorsión del campo magnético terrestre** como desviación espacial de densidad de flujo por **metal** (microtesla,  $\mu\text{T}$ )

Medición de la suma de todas las direcciones de líneas de campo magnético causadas por imanes metálicos o permanentes.

Mediante magnetómetro, indicador de campo magnético, sensor magnetostático, etc.:

- rango de medición como mínimo  $\pm 100 \mu\text{T}$  (mejor más),
- sensibilidad de detección al menos de 100 nT (mejor menos),
- margen de error  $\pm 10 \%$ .

*Atención:* Escanear la superficie a medir, eventualmente registro mediante cuadrícula del área a medir (superficie de la cama, estancia...). No variar la orientación del sensor en ningún tramo de la medición. No inclinar, girar ni ladear la sonda 1D durante la medición, ni siquiera lo más mínimo. Evaluar las anomalías de campo localizadas con gradientes pronunciados de forma más crítica que las extendidas con gradientes menos acusados.

- **Distorsión del campo magnético terrestre** como fluctuación temporal de la densidad de flujo por **corriente eléctrica** (microtesla,  $\mu\text{T}$ )

Medición 3D de la suma de todas las direcciones de las líneas de campo magnético inducido por corriente continua.

Mediante magnetómetro, indicador de campo magnético, sensor magnetostático, etc.:

- rango de medición como mínimo  $\pm 100 \mu\text{T}$  (mejor más),
- sensibilidad de detección al menos de 100 nT (mejor menos),
- margen de error  $\pm 10 \%$ .

*Atención:* Si se sospechan fluctuaciones de campo (tranvía, instalación fotovoltaica, etc.), realizar registros de larga duración como mínimo durante 24 horas, en cualquier caso durante toda una noche. Posicionar el aparato de medición en un lugar con campo magnético neutro. No mover la sonda 1D durante el período de medición.

- **Desviación de la brújula** (grados,  $^\circ$ )

Determinación de la desviación de la aguja de brújula bajo influencia de campos magnéticos continuos de metales o corriente eléctrica.

Mediante una brújula de alta precisión mecánica amortiguada por líquido, regla de campo magnético, brújula electrónica fluxgate, entre otros

*Atención:* Mover la brújula lentamente y en línea recta en una dirección sobre una superficie (cama...), sin torcerla, escanear la zona en forma de cuadrícula, anotar las desviaciones. Prestar atención también a las desviaciones de la aguja hacia arriba o abajo. Si un campo magnético técnico con la misma polarización que el campo magnético terrestre actúa sobre la aguja de la brújula desde la dirección norte-sur, la aguja no se moverá, al contrario de lo que ocurre de forma acusada cuando los campos provienen de un lado.

Los campos magnéticos continuos técnicos surgen como consecuencia de los metales ferromagnéticos (acero en masas de edificios, muebles, equipos...) o de la corriente continua (tranvías, instalaciones fotovoltaicas...). Los campos magnéticos continuos naturales son el resultado del campo magnético terrestre, en el que la aguja de una brújula se orienta hacia el norte. El término distorsión del campo geomagnético se refiere a una influencia o superposición del fondo natural. Todo campo magnético (técnico o natural) tiene un polo norte y un polo sur (un polo positivo y un polo negativo). Las líneas de campo van del polo norte al polo sur.

Las mediciones magnetostáticas se refieren a la magnitud y la dirección de los campos magnéticos inducidos técnicamente; la referencia es el campo geomagnético uniforme e inalterado. Una medición con un magnetómetro 3D registra (como en el caso de los campos magnéticos alternos) la densidad de flujo magnético en un punto de medición en tres dimensiones, de forma isótropa, teniendo en cuenta todas las propagaciones de las líneas de campo; el valor medido es independiente de la orientación espacial de la sonda. La medición con un magnetómetro 1D o un indicador de campo magnético solo registra un eje de la propagación de la línea de campo; el valor medido unidimensional depende de la dirección. Si se

realizan tres mediciones 1D, cada una desplazada 90°, y se suman sus resultados al cuadrado, se obtiene la suma  $\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}$ , que se determina automáticamente y se visualiza con dispositivos 3D.

Los magnetómetros 1D muestran la densidad de flujo determinada en función de la polaridad del campo con un signo más o menos (+ o -), lo cual es necesario para calcular la desviación de la densidad de flujo dentro de un área localmente limitada. Los magnetómetros disponibles actualmente en el mercado, que en las mediciones 3D solo realizan cálculos de magnitud en modo de medición relativa y no tienen en cuenta la dirección del vector, solo sirven para determinar la desviación de la densidad de flujo entre dos puntos de medición de forma poco precisa, pero son muy adecuados para todos los demás fines.

La brújula funciona en dos dimensiones y se orienta principalmente en las líneas de campo horizontales. No es un dispositivo de medición, sino un detector, y no indica intensidades de campo, sino solo direcciones. Su aguja puede ser desviada por campos magnéticos externos. Una brújula electrónica fluxgate, como la que se utiliza en la navegación, por ejemplo, funciona de forma similar a una brújula convencional, pero con una pantalla digital en lugar de una aguja.

Apenas se puede calcular la desviación de la brújula a partir de los valores obtenidos por el magnetómetro, y acaso solo de forma muy grosera. Aunque también en este caso los distintos métodos de medición se complementan. La comprobación mediante la brújula es comprensible y convincente, pero no sustituye las mediciones del magnetómetro.

Como siempre, las mediciones se realizan en la zona de influencia de la persona, por ejemplo, en la cama.

Los campos magnéticos inducidos por metales pueden ser muy diferentes espacialmente, fuertes en áreas pequeñas con intensidades extremadamente cambiantes a intervalos de pocos centímetros (gradiente pronunciado), por ejemplo, sobre colchones de muelles en proximidad directa al cuerpo, o más moderados en áreas grandes a lo largo de varios decímetros o metros (gradiente plano), por ejemplo, sobre vigas de acero o refuerzos de hormigón. Esta es otra razón por la que es mejor registrar un área definida en un patrón de cuadrícula.

Los campos magnéticos inducidos por corriente continua pueden estar sujetos a fuertes fluctuaciones temporales. En el caso de los tranvías, trenes subterráneos o trolebuses, fluctúan continuamente en función del flujo de corriente en las líneas aéreas y los raíles; por la noche el tranvía no circula, y eso tiene por efecto que no haya campo. En las instalaciones fotovoltaicas oscilan entre otras cosas a causa de la incidencia del sol, lo que significa que de noche no hay contaminación por campos. Esta es otra razón para el registro a largo plazo.

## 6 RADIOACTIVIDAD (Radiación alfa, beta y gamma, radón)

Medición de la radiactividad como **tasa de impulsos, tasa de dosis equivalente y desviación**, así como medición y registro a largo plazo de la concentración de radón.

- **Radiactividad** (Impulsos por segundo/minuto, ips/ipm - nanosievert por hora, nSv/h)

Medición de la actividad de materiales de construcción, objetos, aparatos, instalaciones, etc., sospechosos de radioactividad y/o registro comparativo de los valores cifras de impulsos de la radiación alfa, beta y gamma.

Con dispositivos de medición de la tasa de dosis (tubo contador Geiger-Müller, detector de gran superficie, contador proporcional, contador de centelleo...).

- El dispositivo de medición debería abarcar como mínimo el intervalo de la energía gamma relevante para el medio ambiente de 50 KeV a 1,3 MeV.
- Debido a la precisión estadística requerida en el rango de dosis bajas, se necesitan al menos 1000 impulsos por punto de medición.
- La sensibilidad de detección de al menos 100 nSv/h (mejor menos),
- margen de error  $\pm 25 \%$ ,
- sensibilidad básica recomendada 40 impulsos por minuto con 100 nSv/h,
- efecto cero (ruido propio del detector)  $< 50 \%$  con 100 nSv/h.

*Atención:* En los análisis de dormitorios se recomienda tomar dos puntos de medición como mínimo, por ejemplo, en el extremo de la cabeza y a los pies de la cama. Las diferencias claras entre la medición en el cabecero y al pie de la cama indican una radiación propia elevada de la masa de la edificación (por ejemplo, en la pared del cabecero). Para la evaluación se considera el resultado de medición más alto. Otras mediciones junto a paredes, suelos, rincones, etc., permiten identificar las fuentes y la elaboración de propuestas de saneamiento. La mayor parte de aparatos asequibles normalmente no sirven para determinar pequeñas desviaciones en el

rango de la radiación de fondo de 100 nSv/h. No obstante, es posible realizar una evaluación bastante fiable en el rango de dosis bajas con dispositivos que cumplan los requisitos anteriores; en este caso, hay que tener en cuenta ante todo la recogida de impulsos (estadística de conteo) y el efecto de fondo o cero (ruido propio del detector). Debido a estos problemas, deben favorecerse las mediciones comparativas.

El efecto cero o de fondo, es decir, el ruido propio del detector, tiene un impacto significativo en las proximidades de la radiación de fondo general de aprox. 100 nSv/h, en algunos casos hasta el 50 % del valor medido, cuanto menos sensible sea el dispositivo de medición, mayor será el efecto. Con los contadores de centelleo (NaI 2" o 3"), el efecto de fondo es prácticamente irrelevante debido a la gran cantidad de impulsos recogidos.

Las evaluaciones de *Baubiologie* se refieren a la recogida de impulsos gamma que parten de nucleidos naturales (Ra-226, Th-232 y K-40). La nueva dosis equivalente ambiental H\* (10) corresponde en este caso a la radiación natural del entorno (terreno, materiales de construcción) de la dosis equivalente de fotones.

La radiactividad está presente en todas partes en pequeñas cantidades. En la tierra, el cuerpo y el aire, hay principalmente elementos radiactivos naturales (radionucleidos) de las series del torio (Th-232) y del uranio-radio (Ra-226), así como del potasio (K-40). Durante la medición de la radiación radiactiva se determina la cantidad de desintegraciones radiactivas en un intervalo de tiempo, en forma de impulsos. Los aparatos de medición transforman la radiación incidente en impulsos eléctricos. La medición comparativa es un método especialmente útil para los fines de la *Baubiologie*. En este caso, se indica la relación entre la radiación ambiental natural y la radiación en la casa, en el material de construcción, en el dormitorio, etc., como una desviación porcentual. Es recomendable indicar siempre todos los valores de referencia medidos. Es especialmente importante determinar la tasa de dosis local o la tasa de dosis equivalente debida a la radiación gamma.

Junto a la radiación gamma también hay que prestar atención a la radiación beta. La radiación alfa tiene un papel subordinado en los estudios en *Baubiologie*, debido a una menor presencia y alcance. En lo que respecta a la absorción interna a través del radón y los nucleidos de desintegración en el aire, pueden ser útiles las mediciones de la radiación alfa a través de colectores de partículas.

Durante las mediciones dentro del edificio, hay que tener en cuenta que a menudo se utilizan diferentes materiales de construcción macizos en paredes interiores y exteriores, lo que puede tener un efecto significativo en la actividad gamma.

La espectroscopia gamma puede utilizarse para diferenciar entre nucleidos. Las muestras de materiales sospechosos (por ejemplo, materiales de construcción) pueden analizarse en el laboratorio en relación a su actividad específica.

Si hay indicios de una situación de exposición particular, por ejemplo, radio en la masa del edificio, a menudo en forma de escorias, deben realizarse mediciones de radón.

Con respecto a un posible aumento de la dosis radiactiva anual, las anomalías en los materiales de construcción suelen desempeñar un papel subordinado en comparación con el radón.

#### - **Radón** (bequerelios por metro cúbico, Bq/m<sup>3</sup>)

Medición del aire de edificios, estancias, materiales y solares con señales de radón o que se sospecha que pueden presentar radón (análisis previos, mediciones a corto plazo, mediciones de larga duración, mediciones de exhalación, mediciones de gas en el suelo).

Mediante monitores de radón de lectura directa, espectrómetros de nucleidos hijos de radón, dosímetros pasivos, exposímetros de trazas nucleares (dispositivos electrónicos basados en el principio de detector semiconductor, detectores de trazas nucleares, carbón activado, etc.).

*Atención:* Las mediciones o **análisis preliminares** en espacios no ventilados o en condiciones de uso con una ventilación más bien deficiente, durante un tiempo de pocas horas a hasta tres días proporcionan los primeros indicios de un problema de radón o sirven a efectos comparativos. Para obtener mediciones rápidas in situ y hallar el origen se emplean sobre todo los procedimientos de indicación directa con bombas. Con procedimientos sencillos previos a la prueba, también se puede detectar un aumento agudo de la concentración de radón midiendo los productos secundarios y/o la ionización del aire: los nucleidos hijos radiactivos cargados positivamente del aire interior se detectan tras su acumulación en superficies cargadas negativamente (método electrostático) o en medios filtrantes (recogida de partículas) utilizando sensibles contadores Geiger. Se pueden utilizar ionómetros para medir el aumento del número de pequeños iones en el aire, que se correlacionan bien con las concentraciones de radón y el número de nucleidos de desintegración. Se realiza una sencilla prueba preliminar del

aire de la estancia utilizando un captador pasivo de carbón activado con un periodo de exposición de hasta tres días.

Si una medición de este tipo de hasta 3 días da como resultado un contenido de radón superior a un valor orientativo que debe probarse con mayor precisión, deben realizarse mediciones repetidas o mediciones durante tiempos más prolongados (en espacios habitados a ser posible tomando unas primeras medidas de saneamiento a través de la ventilación

Las **mediciones globales** deberían llevarse a cabo durante un tiempo prolongado y mediante otros métodos. Para obtener una evaluación más fiable del valor medio anual se aconseja realizar mediciones con dosímetros electrónicos o exposímetros de vía nuclear durante semanas o incluso más tiempo. Es aconsejable realizar mediciones simultáneas, por ejemplo, en el salón y el sótano, ya que el radón suele entrar en la casa a través del suelo y el sótano.

Los Valores Indicativos en *Baubiologie* se refieren a mediciones realizadas durante como mínimo 7 a 14 días en la época de entretiempo (clima medio anual, por ejemplo, primavera/otoño) en condiciones normales de uso. Si se tiene mucha experiencia y se tienen en cuenta todos los factores que influyen puede hacerse una primera aproximación al valor medio anual. Antes de realizar saneamientos profundos y costosos se recomienda llevar a cabo mediciones simultáneas y repetidas.

Las **mediciones de evaluación** para establecer la superación de valores indicativos y de referencia, por ejemplo, según la UE, OMS, UBA, BfS, etc., se realizan normalmente mediante exposímetros de vía nuclear durante un tiempo de exposición de varios meses hasta un año. En *Baubiologie* estos tiempos tan prolongados de análisis solo tienen sentido si una disminución de los valores parece posible y factible sobre la base de pruebas preliminares y mediciones generales o si se pretende que sirva como control del saneamiento.

Complementariamente a las mediciones de radón en el aire interior también se pueden considerar análisis de materiales (tasa de emanación de radón), medición de gas del suelo (con sonda de gas del suelo "sonda checa", profundidad recomendada: 80-100 cm).

El gas radón radiactivo es invisible, completamente inodoro e insípido. El radón se desintegra directamente en el aire que se respira y produce productos secundarios radiactivos (Po-218, Po-214, Pb-214, Bi-214 y otros). Estos productos secundarios se depositan en el polvo fino que penetra en los pulmones, y causan la mayor parte de la dosis radiactiva asimilada. Según estimaciones estadísticas, el radón en el aire interior ya está causando casi 2000 muertes adicionales por cáncer de pulmón en Alemania cada año. No existe un valor umbral por debajo del cual no haya riesgo.

Los problemas por radón en las casas se producen con frecuencia a causa de concentraciones elevadas en el subsuelo, filtraciones, materiales de construcción y elementos radiactivos y una ventilación insuficiente del espacio interior. El radón es especialmente frecuente en casas antiguas con sótanos húmedos, ya que es muy soluble en agua.

La concentración de radón en un edificio oscila fuertemente en el tiempo, junto a la ventilación del aire interior también son importantes el clima exterior y las fluctuaciones de temperatura y presión, así como también las características del suelo. Durante la temporada de calefacción las concentraciones son notablemente mayores, debido a la elevación del aire más caliente, a una ventilación más deficiente y a unas concentraciones mayores en el aire del terreno. En verano las concentraciones de radón en los espacios interiores suelen estar hasta 5 veces más bajas que en invierno. También en el subsuelo se pueden encontrar diferencias estacionales significativas en las concentraciones de gas radón, pero en este caso las diferencias son mucho menores y se sitúan en torno a un factor de 1,5 a 3.

Las concentraciones más elevadas de radón se dan sobre todo en Baviera, Sajonia, Sajonia-Anhalt y Turingia (Bosques de Baviera, Alto Palatinado, Fichtelgebirge, Bosque de Turingia, Montes Metálicos, Selva Negra meridional, Vogtland, Sauerland, Sarre y el norte y el este de Schleswig-Holstein).

Las correlaciones entre las concentraciones medias de radón en el subsuelo y en el interior son bastante acertadas. Mientras que, en el suelo, a una profundidad de 1 m, se registran concentraciones muy elevadas de aproximadamente 10.000 a más de 600.000 Bq/m<sup>3</sup>, las concentraciones en el interior son aproximadamente 1000 veces inferiores. Sin embargo, incluso por debajo de 10.000 Bq/m<sup>3</sup> de concentración en el suelo, cabe esperar que el radón sea perceptible en las casas si hay filtraciones.

El torón de vida muy corta (radón Rn-220 de la serie del torio) apenas tiene relevancia en las mediciones en *Baubiologie*. Sin embargo, pueden surgir problemas en interiores a causa de materiales de construcción abiertos y ricos en nucleidos. El torón no puede detectarse mediante mediciones con carbón activado. Aquí solo son adecuadas las mediciones de los productos secundarios en el aire (Pb-212, Po-212). Debido a su intensa desintegración alfa, el torón también debe considerarse de forma especialmente crítica en la serie de nucleidos de desintegración. El torón puede liberarse al aire interior, sobre todo en el caso del granito radiactivo (por ejemplo, como pavimento). Los materiales de

construcción con un alto contenido de torio, las escorias y los revestimientos gruesos de barro con una alta presencia espacial ( $> 1 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) y una baja tasa media de intercambio de aire ( $< 0,5$ ) pueden contribuir significativamente a la dosis anual de nucleidos de desintegración del torón radiactivo en interiores.

Los edificios con elevada radiactividad en la masa de la obra también pueden causar problemas de radón procedente de los materiales por su contenido en radio (Ra-226), pero la probabilidad de una emanación de radón muy significativa es más bien reducida. No se puede hacer una afirmación en sentido contrario, ya que las edificaciones que no presentan radiaciones gamma pueden presentar concentraciones de radón inesperadamente altas, pues a menudo la aportación (casi siempre por convección) se produce a través del subsuelo. Los equipamientos y objetos muy radiactivos, como pueden ser baldosas, vidriados, antigüedades, etc., también pueden contribuir considerablemente a la acumulación de radón en las estancias.

## 7 PERTURBACIONES GEOLÓGICAS (campo magnético y radiación terrestres)

Medición del **campo magnético terrestre** y su **radiación**, y sus **perturbaciones** significativas

- Perturbaciones significativas en el **campo magnético terrestre** (nanotesla, nT)

Con magnetómetro 3D:

- rango de medición hasta  $\pm 100.000 \text{ nT}$ ,
- sensibilidad de detección  $10 \text{ nT}$  (mejor menos),
- margen de error  $\pm 10 \%$

*Atención:* Las mediciones se deben disponer en forma de cuadrícula para una mejor visión de conjunto, por ejemplo, un punto de medición cada  $50 \text{ cm}$ . Los materiales de construcción o materiales magnéticos (incluso los poco evidentes) pueden hacer que la medición y el resultado, especialmente en interiores, sean confusos o incluso imposibles. Por ejemplo, una medición con geomagnetómetro no suele ser posible en un edificio construido y equipado de forma convencional debido a los numerosos errores que presenta.

- **Perturbaciones significativas de la radiación terrestre radiactiva** (impulsos por segundo, ips o porcentaje, %)

Mediante un contador de centelleo:

- sensibilidad de medición de al menos  $20 \text{ ips}$  (mejor  $200 \text{ ips}$  o más),
- margen de error  $\pm 10 \%$  (mejor menos).
- Los cristales de yoduro de sodio y yoduro de litio han demostrado su eficacia como sensores, tamaño mínimo de  $2''$  (mejor  $3''$ ), cristales preferiblemente con talio añadido, a ser posible apantallados contra la radiación ambiental no terrestre con plomo libre de isótopos, y preferentemente con moderadores de frenado de neutrones.

*Atención:* Estas mediciones también deben organizarse en una cuadrícula para mayor claridad, por ejemplo, un punto de medición cada  $50 \text{ cm}$  en zonas sensibles (dormitorios); cada punto requiere un rendimiento de impulsos de al menos  $1000$ , preferiblemente  $5000$ . Los materiales de construcción, equipos o materiales radiactivos (incluso los poco llamativos) pueden influir mucho en la medición y en el resultado, especialmente en la vivienda, o incluso hacerla imposible.

La radiación terrestre está en todas partes. En cualquier lugar existen el campo magnético terrestre y la radiación radiactiva procedente del suelo. La aguja de la brújula atestigua la fuerza magnética de la Tierra y el contador Geiger la radiación gamma. Muchas otras fuerzas emanan de la tierra.

Las denominadas perturbaciones geológicas son zonas de actividad terrestre alteradas. En ellas se pueden medir anomalías ostensibles en comparación a la media. La intensidad de flujo del campo magnético terrestre aumenta o disminuye dentro de unos límites locales y la radiación terrestre se ve alterada. Otros efectos físicos también se muestran de forma más acusada, más o menos penetrante, que en un entorno inalterado. Las perturbaciones geológicas son la consecuencia de, por ejemplo, corrientes de agua subterráneas, las denominadas vetas de agua o manantiales, u otros accidentes terrestres como, por ejemplo, fracturas, grietas, fisuras o fallas.

Al utilizar magnetómetros y contadores de centelleo, la experiencia previa ha demostrado que es más probable esperar una reducción del valor medido en el caso de aguas subterráneas y un aumento del valor medido en el caso de fallas geológicas, fisuras y fracturas.

Para diferenciar entre campos magnéticos geológicos o técnicos, debe cambiarse la ubicación de la sonda y la medición del magnetómetro debe realizarse a diferentes alturas. Si se detectan junto al suelo anomalías en los valores medidos, pero no más arriba, entonces no se trata de causas geológicas, sino técnicas. Los campos técnicos se reducen rápidamente a medida que aumenta la distancia al origen, las alteraciones geológicas permanecen constantes a través de grandes diferencias de altura. Durante el estudio de solares, una valla de malla metálica o un automóvil aparcado a 10 m de distancia o más, pueden provocar anomalías del campo magnético similares a las perturbaciones. Por lo tanto, para mayor seguridad, realizar las mediciones en al menos dos planos; por ejemplo, por encima del suelo y a la misma distancia de nuevo a una altura de 2 metros. Solo cuando se puedan medir los mismos valores sobre las zonas sospechosas de perturbaciones geológicas en ambos (o incluso más) planos se podrá estar (más) seguro.

Al igual que en las mediciones con contadores de centelleo: en interiores, mantener una distancia del suelo, masas de edificios e instalaciones sospechosas; en exteriores, mantener la distancia, por ejemplo, a edificios sospechosos, pavimentos de carreteras o prados recién abonados.

Los magnetómetros 3D comerciales, que realizan el cálculo de valores en modo de medición relativa, sin tener en cuenta la dirección de los vectores, son muy adecuados para llevar a cabo la medición de las perturbaciones geológicas.

En mediciones de radiactividad sobre un suelo con perturbaciones geológicas, parece que junto a la radiación gamma también se evidencia una radiación de neutrones, que se indica asimismo por el cristal de yoduro de sodio (NaI) o yoduro de litio (LiI) del contador de centelleo.

Un requisito importante es el registro del fondo de un campo magnético inalterado y uniforme, y de una radiación gamma, para poder comparar.

## 8 ONDAS ACÚSTICAS (ruido aéreo, ruido de impacto y transmisión acústica estructural)

Medición de **ruido, sonido audible, infrasonidos y ultrasonidos, oscilaciones y vibraciones**

### - **Ruido aéreo** (sonido audible, infrasonido y ultrasonido)

Medición de los niveles de presión sonora no ponderados y/o ponderados para la evaluación de la exposición al sonido o al ruido, su nivel sonoro continuo equivalente y la progresión temporal.

Con sonómetros más económicos de clase 2 según IEC 61672, con aproximadamente las siguientes especificaciones:

- rango de frecuencias 31-8000 Hz,
- rango de medición 30-130 dB en varias subdivisiones,
- ponderación temporal rápida y lenta,
- ponderación de frecuencia A y C,
- registro de valores de medición de al menos 30.000 valores medidos,
- preferiblemente funcionamiento independiente (stand-alone)
- posibilidad de exportar los datos a un PC.

O con sonómetros más caros de clase 1 según IEC 61672:

- rango de frecuencias 5-20.000 Hz (es decir, también hasta el rango de infrasonido),
- rango de medición 20-140 dB en varias subdivisiones,
- ponderación temporal rápida y lenta y de pico (C), a ser posible de impulsos,
- ponderación de frecuencia A, C y Z (lineal),
- registro de valores de medida típicamente 1-2 GB, conexión a PC.

Actualmente no existe ningún aparato de medición para ultrasonidos a un precio asequible. Existen soluciones indicadoras, es decir, aparatos que pueden hacer audibles los sonidos de alta frecuencia, por ejemplo, de murciélagos o insectos (detector de murciélagos o bat receiver). Diversas técnicas transforman los ultrasonidos al rango de audición humano, haciéndolos evaluables acústicamente.

- El rango de frecuencias suele ir de 16 a 100 kHz, a veces hasta 200 kHz.
- El volumen, la frecuencia y el ancho de banda son ajustables, y se integran salidas para auriculares, grabadora, registrador de datos o analizador de espectro.

*Atención:* En caso de fenómenos sonoros intermitentes o muy variables, realizar grabaciones a largo plazo para determinar distribuciones de frecuencia de distintos niveles y análisis de

percentiles. Las mediciones en las zonas de descanso deben realizarse durante la fase nocturna durante al menos 8 horas, desde las 23:00 hasta las 7:00 horas aproximadamente.

- **Ruido de impacto, transmisión acústica estructural, vibración** (oscilaciones mecánicas)

Medición de las vibraciones o movimientos de elementos de la construcción como paredes, suelos, techos, radiadores, tuberías, puertas, vidrios de ventanas (*atención*: resonancia propia), etc.

Con dispositivos y sensores de medición de vibraciones adecuados (sensores de vibración y aceleración, acelerómetros, vibrómetros láser, entre otros). Los valores de aceleración en  $m/s^2$  se calculan a partir de los valores medidos (normalmente niveles).

En los suelos, dependiendo del revestimiento, puede ser necesario establecer un contacto acústico con el pavimento, por ejemplo, utilizando una meseta receptora con puntas y un dispositivo de nivelación. Gama de frecuencias de 5 Hz (preferiblemente menos) a 10 kHz (y más), filtros de paso alto y bajo recomendables, sensibilidad de detección inferior a  $0,1 m/s^2$ .

*Atención*: Si las vibraciones solo se producen de forma intermitente, deberán realizarse grabaciones a largo plazo, como en el caso del ruido aéreo. La sensibilidad del ser humano a las vibraciones está relacionada con la aceleración de las oscilaciones.

- **Análisis de las frecuencias**

Realizar exámenes selectivos de las frecuencias de los eventos sonoros de ruido aéreo o de impacto transmitidos estructuralmente, mediante análisis de frecuencias, como mínimo en el rango del sonido audible de 20-20.000 Hz, mejor aún hasta rangos de baja frecuencia por debajo de 20 Hz hasta 5 Hz y menos (infrasonido, vibración) o también en rangos superiores por encima de 20 kHz (ultrasonido), ya sea en forma de niveles de tercio de octava (Analizador en Tiempo Real) o de alta resolución en forma de FFT (Transformación Rápida de Fourier, un análisis de frecuencia de banda estrecha). Al menos la ventana de Hanning debe estar disponible como ventana de tiempo FFT.

Como en el caso de la contaminación electromagnética o electrosmog, también en el caso del sonido se trata de ondas y frecuencias que se indican en hercios (es decir, en eventos por segundo). Aquí no se trata de oscilaciones electromagnéticas (es decir, partículas u ondas de energía), sino de movimientos de partículas de materia en el aire, en líquidos u objetos sólidos, como por ejemplo elementos de construcción. Las partículas ejercen presión, -en el sentido más estricto de la palabra, y provocan cambios mínimos de densidad. Cualquier tipo de cambio de presión en el aire, el agua u otro medio es sonido en el sentido más amplio, sonido audible si el oído humano puede percibirlo, infrasonido y ultrasonido por debajo o por encima del nivel de percepción acústica.

La propagación de las ondas sonoras es más lenta que la de las ondas electromagnéticas: en el aire es de 343 metros por segundo (m/s), esto es 1.235 kilómetros por hora (km/h), más rápido que un jet jumbo, pero solo una millonésima parte de la velocidad de la luz o la radiación electromagnética.

Una persona joven y sana oye en el mejor de los casos frecuencias de aproximadamente 20 Hz a 20 kHz, y en especial las frecuencias medias entre 1 y 5 kHz. Los infrasonidos y los ultrasonidos son eventos sonoros de frecuencias más bajas y más altas, por debajo de 20 Hz y por encima de 20 kHz, que ya no pueden ser percibidos directamente por el oído, pero que sí pueden ser percibidos por muchas personas, a menudo de forma desagradable, molesta o incluso causar enfermedades. El ruido se refiere a sonidos no deseados, molestos o perjudiciales. Las vibraciones son oscilaciones mecánicas perceptibles, normalmente molestas o incluso estresantes, que pueden ir de la mano del sonido aéreo o audible, especialmente los infrasonidos.

Las mediciones de niveles de presión sonora y los análisis de frecuencias suelen realizarse en el centro de las estancias, es decir, lo más lejos posible de paredes, suelos y techos, pues en las proximidades de estas superficies delimitadoras cabe esperar aumentos y variaciones de nivel. Para la práctica de *Baubiologie* es importante determinar la exposición en lugares donde las personas pasan mucho tiempo (dormitorios, lugares de trabajo).

## 9 LUZ (iluminación artificial, luz visible, radiación UV e infrarroja)

Medición del espectro lumínico, distribución espectral, parpadeo de la luz, iluminancia, reproducción cromática, temperatura de color, campos electromagnéticos y ultrasonidos.

Como en el caso de la contaminación electromagnética o electrosmog y del sonido, la luz también implica ondas y frecuencias. La propagación de las ondas luminosas es, con sus 300.000 kilómetros por segundo, de una rapidez inimaginable. El espectro de frecuencias de la luz enlaza directamente por arriba con las frecuencias electromagnéticas de radio. La radiofrecuencia se utiliza hasta aproximadamente los 300 GHz (las clásicas microondas). La «luz» infrarroja invisible (radiación térmica) comienza en 300 GHz, lo que corresponde a una longitud de onda de 1 mm, y llega hasta 780 nm. La luz visible abarca la gama de longitudes de onda de 780-380 nm y, por tanto, los colores que van desde el rojo, pasando por el naranja, el amarillo y el verde, hasta el azul y el violeta. La «luz» ultravioleta (radiación UV), de nuevo invisible, le sigue a 380-10 nm. Si la luz blanca se separa mediante un prisma, las longitudes de onda aparecen como los colores del arco iris.

.....  
Ampliación de los Valores Indicativos en Baubiologie; propuestas, orientaciones y ayudas para la evaluación:

<b>Luz, iluminación</b>		<b>No significativo</b>	
<b>Iluminancia</b> en lux	<b>lx</b>	día ~ <b>100-100.000</b>	tarde ~ <b>10 -100</b> noche < <b>1</b>
<b>Temperatura de color</b> en kelvin	<b>K</b>	día ~ <b>4000-6.000</b>	tarde ~ <b>1500-3000</b>
<b>Ultrasonido</b> en decibelios	<b>dB</b>	<b>ninguno</b>	
<b>Campos alternos eléctricos</b> en voltios por metro	<b>V/m</b>	hasta 2 kHz < <b>10</b>	a partir de 2 kHz < <b>1</b>
<b>Campos alternos magnéticos</b> en nanotesla	<b>nT</b>	hasta 2 kHz < <b>50</b>	a partir de 2 kHz < <b>5</b>

Sin modulación de luz para la transmisión de datos (enfoque preventivo debido a la insuficiencia de conclusiones científicas). Sin contaminantes ni olores. Sin contenido de sustancias tóxicas como el mercurio. Producción y eliminación ecológicas.

Mediciones de campos eléctricos y magnéticos alternos según TCO (a 30 cm de distancia).

Datos sobre todo para las horas de la tarde antes de acostarse, para no interferir en la siguiente fase de sueño.

Las recomendaciones de *Baubiologie* para la luz basan principalmente en lo que es técnicamente factible; actualmente se basan menos, como los demás valores indicativos, en la experiencia, que todavía es escasa. Los primeros estudios de casos y algunos resultados de investigaciones científicas indican efectos y riesgos biológicos.

### - Espectro lumínico y distribución espectral (nanómetros, nm)

Medición de todo el espectro luminoso, principalmente la luz visible con longitudes de onda de aproximadamente 380 a 780 nm, a ser posible también los infrarrojos por encima de 780 nm y la luz ultravioleta por debajo de 380 nm, junto con la evaluación de la distribución espectral.

Mediante espectrómetro de luz. Para bandas del espectro selectivas, incluso los infrarrojos y UV también mediante fotómetro. O bien, para una primera impresión visual aproximada con un espectrómetro de luz.

El espectro lumínico de las fuentes de luz debe ser lo más similar posible a la luz diurna: constante, continuo, equilibrado, ininterrumpido y lo más fluido posible desde el UV, pasando por todos los componentes de color visibles, hasta el infrarrojo, sin un componente azul superior a la media, sino más bien un componente rojo más pronunciado. Las lámparas incandescentes y halógenas y algunos LED cumplen este requisito. Los picos de color singulares, estrechos y pronunciados no son deseables, como ocurre, por ejemplo, con las lámparas de bajo consumo.

Ejemplos: Lámparas incandescentes y halógenas, luz equilibrada, que fluye a través de todas las gamas de color, sin picos, similar a la luz solar hasta infrarrojos. Las lámparas de bajo consumo solo presentan picos de color singulares, estrechos y pronunciados, arrancados del espectro total, ajenos a la naturaleza; los LED, ambos, algunos más o menos parecidos a las lámparas incandescentes, otros más caóticos, aunque con gradientes de color que fluyen en gran medida, a menudo con un componente azul demasiado alto, siempre carentes del importante rojo o infrarrojo.



### - Parpadeo de luz (hercios, Hz - porcentaje, %)

Mediciones de la proporción de parpadeo real de baja (hasta 2 kHz) y alta frecuencia (a partir de 2 kHz) de la luz total basadas en la «ondulación según CIE 1957» (Comisión Internacional de Iluminación, Commission Internationale de l'Eclairage) o la profundidad de modulación más común (porcentaje de parpadeo).

Mediante medidores de frecuencia de parpadeo o dispositivo de medición de parpadeo de la luz, fotómetro, etc., y los rápidos fotodiodos de silicio (como mínimo hasta 400 kHz, mejor 100 MHz y superiores).

- Indicación del parpadeo de 0 a 100 % o representación con osciloscopio y/o analizador de espectro.
- Gama espectral de luz visible que debe medirse en torno a 380-780 nm, en su caso también infrarrojos.
- Posible reproducción acústica del parpadeo en el rango audible, salida de tensión alterna para su posterior análisis.

Debe especificarse la frecuencia o frecuencias dominantes más bajas y más altas. Debe evaluarse el número y tipo de armónicos (análisis del espectro) y el tipo, uniformidad o distorsión de las ondas sinusoidales (osciloscopio). Unos pocos armónicos y unas ondas sinusoidales comparativamente limpias y sin distorsión son mejores que numerosos armónicos y unas formas de señal llamativas y distorsionadas. Hay que diferenciar entre las fluctuaciones armónicas de la luz (luz incandescente y halógena alimentada por la red de 100 Hz) y el parpadeo desarmónico de la luz (lámparas de bajo consumo, algunos LED, entre otros).

En principio, la luz artificial (como siempre, la luz diurna sirve de modelo) debería ser tan libre o baja en parpadeos de luz de baja y alta frecuencia (fluctuaciones de luz, ondulación de luz, modulación de luz, señales de luz) y armónicos («luz sucia o *Dirty Light*») como sea técnicamente factible.

La luz artificial no debe ser pulsada periódicamente, como puede ocurrir, por ejemplo, con el control electrónico del brillo mediante modulación por ancho de pulso (PWM) en LED o pantallas.

La luz que puede llegar al ojo no debe modularse a frecuencias bajas o altas y utilizarse de este modo indebidamente para la transmisión de datos (por ejemplo, *Visible Light Communication VLC*).

Óptimo: alimentación con corriente continua.

Ejemplos de parpadeo de la luz en porcentaje de la luz total: Lámparas incandescentes y halógenas con corriente de red (no conectadas electrónicamente aguas arriba) 5-20 % (fluctuaciones armónicas de la luz, curvas sinusoidales apenas distorsionadas, pocos armónicos); lámparas de bajo consumo 20-70 % (fuertemente desarmónicas, curvas sinusoidales fuertemente distorsionadas, ricas en armónicos, «luz sucia»); LED 2-100 % (a menudo, no siempre, más o menos desarmónicas, curvas sinusoidales distorsionadas, ricas en armónicos). Mediciones realizadas por Baubiologie Maes en fuentes de luz disponibles en el mercado en casquillos E27 para Öko-Test y otras revistas de consumo.

### - Iluminancia (lux, lx)

Medición de la iluminancia en una superficie iluminada.

Mediante luxómetro, fotómetro, etc.

- Rango de medición de al menos 1-100.000 lx,
- resolución 1 lx, precisión  $\pm 5$  %.

El brillo de la luz también tiene un impacto significativo en el ritmo de vigilia/sueño. La melatonina y la serotonina son las principales hormonas que lo controlan. Cuanto más brillante es la luz, menos melatonina, cuanto más oscura, más. La producción de melatonina aumenta por debajo de unos 500 lx.

Ejemplos:

- día soleado de verano .....	100.000 lx,
- día de verano nublado .....	30.000 lx,
- día de invierno soleado .....	20.000 lx,
- día de invierno nublado .....	10.000 lx,
- día de invierno gris .....	5000 lx,
- puesto de trabajo luminoso.....	1000 lx,
- iluminación de una estancia u oficina...	100-500 lx,
- alumbrado público exterior.....	10-50 lx,
- vela (a un metro) .....	1 lx,
- noche de luna llena .....	0,2-1 lx.

### - Reproducción del color (Ra)

Medición del índice de reproducción cromática IRC (Ra, también conocida como Color Rendering Index, CRI en inglés) de una luminaria.

Mediante espectrómetro. Medición de un mínimo de 8 colores de prueba según DIN 6169 (medición estándar, información habitual en el embalaje o especificaciones técnicas de la fuente de luz), preferiblemente los 14 colores de prueba según DIN 6169.

El valor de reproducción cromática debe ser lo más alto posible y, por tanto, similar a la luz diurna, en cualquier caso, superior a 90.

*Atención:* Si se tuvieran en cuenta los 14 colores de prueba según DIN en lugar del valor Ra habitual, que se refiere solo a 8 colores de prueba, los resultados serían peores en la mayoría de los casos: para lámparas de bajo consumo y LED en torno al 10 %, para lámparas incandescentes y halógenas casi ninguno o ninguno. La reproducción cromática medida según R<sub>1-14</sub> es más relevante, especialmente en lo que se refiere a los importantes tonos rojos, que están casi completamente ausentes con Ra.

Ejemplos:	- la luz solar tiene un índice Ra de .....	100,
	- la luz diurna .....	95-100,
	- la luz de las velas .....	98,
	- una lámpara incandescente .....	98-99,
	- luz halógena .....	95-98,
	- LED .....	40-95,
	- lámpara de bajo consumo/tubo fluorescente.....	40-85,
	- lámpara de vapor de mercurio .....	40-60,
	- lámpara de vapor de sodio .....	20-40.

### - Temperatura de color, temperatura de la luz (Kelvin, K)

Medición del color o de la temperatura de la luz de una fuente luminosa.

Mediante espectrómetro, medidor de temperatura del color, fotómetro, colorímetro, etc.

La temperatura de color de la luz artificial debe ser lo más parecida posible a la luz diurna: «más fría» durante el día y «más cálida» por la noche.

Cuanto más alta sea la temperatura de color, más acusado será el componente azul de la luz; cuanto más baja sea la temperatura del color, más intenso será el componente rojo. Los componentes azul y rojo son esencialmente responsables del control del ritmo vigilia/sueño. La melatonina es la principal hormona que lo controla. Cuanto más azul, menor es la liberación de la «hormona del sueño»; cuanto más rojo, más elevada. La luz del mediodía tiene un alto componente azul, el sol de la tarde tiene un alto componente rojo.

Ejemplos:	- vela, fuego .....	1500 K,
	- lámpara incandescente, halógena.....	2600-3200 K,
	- blanco cálido .....	< 3300 K,
	- blanco neutro .....	3300-5000 K,
	- blanco frío .....	>5000 K,
	- sol .....	3000-5800 K,
	- cielo nublado .....	6500-7500 K,
	- faro de automóvil LED .....	~ 8000 K,
	- cielo azul intenso de mediodía .....	9000 K,
	- «hora azul» .....	10.000 - 12.000 K.

### - Contaminación electromagnética - campos eléctricos y magnéticos de baja y alta frecuencia

#### Intensidad de campo eléctrica (voltios por metro, V/m) - véase A1

Medición del valor eficaz respecto al potencial de tierra basada en la norma informática TCO, distribuida en baja frecuencia (hasta 2 kHz) y de alta frecuencia (a partir de 2 kHz).

Con medidor de campo o sonda de campo (TCO o sonda de disco, sonda pequeña), medidor de campo, analizador LF, etc.

#### Densidad de flujo magnético (nanotesla, nT) - véase A2

Medición 3D del valor eficaz RMS de la suma de todas las direcciones de líneas de campo según la norma TCO, desglosada en campos magnéticos de baja frecuencia (hasta 2 kHz) y de alta frecuencia (a partir de 2 kHz).

Mediante instrumento de medición de campo o sonda de campo (bobina de inducción 3D isotrópica/ortogonal o 1D), medidor de campo, analizador LF, etc.

### **Frecuencia(s) dominantes (Hercios, Hz) y ondas armónicas significativas**

Con analizador de espectro NF, osciloscopio, contador de frecuencias, voltímetro, indicador de campo, etc.: rango de frecuencias 10 Hz - 100 kHz (mejor 400 KHz y superior).

Los campos de alta frecuencia no son de esperar con fuentes de luz; si lo son, también deben medirse con dispositivos de medición de banda ancha HF y/o analizadores de espectro por encima de las especificaciones de frecuencia TCO.

En principio, la contaminación electromagnética de las fuentes luminosas debe ser tan libre o baja en campos eléctricos y magnéticos de baja y alta frecuencia y armónicos («energía sucia») como sea técnicamente factible.

Óptimo: alimentación con corriente continua.

Ejemplos de campos eléctricos alternos hasta 2 kHz / desde 2 kHz (30 cm) en V/m:

- lámparas incandescentes..... < 10 / 0,
- lámparas de bajo consumo..... hasta 68 / hasta 71,
- LED..... hasta 125 / hasta 7.

Ejemplos de campos magnéticos alternos hasta 2 kHz / desde 2 kHz (30 cm) en nT:

- lámparas incandescentes..... < 5 / 0,
- lámparas de bajo consumo..... hasta 80 / hasta 80,
- LED ..... hasta 20 / hasta 4.

Mediciones de Baubiologie Maes en fuentes de luz disponibles en el mercado en casquillos E27 para Öko-Test y otras revistas de consumo.

### **- Ultrasonidos (decibelios, dB)**

Medición de los ultrasonidos emitidos por fuentes luminosas.

Con sonómetro, medidor de luz, en su caso también mediante detector de murciélagos, entre otros.

Algunas lámparas y dispositivos electrónicos de bajo consumo emiten frecuencias sonoras altas, apenas audibles: los ultrasonidos.

# B TÓXICOS DOMÉSTICOS, AGENTES CONTAMINANTES, AMBIENTE INTERIOR

Para realizar análisis y evaluaciones fiables de la contaminación química y del ambiente interior, se suelen utilizar métodos de investigación combinados y específicos. Además de analizar la contaminación aguda en interiores causada por los contaminantes a través de las concentraciones de aire, polvo, superficies o materiales, la atención se centra en identificar las fuentes interiores.

## **Inspección e indagaciones**

Anamnesis del edificio y las personas usuarias, inspección visual, impresiones generales y olfativas (olores); a ser posible con ayuda de fichas de datos de seguridad, fichas técnicas, informes del edificio, documentación fotográfica, etc.

Inspección de los interiores que se van a examinar, incluidas entrevistas con sus ocupantes sobre el historial del edificio, materiales de construcción, equipamiento, mobiliario, solados, adhesivos, pinturas, barnices u otros materiales de construcción y reforma utilizados, anomalías de olor actuales o anteriores, sospechas o síntomas de enfermedad. Si es posible, la minuciosa inspección visual también incluye información sobre la estructura de los forjados, paredes y cubiertas, el uso de estancias y locales auxiliares, hábitos de uso y ventilación, puntos débiles típicos debidos al año de construcción y al diseño, por ejemplo, cola de alquitrán con HAP y PCB bajo el parquet en casas antiguas, formaldehído y protectores de la madera, por ejemplo, en una casa prefabricada de los años 70 o en interiores sospechosos con paneles de madera correspondientemente tratada.

## **Mediciones con indicación directa, procedimientos de ensayo previo y mediciones orientativas**

Mediciones orientativas y comparativas con tubitos de ensayo de indicación directa, adhesivos y dispositivos de medición.

Una evaluación inicial y rápida de la situación del aire in situ puede realizarse utilizando procedimientos sencillos de ensayo previo (por ejemplo, Bio-Check-F para formaldehído o tubitos de ensayo de lectura directa, que son bastante sensibles y menos propensos a las interferencias). También existen dispositivos de medición de lectura directa para el formaldehído, especialmente los más modernos son suficientemente sensibles y pueden utilizarse selectivamente para la evaluación inicial y, sobre todo, para la detección de fuentes.

Los dispositivos adecuados para disolventes y otros contaminantes ligeros o medianamente volátiles funcionan según el principio de detección por fotoionización (PID). Los dispositivos sensibles pueden indicar a menudo concentraciones totales bajas de disolventes y realizar la identificación de la fuente, a menudo importante.

Las pruebas de este tipo resultan útiles como complemento a los análisis preliminares o a muestreos más complejos con análisis de laboratorio especializado; pueden realizarse rápidamente en diferentes salas, en elementos o en muebles sospechosos. En grietas, hendiduras, cavidades y superficies, las mediciones comparativas pueden realizarse fácilmente in situ. Los materiales sospechosos también pueden analizarse directamente en las superficies sospechosas (alfombra, revestimiento de suelos, etc.), bajo una mampara o en un recipiente de ensayo.

No existen pruebas rápidas fiables para los pesticidas y otros contaminantes de baja volatilidad.

Si las mediciones iniciales muestran un contenido de contaminantes cercano o superior a un valor orientativo que debe comprobarse con mayor precisión (SBM, UBA, OMS, AGÖF), el cumplimiento del valor orientativo o el grado en que se supera debe determinarse mediante un muestreo adecuado con análisis de laboratorio especializado (mediciones de evaluación, véase más adelante).

## **Muestreo con análisis de laboratorio especializado**

Mediciones de evaluación (por ejemplo, Valores Indicativos SBM para zonas de descanso) con muestreo in situ y análisis de laboratorio.

Estas pruebas más precisas y diferenciadas no proporcionan resultados directos in situ, sino que requieren análisis de laboratorio tras el muestreo y son, en consecuencia, más caras. Pueden analizarse muestras de aire, polvo, superficies y materiales. Los detalles se concretan en cada apartado de la Norma. Las muestras se toman y se envían a un laboratorio especializado en el análisis de contaminantes de interiores. El medio de recogida, las condiciones de muestreo y las cantidades, así como los parámetros de ensayo, deben acordarse con el laboratorio. En el caso concreto de mediciones de aire, deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones marco para la toma de muestras.

## Condiciones marco para análisis y muestreo del aire interior

En el caso de mediciones del aire interior y toma de muestras en laboratorios especializados, conviene no ventilar la habitación durante las 8 horas previas a las mediciones de evaluación (para la comparación con las directrices, valores indicativos, orientativos o de referencia en *Baubiologie* para dormitorios). No deben utilizarse productos químicos, productos de limpieza, cosméticos, aerosoles, perfumes ni otras sustancias que produzcan molestias o emanaciones en las estancias que vayan a someterse a ensayo ni en las zonas circundantes 24 horas antes del ensayo. Las muestras se tomarán a temperaturas interiores normales lo más estables posibles (18-24 °C durante la inspección/muestreo y 24 horas antes). Los sistemas de ventilación (filtros, etc.) también deben desconectarse 8 horas antes. Debe haber el menor número posible de personas, o ninguna, en las salas antes y durante el muestreo.

Para las mediciones orientativas y comparativas, las condiciones marco pueden elegirse libremente y deben tenerse en cuenta adecuadamente en la interpretación (búsqueda de fuentes, caso más desfavorable, necesidad de nuevas pruebas) y especificarse en el informe.

### 1 FORMALDEHÍDO y otros contaminantes gaseosos

Medición de **contaminantes gaseosos** como el formaldehído, ozono y cloro, gases urbanos e industriales, gas natural, monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno, así como otros gases de combustión.

Medición de las concentraciones en el aire o en la cámara de pruebas (microgramos por metro cúbico,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o partes por millón, ppm) o en el material (mg/kg) mediante estudios preliminares, dispositivos de medición de lectura directa y muestreo con análisis de laboratorio especializado.

**Análisis preliminares:** Mediciones de formaldehído con Bio-Check-F o mediante tubitos de análisis de indicación directa. El grado de decoloración indica aproximadamente el grado de exposición al formaldehído. Estos métodos de ensayo suelen proporcionar unas primeras impresiones fiables con una sensibilidad de detección de alrededor de 0,04 ppm ( $\sim 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La precisión y el valor informativo de estos métodos no deben sobrestimarse; son pruebas preliminares sencillas, rápidas y comparativas para marcar el rumbo, por ejemplo, de la necesidad o determinación espacial de análisis de laboratorio más precisos o para la localización de fuentes.

**Dispositivos de medición de lectura directa:** Mediciones de formaldehído con dispositivos de medición de lectura directa, como *formaldemeter* o PID. Sensibilidad de detección en torno a 0,1 ppm, a ser posible más baja. La pantalla digital muestra el grado de exposición al formaldehído. El objetivo es realizar pruebas preliminares rápidas y comparativas para fijar el rumbo, por ejemplo, para la necesidad o la asignación espacial de análisis de laboratorio más precisos o para la localización de fuentes. A menudo, estos dispositivos no son lo suficientemente sensibles para realizar mediciones determinantes y precisas del aire interior, sino más bien para realizar observaciones orientativas.

**Muestreo del aire con análisis de laboratorio especializado:** Muestreo para detectar formaldehído y otros aldehídos o contaminantes gaseosos mediante una bomba y tubos de ensayo. El aire se aspira a través de tubos de gel de sílice, cartuchos de DNPH, etc. en los que se retiene, por ejemplo, el formaldehído. El posterior análisis de laboratorio alcanza una sensibilidad de detección de unos 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (gel de sílice) o incluso 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (DNPH) y también puede utilizarse para aldehídos superiores (véase B2). El resultado es una concentración referida al volumen en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Las mediciones de evaluación según SBM se refieren a valores corregidos (calculados para 23 °C y 45 % de humedad relativa análogos a la directriz VDI 4300).

Caudal 0,5-1,5 litros por minuto y volumen total alrededor de 30 litros para DNPH (véase también VDI 3484, hoja 3), alrededor de 90 litros para gel de sílice.

**Muestreo de material con análisis en laboratorio especializado:** Se extrae in situ un material sospechoso, por ejemplo, un trozo de aglomerado, madera o tejido, y se envía a un laboratorio especializado para que analice la presencia de formaldehído. En el caso de los ensayos en cámara de pruebas, las condiciones deben adaptarse en la medida de lo posible a situaciones realistas de una estancia y la tasa de renovación de aire debe fijarse en 0,5/h o menos; el resultado es una concentración de aire en la cámara de pruebas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o la concentración de material en relación con la masa en miligramos por kilogramo (mg/kg).

## 2 DISOLVENTES y otros contaminantes muy a medianamente volátiles

Medición de **contaminantes volátiles** ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ppm) como aldehídos, alifáticos, alcoholes, aromáticos, ésteres, glicoles, cetonas, cresoles, fenoles, siloxanos, terpenos y otros compuestos orgánicos (COV).

Medición de las concentraciones en el aire interior o en la cámara de pruebas (microgramos por metro cúbico,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o partes por millón, ppm) o en material (miligramos por kilogramo, mg/kg) mediante análisis preliminares, dispositivos de medición de lectura directa y muestreo con análisis de laboratorio especializado.

**Análisis preliminares:** Utilización de tubitos de ensayo de lectura directa suficientemente sensibles para sustancias aisladas o mezclas de sustancias con una bomba de muestreo adecuada (bomba manual, bomba automática). Dependiendo de la tarea y del tubito de ensayo utilizado, se aspira una cantidad definida de aire (bombeos según las instrucciones del fabricante). El tubo cambia de color si están presentes los contaminantes correspondientes.

**Dispositivos de medición de lectura directa:** Mediciones in situ con detectores de fotoionización (PID) sensibles de lectura directa. Generalmente no es posible una conversión directa al valor de referencia  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  debido a las mezclas de sustancias que suelen estar presentes, ya que el detector reacciona con distintos grados de sensibilidad a las sustancias aisladas y no puede identificarlas. El resultado es una concentración relacionada con el volumen en relación con los COVT (COV totales) en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb). La sensibilidad de detección debe estar en torno a 100 ppb o 0,1 ppm en relación con el gas de ensayo común isobuteno; o mejor aún más bajo.

**Muestreo del aire con análisis de laboratorio especializado:** Muestras para análisis cuantitativos y cualitativos de disolventes y otros contaminantes muy a medianamente volátiles mediante una bomba y tubos adsorbentes. El aire se aspira a través de tubos Tenax en los que se capta el máximo número posible de COV polares y no polares (véase también DIN EN ISO 16000-6). Dependiendo de la sustancia y de la clase de sustancia, también pueden utilizarse tubos de carbón activado, Anasorb (carbón sintético) o gel de sílice para realizar análisis de sustancias individuales o evaluaciones indicativas. El resultado es una indicación precisa de la concentración volumétrica de cada una de las sustancias y del total (COVT) en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). El análisis de laboratorio de las muestras tomadas in situ debe alcanzar una sensibilidad de detección de aproximadamente  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por sustancia individual. Tenax es especialmente sensible y puede ser útil, por ejemplo, para analizar problemas de olores y determinar las concentraciones de COVT. DNPH también puede utilizarse para los aldehídos y cetonas con olores intensos.

Método A - Tenax

Caudal de 0,1 litros por minuto y volumen total en torno a 1-4 litros con Tenax.

Método B -Carbón activado combinado con gel de sílice

Caudal de 0,5 a 1,5 litros por minuto y volumen total de unos 90 litros con carbón activado más gel de sílice.

Método C - Carbón sintético Anasorb

Caudal de 0,5 a 1,5 litros por minuto y volumen total de 90 a 150 litros con Anasorb.

Identificación de aldehídos y cetonas (reacción con DNPH)

Caudal de 0,5-1,5 litros por minuto y volumen total de unos 50 litros con DNPH.

Para determinados casos de medición también se pueden utilizar mini-tubitos de carbón activado pasivos (por ejemplo, ORSA), que se cuelgan durante una o dos semanas en el domicilio del cliente, en la estancia sospechosa, o durante unos días en un volumen de prueba (cámara de ensayo, etc.) con un material sospechoso y luego se envían al laboratorio para su análisis. El análisis de laboratorio muestra los disolventes encontrados en el aire de la estancia con una sensibilidad similar pero una versatilidad algo más limitada (los COV no polares se detectan peor) en comparación con el muestreo activo antes mencionado. Dependiendo del problema que se trate, una medición a largo plazo también puede ser útil además del muestreo activo con este método. El resultado es una evaluación cualitativa de las sustancias individuales y una concentración aproximada en relación con el volumen en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Muestreo de material con análisis en laboratorio especializado:** Se extrae in situ un material sospechoso, por ejemplo, un trozo de superficie pintada o sellada, madera o tejido, y se envía a un laboratorio especializado para que analice la presencia de disolventes. Para las pruebas en cámara de ensayo, las condiciones deben adaptarse en la medida de lo posible a situaciones realistas de una estancia y la tasa de intercambio de aire debe fijarse en 0,5/h o menos; el resultado es una concentración de aire en la cámara de ensayo en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  o la concentración de material en relación con la masa en miligramos por kilogramo (mg/kg).

### 3 PESTICIDAS y otros contaminantes poco volátiles

Medición de **contaminantes poco volátiles** como biocidas, insecticidas, fungicidas, protectores de la madera, protectores de alfombras, retardantes de llama, plastificantes, piretroides, PCB, HAP, PFAS, dioxinas

Medición de la concentración en el polvo (miligramos por kilogramo, mg/kg), en el material (miligramos por kilogramo, mg/kg), en las superficies (microgramos por metro cuadrado,  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ), en la cámara de ensayo o en el aire interior (nanogramos por metro cúbico,  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) mediante análisis preliminares, dispositivos de medición de lectura directa y muestreo con análisis de laboratorio especializado.

**Análisis preliminares:** El Bio-Check-PCP permite un primer test in situ para el protector de madera pentaclorofenol. Para ello, se pega una lámina de test en una superficie de madera sospechosa durante 24 horas, de forma similar a un apósito. Una vez enviada y analizada, el laboratorio especializado proporciona información sobre la concentración. Ventaja: muestreo no destructivo. Inconveniente: solo detecta el pentaclorofenol, no otros plaguicidas.

**Muestreo de polvo con análisis de laboratorio especializado:** La mayoría de los contaminantes de baja volatilidad prefieren acumularse en el polvo doméstico, donde pueden detectarse con bastante facilidad y, a menudo, de forma sensible, y proporcionan indicaciones claras de las fuentes existentes en interiores. La toma de muestras del polvo doméstico que se va a analizar se consigue simplemente aspirando. Las estancias que vayan a analizarse deben aspirarse a fondo unos 7 días antes de tomar la muestra. A continuación, transcurridos 7 días sin más limpieza, se toma la muestra. Esto se hace con la aspiradora que se utiliza normalmente en la casa o, alternativamente, con una aspiradora especial para muestras con una bolsa nueva o un cabezal de recogida especial con filtro. Cuando se toman muestras con la bolsa de la aspiradora, esta debe dejarse funcionar en el exterior unos minutos antes. Dependiendo de la situación, aspirar no solo el suelo, sino también superficies de tela, tapicerías, cojines, colchones, peluches, cortinas, tapices, libros y otros objetos que acumulen polvo.

No aspirar directamente las superficies que contengan o se sospeche que contienen contaminantes, ya que queremos registrar la contaminación secundaria basada en la muestra de polvo, que se origina a partir de fuentes primarias, por ejemplo, un forjado de madera tratado con pesticidas. Los Valores Indicativos en *Baubiologie* se refieren únicamente a esta contaminación secundaria. Los resultados de la contaminación primaria como consecuencia de la aspiración directa de materiales y superficies que contienen contaminantes serían más elevados, pero pueden ser de interés en el contexto de una búsqueda y clasificación de fuentes intencionada y específica.

La muestra (bolsa de aspiradora, etc.) se envuelve herméticamente en papel de aluminio o se sella en plástico neutro para contaminantes y se envía al laboratorio especializado. El resultado es una concentración relativa a la masa en, por ejemplo, miligramos por kilogramo (mg/kg) con información diferenciada sobre las sustancias individuales (pesticidas, piretroides, plastificantes, retardantes de llama, PCB, HAP, entre otras). Debe procurarse que en el laboratorio se determine una amplia gama de contaminantes.

Método A - Bolsa de aspirador

Muestreo in situ con aspirador, preferiblemente bolsa de papel con capa intermedia, a ser posible 1-2 gramos de polvo fino, fracción < 200  $\mu\text{m}$ , mejor < 63  $\mu\text{m}$ .

Método B - cabezal colector

Muestreo in situ con cabezal colector ALK y filtro especial, preferiblemente 1-2 gramos de polvo fino, fracción: < 200  $\mu\text{m}$ , mejor < 63  $\mu\text{m}$ .

**Muestreo de material con análisis en laboratorio especializado:** Muestreo de una superficie de material sospechoso (madera) o una muestra de material (cuero, alfombra, etc.) con posterior análisis en laboratorio especializado. Se requiere un trozo de superficie de madera (unos 10-20 centímetros cuadrados en total, unos 2-3 gramos) y de uno a un máximo de dos milímetros de espesor. Es aconsejable tomar varias muestras de distintas partes de una superficie de madera sospechosa, por ejemplo, del principio, el final y el centro de una viga. Para las muestras de tejido o cuero, basta con un trozo del tamaño de un sello de correos. En el caso de las alfombras, es aconsejable arrancar cuidadosamente las pelusas para no destruir el material. Las muestras se envuelven estancas al vapor en papel de aluminio o se sellan en plástico no contaminante y se envían al laboratorio especializado. El resultado es una indicación de concentración relativa a la masa en, por ejemplo, miligramos por kilogramo (mg/kg) con datos específicos de las sustancias individuales.

**Muestreo de superficies con análisis de laboratorio especializado:** Las muestras de frotis son muy adecuadas como método no destructivo para la evaluación de materiales y la detección de contaminación secundaria. En este caso, se limpia a fondo una superficie definida (unos pocos decímetros cuadrados), normalmente lisa, con un paño de algodón limpio y un poco de alcohol (normalmente isopropanol) y la muestra se envía al laboratorio para su análisis. El resultado es una concentración por

superficie en, por ejemplo, microgramos por metro cuadrado ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) o microgramos por decímetro cuadrado ( $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ ).

**Muestreo de aire con análisis en laboratorio especializado:** Mediante bombas de muestreo, se aspira una cantidad definida, bastante grande, de aire interior a través de medios de recogida como espuma de PU/poliuretano o carbón activado NIOSH (solo plastificantes) y, a continuación, se procesa y analiza en el laboratorio especializado. Las mediciones del aire interior son bastante poco sensibles a algunos pesticidas y, por tanto, dependiendo de la situación, resultar relativamente insignificantes, ya que las concentraciones de sustancias poco volátiles en el aire son bajas. Sin embargo, si se encuentran concentraciones elevadas y significativas en el aire, suele haber un problema y una fuente interior. Si el aire está limpio, la conclusión de que el local no está contaminado debe tomarse con cautela. La medición del aire no debe sustituir a una medición específica de material y polvo, sino complementarla. El resultado es una concentración referida al volumen en nanogramos por metro cúbico ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ).

Caudal de 30 litros por minuto y volumen total de 1000 a 2000 litros, espuma de poliuretano de 5 cm de diámetro.

Caudal 5 litros por minuto y volumen total 1000-2000 litros, espuma de PU de 2 cm de diámetro.

Caudal de 0,5-1,5 litros por minuto y volumen total de unos 500 litros con carbón activado NIOSH.

## 4 METALES PESADOS y otros contaminantes similares

Medición de **contaminantes inorgánicos** como metales ligeros y pesados (aluminio, antimonio, arsénico, bario, plomo, cadmio, cromo, cobalto, cobre, níquel, mercurio, zinc, etc.) compuestos metálicos y sales.

Medición de las concentraciones en el polvo (miligramos por kilogramo,  $\text{mg}/\text{kg}$ ), en los materiales (miligramos por kilogramo,  $\text{mg}/\text{kg}$ ), en las superficies (microgramos por metro cuadrado,  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ), en el aire interior (nanogramos por metro cúbico,  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) y en el agua potable (microgramos por litro,  $\mu\text{g}/\text{l}$ ), muestreo con análisis de laboratorio especializado.

Determinación de al menos 12 metales ligeros y pesados (preferiblemente más), incluidos los metales aluminio (Al), antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), níquel (Ni), mercurio (Hg), talio (Tl), estaño (Sn) y zinc (Zn). En algunos casos, puede ser útil buscar determinados estados de oxidación como el cromo-6 ( $\text{Cr6}$ ) en el material (cuero).

**Muestreo de polvo con análisis de laboratorio especializado:** Los metales se detectan durante las mediciones de *Baubiologie* a través del polvo doméstico. El muestreo corresponde al descrito en B3. También en este caso es importante que el análisis del polvo abarque el mayor número posible de elementos individuales. La determinación se realiza tras digestión con ácido nítrico o agua regia mediante ICP-MS. Los límites de detección son de 0,1-5  $\text{mg}/\text{kg}$ .

Método A - Bolsa de aspirador

Muestreo in situ con aspirador, preferiblemente bolsa de papel con capa intermedia, a ser posible 1-2 gramos de polvo fino, fracción < 200  $\mu\text{m}$ , mejor < 63  $\mu\text{m}$ .

Método B - cabezal colector

Muestreo in situ con cabezal colector ALK y filtro especial, preferiblemente 1-2 gramos de polvo fino, fracción: < 200  $\mu\text{m}$ , mejor < 63  $\mu\text{m}$ .

**Muestreo de material con análisis en laboratorio especializado:** Muestreo de la superficie del material sospechoso (madera, cuero, pintura, escoria) o una muestra de material y posterior análisis en laboratorio especializado. Las muestras (2-3 gramos) se introducen en tarros o se envuelven en papel de aluminio y se envían al laboratorio especializado. El resultado es una concentración referida a la masa en, por ejemplo, miligramos por kilogramo ( $\text{mg}/\text{kg}$ ).

**Muestreo de superficies con análisis de laboratorio especializado:** las muestras de frotis son muy adecuadas como método no destructivo para la evaluación de materiales y la detección de contaminación secundaria (por ejemplo, mercurio). En este caso, se limpia a fondo una superficie definida (unos pocos decímetros cuadrados), normalmente lisa, con un paño de algodón limpio y un poco de alcohol (normalmente isopropanol) y la muestra se somete a análisis. El resultado es una concentración por superficie en, por ejemplo, microgramos por metro cuadrado ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) o microgramos por decímetro cuadrado ( $\mu\text{g}/\text{dm}^2$ ).



**Muestreo del aire con análisis de laboratorio especializado:** Un análisis del aire solo es útil para el mercurio. El muestreo corresponde al descrito anteriormente para B2. Como tubos de recogida se utilizan tubos de carbón activado especialmente recubiertos de yodo para el análisis del mercurio. El límite de detección es suficientemente bajo, de 30 ng/m<sup>3</sup>. La determinación se lleva a cabo después de la digestión mediante AAS con vapor frío. El resultado es una concentración relacionada con el volumen en, por ejemplo, microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) o nanogramos por metro cúbico (ng/m<sup>3</sup>).

Caudal de 0,5-1,5 litros por minuto y volumen total de unos 250 litros para los tubos de carbón activado

**Muestreo de agua potable con análisis de laboratorio especializado:** Si se sospecha que el agua potable está contaminada, deben realizarse análisis del agua, principalmente de plomo, cobre, níquel, cadmio y arsénico. La toma de muestras se realiza con botellas de PE (aprox. 50 ml para análisis de orina de farmacia) y la determinación se lleva a cabo mediante ICP-MS. El resultado es una concentración en, por ejemplo, microgramos por litro (µg/l).

Para que los análisis del agua sean más precisos, deben respetarse las especificaciones de la Ordenanza sobre agua potable durante la toma de muestras y el análisis de laboratorio.

## 5 PARTÍCULAS Y FIBRAS (polvo fino, nanopartículas, amianto, fibras minerales, etc.)

Medición de **polvo, número y tamaño de partículas, amianto y otras fibras.**

Medición de las concentraciones en el aire interior (µg/m<sup>3</sup>, l), en el polvo (/g), en el material (/g) o sobre superficies (/cm<sup>2</sup>) mediante instrumentos de medición de lectura directa y muestreo con análisis de laboratorio especializado.

**Valoraciones preliminares con microscopio:** Mediante colector de partículas (por ejemplo, Allergenco, MBASS30-PS30) y cinta adhesiva sobre portaobjetos de microscopio, evaluación con microscopio óptico.

**Medición directa mediante contador de partículas:** Mediciones con contadores de partículas láser sistema multicanal para partículas de 0,3-0,5 µm de diámetro) o contadores de partículas por condensación (para partículas más pequeñas de hasta 1 nm), en caso necesario con clasificación por tamaños.

**Medición directa o recolección de polvo fino:** Mediciones para la determinación de la masa de polvo mediante las correspondientes bombas y unidades de filtración y separadores previos, el resultado se expresa en datos de concentración en, por ejemplo, microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>).

**Muestreo de polvo para análisis en laboratorio especializado:** El amianto y las fibras minerales artificiales (FMA) pueden detectarse con fines orientativos a través del polvo doméstico. El procedimiento de muestreo corresponde al descrito para B3. La muestra de polvo se analiza en el laboratorio especializado tras la incineración del filtro mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos X dispersivo en energía (SEM-EDXMA). Este análisis permite diferenciar el número y el tipo de fibras.

**Muestreo de material con análisis en laboratorio especializado:** Toma de muestras de amianto y FMA o de una muestra de material y posterior análisis en un laboratorio especializado. En la toma de muestras se debe tener cuidado de no contaminar el entorno (en el caso de la toma de muestras de amianto, de conformidad con la hoja 3 de la norma VDI 6202 y tras una formación adecuada, certificado de aptitud TRGS 519). Las muestras de material (por lo general, mínimo de 2 g) se introducen en recipientes o frascos herméticos y se envían al laboratorio especializado. Las muestras se analizan mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos X dispersivo en energía (SEM-EDXMA). Este análisis permite diferenciar las fracciones de masa de amianto o de FMA en % y el índice de carcinogenicidad (IC) para las FMA.

**Muestreo de superficies con análisis en laboratorio especializado:** Las fibras de amianto y FMA pueden detectarse en las superficies mediante el método del sello adhesivo de acuerdo con la norma VDI 3877 Hoja 1. Se presionan cintas adhesivas especiales o sellos adhesivos de grafito sobre una superficie horizontal que ha sido limpiada de polvo hace unos 3-7 días y se analiza mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos X dispersivo en energía (SEM-EDXMA). Este análisis permite diferenciar el número y el tipo de fibras.

**Muestreo del aire con análisis de laboratorio especializado:** Las mediciones del aire en busca de fibras de amianto y FMA se llevan a cabo de conformidad con la directriz 3492 de la VDI. Debe procurarse que el polvo sedimentado o los depósitos de fibras ocultos se remuevan previamente para simular el uso. Por lo demás, se aplican las especificaciones de la norma VDI 4300 como para otras mediciones de aire. Se utilizan bombas especializadas para muestrear el aire interior durante un periodo

de ocho horas. Se requiere un volumen de muestreo de 3800 litros en la estancia. En caso de contaminación elevada por polvo o humo, debe muestrearse menos aire, ya que de lo contrario se sobrecargaría el cabezal colector. Las fibras de amianto y FMA se depositan en el cabezal colector sobre un filtro de membrana vaporizado con oro y, una vez incinerado el filtro, se examina una zona parcial en el laboratorio especializado mediante microscopía electrónica de barrido y microanálisis de rayos X dispersivo en energía (SEM-EDXMA). Este análisis permite diferenciar el número, tipo, grosor y longitud de las fibras.

Toma de muestras mediante una bomba adecuada para amianto (libre de pulsaciones, por ejemplo, compresor rotativo de paletas).

Caudal de 8 litros por minuto y volumen total de unos 3800 litros en cabezal colector con filtro de membrana vaporizado con oro.

Deben observarse las «Directrices para la evaluación y saneamiento de productos de amianto débilmente ligados en edificios - Directrices sobre el amianto» y el formulario de evaluación adjunto, así como las «Directrices para estudios sobre el amianto en la fase de obra en edificios antiguos» de la Agencia Federal de Medio Ambiente y otras. Los análisis de muestras de polvo, materiales y superficies en busca de amianto se realizan de conformidad con la directriz VDI 3866.

## **6 AMBIENTE INTERIOR (temperatura, humedad, dióxido de carbono, ionización del aire, renovación de aire, olores, etc.)**

Medición de la **temperatura del aire** y de las **superficies**, de la **humedad del aire** y de los **materiales**, del **oxígeno**, del **dióxido de carbono**, de la **presión atmosférica**, del **movimiento del aire**, del **índice de renovación del aire** y de los **iones del aire, detección de olores**

Medición de la temperatura (°C), humedad (relativa HR, absoluta HA, %), oxígeno (vol. %), dióxido de carbono (ppm), presión atmosférica (mbar), movimiento del aire (m/s), iones del aire (/cm<sup>3</sup>), electricidad atmosférica (V/m).

Medición de la **humedad y temperatura del aire** y de los **materiales** mediante termómetros, higrómetros, medidores de humedad de obra, registradores de datos climáticos, sistemas modulares, etc.

Mediciones de la temperatura y humedad del aire con termohigrómetros. En situaciones de problemas de condensación con una correlación no evidente a priori, deben realizarse mediciones a largo plazo con registradores de datos climáticos durante varios días o semanas para su comprobación. Los valores se indican en grados Celsius (°C) y porcentaje de humedad relativa (% HR). Las conversiones internas de los aparatos o mediante tablas y programas informáticos también proporcionan información sobre el punto de rocío (en °C) y la humedad absoluta en gramos por metro cúbico (g/m<sup>3</sup>).

Por regla general, para la humedad del aire interior deben determinarse tanto la humedad relativa como la absoluta. En mediciones de corta duración hay que asegurarse de que los sensores están suficientemente aclimatados, sobre todo al trasladar los aparatos de medición del exterior al interior. Los dispositivos deben mantenerse lo suficientemente alejados del cuerpo o de la boca y del aire respirable para evitar influencias.

Las temperaturas superficiales en grados Celsius (°C) pueden medirse con termómetros de contacto o (sin contacto y más cómodos) con termómetros láser infrarrojos. Con estos últimos en particular, las comparaciones deben realizarse sobre el mismo material siempre que sea posible; en el caso de superficies con un comportamiento de reflexión muy diferente, deben observarse o ajustarse en el aparato las emisividades correspondientes.

Las mediciones de la humedad del aire y de la temperatura de las superficies para analizar problemas de condensación deben realizarse en la estación o en las condiciones meteorológicas adecuadas al problema: al estudiar áreas frías de paredes exteriores en estancias sobre rasante, la temperatura exterior debe ser también fresca, cuanto más fría mejor; los estudios de problemas de condensación en sótanos o semisótanos generalmente solo suelen ser útiles en verano y otoño.

A la hora de medir la humedad del aire y las temperaturas superficiales, también debe tenerse en cuenta y registrarse el comportamiento de las personas usuarias de los espacios.

Las mediciones de la humedad de obra deben acometerse en primera instancia con procedimientos no destructivos con fines orientativos mediante el método de alta frecuencia y, a continuación, realizarse mediciones adicionales en puntos sospechosos mediante electrodos de superficie y/o de penetración o percutores a través de la conductividad eléctrica en la superficie y a distintas profundidades y, además, dependiendo de la situación, también mediante el método de microondas. En las mediciones de la

conductividad casi siempre obtenemos valores en equivalencias al contenido de humedad de la madera (% CHM) o dígitos específicos del dispositivo de medición. En caso necesario, la humedad del material puede determinarse mediante tablas; y con gran precisión utilizando carburo de calcio (método CM) o mediante secado/pesaje (método del horno de secado). En las mediciones de conductividad debe prestarse atención a posibles errores a causa de productos de la construcción salitrosos o metales, u otras capas, productos y pinturas conductoras de electricidad. Puede ser útil medir la humedad en el material utilizando agujeros recién taladrados en los que se inserta el sensor de humedad y se sella del aire ambiente.

### **Oxígeno - mediciones mediante tubos de ensayo o aparatos de medición**

Este gas de vital importancia casi nunca falta en los espacios interiores. La frase "aquí ya no hay oxígeno" no es correcta, el problema es más bien el exceso de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, en general no es necesario medir el oxígeno; si es necesario, se puede estimar el contenido a partir del CO<sub>2</sub>. Solo se pueden obtener datos precisos mediante mediciones con, por ejemplo, tubos de ensayo o dispositivos electrónicos de medición de lectura directa.

### **Dióxido de carbono - mediciones mediante tubos de indicación directa o monitores de dióxido de carbono**

Las mediciones de dióxido de carbono pueden proporcionar una buena impresión del ambiente interior y de la tasa de renovación de aire. La concentración de dióxido de carbono también es un indicador de la posible exposición a contaminantes y olores. Las mediciones in situ son posibles con tubos colorimétricos, pero son mejores los dispositivos electrónicos de medición de lectura directa, como los monitores de dióxido de carbono (preferiblemente con almacenamiento interno de datos o con salida de registrador de datos para mediciones a largo plazo). La lectura se da en partes por millón (ppm) o porcentaje en volumen (Vol%).

### **Presión atmosférica - mediciones con barómetros**

La medición de la presión atmosférica en el contexto de los estudios de *Baubiologie* también es importante porque constituye un criterio en la evaluación de otras influencias de la *Baubiologie* (por ejemplo, al medir los contaminantes del aire) y el conocimiento de la presión atmosférica permite sacar conclusiones sobre las molestias típicas. La presión atmosférica se mide con barómetros. En la técnica de medición en *Baubiologie* se utilizan dispositivos digitales, a menudo combinados con sensores de temperatura y humedad del aire. El valor medido se indica en milibares (mbar) o hectopascales (hPa). Las fluctuaciones de presión solo pueden determinarse correctamente utilizando dispositivos con función de grabación o registro de datos.

### **Movimiento del aire - mediciones con tubos fumíferos o caudalímetros**

Los tubos de ensayo de flujo son adecuados para una evaluación inicial del movimiento del aire en una estancia. Emiten un humo similar a la niebla que se desplaza en el aire como una pequeña nube en función del movimiento de las corrientes de convección y del aire. Este método se utiliza a menudo para controlar la eficacia de los sistemas de ventilación y aire acondicionado (¡precaución! no inhalar ácido sulfúrico). Otras mediciones se realizan con caudalímetros, por ejemplo, con anemómetros térmicos o sondas de bola caliente. A veces, las llamas (vela, mechero) ya indican movimientos de aire. En el caso de caudalímetros, el valor medido se indica en metros por segundo (m/s). Los dispositivos deben ser lo suficientemente sensibles como para registrar ligeros movimientos de aire inferiores a 0,1 m/s (metros por segundo).

### **Iones del aire - mediciones con ionómetros**

Las mediciones de los pequeños iones del aire proporcionan una impresión general del ambiente interior. Los valores llamativamente altos y en constante aumento a lo largo del tiempo proporcionan valiosos indicios de contaminación por radón. Los valores bajos indican superficies cargadas electrostáticamente, polvo fino u otras anomalías. Los iones pequeños se miden con ionómetros; los aparatos modernos pueden medir simultáneamente iones cargados positiva y negativamente y disponen de funciones de registrador de datos para el seguimiento a largo plazo. El valor medido se expresa en iones por centímetro cúbico de aire (iones/cm<sup>3</sup>).

### **Electricidad del aire - mediciones con medidores de campo eléctrico o molinillo electrostático**

La electricidad del aire se origina en interiores como resultado de la electrostática y las tensiones superficiales y se mide, como se describe en A4, con sondas de campo (medidores de campo eléctrico), que suelen funcionar según el principio de influencia electrostática del molinillo de campo. La electricidad del aire resulta de la intensidad del campo eléctrico continuo en la estancia. A una distancia de 1 metro de un objeto cargado electrostáticamente con una tensión superficial de 1000 V, se obtiene una intensidad de campo de 1000 V/m. Conversión: Tensión superficial (V) = intensidad de campo (V/m) x distancia (m). El factor decisivo es una ligera provocación del material (alfombra, cortina) poco antes de la medición. La tierra neutra se considera el punto de referencia.

### **Olores - percepción sensorial o mediciones con muestreo de aire**

Los olores se detectan principalmente de forma sensorial u olfativa. La intensidad y la calidad desempeñan un papel importante. También es posible diferenciar entre olores desagradables y agradables, si los olores son aceptables o inaceptables o si existen indicios concretos de la causa

(¿hongos o sustancias químicas? ¿a qué materiales de construcción, objetos o mobiliario, etc. huele?). Si es necesario, puede utilizarse la misma técnica de medición que para B1/B2/B3, buscando contaminantes y compuestos especialmente olorosos en el aire o en los materiales. A veces, incluso pruebas sencillas con materiales sospechosos en recipientes de vidrio herméticos pueden proporcionar pistas sobre el origen del olor.

### Renovación de aire - mediciones con gases trazadores

*Complemento a los Valores Indicativos en Baubiologie, propuestas, orientaciones y ayudas para la evaluación:*

<b>Intercambio de aire</b>		No significativo	débil	fuerte	extremo
Tasa de renovación de aire por hora	/h	>1	~ 0,5-1	~ 0,2 - 0,5	<0,2
Aporte de aire en metros cúbicos de aire fresco por hora y persona	m <sup>3</sup> /h	>50	~ 25-50	~ 10-25	<10

Intercambio de aire basado en dormitorios de tamaño normal (~ 20 m<sup>2</sup> / ~ 50 m<sup>3</sup>) con uso por una persona como valor medio durante la fase de sueño; para dormitorios más pequeños o con más personas en la estancia, evaluar de forma más estricta.

Aportes de aire generalmente recomendados para otras estancias:

- oficina diáfana 40-50 m<sup>3</sup>/h,
- despacho 40 m<sup>3</sup>/h,
- aula, sala de conferencias, restaurante 30-40 m<sup>3</sup>/h,
- sala de conferencias 30 m<sup>3</sup>/h,
- teatro, sala de conciertos, cine 20 m<sup>3</sup>/h.

La tasa mínima higiénica de renovación de aire es de unos 0,3 /h.

La tasa de renovación del aire en un edificio depende de muchos factores, como la hermeticidad del cerramiento, el clima exterior e interior o la estación del año, condiciones de calefacción, el viento y presión en el exterior e interior del edificio, la posición y dimensiones de las ventanas, la ventilación libre a través de ventanas y ventilación por conductos, así como los sistemas de ventilación (descentralizados o centralizados) mediante ventiladores. En la mayoría de los casos, es posible estimar la tasa de intercambio de aire real o posible en función de los factores mencionados y del comportamiento de las personas usuarias (frecuencia y duración de la ventilación). Solo las mediciones proporcionan datos precisos. La tasa de renovación de aire puede medirse utilizando el método de decaimiento de la concentración de acuerdo con la directriz VDI 4300 hoja 7 o DIN EN ISO 16000 hoja 7. Con este método, se introduce un gas de control (gas trazador, por ejemplo, dióxido de carbono) en la sala y se mide el descenso de la concentración. La tasa de intercambio de aire por hora (/h) se determina a partir de la curva de caída y el volumen de la sala. A menudo se establecen varios puntos de medición para poder documentar una distribución uniforme de la concentración en la sala. La nueva norma de ventilación DIN1946-6 de 2019 también sirve como ayuda para la evaluación, ya que define las tasas mínimas de intercambio de aire necesarias para determinados tamaños de viviendas. En los edificios nuevos, modernos y herméticos, la norma de ventilación debe tenerse en cuenta durante la fase de proyecto y debe garantizarse la tasa mínima de renovación de aire. En la mayoría de los casos, una ventilación razonable y manual a través de las ventanas ya no es suficiente para la renovación mínima e incluso para la protección necesaria frente a la humedad, y se requiere un modelo de ventilación con ayudas técnicas.

# C HONGOS, BACTERIAS, ALÉRGENOS

## 1 MOHOS y sus esporas, así como sus metabolitos

Medición e identificación de **hongos de moho** cultivables y no cultivables, esporas de moho y de elementos fúngicos, así como de sus metabolitos (MVOC, toxinas, etc.)

## 2 LEVADURAS y sus metabolitos

Medición e identificación de **hongos levaduriformes** y sus metabolitos

## 3 BACTERIAS y sus metabolitos

Medición e identificación de **bacterias** y sus metabolitos

.....  
*Complemento a los Valores Indicativos en Baubiologie, propuestas, orientaciones y ayudas para la evaluación:*

Las evaluaciones y determinación de fuentes coherentes y fiables, especialmente en el caso de hongos de moho, son el resultado de la combinación experta y adaptada a la situación de diferentes métodos de análisis o de la combinación de diversos resultados e impresiones, pero no, por regla general, de hallazgos puntuales.

En muchos casos, las indicaciones sobre fuentes interiores, anomalías, contaminación o riesgos para la salud pueden derivarse de la siguiente información y experiencia, además de las pautas principios y valores establecidos en los Valores Indicativos en *Baubiologie* para las zonas de descanso:

Hongos de mohos relativos por metro cúbico de aire interior*	/m <sup>3</sup>	< exterior	Hasta 100 más	Hasta 500 más	> 500 más
Especies concretas por metro cúbico de aire interior*	/m <sup>3</sup>	< exterior	Hasta 50 más	Hasta 300 más	> 300 más

Número total de hongos en el aire interior comparado con muestras de referencia de aire exterior y/o de estancias no contaminadas y cantidad de especies concretas de hongos que difieren significativamente del exterior y/o de las estancias de referencia.

Hongos de moho absolutos por metro cúbico de aire interior*	/m <sup>3</sup>	< 200	200-500	500-1000	>1000
---	-----------------	-------	---------	----------	-------

Aire interior para valores moderados del aire exterior por debajo 500/m<sup>3</sup>, dependiendo de las condiciones climáticas e higiénicas.

Hongos de moho por decímetro cuadrado de superficie*	/dm <sup>2</sup>	< 20	20 - 100	100 - 200	> 200
--	------------------	------	----------	-----------	-------

Hongos sedimentados o esporas en superficies de uso frecuente, limpiadas periódicamente y sin mucho polvo.

Hongos por gramo de polvo doméstico*	/g	< 500	500 - 2000	2000-10.000	> 10.000
--------------------------------------	----	-------	------------	-------------	----------

Recuento de esporas de hongos en el polvo doméstico recogido de unos 7 días de antigüedad. Depositar el polvo directamente sobre un medio de cultivo. Estudios comparativos respecto a otras estancias especialmente poco sospechosas.

Suma de MVOC en nanogramos por metro cúbico de aire	ng/m <sup>3</sup>	< 200	200 - 1000	1000-10.000	> 10.000
Elementos aislados específicos	ng/m <sup>3</sup>	< 50	50 - 200	200 - 2000	> 2000

Compuestos orgánicos volátiles microbianos en el aire interior, al menos 15 elementos singulares con especificación de la suma.

\* Los hongos cultivados en medios de cultivo son unidades formadoras de colonias (UFC) a una temperatura de incubación de 20-25 °C.

Evaluaciones e información más detallada: Agencia Federal de Medio Ambiente «Guía de mohos», folleto WTA 4-12 05.2021/D, Certificación VDB, directrices LGA, entre otros.

.....

*Reproducimos aquí de nuevo el texto más relevante, obligatorio extraído de los Valores Indicativos de referencia en Baubiologie SBM 2024, como recordatorio, junto con cuatro puntos complementarios:*

Los **recuentos** de moho en el aire interior, en superficies, en el polvo doméstico, en cavidades, materiales, etc. deben ser **inferiores** a los del exterior o a los de la zona de estancias de referencia no contaminadas. Los **tipos** de moho en el interior **no** deben diferir significativamente de los del exterior o de los de las estancias de referencia no contaminadas. Los hongos especialmente **críticos**<sup>\*1</sup>, por ejemplo, los productores de toxinas, alergénicos o que proliferan a una temperatura corporal de 37 °C<sup>\*2</sup>, no deben ser detectables o solo mínimamente detectables. No debe haber contaminación con **productos metabólicos** de mohos (micotoxinas, MVOC, glucanos, etc.).

Para contrarrestar el crecimiento de moho, deben evitarse los niveles permanentemente altos de humedad del material y del aire, las temperaturas superficiales excesivamente frías y los puentes térmicos críticos; la **actividad de agua** de los materiales no debe superar **0,65** durante largos periodos de tiempo.

Deben tenerse en cuenta o incluirse en las evaluaciones otras **anomalías, sospechas o indicios** de contaminación microbiana (por ejemplo, decoloración, manchas, olores típicos de microorganismos, hongos indicadores de humedad<sup>\*3</sup>, daños en la construcción, de humedad y fecales, elementos constructivos problemáticos, aspectos higiénicos, aumento de aportaciones del exterior<sup>\*4</sup>, daños antiguos, historial del edificio, inspección del lugar, enfermedades de sus ocupantes, informes médicos ambientales, entre otros).

- \*1 Mohos especialmente críticos y formadores de toxinas como *Stachybotrys*, *Aspergillus* *Alternaria*, determinadas especies de *Chaetomium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*
- \*2 Mohos que crecen a 37 °C de temperatura corporal y pueden causar infecciones como *Aspergillus*, algunas especies de *Absidia*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Rhizopus*, *Trichoderma*
- \*3 Mohos indicadores de humedad como a) *Acremonium*, *Aspergillus fumigatus*, *Auroeobasidium pullulans*, *Chaetomium*, *Stachybotrys*, *Trichoderma* o levaduras indicadoras de humedad elevada y b) *Aspergillus versicolor*, *A. penicilloides*, *A. restrictus*, *Eurotium* o *Wallemia sebi* para humedad ligeramente elevada.
- \*4 Aportes fúngicos superiores a la media procedentes del exterior, por ejemplo, de vertederos, plantas de reciclaje, instalaciones de compostaje y trituración, trabajos intensivos en polvo de construcción, demolición, agricultura y jardinería.

---

## Apartados C1 a C3 de la Norma: Mohos, levaduras y bacterias

Para una evaluación correcta de la contaminación microbiana por mohos, levaduras y bacterias, en general deben utilizarse varios métodos de análisis adaptados a la situación y a la cuestión; sus resultados y conclusiones deben combinarse para dar una visión general aceptable.

*Atención:* Como consecuencia de problemas de humedad o higiene, además de los hongos suelen estar implicadas bacterias (a veces incluso de forma exclusiva). Los problemas de salud de las personas ocupantes pueden estar relacionados con hongos y bacterias. Por este motivo, los tres puntos de la norma microbiológica deben cumplirse por igual en las mediciones en *Baubiologie*. Debe prestarse especial atención a los gérmenes indicadores específicos de humedad y a la presencia de gérmenes altamente tóxicos.

### Inspección y encuesta

Anamnesis del edificio y de las personas usuarias, inspección visual, impresiones generales y olfativas (olores). A ser posible con ayuda de un endoscopio, lupa, microscopio de bolsillo, lámparas forenses para edificación, documentación fotográfica, etc.

Las sospechas de problemas microbianos pueden identificarse o verificarse inspeccionando los interiores en cuestión, lo que incluye formular preguntas a sus ocupantes sobre la historia del edificio, patologías actuales o pasadas, daños por humedad o higiene, elementos constructivos problemáticos, olores, hábitos o síntomas de enfermedad.

En caso necesario, una inspección visual exhaustiva también incluye zonas y superficies ocultas, por ejemplo, detrás de armarios, así como cavidades en tabiques, estructuras de techos, revestimientos de paredes, estructuras de suelos, chimeneas, patinejos, etc.

## Métodos de cultivo

Cultivo de microorganismos con posterior recuento e identificación. En medios de cultivo (agares, placas Petri, placas Rodac, portaobjetos de contacto, indicadores de gérmenes, etc.).

Los medios de cultivo adecuados para los análisis en interiores para mohos y levaduras son principalmente el agar YM-Baubiologie y el agar DG18, dependiendo de la aplicación también, por ejemplo, agar rosa de Bengala, Sabouraud o extracto de malta; para bacterias, agar CASO (TSA) o agar para recuento en placa.

Para las muestras de aire (idealmente también para las muestras de superficie), deben utilizarse al menos dos medios de cultivo diferentes con distintos aportes de nutrientes y agua por punto de muestreo para los hongos, y un medio de cultivo adicional para bacterias.

El cultivo suele realizarse a 20-25 °C (temperatura ambiente), para la detección de especies termotolerantes (por ejemplo, *Aspergillus*, *Candida*) también a 37 °C (temperatura corporal), para especies termófilas (*Actinomicetos*, *Legionella*, entre otras) a temperaturas aún más elevadas.

Los recuentos de gérmenes se indican en unidades formadoras de colonias (UFC).

Al manipular los medios de cultivo y los dispositivos de muestreo correspondientes, debe procurarse trabajar de la forma más estéril y limpia posible. Por ejemplo, los medios de cultivo y los dispositivos deben colocarse sobre papel de aluminio nuevo, trabajar solamente con las manos lavadas o protegidas con guantes y los dispositivos deben desinfectarse regularmente con alcohol o calor (al menos antes de cada nueva medición).

## Análisis microscópicos

Las muestras (aire, superficies, materiales, polvo, etc.) se analizan directamente al microscopio óptico. Con microscopios ópticos, portaobjetos, soluciones de microscopía, etc.

Generalmente se emplean procedimientos de tinción microbiológica estándar para hongos (por ejemplo, con azul de algodón o azul de lactofenol). Normalmente son suficientes aumentos de hasta 600x.

## Análisis del aire

Recolección de hongos, esporas y bacterias en el aire interior con análisis de cultivo y/o microscópico. Con muestreador de aire, air-sampler, impactador, muestreador de partículas o de rendija y portaobjetos de película adhesiva, filtro de gelatina, etc.

El aire interior debe compararse siempre con el aire exterior y con el de salas de referencia poco contaminadas (tanto al tomar muestras para cultivo como para microscopía directa).

Por regla general, no se debe ventilar durante al menos 6-8 horas antes del muestreo. En algún caso hay que preguntar o indicar cuáles han sido las circunstancias concretas, que se tendrán en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

También debe anotarse e indicarse qué actividades tuvieron lugar en la estancia con anterioridad: por ejemplo, comportamiento cotidiano típico de las personas usuarias (puede simularse antes del muestreo caminando por la habitación, abriendo armarios, moviendo cortinas, etc.), o condiciones de inactividad (ninguna persona en la sala durante un periodo de tiempo prolongado), o (dependiendo de la cuestión, también inducidas intencionadamente) movimientos intensos y turbulencias (el llamado muestreo agresivo, especialmente útil para el control de saneamiento). Sobre todo, en el caso de estudios de contaminación bacteriana, no debe haber personas presentes en la sala en las horas previas a la toma de muestras.

En el caso de instalaciones o aparatos de ventilación y aire acondicionado, es aconsejable tomar una muestra de aire unos minutos antes y después de su puesta en marcha.

El lugar de muestreo en la estancia debe ser lo más representativo posible, normalmente en el centro a una altura de unos 1-1,5 metros. También se puede caminar por la habitación con el captador en un brazo extendido para generar una buena muestra aleatoria de toda la estancia. En algunos casos, se pueden tomar muestras directamente delante de zonas sospechosas o aspirar aire de cavidades o perforaciones (al tomar muestras de cavidades, hay que tener cuidado de no levantar polvo de sedimentación para que no se deposite sobre los medios de recogida).

## Muestreo de aire

Mediante el muestreador de aire, impactador, filtro de gelatina, etc.

El muestreo debe realizarse preferentemente mediante el método de impactación activa con muestreadores de aire que tengan un valor de corte de 1 µm o menos, adecuado para hongos y

bacterias. Debe tomarse una cantidad de aire adecuada a la situación: por regla general, 50-100 litros por placa de Petri estándar, en verano (debido a la tendencia a un mayor recuento de microbios en el aire) más bien 50 l, en invierno más bien 100 l, en situaciones o cavidades presumiblemente contaminadas menos, en salas extremadamente limpias o poco sospechosas más. Los medios de cultivo deben estar a temperatura ambiente durante el muestreo.

Cuando se utiliza el método de sedimentación por recogida pasiva (OPD, Open Petri Dish), es aconsejable tomar varias muestras paralelas en distintos puntos de una estancia (por ejemplo, suelo en el centro de la habitación, escritorio, estantería, etc.) para asegurarnos. El medio de cultivo de la placa de Petri debe estar en contacto abierto con el aire de la estancia durante 30-60 minutos (cuantos menos gérmenes se esperen, más tiempo). No obstante, este método puede estar sujeto a errores y, dependiendo de la situación, también puede llevar a una subestimación de los géneros fúngicos especialmente críticos con esporas muy pequeñas (*Aspergillus*/*Penicillium*); solo puede considerarse un método orientativo aproximado.

Los recuentos de hongos y bacterias se indican en unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC/m<sup>3</sup>) para el muestreo activo y en unidades formadoras de colonias por medio de cultivo (UFC/agar) para el muestreo pasivo. Regla empírica aproximada: 1 hora de sedimentación multiplicada por 20-50 suele corresponder aproximadamente al recuento de colonias por metro cúbico de aire determinado con impactadores.

### **Recolección de partículas en suspensión en el aire**

Mediante colectores de partículas o de ranura y portaobjetos con película adhesiva.

Para la recogida de partículas con el fin de registrar el recuento total de esporas (es decir, tanto hongos cultivables como muertos o no cultivables), deben utilizarse colectores de ranura con sistemas de bombeo adecuados para la separación de esporas fúngicas, dimensionamiento y portaobjetos de película adhesiva. Las partículas recogidas y las estructuras fúngicas se analizan directamente al microscopio óptico. Por regla general, el volumen de muestreo es de unos 100-200 litros de aire (mayor, cuantos menos gérmenes se esperen).

El recuento de hongos se indica en esporas por metro cúbico de aire, y también es posible realizar otras determinaciones o descripciones (hallazgos secundarios) (por ejemplo, sobre otros elementos fúngicos como hifas o micelios, así como escamas de piel, pelo, ácaros, polvo, partículas, fibras minerales, etc.).

### **Análisis de superficies**

Para el cultivo en medios de cultivo o para el análisis microscópico directo. Con medios de cultivo, placas de Petri, hisopos estériles, películas adhesivas.

Para el análisis microscópico directo se preparan las llamadas muestras de contacto de películas adhesivas: En este caso, se presionan tiras adhesivas transparentes (por ejemplo, cinta adhesiva transparente) sobre las zonas sospechosas o infestadas y, a continuación, se colocan en portaobjetos o placas y se analizan al microscopio, si es necesario con métodos de tinción adecuados. Estas muestras permiten llegar a conclusiones rápidas, o incluso identificaciones de especies, así como distinciones sobre si se trata exclusivamente de depósitos de esporas o hifas fúngicas u órganos de esporulación, es decir, superficies infestadas secundaria o primariamente por hongos.

Las muestras de contacto en medios de cultivo se preparan utilizando las denominadas placas Rodac, portaobjetos de contacto o «paletas», por ejemplo: la superficie de agar debe presionarse sobre las superficies a analizar durante varios segundos. Estas muestras son útiles, por ejemplo, para evaluar la contaminación secundaria en caso de daños causados por hongos, para la inspección de superficies que no están evidentemente infestadas, para comprobar la eficacia de la limpieza a fondo después de infecciones fúngicas o para comprobar el estado de higiene general.

También se puede frotar una superficie definida (por ejemplo, 1 dm<sup>2</sup>) con una torunda estéril humedecida para obtener impresiones comparables, «escanearla» y transferir las esporas fúngicas adheridas a ella a un medio de cultivo (por ejemplo, una placa de Petri) haciéndola rodar varias veces.

Las muestras tomadas con hisopos de algodón estériles son especialmente adecuadas para el muestreo de grietas y juntas o perforaciones en paredes, suelos o cavidades. Los bastoncillos deben humedecerse ligeramente antes de tomar la muestra y extenderse sobre el medio de cultivo. Estas muestras de torunda también son muy adecuadas como muestras de reserva, que en caso necesario pueden ponerse en contacto con los medios de cultivo semanas o meses después si es necesario.

Además de las muestras de hisopo, se utilizan hisopos estériles especialmente para el muestreo de levaduras, por ejemplo, en frigoríficos, lavavajillas, lavadoras, cisternas de inodoros, desagües, cabezales de ducha, irrigadores bucales, inhaladores, biberones, molinillos de grano, alimentos y utensilios para la alimentación, entre otros.

Los recuentos de hongos y bacterias en muestras de frotis se expresan en unidades formadoras de colonias por decímetro cuadrado o centímetro cuadrado de superficie (UFC/dm<sup>2</sup> o UFC/cm<sup>2</sup>). En el caso



de las muestras de hisopo, solo deben establecerse valores semicuantitativos, o resultados o determinaciones cualitativas de especies, por ejemplo, cantidades comparativas por medio de cultivo (UFC/agar).

En el caso de superficies muestreadas (por ejemplo, suelos, mesas, muebles, etc.), debe indicarse cuánto tiempo llevan sin limpiarse: Para la aplicación de los valores indicativos en *Baubiologie*, las superficies deben haberse limpiado regularmente a diario, pero, a ser posible, no en los últimos días antes del muestreo. Los valores indicativos no se aplican a superficies muy polvorosas o que no se hayan limpiado en mucho tiempo.

El muestreo de superficies que ya están directamente enmohecidas a simple vista tiene poco sentido en términos de datos numéricos, pero es más útil e importante para la identificación de especies.

### **Análisis de materiales**

Para el cultivo en medios de cultivo o para el análisis microscópico directo. Con medios de cultivo, disoluciones, películas adhesivas, hisopos.

Los materiales infestados por hongos o sospechosos de estarlo (papel pintado, enlucidos, aislamientos, madera, alfombras, documentos, mobiliario, etc.) se retiran cuidadosamente in situ sin agitar los hongos y sus esporas (utilizar herramientas limpias y estériles para las muestras destinadas al cultivo y, si es posible, guantes para evitar la contaminación de las muestras y los riesgos para la persona que realiza el trabajo), se envuelven en papel de aluminio o en fundas de plástico y se envían al laboratorio para su procesamiento (trititación, preparación diluciones seriadas) y evaluación mediante cultivo o microscopía.

Para evitar el riesgo de gérmenes antes del procesamiento, es aconsejable realizar análisis preventivos de materiales, por ejemplo, materiales de construcción (aislamientos, revocos de arcilla, etc.) o pinturas (pinturas de paredes, entre otras). En especial, las pinturas para paredes pueden estar contaminadas con bacterias, aunque es poco frecuente, y en ese caso no deberían aplicarse.

Los recuentos de hongos y bacterias se indican en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g) cuando se cultivan en medios de cultivo, en los análisis microscópicos suelen ser un dato o descripción semicuantitativa de las cantidades de esporas, hifas, órganos de esporulación, etc.

### **Análisis de polvo**

Para el cultivo en medios de cultivo o para el análisis microscópico directo. Con medios de cultivo, disoluciones, películas adhesivas,

El polvo se recoge mediante aspiración de determinadas superficies (suelos, alfombras, tapicerías, muebles, etc.; seleccionar y detallar en cada caso), por ejemplo, utilizando una aspiradora con un accesorio de muestreo adecuado (muestreador ALK) y filtros de celulosa o directamente de la bolsa de polvo de la aspiradora (fracción de polvo fino, si es necesario tras su tamizado). Debe documentarse el tipo y el tamaño de la superficie aspirada.

Las concentraciones de polvo pueden proporcionar indicios de contaminación secundaria de daños por hongos o sobre la propia contaminación. Prestar atención a los contaminantes secundarios también en este caso: caspa, pelo, partículas, ácaros, alérgenos, fibras minerales, entre otros.

Para la obtención de polvo superficial mediante películas adhesivas ver más arriba el apartado «Análisis de superficies».

Las cantidades de hongos y bacterias se expresan por gramo de polvo (/g) o por metro cuadrado de superficie aspirada (/m<sup>2</sup>).

### **Análisis COVM** (Compuestos Orgánicos Volátiles Microbianos) - **MVOC** (Microbial Volatile Organic Compounds en inglés)

Para la detección y análisis de emisiones específicas producidas por hongos (y bacterias). Mediante bombas de muestreo y medios de captación, así como análisis en laboratorios especializados.

Las concentraciones de emanaciones volátiles químico-biológicas procedentes de microorganismos se determinan mediante la toma de muestras de aire interior en tubos de carbón activado o Tenax con posterior análisis de laboratorio por cromatografía de gases y espectrometría de masas. Deben utilizarse sustancias específicas para hongos, como dimetilsulfuro, dimetildisulfuro, dimetilsulfóxido, geosmina, 2-metilfurano, 3-metilfurano, 1-octen-3-ol, 2-pentanol, 1-decanol, 2-heptanona, 2-metil-isoborneol, 3-octanol, 3-octanona. Los análisis de COVM no deben realizarse de forma aislada, sino en combinación con otros métodos.

Las concentraciones de COVM se indican en nanogramos por metro cúbico de aire (ng/m<sup>3</sup>).

### **Análisis de micotoxinas**

Para la detección de toxinas específicas de hongos. Mediante muestras de materiales y polvo con análisis de laboratorio especializado.

Las micotoxinas o toxinas fúngicas pueden detectarse como sustancias semivolátiles en materiales o en el polvo doméstico. Hasta la fecha, solo unas pocas micotoxinas (por ejemplo, ocratoxina A, tricotecenos) pueden analizarse como sustancia, aunque se conocen varios cientos de metabolitos fúngicos tóxicos de este tipo. Además, siguen existiendo pocos valores de referencia.

Las toxinas se especifican en microgramos o nanogramos por gramo de polvo o material ( $\mu\text{g/g}$  o  $\text{ng/g}$ ).

### **Mediciones de humedad y temperatura**

Para la determinación del ambiente interior y de las causas físicas de los daños microbianos en los edificios o para la evaluación de riesgos. Con termómetros, higrómetros, analizadores de humedad para edificios, registradores de datos climáticos, sistemas modulares, etc. apropiados.

Las mediciones a este respecto deben realizarse con termómetros, higrómetros y analizadores de humedad para edificios suficientemente precisos y calibrados.

Las evaluaciones de la humedad del aire y las temperaturas superficiales deben basarse, en caso necesario, en mediciones a largo plazo con registradores de datos climáticos. Las mediciones correspondientes deben realizarse en la estación o en las condiciones meteorológicas adecuadas al problema: cuando se analicen problemas de condensación en zonas frías de paredes en estancias sobre rasante, la temperatura exterior debe ser también fresca, cuanto más fría mejor; los estudios de problemas de condensación en sótanos o semisótanos generalmente solo suelen ser útiles en verano y otoño.

A la hora de medir la humedad del aire y las temperaturas superficiales, también debe tenerse en cuenta y registrarse el comportamiento de las personas usuarias.

En el caso de humedad del aire interior, deben determinarse tanto la humedad relativa como la absoluta. Para mediciones de corta duración, hay que asegurarse de que los sensores estén suficientemente aclimatados, especialmente al desplazar los dispositivos de medición del exterior al interior. Los dispositivos deben mantenerse lo suficientemente alejados del cuerpo o la boca para evitar influencias.

Las temperaturas superficiales pueden medirse con termómetros de contacto o (sin contacto y más cómodamente) con termómetros láser infrarrojos. Con estos últimos en particular, las comparaciones deben realizarse en el mismo material siempre que sea posible; en el caso de superficies con un comportamiento reflectante muy diferente, deben observarse o ajustarse los niveles de emisividad correspondientes.

Las mediciones de la humedad de los edificios deben realizarse inicialmente de forma no destructiva mediante el método de alta frecuencia y, a continuación, deben efectuarse otras mediciones en puntos sospechosos mediante electrodos de superficie y/o de penetración a través de la conductividad eléctrica en la superficie y a distintas profundidades. Las mediciones de la conductividad suelen dar como resultado valores en equivalencias al contenido de humedad de la madera (% CHM) o dígitos específicos del dispositivo de medición. Al medir la conductividad, debe prestarse atención a posibles errores a causa de productos de construcción salitrosos o metales, u otras capas, productos y pinturas conductoras de electricidad. Puede ser útil medir la humedad en el material utilizando agujeros recién taladrados en los que se inserta el sensor de humedad y se sella del aire de la sala.

### **Análisis de agua del grifo y potable o de productos alimenticios**

Para el cultivo y recuento en medios de cultivo. Con placas de Petri, medios de cultivo de inmersión, portaobjetos para inmersión, portaobjetos de contacto, indicadores de gérmenes, «paletas», etc.

En el caso de muestras de agua (agua potable, agua del grifo, filtros de agua, atomizadores, perlizadores, grifos, almacenaje, etc., fuentes ornamentales entre otros), la atención se centra principalmente en las bacterias, ocasionalmente en mohos y levaduras. Para una primera impresión comparativa, basta con introducir caldos nutritivos de inmersión o «paletas» en el líquido y, a continuación, incubar (a ser posible a dos temperaturas: temperatura ambiente 20-25 °C y temperatura corporal 37 °C), contar y (si procede o se desea) identificar el tipo o tipos de gérmenes en un laboratorio microbiológico especializado.

Si se sospecha una contaminación microbiológica de la instalación de agua de la vivienda, por ejemplo, por biopelículas, es aconsejable tomar varias muestras en distintos grifos y a distintas horas para aislar el problema y compararlas con el agua del suministro público como referencia.

Para realizar análisis más precisos del agua, deben observarse las especificaciones de la Ordenanza sobre agua potable para el tratamiento de las muestras y la evaluación del laboratorio (grifos flameados, método de goteo en placa, etc.).

En el caso de alimentos, la atención se centra principalmente en las levaduras (verduras, frutas, productos lácteos, embutidos, quesos, fiambres, encurtidos, etc., especialmente crudos y procedentes de mostradores abiertos, también exprimidores, trituradores de alimentos, germinadores, yogurteras, residuos, compost...), a veces también en los mohos (tés, frutos secos, cereales, molinillos de grano, entre otros). Para obtener datos orientativos, los alimentos pueden ponerse en contacto directo con medios de cultivo adecuados (placas de Petri, placas Rodac, «paletas») durante unos segundos o tomarse muestras con hisopos y, a continuación, incubarse y analizarse.

Los recuentos bacterianos se indican por mililitro de agua (/ml), por superficie de la muestra sólida (por ejemplo, /cm<sup>2</sup>) o como impresión por medio de cultivo (/agar).

## 4 ÁCAROS DEL POLVO DOMÉSTICO y otros alérgenos

Medición o determinación del **recuento de ácaros y excrementos, polen, pelo de animales, alérgenos**

Medición de las concentraciones en el polvo (microgramos por gramo, µg/g), en las superficies (por metro cuadrado, /m<sup>2</sup>) o en el aire interior (nanogramos por metro cúbico, ng/m<sup>3</sup>) mediante métodos previos a la prueba, microscopio y muestreo con análisis de laboratorio especializado

**Procedimiento de análisis previos:** Para los alérgenos de los ácaros, existen pruebas orientativas in situ (Allergen Control, Acarex-Test, por ejemplo, de farmacia), con las que se pueden estimar aproximadamente las concentraciones de un producto metabólico específico de los ácaros (guanina) o de los alérgenos de los ácaros en las superficies o en el polvo doméstico mediante la decoloración de las tiras reactivas. Es bueno para las primeras impresiones con sensibilidades de detección de unos 100 ácaros o 2 µg de alérgenos por gramo de polvo.

**Microscopía:** Los ácaros pueden contarse bajo el microscopio al analizar el polvo doméstico (100 ácaros por gramo de polvo se considera un valor límite higiénico). El polen de las plantas se recoge con una trampa Burkhard y se cuenta al microscopio óptico; también son adecuados para este fin los colectores de partículas o de ranura con portaobjetos de película adhesiva (véase también el apartado C).

**Muestreo de polvo con análisis de laboratorio especializado:** El polvo doméstico puede recogerse como en B3 y analizarse con bastante precisión en el laboratorio mediante ELISA (ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas) utilizando anticuerpos de detección para determinar las concentraciones de diversos alérgenos (ácaros, gatos, etc.). El resultado se expresa en datos de concentración referidos a la masa en, por ejemplo, microgramos por gramo (µg/g).

**Muestreo de aire con análisis en laboratorio especializado:** Utilizando una bomba de muestreo con accesorio de recogida o filtración de alérgenos, se toma una muestra de varios cientos a varios miles de litros de aire en un filtro o tiras de tubos de microtitulación y se examina en el laboratorio especializado o se analiza mediante EILSA. El resultado es una concentración referida al volumen en nanogramos por metro cúbico (ng/m<sup>3</sup>).

## **SBM 2024**

Las distintas partes de la Norma y los Valores Indicativos para zonas de descanso fueron desarrollados entre 1987 y 1992 por BAUBIOLOGIE MAES a petición y con el apoyo del *Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN*. Colaboraron colegas y médicos/as. Desde 1999, la Norma junto con los Valores Indicativos, así como las Condiciones Marco y Principios Rectores asociados, han sido codiseñados por una Comisión de Normalización formada por una decena de especialistas con amplia experiencia en *Baubiologie*, con el apoyo de científicos/as independientes de los campos de la física, química, biología, arquitectura, así como laboratorios, medicina ambiental y otras especialidades.

El desarrollo, diseño, actualización, perfeccionamiento, ampliación... de la Norma, los Valores Indicativos y las Condiciones Marco fueron dirigidos por Wolfgang Maes hasta 2019. En primer lugar, los miembros de Baubiologie Maes, el Dr. Manfred Mierau (Dipl. Biol.) y el Dr. Thomas Haumann (Dipl. Chem.), proporcionaron apoyo técnico y asesoramiento. A continuación, los miembros de la actual Comisión de Normas Christian Blank, Dipl. Ing. Joachim Gertenbach, Dr. Dipl. Chem. Thomas Haumann, Bernd Kinze, Dipl. Ing. Friedbert Lohner, Dr. Dipl. Biol. Manfred Mierau, Karlheinz Müller, Johannes Schmidt, Peter Sierck y Stephan Streil. A lo largo de los años han prestado su apoyo y asesoramiento el Ing. Peter Danell, el Ing. Norbert Hennisch, el Dr. Med. Frank Mehlis, Helmut Merkel, Jürgen Muck, Uwe Münzenberg, Jörg Thumulla, Rupert Schneider, Arch. Winfried Schneider y Dr. Ing. Martin Virnich.

El primer borrador de las Condiciones Marco, las aclaraciones y complementos se presentó en el Seminario de trabajo de Mediciones Técnicas en *Baubiologie* en abril de 2010 en Fulda-Loheland, el segundo borrador en el Seminario de Técnicas de Medición en diciembre de 2011 y la tercera versión en el Seminario Básico sobre «Mediciones Técnicas en *Baubiologie*» en octubre de 2012 también en Fulda-Loheland, la cuarta versión solo se revisó en algunos detalles y el quinto borrador se presentó en el Congreso del IBN en mayo de 2015 en Rosenheim.

La actual SBM-2024 es la 9ª edición, presentada en agosto de 2024.

Las sugerencias de complementos y actualizaciones de la Norma, los Valores Indicativos y las Condiciones Marco de colegas de la práctica de la *Baubiologie* son bienvenidas.