

Ergänzung zum Standard der Baubiologischen Messtechnik SBM-2008
und zu den dazugehörigen baubiologischen Richtwerten für Schlafbereiche

MESSTECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN UND ERLÄUTERUNGEN

Entwurf 4/2010

In den Randbedingungen und Erläuterungen werden die wesentlichen messtechnischen Kriterien für baubiologisch-sachverständige Messungen, Analysen und Vorgehensweisen in Kurzform ergänzt und vertieft. Zudem sind die Anleitungen der Gerätehersteller, Anweisungen von Verbänden, Inhalte von Normen und die Fachliteratur zu beachten.

Ausführliche Angaben zur messtechnischen Umsetzung der baubiologischen Standardpunkte finden Sie in den Büchern 'Stress durch Strom und Strahlung' und 'Stress durch Wohngifte und Pilze' von Wolfgang Maes, Dr. Manfred Mierau und Dr. Thomas Haumann. Umfassende theoretische und praktische Aus- und Weiterbildung zum Standard, seinen Richtwerten und Randbedingungen bieten die einwöchigen Basis- und Aufbau-Seminare 'Baubiologische Messtechnik' des IBN und weitere Fortbildungsangebote, z.B. die Praxis-Seminare des Verband Baubiologie VB.

Alle Angaben im Standard, den Richtwerten und diesen Randbedingungen beziehen sich auf baubiologische Messungen im alltäglichen nahen Umfeld des Menschen, an erster Stelle auf den Schlafbereich.

Die Möglichkeiten mehrerer Mess- und Diagnosemethoden innerhalb eines Standardpunktes sorgen für mehr messtechnische Sicherheit. Die beschriebenen Methoden ergänzen sich, sie ersetzen sich nicht und sind je nach Fall und Aufgabenstellung zu kombinieren.

A FELDER, WELLEN, STRAHLUNG

1 ELEKTRISCHE WECHSELFELDER (Niederfrequenz)

Messung der elektrischen **Feldstärke** (Volt pro Meter, V/m)

a) gegen Erdpotenzial

Effektivwert-Messung unter Einbeziehung des Körpers in Anlehnung an Computernorm TCO.

Mit Feldmessgerät bzw. Feldsonde (TCO- bzw. Tellersonde, Kleinsonde), Feldmeter, NF-Analyser...: Frequenzbereich 10 Hz - 100 kHz (besser 400 kHz und höher), Messbereich bis 5000 V/m oder mehr, Nachweisempfindlichkeit 0,1 V/m, Fehlertoleranz $\pm 10\%$.

Beachten: Solides Erdpotenzial als Bezug (Potenzialausgleich, Steckdose, Sanitärinstallation, Erdspieß...). Körpernahe oder körperferne Sondenführung (Herstellerangabe). Kleinsonden zeigen oft niedrigere Messwerte als TCO-Tellersonden mit Durchmessern bis zu 30 cm, Maßstab ist die TCO-Sonde. Direkte, ungestörte Ausrichtung der Sonde zu den - oft aus mehreren Richtungen kommenden - Feldquellen (maximale "Anpeilung"). 30 cm Mindestabstand zur Feldquelle.

b) potenzialfrei

Effektivwert-Messung des "reinen" Feldes ohne Beeinflussung des Körpers in Anlehnung an DIN/VDE bzw. 26. BImSchV.

Mit Feldmessgerät bzw. Feldsonde (3D-Würfelsonde, 1D-Flächensonde), Feldmeter, NF-Analyser...: Frequenzbereich 10 Hz - 100 kHz (besser bis 400 kHz und höher), Nachweisempfindlichkeit 0,1 V/m, Fehlertoleranz $\pm 10\%$.

Beachten: Keine Menschen oder andere leitfähige Körper, Flächen, Leitungen und Gegenstände im Feld, reichlich Abstand einhalten, 2 m Mindestabstand zum Messgerät bzw. Lichtleiter für die Verbindung von der Sonde zum Anzeigegerät.

Messung der elektrischen **Körperspannung** (Millivolt, mV)

Messung des Körperpotenzials am im Bett elektrisch isoliert liegenden Menschen gegen Erdpotenzial.

Mit Körperspannungsmessgerät, Voltmeter, Multimeter, Feldmeter, NF-Analyser... und Handelektrode bzw. Fingerelektrode, Einstellung auf ACV: Messgeräte-Innenwiderstand 10 MOhm und Kapazität < 100 pF über alle genutzten Messbereiche, Frequenzbereich um 50 Hz (besser 400 kHz und höher), Nachweisempfindlichkeit 1 mV, Fehlertoleranz $\pm 10\%$; Handelektroden-Zuleitung maximal 50 cm.

Beachten: Solides Erdpotenzial als Bezug (Potenzialausgleich, Steckdose, Sanitärinstallation, Erdspieß...). Nähe der Testperson zu geerdeten Flächen (Abschirmung in Bettnähe...) bzw. Erdkontakt (Abschirmdecke unter dem Körper...) meiden.

Bestimmung der dominierenden **Frequenz** (Hertz, Hz) und von auffälligen **Oberwellen**

Mit NF-Spektrumanalyser, Oszilloskop, Frequenzzähler, Voltmeter, Feldmeter...: Frequenzbereich 10 Hz - 100 kHz (besser 400 kHz und höher).

Elektrische Wechselfelder entstehen als Folge elektrischer Wechselfeldspannung. Die Feldlinien verlaufen offen vom einem höheren zum niedrigeren Potenzial, im Endeffekt zur Erde (Quellenfeld). Das Feld wird durch leitende Objekte, die Messapparatur, die Mess- und Testperson beeinflusst.

Bei der elektrischen Feldstärke geht es um Messungen von Spannungsunterschieden, so genannten Potenzialdifferenzen. Ein Sensor erfasst das Feld und vergleicht es mit einem Referenzpotenzial. Bei der seit 30 Jahren in der Baubiologie angewandten und bewährten erdbezogenen Feldstärkemessung (TCO) ist diese Referenz das Erdpotenzial, die Feldsonde ist per Kabel mit Erde verbunden. Bei der in der Baubiologie neu eingeführten potenzialfreien Feldstärkemessung (DIN/VDE) befinden sich ein (1D Flächensensor) oder drei (3D Würfelsensor) Elektrodenplattenpaare in einer Feldsonde, es wird die Potenzialdifferenz der in einem definierten Abstand zueinander platzierten Elektrodenflächen ohne Erdbezug ermittelt. Die erdbezogene Feldmessung (TCO) berücksichtigt den Menschen im Feld, denn er zieht die elektrischen Felder an, konzentriert sie auf sich, der Mensch ist Teil des Feldgeschehens. Die potenzialfreie Messung (DIN/VDE) wünscht das "ungestörte" Feld ohne den feldbeeinflussenden Menschen. Beide

Feldmessmethoden - gegen Erde und potenzialfrei - haben im baubiologischen Alltag Stärken und Schwächen und sorgen gemeinsam - kombiniert mit der Körperspannungsmessung - für mehr Sicherheit. Vergleichende Messungen sind immer nur mit denselben Messmethoden möglich.

Beispiele für Vor- und Nachteile: Die erdbezogene TCO-Methode schwächelt mit der Folge falscher Messergebnisse, wenn der Bezug Erdung nicht optimal ist; kein Problem für die potenzialfreie Messung. Die potenzialfreie DIN/VDE-Methode schwächelt, wenn feldbedingte Potenzialgefälle nicht ausgeprägt sind oder fehlen, weil aus verschiedenen Richtungen einwirkende Feldquellen ähnlich oder gleich stark sind, dann werden die Messwerte trotz offensichtlicher Emittenten zu gering oder gar nicht auffallen; kein Problem für die erdbezogene Messung. Vorsicht bei der TCO-Messung mit geteerten Flächen und Gegenständen in der Nähe, das gilt auch für die Kontrolle von großflächigen Abschirmmaßnahmen. Vorsicht bei der DIN/VDE-Messung mit allen leitfähigen Materialien und Menschen im Feld und in der weiteren Umgebung, mehrere Meter Abstand sind nötig. Die eindimensionale TCO-Messung ist bei optimaler Ausrichtung zum Feldmaximum besonders gut für die Quellensuche und -lokalisierung geeignet ("Emissionsmessung"). Die dreidimensionale DIN/VDE-Messung ist richtungsunabhängig besonders gut für die Erfassung der Summe von Feldquellen an einem Punkt geeignet ("Immissionsmessung"). Die erdbezogene 1D-Messung ist oft einfach(er) und schnell(er), die Messgeräte sind erschwinglich. Die potenzialfreie 3D-Messung kann komplizierter und aufwändiger sein, die Messgeräte sind teurer, meist sind Computer für die Auswertung und Anzeige nötig.

Auch bei der Körperspannung geht es um die Messung einer Potentialdifferenz, diesmal vom menschlichen Körper, der als Folge der Summe aller Feldeinflüsse seiner Umgebung unter Spannung steht, zur Erde. Die einfache, sensible, seit 30 Jahren in der Baubiologie eingesetzte und bewährte Körperspannungsmessung ("kapazitive Körperankopplung" nach E.W. Fischer) kann nur optimal funktionieren, wenn der zu messende Mensch isoliert von Erde positioniert ist, wie es im Bett liegend meist der Fall ist. Hat die Testperson Nähe oder gar Kontakt zu Erde, wie es bei abgeschirmten Wandflächen in Bettnähe und Abschirmdecken im Bettbau oder unter dem Körper passieren kann, fallen die Messwerte zu niedrig bis gleich Null aus.

Die Frequenz eines Feldes und die Anzahl und Ausprägung von Oberwellen, so genannten Harmonischen, also ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz, sind - neben der Feldstärke - ein Aspekt der biologischen Bewertung. Manche Organismen reagieren auf schwächere Felder bestimmter Frequenzen unter Umständen heftiger als auf stärkere Felder anderer Frequenzen, Frequenzgemische oder Oberwellenanteile. Es gibt bei Lebewesen, Organen, Zellen... verschiedenartige "Frequenzfenster" mit gesteigerter Empfindlichkeit.

Oberwellen sind bei ohmschen Verbrauchern (Glühbirne, Herd, Fön...) und meist bei Hochspannungsleitungen, Bahnstrom, konventionellen Transformatoren... weniger ausgeprägt als bei Verbrauchern mit viel Elektronik (Energiesparlampe, elektronische Netzteile, Vorschaltgeräte, Ladegeräte, Dimmer, PC, Bildschirm, Induktionsherd...). Die in Europa typische Netzfrequenz ist 50 Hz (USA 60 Hz), viele elektronische Geräte funktionieren mit höheren Frequenzen (Energiesparlampen 20-60 kHz) oder mit Frequenzgemischen (PC, Bildschirm...), die Bahn fährt in Deutschland mit 16,7 Hz.

2 MAGNETISCHE WECHSELFELDER (Niederfrequenz)

Messung der magnetischen **Flussdichte** (Nanotesla, nT) von Netz- und Bahnstrom

Effektivwert-3D-Messung der Summe aller Feldlinienrichtungen in Anlehnung an Computernorm TCO oder DIN/VDE.

Mit Feldmessgerät bzw. Feldsonde (Induktionsspule 3D isotrop/orthogonal oder 1D), Feldmeter, NF-Analyser...: Frequenzbereich 10 Hz - 100 kHz (besser 400 kHz und höher), Messbereich bis 100.000 nT oder mehr, Nachweisempfindlichkeit 1 nT, Fehlertoleranz $\pm 10\%$, Sondenfläche $< 100\text{ cm}^2$.

Beachten: Netzstrom (50 Hz) und Bahnstrom (16,7 Hz) getrennt untersuchen. 1D-Messung zur Ortung der Feldquelle anhand der Hauptfeldlinienrichtung. Spulengröße je nach Aufgabe: Große Induktionsspulen nach TCO bzw. DIN/VDE mit Durchmessern von 10 cm und mehr zeigen bei kleinen Feldquellen (Kleintrafos, Netzteile, Energiesparlampen...) im Nahbereich niedrigere Messwerte. Messgeräte bzw. -spulen während der Untersuchung nicht heftig bewegen, kann zu Wechselwirkung mit dem Erdmagnetfeld und somit zu Messfehlern führen, speziell bei niedrigen Frequenzen (z.B. Bahn).

Langzeitaufzeichnung

Effektivwert-3D-Messung der Summe aller Feldlinienrichtungen.

Mit Datenlogger, Schreiber, PC, Feldmeter, NF-Analyser, Multimeter (min-max-avg)...: Frequenzgang mindestens 16,7 Hz und 50 Hz (besser bis 2 kHz und höher), Messintervalle $< 10\text{ s}$, Nachweisempfindlichkeit 10 nT, Fehlertoleranz $\pm 10\%$.

Beachten: Langzeitmessung von öffentlichen Stromquellen (Erdversorgungsleitungen, Freileitungen, Bahn, Transformatoren, Straßenbeleuchtung...), Nachtspeicherheizungen und Ausgleichsströmen immer über Nacht, speziell an Werktagen, bei Verdacht 24 Stunden oder mehr. Bei kleinflächigen, inhomogenen Feldern eventuell mehrere Datenlogger simultan. Bei der Messung öffentlicher Feldquellen auf Abschaltung von bzw. Abstand zu hausinternen Emittenten achten. Datenlogger während der gesamten Aufzeichnungszeit nicht bewegen.

Bestimmung der dominierenden **Frequenz** (Hertz, Hz) und von auffälligen **Oberwellen**

Mit NF-Spektrumanalyser, Oszilloskop, Frequenzzähler, Voltmeter, Feldmeter...: Frequenzgang mindestens 10 Hz - 100 kHz (besser bis 400 kHz und höher).

Magnetische Wechselfelder entstehen als Folge von elektrischem Wechselstrom. Die Feldlinien verlaufen in sich geschlossen, ohne Anfang und Ende (Wirbelfeld). Das Feld wird durch leitende Objekte, die Messapparatur, die Mess- und Testperson praktisch nicht beeinflusst.

Die Messung der magnetischen Feldstärke bzw. Flussdichte erfolgt durch Spannungsinduktion in stationären Spulen, welche nur bei Wechselfeldern auftritt. Gemessen wird mit 3D- oder 1D-Spulen. 3D weist drei orthogonal angeordnete Spulen (x, y und z-Achse) in einem Messkopf auf, misst, berechnet und zeigt alle Feldlinienverläufe gleichzeitig an. 1D erfasst eine Achse, sie kann das Feldmaximum nur bei einem eindeutigen Feldlinienverlauf angeben. Geht es um mehrere Feldquellen oder Emittenten mit gemischten Feldlinienverläufen, müssten mit 1D-Spulen drei Messungen jeweils um 90° versetzt durchgeführt und deren Ergebnisse quadratisch addiert werden: $\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}$. Das sollte - speziell bei schwankenden Feldintensitäten - simultan geschehen, was praktisch selten möglich ist. Bei den häufiger auftretendem eindeutigen Feldverläufen (Freileitungen, Erdversorgungsleitungen, stromführende Installationsrohre...) reicht die 1D-Messung. Bei den seltener zu findenden Feldliniengemischen (Transformatoren, Geräte, mehrere Emittenten...) ist die 3D-Messung sicherer. Baubiologisch bewertet wird die Summe aller Feldlinienrichtungen.

Die Kurzzeitmessung dient der ersten Übersicht und zur Feststellung der unterschiedlichen Feldquellen im Haus (Elektrogeräte, Sicherungskästen, Ausgleichsströme in der Hausinstallation...) und draußen (Erdkabel, Freileitungen, Trafostationen, Bahnstrom, Ausgleichsströme im öffentlichen Netz...). Eine Langzeitmessung über mehrere Stunden oder Tage erfasst ein Profil der bei Magnetfeldern als Folge von Stromstärkeveränderungen häufig festzustellenden zeitlichen Feldschwankungen. Bei heftigen, kurzzeitigen Feldschwankungen mit hohen Feldspitzen (seltene "Ausreißer") ist das 95. Perzentil zur baubiologischen Bewertung heranzuziehen.

Als Ausgleichsströme bezeichnet man elektrische Ströme, welche nicht über den üblichen, hierfür vorgesehenen Weg fließen (wie den Rückleiter eines Elektrokabels), stattdessen über Erdungsleitungen, PE-Leiter, Schutzschirme, metallische Gas- und Wasserrohre..., das meist unkompensiert und auch deshalb zu beachtlichen Magnetfeldern führend. Bei hausinternen Ausgleichsströmen eventuell ergänzende direkte Messung bzw. Langzeitaufzeichnung der stromführenden Quellen mit z.B. Zangenamperemeter, Strommesszange bzw. Stromwandler. Bei Feldern durch Ausgleichströme von außen eventuell Simultanmessung mit mehreren Datenloggern im Haus und nahe der Feldquelle.

Zur Messung der räumlichen Magnetfeldverteilung z.B. in der Umgebung von Hochspannungsleitungen, Bahntrassen, Transformatorenstationen oder Erdversorgungsleitungen (speziell Ringleitungsführungen, die oft großflächige Feldausdehnungen zeigen) - speziell auch bei zeitlichen Feldschwankungen und/oder mehreren Feldquellen - zwei oder mehrere Messgeräte in verschiedenen Abständen zur Feldquelle gleichzeitig einsetzen, wobei ei-

nes als stationäres Referenzgerät dienen kann.

Oberwellen sind bei ohmschen Verbrauchern und meist bei Hochspannungsleitungen, Bahnstrom, Transformatoren... weniger zahlreich und ausgeprägt als bei Verbrauchern mit viel Elektronik. Die in Europa typische Netzfrequenz ist 50 Hz (USA 60 Hz), viele elektronische Geräte funktionieren mit höheren Frequenzen oder Frequenzgemischen, die Bahn fährt in Deutschland mit 16,7 Hz, in anderen Ländern auch mit 50 Hz oder Gleichstrom. Manchmal kann eine Oberwelle feldstärker ausfallen als die eigentliche Grundfrequenz, z.B. bei Transformatorenstationen.

Die Frequenz eines Feldes sowie die Häufigkeit und Art von Oberwellen sind - neben der Feldintensität - ein Aspekt der biologischen Bewertung. Manche Organismen reagieren auf schwächere Felder bestimmter Frequenzen heftiger als auf stärkere Felder anderer Frequenzen, Frequenzgemische oder auf Oberwellen. Es gibt bei Lebewesen, Organen, Zellen... eng begrenzte "Frequenzfenster" mit gesteigerter Empfindlichkeit.

Zur Frequenz des niederfrequenten Feldes und dessen Oberwellen siehe auch Punkt A1 "Elektrische Wechselfelder".

3 ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN (Hochfrequenz)

Messung der elektromagnetischen **Strahlungsdichte** (Mikrowatt pro Quadratmeter, $\mu\text{W}/\text{m}^2$)

a) Orientierende Breitband-Messung der Summe aller Feldeinflüsse über den **gesamten Frequenzbereich**

Mit Breitband-Messgerät, HF-Feldsonde, HF-Analyser, Strahlungsmonitor, Radiation Meter...: möglichst großer Frequenzbereich ab 100 kHz bis über 6 GHz (mindestens 10 MHz - 3 GHz zur Erfassung der zurzeit im Alltag häufigsten Funkdienste), Messbereich bis mindestens $20.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ oder (besser) mehr, Nachweisempfindlichkeit $0,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$, Fehlertoleranz ± 5 dB über den gesamten Messbereich.

Beachten: Spitzenwert-Messung aller Raumrichtungen, Polarisationssebenen, Reflexionen... im Fernfeld mit isotroper 3D-Messantenne oder 1D-Messantenne nach Schwenkmethode.

b) Detaillierte Selektiv-Messung mit Feststellung der **einzelnen Funkfrequenzen**

(GSM, UMTS, TETRA, WiMAX, WLAN, DECT, Radio, Fernsehen, Richtfunk, Radar, Amateurfunk, Jedermannfunk...)

Mit Spektrumanalysator und kalibrierten Messantennen (Logarithmisch-Periodische Antenne, Dipol, Monopol, Bikonus, Loop, Horn...) oder frequenzselektiv filterndem Breitbandmessgerät bzw. HF-Analyser: möglichst großer Frequenzbereich ab 100 kHz (besser niedriger) bis über 6 GHz (mindestens bis 3 GHz zur Erfassung der zurzeit im Alltag häufigsten Funkdienste), Messbereich bis mindestens $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$, Nachweisempfindlichkeit $0,01 \mu\text{W}/\text{m}^2$, Fehlertoleranz ± 3 dB über den gesamten Messbereich und Messaufbau.

Beachten: Spitzenwert-Messung wie oben. Baubiologische Richtwerte gelten für einzelne Funkdienste, nicht für Radar.

Bestimmung dominierender **Funkdienste** und niederfrequenter **Signale** (Pulsung, Periodizität, Modulation...)

Optisch mit Spektrumanalysator oder akustisch mit Breitband-Messgerät, Signal- bzw. Modulationsmeter... anhand hörbar gemachter demodulierter Signale; möglichst weiter Frequenzbereich wie oben.

Beachten: Bei mehreren Feldquellen kann es zu akustischen Überlagerungen kommen, die eine Diagnose schwer bis unmöglich machen.

Bei elektromagnetischen Wellen - auch Hochfrequenz genannt - geht es um drahtlose Informationsübertragung, um Funkanwendungen. Das für die technische Funknutzung bereitgestellte Frequenzspektrum fängt bei 9 kHz an, füllt den gesamten MHz-Bereich aus und endet bei 300 GHz. Funkwellen sind Transversalwellen und breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Funkwellen bestehen aus einem hochfrequenten Trägersignal, dem eine niederfrequente Information aufgeprägt, ein Inhalt aufmoduliert wird, z.B. Bilder, Sprache, Musik oder Daten. Wesentliche Modulationsarten sind die Amplitudenmodulation (AM, oft Kurz-, Mittel-, Langwelle und gepulste Signale wie Radar), Frequenzmodulation (FM, oft UKW) oder Phasenmodulation (PM, oft neuere digitale und gepulste Techniken wie GSM, UMTS, TETRA, DECT, WLAN) mit zahlreichen Misch- und Unterarten.

Mobilfunknetze, Handys, DECT-, WLAN- und andere moderne digitale Techniken funken außerdem gepulst, um möglichst viele Informationen praktisch zeitgleich übertragen zu können. Die Pulsung - speziell die periodische - wird bei baubiologischen Messungen besonders beachtet (Spektrumanalyse in Zero-Span-Einstellung und/oder akustische Diagnose, auch mit Breitband- bzw. Modulationsmessgerät) und kritisch gewichtet.

Im Nahfeld (unterhalb einer Wellenlänge) müssen die elektrischen und magnetischen Feldanteile - wie bei den niederfrequenten Feldern - als elektrische (E , V/m) und magnetische Feldstärke (H , A/m) separat gemessen werden. Im Fernfeld (oberhalb einer Wellenlänge) reicht die Messung einer Feldkomponente zum Rückschluss auf die Strahlungsdichte (S), z.B.: $S = E^2 : Z_0$ bzw. $S = H^2 \times Z_0$ (Z_0 = Feldwellenwiderstand 377Ω).

Bei mehreren Feldquellen wird für die Ermittlung der Gesamtstrahlungsdichte die arithmetische Summe gebildet.

In der Baubiologie wird bei der HF-Messung oft die Schwenkmethode durchgeführt. Die Messantenne wird möglichst weit vom Körper entfernt in allen Raumteilen (speziell im Schlafbereich) und Raumrichtungen isotrop, sprich dreidimensional geführt, das zu messende Areal abgetastet, 'abgescannt', in die verschiedenen Polarisationssebenen gedreht und per Spitzenwerteinstellung (Peak Hold) aufgezeichnet. Eine solche Vorgehensweise sollte - je nach Situation - mindestens eine Minute dauern, zumindest so lange, bis sich auf der Anzeige keine Messwertsteigerung mehr zeigt.

Mit dem Spektrumanalysator gehen wir bei der Untersuchung z.B. von GSM-Mobilfunknetzen standardgemäß wie folgt vor: Messung der ständig aktiven Organisationskanäle (BCCH, Broadcast Control Channel) in Max-Hold-Einstellung nach Schwenkmethode und Aufsummierung der Strahlungsdichten. Dies Ergebnis entspricht in etwa der Minimalauslastung der Basisstation während der von Handytelefonierern meist nicht stark frequentierten Nacht. Zur Ermittlung der Strahlungsdichte bei maximaler Auslastung einer Basisstation, wenn tagsüber beispielsweise viele Handygespräche über ihre Verkehrskanäle (TCH, Traffic Channel) abgewickelt werden, kann entweder der Messwert der Organisationskanäle theoretisch und grob mit dem Faktor 2-4 multipliziert (es sei denn, es liegen genaue Betreiberdaten vor) oder praktisch eine Langzeitmessung mit Breitbandgerät durchgeführt werden.

Alle Funkdienste (GSM, UMTS, TETRA, DECT, WLAN, Rundfunk, Richtfunk...) werden anhand der baubiologischen Richtwerte getrennt bewertet.

Im Protokoll steht das zum Zeitpunkt der Messung erfasste Ergebnis mit Minimal- und erfasstem bzw. möglichen Maximalwert.

Nicht alle Sender funken immer und wenn, dann nicht immer gleich stark. So kann es notwendig werden, Langzeitbeobachtungen bzw. -aufzeichnungen durchzuführen. Manche Radiosender oder das Militär z.B. funken nur zu bestimmten Zeiten, manche Behörden- und Industriesender oder Amateurfunker nur bei Bedarf. DECT-Telefone und WLAN-Netzwerke strahlen manchmal nonstop, manchmal aber auch nur bei der Nutzung. Auch die breitbandigen Signale (UMTS, digitales Fernsehen...) mit ihren ausgeprägteren Crest-Faktoren sollten mit Geduld beobachtet werden, sie schwanken.

Auch und gerade hier zeigt sich: Die Methoden ergänzen sich und bieten miteinander kombiniert die notwendige analytische Sicherheit. Die Breitbandmessung ist zumeist einfach(er), schnell(er), die Messtechniken preiswert(er). Die Spektrumanalyse ist kompliziert(er), zeitaufwändig(er), die Spektrumanalysatoren teuer, dafür auch sicherer, differenzierter und präziser. Ein Breitbandmessgerät kann keinen Spektrumanalysator oder die akustische Diagnose ersetzen, aber ein Spektrumanalysator auch nicht das Breitband- oder Modulationsmessgerät.

Auch hier gilt, ähnlich wie bei den Standardpunkten A1 "Elektrische Wechselfelder" und A2 "Magnetische Wechselfelder": Die Frequenz der Funkwellen, ihre Modulation und Pulsung, sind - neben der Strahlungsintensität - ein Aspekt der biologischen Bewertung. Manche Organismen reagieren auf schwache Felder bestimmter Frequenzen und Taktungen heftiger als auf starke Felder anderer Frequenzen. Es gibt bei Lebewesen, Organen, Zellen... verschiedenartige "Frequenzfenster" mit gesteigerter Empfindlichkeit. Die niederfrequente Pulsung zeigt sich nach bisheriger Erfahrung umso kritischer, je niedriger die Pulsfrequenz ausfällt. Oberwellen sind bei hochfrequenten Wellen weniger ausgeprägt als bei den niederfrequenten Feldern.

4 ELEKTRISCHE GLEICHFELDER (Elektrostatik)

Messung der elektrischen **Oberflächenspannung** (Volt, V)

Messung von elektrostatisch geladenen Oberflächen gegen Erdpotenzial.

Mit Feldmühle, Elektrofeldmeter, Elektrostatiksonde, Statiksensoren... : Messbereich bis ± 20.000 V oder mehr, Nachweisempfindlichkeit 10 V oder weniger, Fehlertoleranz ± 10 %.

Beachten: Messung in 2-10 cm Abstand zur Material- bzw. Bildschirmoberfläche (eventuell Abstandshalter). Provokation und somit Aufladung des Materials durch alltagstypische Reibung (z.B. mit dem Handrücken oder einem nicht leitenden Material) 1-2 Sekunden vor der Messung. Angabe der Polarität der Ladung: plus oder minus. Relative Raumluftfeuchte idealerweise 40-60 %, Raumklimaparameter (Luftfeuchte, Lufttemperatur, Oberflächenfeuchte, eventuell Luftionisation...) angeben. Erdung von Messgerät und Messperson.

Bestimmung der **Entladezeit** (Sekunden, s)

Feststellung, in welcher Zeit sich die aufgeladene Material- bzw. Bildschirmoberfläche wieder auf normale Werte entlädt.

Eventuell Messung der **Luftelektrizität** (Volt pro Meter, V/m)

Messung des luftelektrischen Gleichfeldes gegen Erdpotenzial.

Mit Feldmühle, Elektrofeldmeter...: Messbereich ± 200 V/m - ± 20.000 V/m oder größer, Nachweisempfindlichkeit 10 V/m, Fehlertoleranz ± 10 %.

Beachten: Messung der Raumluftelektrizität im Einflussbereich des Menschen (speziell nach Provokation elektrostatisch aufladbarer Materialien und Bildschirme) und als Referenz der Außenluftelektrizität.

Elektrische Gleichfelder entstehen als Folge elektrischer Ladungen an isolierenden Materialien (Kunststoffe, Synthetik, Gummi...), nicht abgeschirmten Bildschirmen und durch Gleichspannung (Oberleitung der Straßenbahn, Luftreiniger...). Sie verändern die natürliche Luftelektrizität und andere Raumklimaaspekte (Luftionisation, Staubaufkommen...). Das natürliche elektrische Gleichfeld wird im Freien maßgeblich durch das Wetter beeinflusst.

Auch bei der Elektrostatikmessung, den frequenzlosen Aufladungen und Feldstärken, geht es um Potenzialdifferenzen, und einige der bei den elektrischen Wechselfeldern (A1) beschriebenen Zusammenhänge und Probleme sind hierauf übertragbar. Die Oberflächenspannung wird an verdächtigen Materialien (Teppich, Gardine, Bettwäsche, Gegenstände, Bildschirme...) gemessen und die deshalb veränderte Luftelektrizität in der umgebenden Raumluft. Umrechnung: Oberflächenspannung (V) = Feldstärke (V/m) x Abstand (m).

Für vergleichbare Resultate sollte die relative Raumluftfeuchte bei 40-60 % liegen und die zu messenden Oberflächen diesem Raumklima einige Stunden ausgesetzt sein. Bei über 60 % Luftfeuchte ist mit niedrigeren Oberflächenspannungswerten zu rechnen, über 70 % machen Messungen schon schwierig, über 80 % kaum möglich und über 90 % unmöglich. Unter 40 % werden die Ergebnisse deutlicher, unter 30 % ist mit mehrfachen und unter 20 % Luftfeuchte mit zigfachem Anstieg zu rechnen. Manchmal wird es nötig, zu verschiedenen Jahreszeiten zu überprüfen (feuchter Sommer, trockener Winter). Röhren-Bildschirme (ältere Monitore und Fernseher) müssen vor der Messung einige Minuten eingeschaltet sein, damit sie ihre volle Ladung aufbauen; die Elektrostatik verändert sich mit der Helligkeit des Bildes.

Baubiologisch empfehlenswerte Materialien und Bildschirme sind kaum aufladbar und wenn, entladen sie sich in Sekundenschnelle. Kritische Materialien sind nach Provokation und Bildschirme nach dem Einschalten in Sekundenschnelle extrem aufladbar und entladen sich sehr langsam über Minuten, Stunden oder Tage. Negative Ladungen, welche auf Kunststoffe und Synthetik hinweisen, sind kritischer zu bewerten als positive, die manchmal auch in der Natur vorkommen können (Bernstein, Wolle...).

5 MAGNETISCHE GLEICHFELDER (Magnetostatik)

Messung der **Erdmagnetfeldverzerrung als räumliche Flussdichteabweichung - Metall** (Mikrotesla, μ T)

Messung der Summe aller Metall- bzw. Permanentmagnet-bedingten magnetischen Feldlinienrichtungen.

Mit Magnetometer, Magnetfeldindikator, Magnetostatiksensoren...: Messbereich mindestens ± 100 μ T (besser mehr), Nachweisempfindlichkeit wenigstens 100 nT (besser weniger), Fehlertoleranz ± 10 %.

Beachten: Zu messende Fläche abschnappen, eventuell rasterförmige Aufzeichnung des Messareals (Bettfläche, Raum...). Ausrichtung des Sensors auf allen Messstrecken nicht verändern. 1D-Sonde während der Messung nicht kippen, verdrehen oder verkanten, auch nicht minimal. Punktuelle lokale Feldauffälligkeiten mit ausgeprägten Gradienten kritischer bewerten als ausgedehnte mit weniger ausgeprägten Gradienten.

Messung der **Erdmagnetfeldverzerrung als zeitliche Flussdichteschwankung - Strom** (Mikrotesla, μ T)

3D-Messung der Summe aller Gleichstrom-bedingten magnetischen Feldlinienrichtungen.

Mit Magnetometer, Magnetfeldindikator, Magnetostatiksensoren...: Messbereich mindestens ± 100 μ T (besser mehr), Nachweisempfindlichkeit wenigstens 100 nT (besser weniger), Fehlertoleranz ± 10 %.

Beachten: Bei Verdacht auf Feldschwankungen (Straßenbahn, Photovoltaik...) Langzeitaufzeichnung zumindest über 24 Stunden, in jedem Fall über eine Nacht. Positionierung des Messgeräts an einem Magnetfeld-neutralen Ort. 1D-Sonde während der Messzeit nicht bewegen.

Bestimmung der **Kompassabweichung** (Grad, °)

Feststellung einer Abweichung der Kompassnadel im Einfluss magnetischer Gleichfelder von Metall oder Strom.

Mit mechanischem flüssigkeitsgedämpften Präzisionskompass, Magnetfeldschiene, elektronischem Fluxgate-Kompass...

Beachten: Kompass langsam und gradlinig in einer Richtung über eine Fläche (Bett...) fahren, nicht verdrehen, Areal rasterförmig abschnappen, Abweichungen notieren. Auch auf Ablenkungen der Nadel nach oben oder unten achten. Wenn ein technisches Magnetfeld mit der gleicher Polarisierung wie das Erdmagnetfeld aus Nordsüdrichtung auf die Kompassnadel einwirkt, wird sich die Nadel nicht bewegen, wie sie es besonders deutlich tut, wenn die Felder von der Seite kommen.

Technische magnetische Gleichfelder entstehen als Folge von ferromagnetischen Metallen (Stahl in Baumasse, Möbeln, Einrichtungen...) oder durch Gleichstrom (Straßenbahn, Photovoltaik...). Natürliche magnetische Gleichfelder sind die Folge des Erdmagnetfeldes, in welches sich eine Kompassnadel nach Norden ausrichtet. Der Begriff Erdmagnetfeldverzerrung bezeichnet eine Beeinflussung bzw. Überlagerung des natürlichen Hintergrundes. Jedes Magnetfeld - technisch oder natürlich - hat einen Nord- und Südpol (einen Plus- und Minuspol). Die Feldlinien verlaufen vom Nord- zum Südpol.

Bei der Magnetostatikmessung geht es um den Betrag und die Richtung technisch bedingter Magnetfelder; Referenz ist das ungestörte, gleichmäßige Erdmagnetfeld. Eine Messung mit einem 3D-Magnetometer erfasst - wie bei den magnetischen Wechselfeldern - die magnetische Flussdichte an einem Messpunkt unter Berücksichtigung aller Feldlinienausbreitungen dreidimensional, isotrop; der Messwert ist unabhängig von der räumlichen Ausrichtung der Sonde. Die Messung mit 1D-Magnetometer oder Magnetfeldindikator erfasst nur eine Achse der Feldlinienausbreitung; der eindimensionale Messwert ist richtungsabhängig. Werden drei 1D-Messungen jeweils um 90° versetzt durchgeführt und deren Ergebnisse quadratisch addiert, er-

hält man die Summe, die bei 3D-Geräten automatisch ermittelt und angezeigt wird $\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}$.

1D-Magnetometer zeigen die ermittelte Flussdichte der Polarität des Feldes entsprechend mit Plus- oder Minus-Vorzeichen an, was für die Berechnung der Flussdichteabweichung innerhalb eines lokal begrenzten Bereiches nötig ist. Die zurzeit handelsüblichen Magnetometer, die bei 3D-Messungen lediglich Betragsberechnungen im Relativmessmodus durchführen und die Richtung des Vektors nicht mit einbeziehen, sind für die Ermittlung der Flussdichteabweichung zwischen zwei Messpunkten nur bedingt geeignet, für alle anderen Zwecke jedoch gut geeignet.

Der Kompass funktioniert zweidimensional und richtet sich hauptsächlich in den horizontalen Feldlinien aus. Er ist kein Messgerät, sondern ein Indikator, und zeigt keine Feldintensitäten an, sondern nur Richtungen. Seine Nadel lässt sich durch fremde Magnetfelder ablenken. Ein elektronischer Fluxgate-Kompass, wie er z.B. beim Segeln eingesetzt wird, funktioniert ähnlich wie ein üblicher Kompass, aber statt mit Nadel mit digitaler Anzeige.

Eine Umrechnung von Magnetometerwerten zu Kompassabweichungen ist kaum, und wenn, dann nur grob möglich. Auch hier ergänzen sich die unterschiedlichen Messmethoden. Der Nachweis per Kompass ist verständlich und überzeugend, er ersetzt Magnetometermessungen aber nicht.

Ermittelt wird - wie immer - im Einflussbereich des Menschen, z.B. auf dem Bett.

Metall-bedingte Magnetfelder können räumlich sehr unterschiedlich ausfallen, kleinflächig heftig mit extrem wechselnden Intensitäten alle paar Zentimeter (steiler Gradient), z.B. über Federkernmatratzen in direkter Körperrnähe, oder großflächig gemäßigter im Verlauf mehrerer Dezimeter oder Meter (flacher Gradient), z.B. über Stahlträgern oder Betonarmierungen. Auch deshalb am besten rasterförmige Aufzeichnung einer definierten Fläche.

Gleichstrom-bedingte Magnetfelder können starken zeitlichen Schwankungen unterliegen. Beim Straßenbahnstrom schwanken sie fortlaufend, je nach Stromfluss in den Oberleitungen und Schienen; nachts fährt die Straßenbahn gar nicht mit dem Effekt: kein Feld. Bei Photovoltaikanlagen schwanken sie unter anderem je nach Sonneneinwirkung, das heißt: nachts keine Feldbelastung. Auch deshalb: Langzeitaufzeichnung.

6 RADIOAKTIVITÄT (Gammastrahlung, Radon)

Messung der Äquivalentdosisleistung (Nanosievert pro Stunde, nSv/h bzw. Abweichung in Prozent, %)

Aktivitäts-Messung radioaktiv auffälliger Baustoffe, Materialien, Geräte und Einrichtungen

Messung der Gammastrahlung mit Dosisleistungsmessgeräten (Geiger-Müller-Zählrohr, Großflächendetektor, Proportionalzähler, Szintillationszähler...). Das Messgerät sollte mindestens den Bereich der umweltrelevanten Gammaenergie von 50 keV bis 1,3 MeV erfassen. Pro Messung sind aufgrund der erforderlichen statistischen Genauigkeit im Niedrigdosisbereich mindestens 1000 Impulse nötig. Nachweisempfindlichkeit wenigstens 100 nSv/h (besser weniger), Fehlertoleranz $\pm 25\%$, empfohlene Grundempfindlichkeit 40 Impulse pro Minute bei 100 nSv/h, Nulleffekt (Detektoreigenrauschen) < 50 % bei 100 nSv/h.

Beachten: Bei Schlafplatzuntersuchungen sind mindestens zwei Messpunkte empfehlenswert, z.B. am Kopf- und am Fußende. Deutliche Unterschiede zwischen Kopf- und Fußmessung deuten auf erhöhte Eigenstrahlung der Baumasse hin (z.B. Kopfwand). Zur Bewertung gilt das höhere Messergebnis. Weiterführende Messungen an Wänden, Böden, Ecken... ermöglichen die Quellensuche und Erarbeitung von Sanierungsvorschlägen. Die meisten Preiswertgeräte sind üblicherweise nicht für die Bestimmung kleiner Abweichungen im Bereich der Hintergrundstrahlung um 100 nSv/h gemacht. Trotzdem ist es möglich, mit Geräten, die den o.g. Anforderungen entsprechen, eine recht zuverlässige Bewertung im Niedrigdosisbereich vorzunehmen; hierbei sind in erster Linie die Impulsausbeute (Zählstatistik) und der Nulleffekt (Detektoreigenrauschen) zu beachten. Aufgrund dieser Problematik sollten vergleichende Messungen bevorzugt werden.

Der Nulleffekt, d.h. das Eigenrauschen des Detektors, schlägt in der Nähe der allgemeinen Hintergrundstrahlung von etwa 100 nSv/h deutlich zu Buche - zum Teil bis zu 50 % vom Messwert, je unempfindlicher das Messgerät ist, desto stärker. Beim Szintillationszähler (NaJ 2" oder 3") ist der Nulleffekt aufgrund der hohen Impulsausbeute praktisch nicht relevant.

Die baubiologischen Bewertungen beziehen sich auf die Gamma-Impulsausbeuten ausgehend von natürlichen Nukliden (Ra-226, Th-232 und K-40). Die neue Umgebungs-Äquivalentdosis H10 entspricht im Fall dieser natürlichen Umgebungsstrahlung (Baugrund, Baumaterialien) der Photonen-Äquivalentdosis.

Radioaktivität gibt es in geringen Mengen überall. In der Erde, im Körper und in der Luft finden sich überwiegend natürliche radioaktive Elemente (Radionuklide) aus der Thorium- (Th-232) und der Uran-Radium-Reihe (Ra-226) sowie das Kalium (K-40). Bei der Messung der radioaktiven Strahlung wird die Anzahl der radioaktiven Zerfälle innerhalb einer bestimmten Zeit in Form von Impulsen ermittelt. Messgeräte wandeln die einfallende Strahlung in elektrische Impulse um. Eine für baubiologische Zwecke besonders gut geeignete Methode stellt die vergleichende Messung dar. Hierbei wird die Relation zwischen natürlicher Umgebungsstrahlung und der Strahlung im Haus, am Baustoff, am Schlafplatz usw. als prozentuale Abweichung angegeben. Es empfiehlt sich stets die Angabe aller gemessenen Bezugswerte. Besonders wichtig ist die Bestimmung der Ortsdosisleistung bzw. Äquivalentdosisleistung durch Gammastrahlung.

Neben der Gammastrahlung sollte auch die Betastrahlung beachtet werden. Alphastrahlung spielt bei baubiologischen Untersuchungen aufgrund des seltenen Vorkommens und der geringen Reichweite eher eine untergeordnete Rolle. In Bezug auf die innere Aufnahme über Radon und die Zerfallsnuklide in der Luft können Messungen der Alphastrahlung sinnvoll werden.

Bei Messungen im Gebäude darauf achten, dass es häufig um unterschiedliche massive Baumaterialien in Innen- und Außenwänden geht, die sich stark auf die Gammaaktivität auswirken können.

Eine differenzierende Nuklidzuordnung kann mittels Gammaskopie erfolgen. Proben von verdächtigen Materialien (z.B. Baustoffe) können hinsichtlich ihrer spezifischen Aktivität im Labor untersucht.

Ergeben sich Hinweise auf eine besondere Belastungssituation durch z.B. Radium in der Baumasse, oft sind es Schlacken, sollten Radonmessungen durchgeführt werden.

Messung der Radonkonzentration (Becquerel pro Kubikmeter, Bq/m³)

Luft-Messung von Radon-auffälligen bzw. -verdächtigen Gebäuden, Räumen, Materialien und Grundstücken

Mit direkt anzeigenden Radonmonitoren, Radon-Tochternuklid-Spektrometer, Passivdosimetern (elektronische Geräte nach dem Halbleiterdetektorprinzip, Kernspurdetektoren, Aktivkohle...)

Beachten: Messungen mit direkt anzeigenden Geräten liefern erste Hinweise auf eine Radonproblematik. Zur Quellensuche werden vor allem die schnelleren, direkt angezeigten Verfahren mit Pumpen (Tochternuklid-Spektrometer) eingesetzt. Mit einfachen Elektrostatik-Verfahren kann eine erhöhte Radonkonzentration auch gut erkannt werden: Positive radioaktive Folgenuklide lagern sich schnell an negativ geladenen Flächen ab und werden mit empfindlichen Geigerzählern nachgewiesen. Ionometer sind für die Detektion von Radon-Auffälligkeiten ebenfalls geeignet: Hohe Kleinionenzahlen in der Raumluft korrelieren oft mit radioaktiver Strahlung und vor allem mit der Radonkonzentration und der Anzahl der Zerfallsnuklide. Bewertungsmessungen sollten über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden.

Ergänzend zur den Radonmessungen in der Innenraumluft kommen auch Materialprüfungen (Radon-Exhalationsrate), Bodengasmessungen (mit Bodengassonde, empfohlene Tiefe: 80 cm) in Frage.

Eine einfache Radonmessung ist die über Aktivkohle-Passivsammler mit einer Expositionsdauer von in der Regel 3 Tagen, für die baubiologische Bewertung besser über 1 Woche oder länger. Sinnvoll ist eine Simultanmessung, z.B. im Wohnraum

und Keller, da das Radon meist über den Erdboden und den Keller in das Haus gelangt.

Die baubiologischen Richtwerte beziehen sich auf eine Messung über mindestens 3 Tage in der Heizperiode unter normalen Nutzungsbedingungen.

Das radioaktive Gas Radon ist unsichtbar, völlig geruchs- und geschmacklos. Radon zerfällt in der Lunge direkt, löst sich in Körperflüssigkeiten und verteilt sich im ganzen Organismus. Die durch den Zerfall in der Luft anfallenden radioaktiven Folgeprodukte (Po-218, Po-214, Pb-214, Bi-214 und andere) lagern sich an lungengängigen Feinstaub an, setzen sich in der Lunge ab und zerfallen dort an einzelnen Stellen des Lungengewebes.

Radonprobleme im Haus entstehen oft durch erhöhte Konzentrationen im Erdreich, Undichtigkeiten zum Erdreich hin, radioaktiv auffällige Baustoffe und Einrichtungen und mangelnde Wohnraumlüftung. Speziell in älteren Häusern mit feuchtem Keller findet sich Radon, da es gut wasserlöslich ist.

Die Radonkonzentration schwankt in einem Gebäude im zeitlichen Verlauf sehr stark, neben der Wohnraumlüftung spielen auch das Außenklima, Temperatur- und Druckschwankungen eine große Rolle. Während der Heizperiode sind die Konzentrationen durch den thermischen Auftrieb und schlechtere Wohnraumlüftung deutlich höher.

Höhere Radonkonzentrationen kommen vor allem in Bayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen vor (Bayerischer Wald, Oberpfalz, Fichtelgebirge, Thüringer Wald, Erzgebirge, südlicher Schwarzwald, Vogtland, Sauerland, Saarland und nördliches wie östliches Schleswig-Holstein).

Die Korrelationen der Radonkonzentration zwischen Bodengas- und Innenraummessungen sind sehr gut. Während in 1 m Tiefe im Boden sehr hohe Konzentrationen von ca. 10.000 bis über 600.000 Bq/m³ vorherrschen, liegen die Innenraum-Konzentrationen ca. Faktor 1000 niedriger. Ab ca. 20.000 Bq/m³ Bodenkonzentration kann daher bei schon bei ungünstiger Bauweise mit Radonauffälligkeiten in Häusern gerechnet werden.

Das sehr kurzlebige Thoron (Radon Rn-220 aus der Thorium-Reihe) spielt bei baubiologischen Messungen kaum eine Rolle. Es können aber Innenraumprobleme durch offene und nuklidreiche Baumaterialien entstehen. Über Aktivkohlemessungen ist Thoron nicht zu erfassen. Hier eignen sich am besten elektronische Verfahren nach dem HL-Prinzip und Alpha-Spektrometrie. Thoron ist durch seine intensiven Alpha-Zerfälle in der Reihe seiner Zerfallsnuklide ebenfalls besonders kritisch zu betrachten. Thoron kann insbesondere bei radioaktiv auffälligem Granit (z.B. als Fußbodenbelag) in die Innenraumluft gelangen, aber auch stark Thorium-auffällige Baustoffe, Schlacken und eventuell Lehmputze können radioaktives Thoron zu einem Problem für den Innenraum werden lassen.

Gebäude mit erhöhter Radioaktivität in der Baumasse zeigen häufiger Radonprobleme, da die Wahrscheinlichkeit für eine auffällige Radon-Exhalation aus der nuklidreichen Bausubstanz erhöht ist. Umgekehrt ist keine Aussage möglich, da Gammastrahlen-unauffällige Häuser unerwartet erhöhte Radonkonzentrationen ausweisen können, wenn der Eintrag über das Erdreich - wie so oft - erfolgt.

7 GEOLOGISCHE STÖRUNGEN (Erdmagnetfeld, Erdstrahlung)

Messung auffälliger Abweichungen im **Erdmagnetfeld** (Nanotesla, nT)

Mit 3D-Magnetometer: Messbereich bis ± 100.000 nT, Nachweisempfindlichkeit 10 nT (besser weniger), Fehlertoleranz ± 10 %.

Beachten: Die Messungen sollten zur Übersicht rasterförmig angelegt sein, z.B. alle 50 cm ein Messpunkt. Magnetische Baustoffe oder Materialien (auch nur leicht auffällige) können die Messung und das Ergebnis - besonders im Haus - verwirren bis unmöglich machen. So ist in einem konventionell gebauten und eingerichteten Gebäude eine geologische Magnetometermessung wegen der zahlreichen technischen Störungen meist nicht möglich.

Messung auffälliger Abweichungen der radioaktiven **Erdstrahlung** (Impulse pro Sekunde, ips bzw. Prozent, %)

Mit Szintillationszähler: Messempfindlichkeit mindestens 20 ips (besser 200 ips oder mehr), Fehlertoleranz ± 10 %. Bewährt hat sich Natrium-Jodid-Kristall als Sensor, Mindestgröße 2" (besser 3" oder mehr), eventuell gegen Umgebungsstrahlung mit isotonenfreiem Blei geschirmt, eventuell mit Neutronen-bremsendem Moderator.

Beachten: Die Messungen sollten zur Übersicht rasterförmig angelegt sein, z.B. alle 50 cm ein Messpunkt; pro Punkt bedarf es einer Impulsausbeute von mindestens 1000, besser 5000. Radioaktive Baustoffe, Einrichtungen oder Materialien (auch nur leicht auffällige) können die Messung und das Ergebnis - besonders im Haus - verwirren bis unmöglich machen.

Erdstrahlung ist überall. Es gibt allorten ein Erdmagnetfeld und radioaktive Strahlung aus dem Bodengrund. Die Kompassnadel zeugt von der magnetischen Kraft der Erde und der Geigerzähler von der Gammastrahlung. Viele andere physikalische Kräfte gehen von der Erde aus.

So genannte geologische Störungen sind Zonen veränderter Erdaktivitäten. Hier sind im Vergleich zum Durchschnitt auffällige Anomalien messbar: Die Flusssdichte des Erdmagnetfeldes nimmt lokal begrenzt zu oder ab und die radioaktive Erdstrahlung ist verändert. Andere physikalische Einflüsse zeigen sich hier ebenfalls auffälliger, penetranter oder reduzierter als in der ungestörten Umgebung. Geologische Störungen sind die Folge von z.B. unterirdisch fließendem Wasser - so genannten Wasseradern und Quelläufungen - oder anderen terrestrischen Auffälligkeiten wie z.B. Verwerfungen, Spalten, Klüften oder Brüchen.

Man geht beim Magnetometer- und Szintillationszählereinsatz nach bisheriger Erfahrung davon aus, dass bei unterirdischem Wasser eher eine Messwertabsenkung zu erwarten ist und bei geologischen Verwerfungen, Spalten und Brüchen eher eine Messwerterhöhung.

Zur Differenzierung geologisch oder technisch bedingter Magnetfelder Sonde räumlich verändern, die Magnetometermessung sollte auf verschiedenen Höhen durchgeführt werden. Gibt es nah am Boden Messwertanomalien, aber weiter weg nicht mehr, dann geht es nicht um geologische, sondern um technische Einflüsse. Technische Felder reduzieren sich schnell mit Abstand zur Quelle, geologisch bedingte Feldauffälligkeiten bleiben über große Höhenunterschiede konstant. Ein Maschendrahtzaun oder ein parkendes Auto in 10 m Entfernung und mehr kann bei Grundstücksuntersuchungen schon zu ähnlichen Magnetfeldauffälligkeiten führen wie geologische Störungen. Deshalb: Für mehr Sicherheit die Messungen in mindestens zwei Ebenen durchführen: z.B. über dem Boden und die gleiche Strecke in 2 m Höhe noch mal. Erst wenn über vermuteten geologischen Störzonen auf beiden (oder noch mehr) Ebenen die gleichen Werte zu messen sind, kann man sicher(er) sein. Vergleichbar mit Szintillationszählermessungen umgehen: drinnen Abstände zum Boden, zur Baumasse und zu verdächtigen Einrichtungen verändern, draußen Abstand zu z.B. verdächtigen Gebäuden, Straßenbelägen oder kürzlich gedüngten Wiesen halten.

Die zurzeit handelsüblichen 3D-Magnetometer, die Betragsberechnungen im Relativmessmodus ohne Einbeziehung der Vektorrichtung durchführen, sind für die Messung geologischer Störungen gut geeignet.

Bei Radioaktivitätsmessungen über geologisch gestörtem Grund scheint neben der Gamma- auch Neutronenstrahlung beteiligt zu sein, die der NaJ-Kristall des Szintillationszählers ebenfalls indiziert.

Voraussetzend wichtig ist das Auffinden von einem ungestörten, gleichmäßigen Magnetfeld- und Gammastrahlenhintergrund zum Vergleich.

8 SCHALLWELLEN (Luftschall, Körperschall)

Messung von **Lärm, Hör-, Infra- und Ultraschall** (Dezibel, dB) sowie **Schwingung und Vibration** (Meter pro Sekunde zum Quadrat, m/s²)

Luftschall (Hörschall, Infraschall, Ultraschall)

Messung der unbewerteten und/oder bewerteten Schalldruckpegel zur Beurteilung der Schall- bzw. Lärmbelastung, deren

äquivalenter Dauerschallpegel und zeitlicher Verläufe.

Entweder mit preiswerteren Schalldruckpegelmessgeräten der Güteklasse 2 gemäß IEC 61672 mit etwa diesen Spezifikationen: Frequenzbereich 31-8000 Hz, Messbereich 30-130 dB in mehreren Unterteilungen, Zeitbewertung fast und slow, Hörbewertung A und C, Messwertspeicher mindestens 30.000 Messwerte, Stand-alone-Betrieb sinnvoll, Export-Möglichkeit für Messdaten an PC.

Oder mit teureren Geräten der Güteklasse 1 gemäß IEC 61672: Frequenzbereich 5-20.000 Hz (also auch bis in den Infraschallbereich hinunter), Messbereich 20-140 dB in mehreren Unterteilungen, Zeitbewertung fast, slow und Peak (C), eventuell Impuls, Hörbewertung A, C und linear, Messwertspeicher typisch 1-2 GB, Verbindung zum PC.

Für Ultraschall steht aktuell kein Messgerät zu vertretbaren Kosten zur Verfügung. Es bieten sich Indikatorlösungen an, das sind Geräte, die hochfrequente Töne - z.B. von Fledermäusen oder Insekten - hörbar machen können (Fledermausdetektor bzw. Bat Receiver). Verschiedene Techniken transformieren den Ultraschall in den menschlichen Hörbereich, so wird der Ultraschall akustisch einschätzbar. Der Frequenzbereich reicht typischerweise von 16-100 kHz, manchmal bis 200 kHz. Lautstärke, Frequenz und Bandbreite sind einstellbar, Ausgänge für Kopfhörer, Tonband, Datenlogger oder Spektrumanalyser sind integriert.

Beachten: Bei nur zeitweise auftretenden oder stark schwankenden Schallereignissen Langzeitaufzeichnungen durchführen, hiermit können Pegelhäufigkeitsverteilungen und Perzentilbetrachtungen ermittelt werden. Messungen an Schlafplätzen sollten in der Nachtphase wenigstens über 8 Stunden von etwa 23 bis 7 Uhr erfolgen. Orientierung: Nachts 35 dBA möglichst nicht dauerhaft überschreiten, kurze Spitzen bis 45 dBA kann man noch akzeptieren.

Körperschall, Vibration (mechanische Schwingungen)

Messung der Schwingung bzw. Bewegung von Bauteilen wie Wänden, Böden, Decken, Heizkörpern, Rohrleitungen, Türen, Fensterscheiben (Vorsicht: Eigenresonanzen)...

Mit entsprechenden Schwingungsmessgeräten und Sensoren (Schwing- und Beschleunigungsaufnehmer, Accelerometer, Laser Vibrometer...). Aus den Messwerten (typischerweise Pegelwerte) werden Beschleunigungswerte in m/s^2 berechnet. An Fußböden muss eventuell - je nach Bodenbelag - der schallharte Kontakt zum Estrich hergestellt werden, z.B. per Aufnahmeplateau mit Spikes und Nivelliermöglichkeit. Frequenzbereich 5 Hz (besser weniger) bis 10 kHz (und höher), Hoch- und Tiefpassfilter wünschenswert, Nachweisempfindlichkeit unter $0,1 m/s^2$.

Beachten: Bei nur zeitweise auftretenden Vibrationsereignissen sind - wie beim Luftschall - Langzeitaufzeichnungen durchzuführen. Das Schwingungsempfinden von Menschen korreliert mit der Schwingbeschleunigung.

Frequenzanalyse

Selektive Untersuchung der Frequenzen von Luft- oder Körperschallereignissen mittels Frequenzanalysen zumindest im Hörschallbereich von 20-20.000 Hz, besser noch bis in niedrige Frequenzbereiche unter 20 Hz bis 5 Hz und weniger hinein (Infraschall, Vibration) oder auch in höhere Bereiche über 20 kHz (Ultraschall), entweder in Form von Terzpegeln (Real Time Analyser) oder hochauflösend in Form von FFT (Fast Fourier Transformation, eine schmalbandige Frequenzanalyse). Als FFT-Zeitfenster sollte mindestens das Hanning-Fenster zur Verfügung stehen.

Ein gesunder Mensch hört im Idealfall Frequenzen von rund 20 Hz bis 20 kHz, besonders gut die mittleren zwischen 1 und 5 kHz. Infraschall und Ultraschall nennt man tiefer- und höherfrequente Schallereignisse unter 20 Hz und über 20 kHz, die nicht mehr direkt mit dem Ohr gehört, aber dennoch von Menschen wahrgenommen werden können - oft unangenehm, belästigend oder gar krankmachend. Lärm bezeichnet unerwünschten, störenden oder gesundheitsschädlichen Schall. Bei Vibrationen geht es um spürbare, zumeist störende bis belastende mechanische Schwingungen, die Hand in Hand mit Luft- bzw. Hörschall, speziell auch dem Infraschall gehen können.

Schalldruckpegelmessungen und Frequenzanalysen werden üblicherweise in Raummitte durchgeführt, also möglichst weit entfernt von Wänden, Böden und Decken, denn in der Nähe solcher Grenzflächen ist mit Pegelerhöhung und Pegelvarianz zu rechnen. Wichtig für die baubiologische Praxis ist die Ermittlung der Belastungen dort, wo der Mensch sich häufig und dauerhaft aufhält (Schlafplatz, Arbeitsplatz).

B WOHNIGIFTE, SCHADSTOFFE, RAUMKLIMA

1 FORMALDEHYD und andere gasförmige Schadstoffe

Messung **gasförmiger Schadstoffe** in der Luft (Mikrogramm pro Kubikmeter, $\mu g/m^3$ bzw. parts per million, ppm)

2 LÖSEMITTEL und andere leicht- bis mittelflüchtige Schadstoffe

Messung **flüchtiger Schadstoffe** in der Luft (Mikrogramm pro Kubikmeter, $\mu g/m^3$ bzw. parts per million, ppm)

3 PESTIZIDE und andere schwerflüchtige Schadstoffe

Messung **schwerflüchtiger Schadstoffe**

- a) im **Staub** (Milligramm pro Kilogramm, mg/kg)
- b) im **Material** (Milligramm pro Kilogramm, mg/kg)
- c) in der **Luft** (Nanogramm pro Kubikmeter, ng/m^3)

4 SCHWERMETALLE und andere verwandte Schadstoffe

Messung **anorganischer Schadstoffe** (Milligramm pro Kilogramm, mg/kg)

5 PARTIKEL und **FASERN** (Feinstaub, Nanopartikel, Asbest, Mineralfasern...)

Messung von **Staub**, **Partikelzahl** und **-größe**, **Asbest** und sonstigen **Fasern** (/l, $\mu g/m^3$, /g, %)

6 RAUMKLIMA (Temperatur, Feuchte, Kohlendioxid, Luftionen, Luftwechsel, Gerüche...)

Messung von **Luft- und Oberflächentemperatur** ($^{\circ}C$), **Luft- und Materialfeuchte** (r.F., a.F., %), **Sauerstoff** (Vol.%), **Kohlendioxid** (ppm), **Luftdruck** (mbar), **Luftbewegung** (m/s) und **Luftionen** (/cm³) sowie der **Luftelektrizität** (V/m), Feststellung von **Gerüchen** und der **Luftwechselrate**

C PILZE, BAKTERIEN, ALLERGENE

1 SCHIMMELPILZE und deren Sporen sowie Stoffwechselprodukte

Messung und Bestimmung von kultivierbaren und nicht kultivierbaren **Schimmelpilzen**, Schimmelpilzsporen und Pilzbestandteilen ($/m^3$, $/dm^2$, $/g$) sowie Stoffwechselprodukten (MVOC, Toxine...)

2 HEFEPILZE und deren Stoffwechselprodukte

Messung und Bestimmung von **Hefepilzen** ($/m^3$, $/dm^2$, $/g$) und Stoffwechselprodukten

3 BAKTERIEN und deren Stoffwechselprodukte

Messung und Bestimmung von **Bakterien** ($/m^3$, $/dm^2$, $/g$, $/l$) und Stoffwechselprodukten

Standardpunkte C1 bis C3: Schimmelpilze, Hefepilze und Bakterien

Für solide Bewertungen mikrobieller Belastungen bei Schimmelpilzen, Hefepilzen und Bakterien sind in der Regel verschiedene Situations- und Fragestellungs-angepasste Untersuchungsmethoden einzusetzen; deren Ergebnisse und Befunde müssen in Kombination einen plausiblen Gesamteindruck ergeben.

Beachten: Als Folge von Feuchte- oder Hygieneproblemen sind neben Pilzen oft auch (manchmal sogar ausschließlich) Bakterien beteiligt. Die gesundheitlichen Probleme der Bewohner können mit Pilzen und Bakterien zusammenhängen. Deshalb sind bei baubiologischen Untersuchungen alle drei mikrobiologischen Standardpunkte gleichermaßen zu erfüllen. Auf spezielle Indikatorkeime für Feuchtigkeit und das Vorhandensein hochtoxischer Keime achten.

Begehung und Befragung

Anamnese von Gebäude und Nutzer, visuelle Inspektion, allgemeine und olfaktorische Eindrücke (Gerüche).

Eventuell unter Zuhilfenahme von Endoskop, Lupe, Stabmikroskop, Geruchsdetektor, Warngerät, Fotodokumentation...

Durch die Inspektion der in Frage stehenden Innenräume inklusive Befragungen der Bewohner hinsichtlich der Hausgeschichte, aktueller oder ehemaliger Bau-, Feuchte- oder Hygieneschäden, Problemkonstruktionen, Geruchsauffälligkeiten, dem Nutzerverhalten oder Krankheitssymptomen sind Verdachtsmomente betreffend mikrobieller Probleme zu gewinnen oder zu verifizieren.

Eine gründliche visuelle Inspektion umfasst dabei bei Bedarf auch versteckte Bereiche und Oberflächen, z.B. hinter Schränken, auch Hohlräume von Zwischenwänden, Dachkonstruktionen, Wandverkleidungen, Fußbodenaufbauten, Kaminen, Schächten....

Kultivierungsmethoden

Anzüchten von Mikroorganismen mit nachfolgender Zählung und Identifizierung.

Auf Nährböden (Agars, Petrischalen, Rodacplatten, Contact Slides, Keimindikatoren...).

Für Innenraumanalysen geeignete Nährböden sind für Schimmel- und Hefepilze in erster Linie YM-Baubiologie-Agar und DG18-Agar, je nach Anwendung auch z.B. Bengalrot-, Sabouraud- oder Malzextrakt-Agar; für Bakterien CASO- (TSA) oder Plate-Count-Agar.

Bei Luftproben (idealerweise auch bei Oberflächenproben) sind pro Probenahmestelle für Pilze mindestens zwei verschiedene Nährböden mit unterschiedlichen Nährstoff- und Wasserangeboten und für Bakterien ein weiterer Nährboden einzusetzen.

Die Kultivierung erfolgt in der Regel bei 20-25 °C (Raumtemperatur), für den Nachweis thermotoleranter Arten (z.B. Aspergillen, Candida) auch bei 37 °C (Körpertemperatur), bei thermophilen Arten (Actinomyceten, Legionellen...) bei noch höheren Temperaturen.

Die Angaben der Keimzahlen erfolgen in kolonienbildende Einheiten (KBE).

Beim Umgang mit Nährmedien und den entsprechenden Probenahmegegeräten ist auf möglichst steriles bzw. sauberes Arbeiten zu achten. So sollten Nährboden und Geräte auf frischen Aluminiumfolien abgestellt, nur mit sauberen Händen bzw. Handschutz gearbeitet und die Geräte regelmäßig (zumindest vor jedem neuen Messauftrag) mit Alkohol oder Hitze desinfiziert werden.

Mikroskopische Analysen

Proben (Luft, Oberflächen, Materialien, Staub...) werden direkt einer lichtmikroskopischen Auswertung zugeführt.

Mit Lichtmikroskopen, Objektträgern, Mikroskopierlösungen...

Dabei werden in der Regel übliche mikrobiologische Anfärbverfahren für Pilze (z.B. mit Baumwollblau bzw. Lactophenolblau) eingesetzt. Vergrößerungen bis 600fach sind meist ausreichend.

Luftuntersuchungen

Sammlung von Pilzen, Pilzsporen und Bakterien aus der Raumluft mit kultureller und/oder mikroskopischer Auswertung.

Mit Luftkeimsammler, Air-Sampler, Impaktor, Partikel- bzw. Schlitzsammler und Klebefilm-Objektträger, Gelatinefilter...

Es sind immer Vergleiche der Luft von Innenräumen mit der Außenluft sowie mit der von unauffälligen Referenzräumen durchzuführen (sowohl bei Probenahmen zur Kultivierung als auch zur direkten Mikroskopie).

In der Regel sollte vor den Luftproben mindestens 6-8 Stunden nicht gelüftet werden. Im Einzelfall ist zu erfragen bzw. anzugeben, wie die Verhältnisse im Detail waren, und dies bei der Interpretation der Ergebnisse mit in Betracht zu ziehen.

Ebenfalls beachtet und angegeben werden sollte, welche Aktivitäten vorher im Raum stattfanden: z.B. alltagstypisches Nutzerverhalten (eventuell vor Probenahme durch Gehen im Raum, Öffnen von Schränken, Bewegen von Gardinen... simulieren), oder ruhige Verhältnisse (längere Zeit keine Personen im Raum), oder (je nach Fragestellung auch absichtlich herbeigeführte) intensive Bewegungen und Aufwirbelungen (so genannte aggressive Probenahme, speziell zur Sanierungskontrolle sinnvoll).

Im Falle von Lüftungs- und Klimaanlagegeräten ist je eine Luftprobe vor und einige Minuten nach dem Einschalten sinnvoll.

Als Probenahmeort im Raum ist eine möglichst repräsentative Stelle, in der Regel mittig in rund 1-1,5 Meter Höhe auszuwählen. Alternativ kann auch mit dem Sammler am ausgestreckten Arm durch den Raum gegangen werden, um eine gute Stichprobe des gesamten Raumes zu generieren. Bei bestimmten Fragestellungen kann direkt vor verdächtigen Stellen beprobt oder Luft aus Hohlräumen bzw. angefertigten Bohrlöchern gesaugt werden (bei Hohlraum-Beprobungen ist darauf achten, möglichst keinen Sedimentationsstaub aufzuwirbeln und auf die Sammelmedien aufzubringen).

Luftkeimsammlung

Mit Luftkeimsammler, Impaktor, Gelatinefilter...

Bevorzugt beprobt werden sollte per aktiver Impaktionsmethode mit Luftkeimsammlern, die für Pilze und Bakterien geeignete Abscheidegrade (Cut-

Off-Wert) von 1 µm bzw. weniger aufweisen. Es ist eine der Situation angemessene Luftmenge einzusaugen: In der Regel 50-100 Liter pro Standard-Petrischale, im Sommer (wegen tendenziell höherer Luftkeimzahlen) eher 50 l, im Winter eher 100 l, in vermutlich belasteten Situationen oder Hohlräumen weniger, in extrem sauberen oder unverdächtigen Räumen mehr. Die Nährböden sollten bei der Probenahme Zimmertemperatur haben.

Bei Einsatz des passiv sammelnden Sedimentationsverfahrens (OPD, Open Petri Dish) sind sicherheitshalber mehrere parallele Probenahmen an verschiedenen Stellen eines Raumes ratsam (z.B. Fußboden in Raummitte, Schreibtisch, Bücherregal...). Der Nährboden in der Petrischale sollte für 30-60 Minuten offen in Kontakt mit der Raumluft sein (je weniger Keime zu erwarten sind, desto länger).

Die Angaben der Pilz- und Bakterienzahlen erfolgen bei aktiven Probenahmen in kolonienbildende Einheiten pro Kubikmeter Luft (KBE/m³), bei passiven in kolonienbildende Einheiten pro Nährboden (KBE/Agar). Grobe Faustregel: 1 Stunde Sedimentation multipliziert mit 20-50 entspricht oft in etwa der mit Impaktoren ermittelten Keimzahl pro m³ Luft.

Luftpartikelsammlung

Mit Partikel- bzw. Schlitzsammlern und Klebefilm-Objektträgern.

Bei Partikelsammlungen zur Erfassung von Gesamtkeimzahlen (also sowohl kultivierbarer als auch abgestorbener bzw. nicht kultivierbarer Keime) sind Schlitzsammler mit für die Abscheidung von Pilzsporen geeigneten Pumpsystemen, Dimensionierungen und Klebefilm-Objektträgern einzusetzen. Es erfolgen direkte lichtmikroskopische Auswertungen der eingesammelten Partikel und Pilzstrukturen. In der Regel beträgt das Probenahmenvolumen etwa 100-200 Liter Luft (je weniger Keime zu erwarten sind, desto mehr).

Die Angaben der Pilzzahlen erfolgen in Sporen pro Kubikmeter Luft, zudem sind weitere Aussagen bzw. Beschreibungen (Nebenbefunde) möglich (z.B. über sonstige Pilzbestandteile wie Hyphen bzw. Myzelien, außerdem über Hautschuppen, Haare, Milben, Staub, Partikel, Mineralfasern...).

Oberflächenuntersuchungen

Zur Kultivierung auf Nährböden oder zur direkten mikroskopischen Analyse.

Mit Abklatschnährböden, Petrischalen, sterilen Tupfern, Klebefilmen.

Abklatschproben auf Nährböden werden z.B. mit so genannten Rodac-Platten, Contact Slides oder "Paddeln" angefertigt: Die Agar-Oberfläche ist mehrere Sekunden auf die zu überprüfenden Oberflächen zu drücken. Sinnvoll sind solche Proben z.B. zur Einschätzung von Sekundärkontaminationen bei Pilzschäden, für den Eindruck nicht offensichtlich befallener Oberflächen, zur Überprüfung der Wirksamkeit von Feinreinigungen nach Pilzsäuerungen oder zur Kontrolle des allgemeinen Hygienestatus.

Eine definierte Oberfläche (z.B. 1 dm²) kann für vergleichende Eindrücke auch mit einem steril angefeuchteten Tupfer abgerollt, 'abgescannt' werden und die darauf anhaftenden Pilzsporen auf einen Nährboden (z.B. Petrischale) durch mehrfaches Abrollen übertragen werden.

Abstrichproben mit sterilen Wattetupfern eignen sich speziell zur Beprobung von Ritzen und Fugen oder Bohrlöchern in Wänden, Fußböden oder Hohlräumen. Die vor den Probenahmen leicht anzufeuchtenden Tupfer sind danach auf Nährböden auszurollen. Solche Tupferprobenahmen eignen sich darüber hinaus gut als Rückstellproben, die erst nach Wochen oder Monaten bei Bedarf in Kontakt mit Nährböden gebracht werden können.

Sterile Tupfer kommen neben Abklatschproben speziell bei Hefepilz-Probenahmen zum Einsatz, z.B. für Kühlschränke, Spülmaschinen, Waschmaschinen, Toilettenspülkästen, Abflüsse, Duschköpfe, Mundduschen, Inhaliergeräte, Babyflaschen, Getreidemöhlen, Lebensmittel- und -vorräte...

Die Angaben der Pilz- und Bakterienzahlen bei Abklatsch- oder Abstrichproben erfolgen in kolonienbildende Einheiten pro Quadratdezimeter oder Quadratzentimeter Fläche (KBE/dm² oder KBE/cm²). Bei Tupferproben sollten eher nur semi-quantitative Mengenangaben bzw. Eindrücke oder qualitative Artbestimmungen vorgenommen werden, z.B. vergleichende Mengenangabe pro Nährboden (KBE/Agar).

Für die direkte mikroskopische Auswertung werden so genannte Klebefilm-Kontaktproben angefertigt: Hierbei werden durchsichtige Klebestreifen (z.B. kristallklarer Tesafilm) auf die verdächtigen oder befallenen Flächen aufgedrückt, dann auf Objektträger oder Folie aufgebracht und mikroskopiert, bei Bedarf mit entsprechenden Färbeverfahren. Solche Proben ermöglichen schnelle Aussagen, unter Umständen bis hin zu Artenidentifizierungen, sowie Unterscheidungen, ob es sich nur um Sporen-Ablagerungen handelt oder aber um Pilzhypen oder Sporulationsorgane, also um nur sekundär oder aber primär pilzbefallene Oberflächen.

Es ist bei beprobten Ablagerungsflächen (z.B. Böden, Tische, Möbel...) anzugeben, wie lange sie zuvor nicht gereinigt worden sind: Für die Anwendung der baubiologischen Richtwerte sollten die Oberflächen in der Regel alltagsgemäß regelmäßig gereinigt worden sein, in den letzten wenigen Tagen vor der Probenahme dann möglichst nicht. Die Richtwerte gelten keinesfalls für stark verstaubte bzw. länger nicht gereinigte Flächen.

Probenahmen von schon per Auge direkt verschimmelten Oberflächen machen zahlenmäßiger Angaben wenig Sinn, sondern sind eher zur Artidentifizierung brauchbar und wichtig.

Materialuntersuchungen

Zur Kultivierung auf Nährböden oder zur direkten mikroskopischen Analyse.

Mit Nährböden, Verdünnungslösungen, Klebefilmen, Tupfern.

Pilzbefallene bzw. -verdächtige Materialien (Tapeten, Putze, Dämmstoffe, Holz, Teppiche, Akten, Einrichtungen...) werden vor Ort behutsam und ohne Pilze und deren Sporen aufzuwirbeln entnommen (dabei sauberes Werkzeug einsetzen und möglichst Handschuhe anziehen, um Kontaminationen der Proben und Risiken für den Probenehmer zu vermeiden), in Aluminiumfolie verpackt oder Plastikhüllen eingeschweißt und ins Labor zur Aufarbeitung (Zerkleinerung, Anlage von Verdünnungsreihen) und kulturtechnischen oder mikroskopischen Auswertung überstellt.

Vorsorgliche Materialüberprüfungen von z.B. Baustoffen (Dämmstoffe, Lehmputz...) oder Anstrichen (Wandfarben...) sind sinnvoll, um ein Keimrisiko vor Verarbeitung zu vermeiden. Speziell Wandfarben können - wenn auch selten - mit Bakterien kontaminiert sein und dürfen nicht verstrichen werden.

Die Angaben der Pilz- und Bakterienzahlen erfolgen bei Kultivierung auf Nährböden in kolonienbildende Einheiten pro Gramm (KBE/g), bei mikroskopischen Analysen meist als halbquantitative Angabe bzw. Beschreibung der Mengen an Sporen, Hyphen, Sporulationsorganen...

Staubuntersuchungen

Zur Kultivierung auf Nährböden oder zur direkten mikroskopischen Analyse.

Mit Nährböden, Verdünnungslösungen, Klebefilmen.

Staub wird durch Absaugen definierter Oberflächen (Böden, Teppiche, Polster, Möbel..., entsprechend nach Fragestellung auswählen und angeben) gewonnen, z.B. per Staubsauger mit entsprechendem Probenahmenvorsatz (ALK-Sampler) und Zellulosefiltern oder direkt aus dem Staubbeutel des Saugers (Feinstaubfraktion, gegebenenfalls nach Siebung). Art und Größe der abgesaugten Fläche sind zu dokumentieren.

Staub-Konzentrationen können Hinweise auf Sekundärkontaminationen von Pilzschäden bzw. auf diese selbst liefern. Auch hier auf Nebenbefunde achten: Hautschuppen, Haare, Partikel, Milben, Allergene, Mineralfasern...

Zur Gewinnung von Oberflächenstaub mit Klebefilmen siehe oben unter 'Oberflächenuntersuchungen'.

Die Angaben der Pilz- und Bakterienzahlen erfolgen pro Gramm Staub (g) oder pro Quadratmeter abgesaugter Fläche (/m²).

MVOC-Analysen (Microbial Volatile Organic Compounds)

Zum Nachweis von Pilz- (und Bakterien-) spezifischen Ausgasungen.

Mit Probenahmepumpen und Sammelmedien sowie Fachlaboranalysen.

Durch Raumluftprobenahmen auf Aktivkohle- oder Tenax-Röhrchen mit nachfolgender gaschromatografischer und massenspektrometrischer Laboranalyse werden die Konzentrationen flüchtiger chemisch-biologischer Ausgasungen von Mikroorganismen bestimmt. Dabei sind möglichst Pilz-spezifische Substanzen wie Dimethylsulfid, Dimethyldisulfid, Dimethylsulfoxid, Geosmin, 2-Methylfuran, 3-Methylfuran, 1-Octen-3-ol, 2-Pentanol, 1-Decanol, 2-Heptanon, 2-Methyl-isoborneol, 3-Octanol, 3-Octanon heranzuziehen.

MVOC-Analysen sollten in enger Absprache mit dem auswertenden Labor vorgenommen werden, da aufgrund des Arbeitens im hochempfindlichen Bereich bzw. nah an der Nachweisgrenze leicht Fehler wegen falscher Randbedingungen, Probenahmemethoden, Probenhandhabung oder Laborbearbeitung auftreten können. Speziell MVOC-Analysen sollten nicht isoliert, sondern nur im Zusammenhang mit weiteren Methoden durchgeführt werden. Die Konzentrationsangaben der MVOC erfolgen in Nanogramm pro Kubikmeter Luft (ng/m^3).

Mykotoxin-Analysen

Zum Nachweis von Pilz-spezifischen Giften.

Anhand von Material- und Staubproben mit Fachlaboranalysen.

Pilzgifte können als schwerflüchtige Substanzen entweder in Materialien oder im Hausstaub nachgewiesen werden. Standardmäßig gibt es bislang nur für einige wenige Mykotoxine Untersuchungsmöglichkeiten (z.B. Ochratoxin A, Trichothecene), obwohl mehrere hundert solcher giftigen Pilzstoffwechselprodukte bekannt sind. Außerdem gibt es noch wenig Referenzwerte.

Die Angaben der Toxine erfolgen in Mikroogramm bzw. Nanogramm pro Gramm Staub oder Material ($\mu\text{g}/\text{g}$ bzw. ng/g).

Feuchte- und Temperaturmessungen

Zum Nachweis raumklimatischer und bauphysikalischer Ursachen von mikrobiellen Schäden oder zur Risikoabschätzung.

Mit geeigneten Thermometern, Hygrometern, Baufeuchtemessgeräten, Klima-Datenloggern, modularen Systemen...

Diesbezügliche Messungen sind mit ausreichend genauen und geeichten Thermometern, Hygrometern und Baufeuchtemessgeräten vorzunehmen. Bewertungen der Luftfeuchte und von Oberflächentemperaturen sollten - wenn nötig - auf Langzeitmessungen mit Klima-Datenloggern beruhen. Entsprechende Messungen sind in der Fragestellung angemessenen Jahreszeit bzw. Witterung durchzuführen: Bei der Untersuchung von Kondensationsproblemen an kühlen Außenwandbereichen in oberirdischen Räumen sollten entsprechend kühle Außentemperaturen herrschen, je kühler desto besser; Untersuchungen von Kondensationsproblemen in Keller- bzw. Souterrainräumen sind in der Regel nur im Sommer und Herbst sinnvoll.

Bei Messungen der Luftfeuchte und von Oberflächentemperaturen ist das Nutzerverhalten mit zu beachten bzw. zu protokollieren.

Bei der Raumluftfeuchte sind sowohl die relative als auch die absolute Feuchte zu ermitteln. Bei Kurzzeitmessungen ist auf die ausreichende Akklimatisierung der Sensoren zu achten, speziell beim Überführen der Messgeräte von draußen nach drinnen. Die Geräte sind weit genug vom Körper bzw. dem Mund entfernt zu halten, um Beeinflussungen zu vermeiden.

Oberflächentemperaturen können mit Kontaktthermometern oder -berührungsfrei und bequemer - mit Infrarot-Laserthermometern gemessen werden. Speziell bei letzterem sollten möglichst Vergleiche am selben Material vorgenommen werden, bei Oberflächen mit stark unterschiedlichem Reflektivverhalten sind die entsprechenden Emissionsgrade zu beachten bzw. einzustellen.

Baufeuchtemessungen sind zunächst orientierend zerstörungsfrei per Hochfrequenzverfahren vorzunehmen, dann an verdächtigen Stellen weiter per Oberflächen- und/oder Einstechelektroden über die elektrische Leitfähigkeit an der Oberfläche und in verschiedenen Tiefen. Bei den Leitfähigkeitsmessungen ergeben sich zumeist Werte in Holzfeuchteäquivalenten oder geräte-spezifischen Digits. Bei Leitfähigkeitsmessungen zu beachten sind Fehlermöglichkeiten durch versalzete Baustoffe oder Metalle bzw. andere elektrisch leitfähige Schichten, Baustoffe und Anstriche. Hilfreich kann die Messung der Luftfeuchte im Material an frisch angefertigten Bohrlöchern sein, in die der Feuchtesensor eingeführt und zur Raumluft hin abdichtet wird.

Untersuchungen des Leitungs- und Trinkwassers oder von Lebensmitteln

Zur Kultivierung und Zählung auf Nährböden.

Mit Petrischalen, Eintauchnährböden, Dip Slides, Contact Slides, Keimindikatoren, "Paddeln"...

Bei Wasserproben (Trinkwasser, Leitungswasser, Wasserfilter, -verwirbler, -sprudler, -vorsätze, -vorräte..., Zier- und Springbrunnen...) geht es vornehmlich um Bakterien, ab und zu um Schimmel- und Hefepilze. Für den ersten vergleichenden Eindruck reicht das Einbringen von Eintauchnährböden bzw. "Paddeln" in die Flüssigkeit und die folgende Bebrütung (eventuell bei zwei Temperaturen: Raumtemperatur 20-25 °C und Körpertemperatur 37 °C), Zählung und - wenn sinnvoll bzw. gewünscht - Identifizierung der Keimart(en) im mikrobiologischen Fachlabor.

Bei Verdacht auf mikrobiologische Kontamination der Wasserinstallation des Hauses durch z.B. Biofilme sind zur Eingrenzung des Problems mehrere Proben an verschiedenen Zapfstellen und zu verschiedenen Zeiten sinnvoll und als Referenz mit dem gelieferten öffentlichen Wasser zu vergleichen.

Für genauere Wasseranalysen sind bei der Probenahme und Laborauswertung die Vorgaben der Trinkwasserverordnung zu beachten (abgeflämte Wasserhähne, Plattengussverfahren...).

Bei Lebensmitteln geht es vor allem um Hefepilze (Gemüse, Obst, Milchprodukte, Wurst, Käse, Aufschnitt, Eingelegtes..., speziell roh und aus offenen Theken, auch Saftpresen, Küchenmaschinen, Keimgeräte, Yoghurtbereiter, Abfälle, Kompost...), manchmal auch um Schimmelpilze (Tees, Nüsse, Getreide, Getreidemöhlen...). Lebensmittel können für orientierende Zwecke direkt für einige Sekunden mit geeigneten Nährböden (Petrischalen, Rodacplatten, "Paddel") in Kontakt gebracht oder mit Tupfern beprobt und dann bebrütet und ausgewertet werden.

Die Angaben der Keimzahlen erfolgen pro Milliliter Wasser ($/\text{ml}$), pro Fläche der Festprobe (z.B. $/\text{cm}^2$) oder als Eindruck pro Nährboden ($/\text{Agar}$).

4 HAUSSTAUBMILBEN und andere Allergene

Messung bzw. Bestimmung der **Milbenzahl** und **-exkremete, Pollen, Gräser, Tierhaare** ($/\text{m}^3$, $/\text{g}$, $\%$)

Bitte ergänzend beachten: Interview "Fragen zum Standard der baubiologischen Messtechnik und den baubiologischen Richtwerten für Schlafbereiche" sowie Vorträge "Standard der baubiologischen Messtechnik" und "25 Jahre baubiologische Messtechnik - Was gibt's Neues beim Standard und den Richtwerten?" von Wolfgang Maes (www.baubiologie.de, www.maes.de).

Die baubiologischen Randbedingungen und Erläuterungen wurden von der Baubiologie Maes bearbeitet, die Standardsäule A (Felder, Wellen, Strahlung) von Wolfgang Maes mit Unterstützung von Dr. Dipl.Biol. Manfred Mierau, Dr. Dipl.Chem. Thomas Haumann, Dipl.Ing. Helmut Merkel und Dipl.Ing Norbert Honisch, der Standardpunkt A6 (Radioaktivität) von Dr. Dipl.Chem. Thomas Haumann, der Punkt A8 (Schallwellen) von Dipl.Ing. Jürgen Muck und die Säule C (Pilze, Bakterien) von Dr. Dipl.Biol. Manfred Mierau mit Unterstützung von Dipl.Med. Frank Mehlis. Sie wurden auf dem baubiologischen Messtechniker-Workshop am 16. April 2010 in Fulda-Loheland vorgestellt. Die Randbedingungen und Erläuterungen der noch offenen Standardpunkte folgen. Anregungen für Ergänzungen und Aktualisierungen von Kolleg(inn)en aus der baubiologischen Praxis sind willkommen.