Interreg

EUROPÄISCHE UNION

Österreich-Tschechische Republik

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

BAUWESEN

Gebäude und Umwelt

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES UPPER AUSTRIA

VŠTE

EUROPÄISCHE UNION

Inhalt

1. Gebäude und Umwelt ... 3
1.1. Innenraumklima / Wohnraumklima ... 3
1.2. Sick Building Syndrome ... 3
1.3. Faktoren des Innenraumklimas ... 4
1.4. Mikroklima ... 4
2. Temperatur und Feuchtigkeit im Innenraum ... 7
2.1. Thermisch-feuchtes Mikroklima ... 7
2.1.1. Thermische Behaglichkeit ... 8
2.2. Regulierung der thermischen Behaglichkeit ... 8
2.2.1. Feuchte- und Hitzebehaglichkeit ... 9
3. Akustisches Mikroklima - Baulärm ... 11
3.1. Akustisches Mikroklima ... 11
3.1.1. Biologische Auswirkungen von Lärm ... 12
3.1.2. Optimierung des akustischen Mikroklimas ... 13
4. Ionisierungsmikroklima ... 14
4.1. Ionisierungsmikroklima ... 14
4.1.1. Quellen Ionisierender Strahlen ... 15
4.1.2. Optimierung ionisierender Strahlung ... 15
5. Radon im Gebäudeinneren ... 17
5.1. Radon im Gebäudeinneren ... 17
5.2. Herkunft von Radon ... 18
5.3. Radonmessung ... 20
5.4. Maßnahmen zum Schutz vor Radon ... 21
6. Toxisches Mikroklima ... 22
6.1. Toxisches Mikroklima ... 22
6.1.1. Optimierung des toxischen Mikroklimas ... 25
7. Aerosole im Gebäudeinneren ... 26
7.1. Aerosol-Mikroklima ... 26
7.1.1. Verbreitung von Aerosolen ... 27
7.1.2. Biologische Effekte des Aerosol-Mikroklimas ... 28
7.1.3. Kriterien eines Aerosol-Mikroklimas ... 28
7.1.4. Optimierung des Aerosol-Mikroklimas ... 28

8. Gerüche im Gebäudeinneren 30
8.1. Geruchsmikroklima 30
8.1.1. Biologische Effekte von Gerüchen 31
8.1.2. Optimierung des Mikroklimas 31
9. Mikroorganismen im Innenraum-Mikroklima 33
9.1. Mikrobielles Mikroklima 33
9.1.1. Qualität des mikrobiellen Mikroklimas 35
9.1.2. Optimierung des mikrobiellen Mikroklimas 35
10. Elektrostatische und elektromagnetische Energie in Gebäuden 37
10.1. Elektrostatisches Mikroklima 37
10.1.1. Entstehung statischer Energie 37
10.1.2. Optimierung des elektrostatischen Mikroklimas 38
10.2. Elektromagnetisches Mikroklima 39
10.2.1. Ausgangspunkte elektromagnetischer Strahlung 40
10.2.2. Faktoren des elektromagnetischen Mikroklimas 40
10.2.3. Optimierung des elektromagnetischen Mikroklimas 41
10.2.4. Schutz vor Elektrosmog 41
11. Elektro-ionisches Mikroklima 42
11.1. Elektro-ionisches Mikroklima 42
11.1.1. Quellen von Ionisationsenergie 42
11.1.2. Auswirkungen von Ionen auf den menschlichen Organismus 43
11.1.3. Optimierung des elektro-ionischen Mikroklimas 44
12. Psychisches und Licht-Mikroklima 45
12.1. Farben im inneren von Gebäuden 45
12.1.1. Innenbeleuchtung 45
12.1.2. Farbe des Raums 46
12.1.3. Effekte von psychischem und lichtbedingtem Stress 47
12.1.4. Optimierung des psychologischen und Licht-Mikroklimas 47
13. Literatur 48

1. GEBÄUDE UND UMWELT

Schlagworte: Innenraumklima, Sick Building Syndrome (SBS), Mikroklima, Agent, Schadstoff, Ursachen von Verschmutzung

1.1. Innenraumklima / Wohnraumklima

Das Innenraumklima ist eine Umgebung ohne direkte Verbindung zur Außenumgebung. Das Innenraumklima von Gebäuden kann unterteilt werden in:

- Wohnumfeld
- Arbeitsumfeld
- Städtische Einrichtungen
    - Bildungseinrichtungen, Universitäten, Schulen in der Natur, Gebäude für Freizeitveranstaltungen, Gebäude von Gesundheitseinrichtungen, soziale Einrichtungen, Unterbringungseinrichtungen, Wirtschafts- und öffentliche Versammlungsgebäude.
- sonstige Räumlichkeiten (Fahrzeuge und andere Bauten, ...)

Aufgrund einer indirekten Verbindung des Innenraumklimas mit dem Außenklima und aufgrund der Existenz von diversen Verschmutzungsursachen (zB Konstruktionsfehler, Eigenschaften von Baumaterialien, menschliche Aktivitäten, Inneninstallationen und Qualität der Raumluft) lässt sich oft beobachten, dass die Innenraumluft ein anderes und spezifisches Mikroklima hat.

1.2. Sick Building Syndrome

Im Jahr 1983 fasst die Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine Reihe von gesundheitlichen Problemen unter dem Begriff des Sick Building Syndrome (SBS) zusammen. Beinahe ein Drittel aller WohnungsinhaberInnen litten in den 1980er-Jahren an SBS. Heute sind es schon fast 85%.

Das Sick Building Syndrome kann als seine Gruppe von mehr oder weniger gefährlichen Krankheiten und gesundheitlichen Probemen beschrieben werden, welche während eines längeren Aufenthalts in geschlossenen Räumen auftreten können. Häufig auftretende Symptome sind:

- die Entwicklung von Allergien
- Asthma, wiederholte Atemwegsentzündung

- Kopfschmerzen, Augenreizung
- erhöhter Blutdruck, Cholesterin
- Herz-Kreislauf-Krankheiten
- Depression, Neurosen, Verschlechterung des Immunsystems ...

Das Sick Building Syndrome in der Stadt

Die Luft in der Stadt ist voller Smog. Das Innenraumklima ist hermetisch abgeriegelt und mit einer Vielzahl an Chemikalien angereichert, welche sich in Möbeln, Plastik, PVC, Rauch und statischer Elektrizität befinden. Synthetische Decken und Teppiche sind buchstäblich ein chemischer Cocktail. Die Staubkonzentration in geschlossenen Räumen ist bis zu zehnmal höher als in der Luft im Freien. Es liegt daher auf der Hand, dass diese Luft nicht gut für die Gesundheit und das Wohlbefinden des menschlichen Körpers ist.

Die Forschung der NASA (Rohles 1971, Jokl 1989) hat schon lange gezeigt, dass der optimale Lebensstandard, d.h. ohne SBS, zu einem optimalen Niveau der individuellen Komponenten der Lebensumgebung führt (die sogenannten Bestandteilen oder Komponenten des Mikroklimas der Lebensumgebung): thermische Luftfeuchtigkeit, Gerüche, Giftstoffe, Aerosole, Mikroben, Elektronendichte, Elektrostatik, Elektromagnetismus, Elektroionen, akustische und psychische Komponenten.

1.3. Faktoren des Innenraumklimas

Zu den Faktoren, welche die Qualität der Lebensumstände im Gebäudeinneren oder des internen Mikroklimas beeinflussen, gehören:

- Physische Faktoren - Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftzirkulation, Beleuchtung, Strahlung, elektromagnetische Felder und Lärm.
- Chemische Faktoren – anorganische Substanzen, organische Substanzen und Fasermaterialien
- Biologische Faktoren – Bakterien, Viren, Milben, Schimmel, Pollen, Pflanzenteile, Haarstaub und Ausscheidungen von Haustieren.

1.4. Mikroklima

Ein Mikroklima ist das Klima einer sehr kleinen oder eingegrenzten Fläche, besonders wenn sich dieses vom Klima der sie umgebenden Fläche unterscheidet. Das Mikroklima hängt von den Bedingungen ab, welche auf besagter Fläche bzw. in ihrer unmittelbaren Umgebung vorherrschen. Die Bestandteile der Innenluftumgebung von Gebäuden, welche absichtlich für den Aufenthalt von Menschen in geschlossenen Räumen entwickelt wurden, können allgemein als internes (Innenraum-) Mikroklima bezeichnet werden.

Menschen verbringen bis zu 90% ihres Lebens im Inneren von Gebäuden. Das Mikroklima ist daher das maßgebliche Kriterium für die Bauqualität. Das Mikroklima wirkt sich auf die menschliche Gesundheit und Psyche aus. Das Material zur Verkleidung von Gebäuden, Substanzen, die aus dem Freien ins Innere von Gebäuden eindringen, die Innenausstattung und menschliche Aktivitäten bilden gemeinsam das Mikroklima.

Mikroklimatische Parameter werden beeinflusst durch:

- Bedingungen des Außenklimas und die Luftqualität
- Art der Belüftung und Heizung
- Wärmebelastung durch Technologie, Menge und Aktivität von Menschen, Maschinen, Geräten und Lichtquellen
- Thermotechnische Eigenschaften des Gebäudes

Agenten sind Substanzen massebezogener oder energetischer Natur, welche auf einen Gegenstand einwirken:

- Massebezogene Agenten: toxische gasförmige Substanzen, feste Aerosole, giftige Gase, Mikroben, toxische Flüssigkeiten, flüssige Aerosole, Gerüche, Luftströmung, Wasserdampf.
- Energetische Agenten: Hitzen, Licht, UV-Strahlung, Laserstrahlung, elektrische Strahlung, Ionen in der Luft, statische Elektrizität, Geräusche, Vibration.

Das Innenraumklima besteht aus einer Vielzahl verschiedener Komponenten:

- Thermisch-feuchtes Mikroklima
- Gestanksmikroklima
- Mikrobielles Mikroklima
- Lichtmikroklima
- Akustisches Mikroklima
- Ionisierungsmikroklima
- Aerosolmikroklima
- Toxische Mikroklima
- Elektrostatisches Mikroklima
- Elektromagnetisches Mikroklima
- Elektroionisches Mikroklima
- Psychisches Mikroklima

Schadstoffe sind gasförmige, flüssige oder feste Chemikalien, die bei bestimmten Konzentrationen und Wirkungsdauern schädliche Auswirkungen auf lebende Organismen hat.

Ursachen von Verschmutzungen und Schadstoffen im Innenklima

- Außenluft: Kohlen-, Stick- und Schwefeloxide, Ozon, Feststoffpartikel, flüchtige organische Verbindungen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Allergene (Pollen)
- Außenumgebung: Bodenluft, Wasser
- Gebäude (Gebäudematerial und Ausstattung): Formaldehyd, Benzen, Asbest, Toluen, Feststoffe, flüchtige organische Verbindungen
- Elektrische Geräte: Flüchtige organische Substanzen
- Garagen: Kohlenstoffoxide, Stickoxide, Feststoffpartikel, flüchtige organische Substanzen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- Heizung, heißes Wasser, kochen: Kohlen- und Stickoxide, Feststoffpartikel, flüchtige organische Verbindungen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- Aktivitäten im Gebäude: flüchtige organische Substanzen, Feststoffpartikel
- Menschen: Zigarettenrauch, Feststoffpartikel, flüchtige organische Verbindungen, Gerüche (Biomüll), (Mikro) biologische Kontamination, Allergene
- Wasser: (Mikro) biologische Kontamination, Allergene

2. TEMPERATUR UND FEUCHTIGKEIT IM INNENRAUM

Schlagwörter: Feucht-warmes Mikroklima, Temperatur, Feuchtigkeit, thermischer Komfort, Luftstromrate, Taupunkt, wärmeregulierende Mechanismen

2.1. Thermisch-feuchtes Mikroklima

Das thermisch-feuchtes Mikroklima ist ein Bestandteil des Innenraumklimas, welches durch Wärme- und Feuchtigkeitsströmungen gebildet wird. Aus komfort- und gesundheitsbezogener Warte gehört das thermisch-feuchte Mikroklima zu den wichtigsten Komponenten des Innenraumklimas. Das hygrothermale Mikroklima ist ein wesentlicher Teil der Innenluftqualität (IAQ), welche ständig von Hitze- und Feuchtigkeitsströmungen beeinflusst wird. Gekennzeichnet ist das hygrothermale Mikroklima durch drei grundlegende Faktoren: die Zimmerlufttemperatur [°C], die relative Raumfeuchte [%] und die Luftgeschwindigkeit [m/s]. Die Veränderung einer dieser Variablen führt unweigerlich zu einer Veränderung der anderen beiden. Die Temperatur und Feuchte in einem Gebäude spielen sehr stark zusammen.

Wesentliche Werte, um die Qualität des feucht-warmen Mikroklimas in Gebäuden zu ermitteln, sind: die Raumtemperatur der Luft, die letzte Temperatur des Kugelthermometers, die Betriebstemperatur, die Luftstromrate, die relative Feuchte, die spezifische Luftfeuchte und die Taupunkttemperatur.

Die **Raumtemperatur der Luft** [°C], auch Trockentemperatur genannt, ist die den menschlichen Körper umgebende Temperatur, welche mithilfe eines beliebigen Temperatursensors gemessen wird, der nicht von der Strahlung der Umgebung beeinflusst wird.

Die letzte **Temperatur des Kugelthermometers** (°C) ist die Temperatur, die in der Nähe des menschlichen Körpers von einem Kugelthermometer gemessen wird, welche auch den Effekt der gleichzeitigen Einwirkung der Lufttemperatur, der Temperatur der umliegenden Flächen und die Luftgeschwindigkeit berücksichtigt.

Die **Betriebstemperatur** (°C) ist die einheitliche Temperatur eines geschlossenen Raumes, in welchem sich die Strahlung und Strömung so warm wie in der realen Umwelt verteilen würde. Sie wird mithilfe von Berechnungen ermittelt.

Die **durchschnittliche Strahlungstemperatur** (°C) ist die einheitliche Umgebungstemperatur, welche durch die Strahlung so warm wie in einer realen, heterogenen Umwelt verteilt wird. Sie wird mit Radiometern gemessen oder mithilfe der letzten Temperatur

des Kugelthermometers und der Lufttemperatur berechnet. Sie dient als einer der Eingabewerte für die Berechnung der Betriebstemperatur.

Die **Temperatur des Luftfeuchtemessers** (°C), auch psychrometrische Temperatur genannt, ist die Temperatur des fremdbelüfteten Luftfeuchtemessgerätsensors, welcher verwendet wird, um die relative Luftfeuchtigkeit mithilfe eines Psychrometers zu ermitteln.

Die **relative Feuchte** [%] repräsentiert den Grad der Luftsättigung mit Wasserdampf. Sie wird durch den Anteil der Wasserdampfdichte in der Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck definiert.

Der **Taupunkt** ist die Temperatur, auf welche die Luft heruntergekühlt werden muss, um Wasserdampf aufzunehmen. Wird dieser Punkt unterschritten, kondensiert das in der Luft befindliche Wasser in Form von flüssigem Wasser (Tau). Wenn sich die Luft durch Kontakt mit einer Oberfläche, die kälter als die Luft ist, auf ihren Taupunkt abkühlt, wird das Wasser auf dieser Oberfläche kondensieren.

Die **Luftströmungsgeschwindigkeit** [m/s] charakterisiert die Bewegung der Luft im Raum. Sie wird durch ihre Größe und ihre Strömungsrichtung festgelegt. Da die Geschwindigkeit der Luftströmung im Raum stark variiert, ist es notwendig, ihre Veränderung mit dem Mittelwert per Zeiteinheit auszudrücken.

2.1.1. Thermische Behaglichkeit

Thermische Behaglichkeit kann als der Zustand der Umwelt definiert werden, welcher Menschen dazu bringt, sich in dieser Umgebung wohlzufühlen. Es ist weder zu kalt noch zu warm. Thermische Behaglichkeit ist ein Zustand der Ausgeglichenheit zwischen der Person und des Innenraumklimas, welcher ohne überlastete Wärmeregulierungssysteme auskommt.

2.2. Regulierung der thermischen Behaglichkeit

Beide Strömungen können auf verschiedene Wege reguliert werden, zB durch ein Verändern der Aktivitäten oder der Kleidung. Wärmeregulierende Mechanismen heben Unterschiede zwischen der erzeugten und der abgeleiteten Hitze in der Umgebung des Körpers auf. Wärmeregulierende Prozesse hängen vom Alter, vom allgemeinen Gesundheitszustand, von der Ernährungs-weise sowie dem Bewegungsapparat ab und werden direkt durch die Wärme und Feuchtigkeit der Umwelt beeinflusst.

Thermische Behaglichkeit ist ein subjektives Gefühl. Je höher die Innentemperatur ist, desto geringer ist die Leistungsfähigkeit der BewohnerInnen eines Gebäudes. Die Leistung nimmt bei einer Zimmertemperatur von 27 °C um 25% ab, bei einer Zimmertemperatur von 30 °C geht man sogar nur von der Hälfte der tatsächlichen Leistungsfähigkeit aus.

Idealerweise sollte die Zimmertemperatur in einem Spektrum zwischen 19 und 24 °C gehalten werden, wobei der Unterschied zwischen Zimmertemperaturen nicht mehr als 2 °C bei einer Luftstromrate von ungefähr 0,2 m/s betragen sollte. Beim Stoßlüften im Winter ist es notwendig, kurz die größtmögliche Überschneidungsfläche der Räume zu belüften.

Im Sommer gilt es, die negativen Auswirkungen von hohen Temperaturen auf den menschlichen Organismus zu verringern. Die empfohlene Höchsttemperatur im Gebäudeinneren liegt in der Sommerzeit bei 26 bis 27 °C.

2.2.1. Feuchte- und Hitzebehaglichkeit

Die Luft in Wohnungen mit Zentralheizung muss im Winter befeuchtet werden. Während dieser Periode fällt aufgrund der Heizung die relative Luftfeuchtigkeit auf 20% oder darunter. Das hat ein starkes Austrocken der Schleimhäute im oberen Atmungstrakt zur Folge, welches deren Schutzfunktion verringert. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass schädliche Substanzen in den unteren Atmungstrakt eindringen.

Im Sommer kann eine hohe relative Luftfeuchtigkeit, welche mit hohen Temperaturen einhergeht, sich durch eine Einschränkung der Atmung und damit der Ableitung von Wärme negativ auf den Wärmehaushalt des Körpers auswirken. In einem Wohnhaus gibt es viele Auslöser von Feuchtigkeit.

Die optimale Feuchtigkeit von Innenräumen schwankt zwischen 30 und 50%. Eine Feuchte im Spektrum zwischen 30 und 70% wird immer noch als behaglichers Innenraumklima eingestuft. Die Höhe der Luftfeuchtigkeit im Rauminneren wird von der Betriebsamkeit des Haushalts und der Belüftungshäufigkeit beeinflusst. Die Luftfeuchtigkeit in geschlossenen Räumen sollte im Sommer nicht 70% übersteigen bzw. im Winter nicht unter 30% fallen.
Eine höhere Luftfeuchtigkeit kann zur Zersetzung von Materialien und Strukturen, zur Entstehung und zum Wachstum vieler Arten von Mikroorganismen sowie zu Schimmelbildung führen. Geringe Luftfeuchtigkeit hingegen schädigt die Schleimhäute (Austrockenen, Verlust des natürlichen Schutzes usw.).

Das optimales thermisch-feuchtes Mikroklima wird erreicht, wenn der Wärmehaushalt des menschlichen Körpers ausgeglichen ist, dieser nicht schwitzt, überschüssige Wärme vom Körper an die Umgebung abgegeben wird, die perfekte Hauttemperatur erreicht wird, die ideale Einheitlichkeit der Körperwärmebelastung in Raum und Zeit erreicht

wird und es eine optimale Wärmekonvektion, -verdampfung und -abgabe vom Körper an die Umgebung gibt.

3. AKUSTISCHES MIKROKLIMA - BAULÄRM

Schlagworte: akustisches Mikroklima, Akustiken, Geräusche, Lärm, Lärmquellen, biologische Auswirkungen von Lärm, Lärmschutz

3.1. Akustisches Mikroklima

Das **akustische Mikroklima** ist ein wesentlicher Bestandteil des Innenklimas, welcher durch eine große Anzahl von Geräuschquellen sowie einem breiten Spektrum an Frequenzen gekennzeichnet ist.

Die **Akustik** ist ein Bereich der Physik, welcher sich mit der Erforschung des Klangs beschäftigt – die Forschung der mechanischen Vibrationen und Wellen in veränderlichen Umwelten, deren Entstehung, Ausbreitung und Mechanik.

Der **Schall** bezeichnet im Wesentlichen mechanische Welle in einer textilen Umgebung, welche dazu in der Lage ist, einen hörbaren Sinneseindruck zu erzeugen.

Ein **hörbarer Schall** ist in der Lage, eine Klangempfindung zu erzeugen. Es handelt sich um ein Rauschen, dessen Frequenzspektrum in Terzbändern mit einer mittleren Frequenz von 20 Hz bis 20.000 Hz liegt.

Infraschall ist ein Schall, dessen Frequenzbereich im Terzband mit einer mittleren Frequenz von 1 Hz bis 20 Hz liegt.

Ultraschall ist ein Schall mit einer Frequenz, die so hoch liegt, dass sie vom Menschen nicht mehr gehört wird. Die durchschnittliche Frequenz liegt zwischen 25.000 Hz und 40.000 Hz.

Lärm ist jedes unerwünschte Geräusch das sich negative auf das Wohlbefinden einer Person auswirkt, ein unangenehmes, verstörendes Gefühl auslöst und/oder ihre Gesundheit gefährdet.

Im Schnitt ist die Bevölkerung zu 40% in der Arbeitsumgebung und zu 60% außerhalb der Arbeitsumgebung Lärmbelastung ausgesetzt.

Der Lärm dringt entweder von außen durch die Gebäudeverkleidung ins Innere ein oder wird direkt innerhalb des Gebäudes erzeugt. Ausgehend von seiner Quelle verbreitet sich der Lärm entweder nur über die Luft oder zuerst über Gebäudestrukturen und dann durch die Luft.

Was die Rückstrahlung anbelangt, unterscheidet man zwischen direkten Wellen und reflektierten Wellen.

Im Bezug auf die Zeitreihe unterscheidet man zwischen:

- Stabilisierter Lärm an einem bestimmten Ort, der sich im Laufe der Zeit nicht mehr als 5 Dezibel verändert
- Variabler Lärm ändert sich mit der Zeit um mehr als 5 Dezibel
- Intervalllärm ist Lärm, der plötzlich das Schalldruckniveau oder Geräuschniveau ändert, welches während des Lärmintervalls gleichbleibend ist
- Impulslärm wird durch einzelne Schallimpulse mit einer Dauer von bis zu 200 Millisekunden oder einer Sequenz von aufeinanderfolgenden Intervallen mit einer Länge von jeweils mehr als 10 ms erzeugt.

3.1.1. Biologische Auswirkungen von Lärm

Akustische Strömungen wirken durch Schalldruck auf ein Subjekt ein. Der Schalldruck hängt nicht von der Frequenz der akustischen Wellen ab, sondern von deren Amplitude, die durch die Magnitude der Quelle angegeben ist.

Ein akustischer Druck von 20.10-6 Pa kennzeichnet den schwächsten Schall, der von Menschen mit uneingeschränktem Hörvermögen wahrgenommen werden kann. Das menschliche Hörvermogen kann zudem einen Schalldruck aushalten, der mehr als eine Million Mal größer ist, was einer Schmerzgrenze von 200 Pa entspricht. In der Praxis würde das eine Spannbreite von zehn bis zehn Millionen Pa bedeuten, weshalb der Logarithmus dieser Werte, der sogenannte Schalldruckpegel, ausgewählt wurde. Diese Anpassung schränkt die Variationsbreite von 20 bis 200.000.000 mPa auf eine Variationsbreite von 0 bis 120 dB ein:

- L < 20 dB(A) – tiefe Stille, ungünstige Auswirkung auf die Psyche
- L 85 dB(A) – hat einen dauerhaften Gehörverlust zur Folge
- L = 130 dB (A) - Schmerzgrenze
- L 160 dB (A) – das menschliche Trommelfell platzt

Es gibt drei Arten anhaltender Auswirkungen von Lärm auf den menschlichen Organismus:

- Auswirkungen auf die Hörorgane: Die Schädlichkeit von Auswirkungen auf das Hörvermögen hängt vom Geräuschpegel und den Frequenzwellen ab. Je mehr Energie in höheren Frequenzen konzentriert ist, desto niedriger ist der Lärmpegel.

- Auswirkungen auf das vegetative Nervensystem: Die Reaktionen hängen von der subjektiven Wahrnehmung des Individuums ab.

- Auswirkungen auf die menschliche Psyche: Dies ist die komplexeste aller Auswirkungen. Neurowissenschaftler können die Labilität des Nervensystems verschlimmern, was sich in Reizbarkeit, Schlaflosigkeit, Kopfschmerzen und Gedächtnisschwäche äußert.

3.1.2. Optimierung des akustischen Mikroklimas

Lärmkarten zeigen die Belastung der Bevölkerung auf. Die Karten orientieren sich an der Landnutzung in der Raumplanung und an der strategischen Entwicklung. Die Optimierung des akustischen Mikroklimas kann auf zwei Arten erfolgen: die Beeinflussung der Lärmquelle oder die Beeinflussung des Übertragungsfelds.

Die effektivste Art, die akustische Annehmlichkeit zu verbessern, ist das Entfernen oder Ersetzen der Quelle. Auch organisationelle Maßnahmen zur Einschränkung der Hauptquellen oder deren Beförderung an Orte mit besserer Lärmisolierung (Hüllen oder Dämmungen) werden berücksichtigt.

Die Optimierung der akustischen Annehmlichkeit mittels eines Eingriffs in das Übertragungsfeld erfolgt zB durch die Installation von Barrieren, ein Erhöhen der Adsorbtion und eine Verringerung der Reflektivität von Wänden oder Decken oder sogenannter Lärmschutz. Der Lärmschutz ist ein Spiegelbild dieser Wellen, jedoch mit einer Phasenverschiebung von genau 180°. Treffen zwei Wellen aufeinander, tritt eine destruktive Störung auf (Wellen heben einander auf). Aktuell ist dies eher eine theoretische Möglichkeit.

4. IONISIERUNGSMIKROKLIMA

Schlagworte: Ionisierungsmikroklima, Radioaktivität, Becquerel, Radionuklid, Halbwertszeit, Volumenaktivität, elektrostatische Abschirmung

4.1. Ionisierungsmikroklima

Das **Ionisierungsmikroklima** ist ein Bestandteil des Innenraumklimas, das durch den Fluss ionisierender Strahlung gebildet wird. Diese Strahlung wird von radioaktiven Substanzen natürlichen oder künstlichen Ursprungs erzeugt und wirkt auf den Menschen ein und bildet dessen Gesamtzustand. Die ionisierenden Strahlenpartikel dringen in bestrahlte Materie ein, zerbrechen Molekülketten und bilden Ionen.

Unter **Radioaktivität** versteht man die Umwandlung des Kerns eines Elements in den Kern eines anderen Elements, wobei große Mengen an Energie in Form von unsichtbarer Strahlung (sogenannter radioaktiver Strahlung) freigesetzt werden, welche für den Menschen gefährlich ist. Es gibt natürliche und künstliche Radioaktivität.

Ein **Radionuklid** ist ein Nuklid mit einem instabilen Kern, dessen Atome einer radioaktiven Transformation unterliegen, mit welcher auch die Abgabe ionisierter Strahlung einhergeht.

Die elementare physische Quantität der Elektronendichte ist die **Aktivität** (Ak) einer bestimmten Menge von Radionukliden, welche das Verhältnis der durchschnittlichen Anzahl radioaktiver Veränderungen und das Zeitintervall ausdrückt. Die Einheit der Aktivität ist ist ein radioaktiver Zerfall pro Sekunde oder Becquerel (Bq). Ein radioaktives Element, welches durch eine Veränderung pro Sekunde gekennzeichnet ist, hat daher eine Aktivität von 1 Bq.

Die **Volumenaktivität** ist die Quantität, welche die Anzahl radioaktiver Umwandlungen pro Zeiteinheit in einer Volumeneinheit kennzeichnet, welche in Bq/m³ ausgedrückt wird.

Die **Halbwertszeit** ist die Zeit, die benötigt wird, bis die Hälfte der Radionuklidatome zerfällt. Die Halbwertszeit ist für das Isotop eines bestimmten Elements konstant. Die Halbwertszeit-Werte variieren zwischen Sekundenbruchteilen und Millionen von Jahren. Die Halbwertszeit von Uran 238U zB beträgt 4,47 Milliarden Jahre, die Halbwertszeit von Radium 226Ra 1.602 Jahre und die Halbwertszeit von Radon 222Rn 3,82 Tage. Produkte des radioaktiven Zerfalls sind Feststoffe, welche Töchter oder **Tochternuklid** genannt werden.

4.1.1. Quellen Ionisierender Strahlen

Die Quellen ionisierender Strahlung können radioaktive Substanzen sein, welche von der äußeren Umgebung in den Innenraum eindringen. Es kann sich jedoch auch um Stoffe handeln, die aufgrund anthropogener Aktivitäten und der Freisetzung von Baumaterialien und technologischen Ausrüstungen, welche radioaktives Material enthalten, auftreten.

Am häufigsten haben radioaktive Substanzen, die sich in der Außenluft befinden, ihren Ursprung in radioaktiver Asche, die von Atomkraftwerken produziert wird, im schlecht abgedeckten Boden von Gebäuden in Gebieten, in welchen Radon im Erdreich vorkommt, in ungeeigneten Baumaterialien (Baublöcke aus Flugasche) und in Bodenaufschüttungen. Zigarettenqualm, Röntgenstrahlung oder radioaktive Materialien in Laboren sind die häufigsten Quellen ionisierender Strahlung im Inneren von Gebäuden.

4.1.2. Optimierung ionisierender Strahlung

Die Optimierung ionisierender Strahlung kann entweder durch einen Eingriff in den Ursprung des radioaktiven Materials oder die Beeinflussung des Übertragungsfelds der ionisierenden Strahlung sichergestellt werden. Die Einschränkung oder Beseitigung des Ursprungs radioaktiver Materialien ist der effektivste Weg, die Lebensumstände im Gebäudeinneren zu optimieren.

Ein **Eingriff in den Ursprung** kann folgendermaßen durchgeführt werden:

- Auswahl eines geeigneten Baulands (Standort)
- Begrenzen oder Verhindern des Eindringens von Radon in das Gebäude (Radondämpfungsmaßnahmen)
- Auswahl geeigneter Baumaterialien (zertifizierte Materialien und Produkte)

Zur **Beeinflussung des Übertragungsfelds** gehören:

- Begrenzen der Verbreitung radioaktiver Substanzen im Gebäude
- Belüftung und Luftfilterung
- Abschirmung der Oberfläche, sprich Sedimentation radioaktiver Substanzen
- elektrostatische Abschirmung

Das Begrenzen der Verbreitung radioaktiver Substanzen in Gebäuden wird durch Modifikationen der Gestaltungsentwürfe des Gebäudes erreicht, zB durch die Unterteilung senkrechter Schächte in kleinere Abschnitte, entsprechendes Verlegen von Quellen radioaktiven Materials im Gebäude oder dem Einsatz unterschiedlicher Belüftung. Die Verteilung ionisierender Strahlung ist vor allem in mehrstöckigen Gebäuden ein Problem,

wo sich radioaktives Material durch thermischen Auftrieb verbreitet. Durchgängige Treppen entlang der Höhe des Gebäudes ohne Unterbrechung können Grund für die ungehinderte Verbreitung radioaktiver Gase im gesamten Gebäude sein.

Neben der Sicherstellung adäquaten Luftaustausches ist es ratsam, zwischen den Räumen Druckzonen entsprechend des Grads ihrer Kontamination anzulegen. Der größte negative Druck wird für Flächen mit der höchsten Kontamination ausgewählt. In solchen Gebieten ist keine Wiederverwendung der Luft vorgesehen. Eine Verringerung der Frischluftdosis, um die Energie-effizienz eines Gebäudes zu verbessern, kann zu einer höheren Konzentration radioaktiver Substanzen im Gebäude führen.

Filter können eingesetzt werden, um die in verschiedenen Arten von Aersolen gebundenen radioaktiven Substanzen zu reduzieren. Es gibt zwei Arten von Filtern – Kassetten- und elektrostatische Filter:

- Kassettenfilter sind Boxen mit einer Filterkartusche. Filterkartuschen lassen sich nicht waschen, sind aber durch neue ersetzbar (geringe Anschaffungskosten, aber hohe Betriebskosten).

- Elektrostatische Filter erhöhen, im Gegensatz zu anderen Filtern, den gesamten Systemdruck im Lauf der Zeit nicht. Die herausgefilterten Partikel können mit Wasser abgewaschen werden (hohe Anschaffungskosten, geringe Betriebskosten).

Elektrostatische Abschirmung funktioniert nach dem Prinzip künstlich geschaffener elektrostatischer Felder. Elektrisch geladene Partikel setzen sich an Elektroden mit jeweils umgekehrter Polarität an.

5.RADON IM GEBÄUDEINNEREN

Schlagwörter: Radon, Radonquellen, Radonmessungen, Emanationskoeffizient, Radonkonzentration, Radonkarte, Radonschutzmaßnahmen

5.1. Radon im Gebäudeinneren

Radon ist ein allgegenwärtiges, natürliches, radioaktives Gas. Radon entsteht beim radioaktiven Zerfall von Uran, welches in diversen Mengen in allen Materialien der Erdkruste vorkommt. Darüber hinaus wird Radon in die festen Atome 218Po, 214Pb, 214Bi und 214Pa mit einer Halbwertszeit von 3.825 Tagen umgewandelt. Die gesamte Kette wird mit dem nicht-radioaktiven Blei 206Pb abgeschlossen.

Physische Eigenschaften von Radon:

- Siedepunkt bei -62 °C
- Schmelzpunkt bei -71 °C
- Verdampfungswärme 16,40 kJ/mol
- Schmelzwärme 2,89 kJ/mol
- Verdampfungsentropie 77,02 J/deg.mol
- Schmelzentropie 14,35 J/deg.mol
- Kritische Temperatur +104,3 °C
- Kritischer Druck 6 322,7 kPa
- Kritische Dichte 1,2.103 kg/m

Radon ist ein träges Gas. Seine Zerfallsprodukte schaden der Gesundheit. Sie werden zusammen mit festen und flüssigen Trägeraerosolen in die Lungen inhaliert, wo sie sich ansetzen. Wird das Lungenepithel mit Alphastrahlung bestrahlt, besteht potenziell das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Diese Strahlung wird als einer der Gründe für Lungenkrebs betrachtet. Hierbei handelt es sich jedoch um ein Langzeitproblem. Die Krankheit bricht nach einigen Jahrzehnten des Aufenthalts in einem Haus mit einem erhöhten Niveau an Radonzerfallsprodukten aus. Allgemein gilt: Je höher die Konzentration und je Länger die Dauer, der man dieser ausgesetzt ist, desto höher ist das Risiko.

Die Einheit der **Volumenaktivität radioaktiver Substanzen** ist 1 Bq/m³, was dem durchschnittlichen radioaktiven Zerfall pro Sekunde in 1 m³ einer Substanz entspricht. Ähnlich definiert ist die spezifische Aktivität für 1 kg einer Substanz [1 Bq/kg]. Ein Wert von 1 Bq/m³ entspricht dem 3,6-maligen atomaren Zerfall von Radon 222 in einer Stunde in einem m³.

Erlass Nr. 422/2016 betreffend den Strahlungsschutz und die Sicherung radioaktiver Ursachen bestimmt ein Referenzniveau für die natürliche Strahlung innerhalb eines Gebäudes mit einem Lebensraum. Das Referenzniveau für die Volumenaktivität von Radon

beträgt 300 Bq/m³. Dieser Wert bezieht sich auf den durchschnittlichen Wert der gewöhnlichen Luftveränderung während der Verwendung.

In der Außenluft beträgt die äquivalente Volumenaktivität von Radon (EOAR) 7 bis 12 Bq/m³. Im geologischen Untergrund von Gesteinen und Erdreich sind die Radon-Konzentrationen um drei Größenordnungen (kBq/m³) höher.

Die Radon-Konzentration in der Bodenluft von Steinen und Erdböden reicht von Einheiten bis hin zu hunderten kBq/m³. Vereinzelt gibt es auch Werte über 1.000 kBq/m³, welche man zumeist entlang tektonischer Bruchlinien, Frakturen und Mylonit-Zonen findet.

5.2. Herkunft von Radon

In der Natur löst sich das gasförmige Radon aus dem Felsgestein und gelangt an die Oberfläche, wo es sich sofort mit der Umgebungsluft vermischt. Das führt zu einer starken Verdünnung und minimiert die Auswirkungen auf den menschlichen Organismus. Bei Radon im Inneren von Gebäuden ist das Gegenteil der Fall.

Radon in Gestein

Wenn bei einem bestimmten Gesteinstypen mehr Radonmessungen durchgeführt werden, ist es möglich, das Ausmaß der Volumenaktivität von Radon in der Bodenluft grob abzuschätzen. Die höchsten Werte betreffend die Volumenaktivität von Radon liefern für gewöhnlich die magmatischen Felsen des Böhmischen Massivs: Durbacity und Syeniten, Granite und Granodioriten. Sedimentgesteinsarten aus dem Silur (Erdzeitalter Paläozoikum) weisen ebenfalls eine hohe Volumenaktivität von Radon auf, erstrecken sich jedoch nicht über große Flächen und bergen daher kein hohes Risiko. Felsförmige Gesteine wie der Paramary, der Redner aus Migamates, welche einen mittleren Radon-Index haben, nehmen einen großen Teil des Böhmischen Massivs ein. Bei alluvialen und tertiären Sedimenten wie Sandstein oder Sand, Tonstein und Tonböden sind die Werte der Volumenaktivität von Radon allgemein niedrig.

Der Radon-Index hängt auch von der tektonischen Bruchstelle des Gesteins ab. Die Bruchstellen von aufgebrochenen Oberflächenarealen im Gestein erhöhen die Werte der Volumenaktivität von Radon. Sie schaffen Platz für die Ausbreitung von Radon-Radionukliden. Erhöhte Radonwerte können auch an Gesteinskontaktflächen mit deutlich unterschiedlicher Durchlässigkeit und anderem Verwitterungsgrad auftreten. Bei der Bestimmung der Radon-Indexkategorie für Bauland, ist es ratsam alle verfügbaren geologischen Informationen und Hintergrundmaterialien zu verwenden, da höhere Werte der Volumenaktivität von Radon aufgrund von Tektonik oder Gesteinsberührung sogar in kleinen Regionen auftreten können.

Die prognostische Karte grenzt diese Areale entsprechend der Risiken des Eindringens von Radon in Gebäude voneinander ab. In Regionen mit hohem Radon-Index gibt es ein höheres Vorkommen von Häusern mit höheren Radon-Konzentrationen, während in Regionen mit niedrigem Radon-Index vor allem kleine Häuser übermäßig belastet sind. Die Karte wurde von Tschechischen Geologischen Sachverständigen (Autoren: I. Barnet, J. Mikšová, J. Procházka) aufbereitet.

Auftreten von Radon in Innenräumen von Gebäuden

Die derzeitigen Bauten sind durch eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle gekennzeichnet. Bei diesen Bauten sind alle Strukturen wie das Dach, Mauerverkleidung, Fenster und Decken gut versiegelt. Je höher die Luftdichtheit der Gebäudehülle ist, desto höher ist die Radonkonzentration im Gebäudeinneren. Regelmäßiges Belüften (natürlich oder fremdbelüftet) reduziert die Radonkonzentration in Gebäuden mit hoher Luftundichte. Geringe Konzentrationen von Radon sind typisch für Gebäude mit undichten Lochfüllungen, welche einen konstanten Luftaustausch sicherstellen.

Der durchschnittliche Radonwert in Gebäuden der Tschechischen Republik beträgt 118 Bq/m³. Die Tschechische Republik gehört damit zu den Ländern der Welt mit der höchsten Radon-Konzentration in Wohnungen.

Radon dringt durch die Fundamentstrukturen in die Innenräume von Gebäuden ein: undichte Stellen in Fußböden oder Wänden des Untergeschosses, Fußböden ohne adäquate Isolation, Schächte, Rohre, Leitungen, Bohrlöcher oder Brunnen. Unmöglich zu verhindern ist das Eindringen von Radon in das Gebäudeinnere mittels Diffusion durch die Kontaktflächen-Substruktur und den Untergrund. Verbaute Materialien oder Wasser können ebenfalls eine Quelle von Radon sein. Die Haupteintrittswege von Radon sind Risse im Betonboden, Kontakt des Mauerwerks mit dem Boden, Risse im Mauerwerk unter dem Gelände, Fugen im Holzboden, Risse im Mauerwerk, Lücken rund um Einlass-Rohre und Hohlräume im Mauerwerk. Der Bauzustand des Gebäudes hat einen wesentlichen Einfluss auf die Menge an Radon im Gebäude (Qualität und Zustand der Isolierung, Versiegelung von Einstichen etc.).

Die Verwendung von radonreichem Wasser kann zu einer Freisetzung dieses Gases in Objekten führen. Im Vergleich zum Radon, welches direkt aus dem Untergrund in das Gebäude eindringt, ist diese Konzentration jedoch unerheblich. Das Wasser, welches aus der öffentlichen Wasserversorgung stammt, wird in der Regel daraufhin kontrolliert, ob es radioaktive Substanzen enthält.

Radon in Baumaterialien

Die Ursache für eine höhere Volumenaktivität von Radon in der Umgebungsluft kann auf eine erhöhte Konzentration von Radium 226 in Baumaterialien zurückzuführen sein. Natürliche Materialen werden zerkleinert, gefräst, vermahlen und hitze-behandelt, was dazu führen kann, dass mehr Radon aus dem für die Innenausstattung von Gebäuden verwendeten Baumaterial freigesetzt wird. In der Vergangenheit hat sich herausgestellt, dass zahlreiche Arten von Abfallprodukten (Asche oder Schlacke) problematisch sind. Mittlerweile müssen alle Baumaterialien ein Radon-Zertifikat haben.

5.3. Radonmessung

Menschen können Radon nicht mit ihren Sinnen wahrnehmen. Eine professionelle Messung ist der einzige Weg, zuverlässig die Radon-Konzentration in einem Gebäude zu ermitteln. Nur eine Person, welche vom Bundesamt für Atomare Sicherheit zertifiziert wurde, darf die Messaktivitäten durchführen.

Gemessen werden kann die Radon-Konzentration selbst (auch bekannt als Volumenaktivität von Radon, Abkürzung: OAR) oder die Konzentration der Umwandlungsprodukte von Radon (auch äquivalente Volumenaktivität von Radon genannt, Abkürzung: EOAR). Es gilt die Relation EOAR = 0,4 OAR. Richtwerte werden als Konzentration von Umwandlungsprodukten ausgedrückt und es ist notwendig zu verifizieren, dass sie in EOAR angegeben sind.

Die Messungen werden über einen längeren Zeitraum durchgeführt, da die Radon-Konzentration im Laufe der Zeit nicht gleich bleibt, sondern sich im Verlauf eines Jahres und innerhalb eines Tages verändert. Die Durchführung folgender Messungen wird empfohlen:

- Messungen über ein Jahr mittels Spurendetektoren, wenn keine Eile besteht
- Messungen über einen Zeitraum von mindestens einer Woche, wenn Eile geboten ist und man einen Anhaltswert nachweisen muss

Der Emanations-Koeffizient ist das Verhältnis von freigesetztem Radon zur erzeugten Gesamtmenge in Baumaterialien.

5.4. Maßnahmen zum Schutz vor Radon

Übersteigt die Konzentration von Radonumwandlungsprodukten im Haus das Referenzniveau, welches in Erlass Nr. 422/2016 Coll. betreffend den Strahlungsschutz und die Sicherung von Radionuklidquellen spezifiert wurde, sollten in Abhängigkeit von der Höhe der Überschreitung angemessene bauliche Modifikationen am Gebäude vorgenommen werden. Der notwendige Hintergrund für die Projektierung dieser Anpassungen ist die sogenannte Radon-Diagnostik. Hierbei handelt es sich um ein ganzes Set an Maßnahmen, welche konzipiert wurden, um die Herkunft von Radon und dessen Eintrittswege in das Haus zu identifizieren. Nur eine Person, welche vom Bundesamt für Atomare Sicherheit zertifiziert wurde, darf diese Radon-Diagnostik durchführen.

Zunächst wird auf einfache, schnell und leicht umsetzbare Maßnahmen zurückgegriffen, welche den geringsten Einfluss auf die Gebäudestrukturen haben und welche den Betrieb des Gebäudes nicht signifikant einschränken. Zugleich sind diese Maßnahmen in der Regel relativ günstig und können zum Teil vom Hausbesitzer selbst umgesetzt werden. Ein fundamentaler Eingriff am Ausgangspunkt erfolgt durch die Auswahl eines geeigneten Bauplatzes, die Auswahl von geeignetem Baumaterial und die Entscheidung, das Eindringen von Radon in Gebäude zu verhindern.

Als Schutz neuer und modernisierter Strukturen vor den Auswirkungen von Radon können zertifizierte Baumaterialien sowie gasdichte Folien unter der Grundplatte verwendet werden, welche die Größe des durch Radon gefährdeten Bereiches aufweisen. Eine gewissenhafte Durchführung von Isolationsarbeiten und die geeignete Materialauswahl werden vorausgesetzt. Es ist wichtig, unzulässige Überschneidungen der horizontalen Isolation und die Verwendung unbekannter Baumaterialien zu vermeiden.

Hersteller von Baumaterialien haben die Auflage, die Sicherheit von Baumaterialien hinsichtlich des Gehalts radioaktiver Materialien zu gewährleisten. Zurzeit werden alle natürlichen Radionuklide (nicht nur Radium) kontrolliert. Das neue Beurteilungskriterium ist der Masseaktivitätsindex, welcher aus Radium-, Thorium- und Kalium-Aktivitäten berechnet wird. Der Index wird aufgrund des relativ hohen Gehalts an natürlichen radioaktiven Elementen überall im Erdreich ausschließlich im Labor ermittelt.

6.TOXISCHES MIKROKLIMA

Schlagworte: Toxisches Mikroklima, Kohlenmonoxid, Stickoxide, Schwefeldioxide, Ozon, Smog, Formaldehyd

6.1. Toxisches Mikroklima

Luft ist eine Mischung aus verschiedenen Gasen, von welcher Stickstoff, Sauerstoff, Argon und Kohlendioxid den Hauptteil ausmachen. Diese Gase machen 99,99% der Erdatmosphäre aus. Darüber hinaus enthält Luft verschiedene Dotiersubstanzen wie Ozon, Kohlenmonoxid (CO), Schwefeloxide, Ammoniak und Staub. Die im Inneren von Gebäuden existierenden toxischen Substanzen können entweder **aus dem Freien oder aus der Innenausstattung** stammen.

Schwefeloxide (SO2 und SO3 als Nebenprodukt der Verbrennung von fossilen Brennstoffen), Stickoxide (Gasmaschinen, Heizkraftwerke, Gasverbrennung), Kohlendioxid (Benzin und unvollständige Verbrennung), Ozon, Kohlenwasserstoffe und Smog finden sich im Freien.

Toxische Gase gelangen durch **menschliche Aktivitäten** und durch die **Freisetzung aus Baumaterialien** (NO2, CO) in die **Raumluft**. Die am weitesten verbreitete toxische Komponete im Inneren von Gebäuden ist Kohlenmonoxid (CO). Dieses resultiert überwiegend aus Verbrennungsprozessen und der Verbrennung von Tabak. Im Falle einer vollständigen Verbrennung enthalten Rauchgase ungefähr 0,2-0,5% Kohlenmonoxid. Im Fall einer unvollständigen Verbrennung ist diese Konzentration um einiges höher. Gasanlagen ohne Auslassöffnung produzieren ebenfalls Stickoxide. Daneben ist Plastik in der Innenausstattung für die Freisetzung toxischer Gase verantwortlich. Styropor zB gibt Polyethylen an die Umwelt ab und flüchtige organische Stoffe verdunsten sehr häufig aus den Beschichtungen von Heizoberflächen.

Kohlenmonoxid ist das Produkt unvollständiger Verbrennung aufgrund fehlenden Sauerstoffs. Ihren Ursprung hat es oft in Festbrennstofföfen, Gasanlagen ohne Auslassöffnung, Kamine, nicht-befeuerte Küchen mit einem Gasherd und anderen Geräten. Erdgas, welches in der Tschechischen Republik zum Kochen, Heizen oder Erhitzen von Wasser verwendet wird, enthält 5% Kohlenmonoxid. Auch beim Rauchen von Tabak fällt es in beträchtlichem Maße an. Kohlenmonoxid verbindet sich mit Hämoglobin und reduziert so die Menge an Sauerstoff, die durch das Blut transportiert wird. Eine leichte Vergiftung erkennt man an Kopfschmerzen, hämmerndes Blut im Kopf, Druck in der Brust und Schwindel. Starke Übelkeit und Erbrechen sind ebenfalls typische Symptome. Im Fall einer schweren Kohlenmonoxidvergiftung besteht die hohe Wahrscheinlichkeit, dass man ohnmächtig wird. Zunächst geben die Beine nach, man spürt den Boden unter den

Füßen nicht mehr und Objekte kommen einem größer vor. Die Körpertemperatur erhöht sich auf 42 °C.

Schwefeldioxid kann seinen Ursprung zB in einem im Haus befindlichen Verbrennungsofen haben, welcher mit Kohle befeuert wird. In den 1970er und 1980er-Jahren war Schwefeldioxid hauptverantwortlich für die Luftverschmutzung. Seit Mitte der 90er-Jahre des letzten Jahrhunderts nimmt dessen Konzentration in der Luft stetig ab. Grund dafür sind verbesserte Rauchgasentschwefelungstechnologien für große Verschmutzungsquellen. Zu diesen gehören Thermische Kraftwerke, Heizkraftwerke und Industrieboiler. Höhere Konzentrationen von SO2 reizen den oberen Atmungstrakt, was zu Husten und zu Erkrankungen der Atemwege führt.

Stickoxide entstehen durch den Fahrzeugverkehr und durch stationäre Anlagen, welche fossile Brennstoffe bei hohen Temperaturen verbrennen. Insgesamt acht verschiedene Stickoxide findet man in Inneren von Gebäuden, wovon jedoch nur zwei gesundheitsschädlich sind. Es handelt sich dabei um Stickstoffdioxid (NO2) und Lachgas (NO).

Smog ist die Form der chemischen Verschmutzung der Atmosphäre, welche durch menschliche Aktivitäten entsteht. Die Atmosphäre wird mit Inhaltsstoffen angereichert, die sich normal nicht darin befinden und die während ihrer Erscheinung die Gesundheit gefährden können. Smog (Rauch und Nebel, der durch Stickoxide erzeugt wird) entsteht infolge von Luft-verschmutzung, die durch die Einwirkung von UV-Strahlung auf anderen toxischen Substanzen wie zum Beispiel Ozon abgebaut wird. Ozon ist kein Schadstoff, der direkt in die Luft ausgestoßen wird. Um seine erhöhte Konzentration zu verringern, muss man die Emissionen jener Substanzen reduzieren, welche die Ozonbildung ermöglichen.

Ozon (O3 oder dreiatomiger Sauerstoff) ist ein Erdgas, welches sich mit oxidierten organischen Stoffen verbindet. Es handelt sich um eine Reaktion mit anderen Elementen in der Atmosphäre. Die Ozonkonzentration im Gebäudeinneren beträgt knapp die Hälfte des Ozons im Freien. Es gibt zwei Arten:

- Atmosphärisches Ozon, welches sich in der atmosphärischen Schicht befindet und die Erde vor schädlicher ultravioletter Strahlung schützt. Wo es sich auflöst, spricht man von einem Ozonloch.

- Troposphärisches Ozon, welches sich in der Bodenluftzone befindet und in hoher Konzentration schädlich für den Menschen ist.

Flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) sind organische Stoffe mit festen, flüssigen und gasförmigen Zustand, welche bei normaler Temperatur und normalem Druck in Form von Dampf mit einem Druck über 0,13 kPa in die Atmosphäre gelangen. Gemäß der Weltgesundheitsorganisation (WHO) gelten flüchtige organische Verbindungen als

organische Verbindungen, deren Siedepunkt im Bereich zwischen 50 bis 100 und 240 bis 260 °C liegt.

Flüchtige organische Verbindungen sind Verbindungen, welche unter Einwirkung der Strahlung der Sonne mit Stickoxiden reagieren und fotochemische Oxidationsmittel bilden. Sie haben einen nachweisbaren negativen Effekt auf die Umwelt und die Luftqualität. Damit einhergehen negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In der Umwelt treten sie in der Regel als Summe der Verbindungen auf (TVOC). Freigesetzt werden sie vor allem aus Klebstoffen, Lösungsmitteln, Farben, Beschichtungen und ähnlichem. Zu VOCs gehören zB Toluen, Xylol, Styropor, Ethylbenzol, chlorierte Kohlenwasserstoffe, Phthalate und Terpene.

Formaldehyd, welches seinen Ursprung in der Innenausstattung von Gebäuden hat, befindet sich in der Wohnungseinrichtung (Möbel, Teppiche, Wandtapeten etc.) oder gebrauchten Baumaterialien. Darüber hinaus können Reinigungsmittel und Make-Up im Haushalt oder Pflanzen, Kohleöfen, das Verbrennen von Gas und Rauchen Ursachen für die Freisetzung von Formaldehyd sein. Im Freien ist der Hauptverantwortliche für den Ausstoß die Transportindustrie. Die Formaldehydkonzentration in der Innenausstattung hängt vor allem von der Anzahl der Menschen, den Inneninstallationen, der Temperatur und der Feuchtigkeit im Raum ab. Das Vorhandensein von Formaldehyd ist schon in geringer Konzentration aufgrund seines beißenden Gestanks durch den Geruchsinn wahrnehmbar. Aus diesem Grund wird es als eines der sichersten Innenraumschadstoffe angesehen. Dennoch darf dessen Auswirkung auf die menschliche Gesundheit nicht unterschätzt werden.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) repräsentieren eine Gruppe, die aus mehr als 100 chemischen Verbindungen besteht. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bilden Kohlenstoff und Wasserstoff mit zwei oder mehr Benzolkernen. Bezeichnend für sie ist ihr Langzeitträgheitspotenzial im Gebäudeinneren. Es handelt sich hierbei um Substanzen, die aus medizinischer Sicht sehr bedenklich sind. Sie sind giftig, krebserregend und schädigen das Erbgut. Sie können sich stark mit festen Sorptionsmitteln oder Partikeln (Staub), sogar mit lebenden Organismen (Fähigkeit zur Bio-akkumulatin) verbinden. Sie können überdies andere, noch deutlich krebserregendere Verbindungen bilden.

6.1.1. Optimierung des toxischen Mikroklimas

Es gibt drei Ansatzpunkte für die Optimierung des toxischen Mikroklimas: Einschreiten bei der Schadstoffquelle, Eingreifen in das Übertragungsfeld oder Eingreifen bei einem Subjekt. Die grundlegende Optimierungsmethode ist die Belüftung.

Um der Entstehung von Schadstoffen vorzubeugen, ist es notwendig, auf Baumaterialien ohne toxische Inhaltsstoffe oder flüchtige organische Verbindungen zu setzen. Bei technischen Heizinstallationen ist es notwendig, regelmäßig Wartungs- und Reinigungsarbeiten durchzuführen, um eine Verringerung der Verbrennungsprozesseffizienz und eine übermäßige Produktion von Kohlenmonoxid zu verhindern.

Der Eingriff in das Übertragungsfeld besteht darin, die Verbreitung toxischer Substanzen im Gebäudeinneren zu beschränken. Zu den Beschränkungsmethoden gehören Belüften, Filtern sowie der Abbau toxischer Substanzen in nicht-toxische oder das Entfernen toxischer Substanzen mittels intensiver Luftionisierung.

Zum Eingriff bei einem Subjekt, welches dem toxischen Mikroklima ausgesetzt ist, gehört der Einsatz von Gasmasken.

7. AEROSOLE IM GEBÄUDEINNEREN

Schlagworte: Aerosol-Mikroklima, Aerosol, Dispersionssystem, aerodynamischer Durchmesser, Feinstaub, Nebel, Spray

7.1. Aerosol-Mikroklima

Das **Aerosol-Mikroklima** ist ein Bestandteil der internen Umwelt, die durch Aerosolströmungen gebildet wird, welche zum Gesamtzustand der internen Umwelt beitragen.

Aerosol ist eine spezielle Art von Dispersionssystem, welches aus einer gasförmigen Phase und festen oder flüssigen Partikeln besteht, die darin verteilt sind.

Das **Dispersionssystem** ist ein System, welches aus mindestens zwei Arten von Phasen besteht, wobei eine Phase (die disperse Phase) in der anderen Phase (Dispersionsmedium) verteilt ist.

Das **Material der dispersen Phase** wird durch ein Team dispergierender Partikel gebildet.

Der **aerodynamische Durchmesser** ist der Durchmesser eines kugelförmigen Partikels mit einer Dichte von 1 g/cm³, welcher dieselbe Sinkgeschwindigkeit wie das zu betrachtende Partikel aufweist.

Feststoffpartikel PM_{10} (Feinstaub) enthalten Partikel mit einer Größe zwischen 2,5 und 10 µm, wobei 50% dieser Partikel einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm haben.

Feststoffpartikel $PM_{2,5}$ (Feinstaub) enthalten Partikel mit einer Größe von 2,5 µm oder darunter, wobei 50% dieser Partikel einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm haben.

Aerosole bestehen aus Feststoffpartikeln (Staub) oder flüssigen Partikeln (Nebel). Feste Aerosole sind elektrisch geladen, entweder positiv oder negativ und liegen in einem Größenspektrum zwischen 0,1 und 100 Mikrometern. In der Außenluft von Städten liegt der Staub im Bereich von 1.100 t/km² pro Jahr mit einer Standardkonzentration von 1 bis 3 mg/m³ an.

Hausstaub, insbesondere biologische Partikel unter einem Mikrometer, sind die Hauptursache für Asthmabeschwerden. Der zulässige Wert in normalen Gebäuden ist eine Konzentration von trägen Feststoffaerosole von 10 mg/m³.

7.1.1. Verbreitung von Aerosolen

Man unterscheidet zwischen **festen** und **flüssigen Aerosolen**. Feste Aerosole oder Staub können entsprechend ihres **organischen** (tierischen oder pflanzlichen), **anorganischen** (metallischen oder nichtmetallischen) und gemischten Ursprungs klassifiziert werden.

Staubpartikel pflanzlichen und tierischen Ursprungs sind leichter als anorganische Partikel. Diese Partikel sind zumeist faserig und in Büschelform verzweiget. Anorganische Partikel sind hingegen prismen- oder kugelförmig mit glatten oder scharfen Kanten. Der Sedimentationsprozess von Staubpartikeln wird durch die Erdanziehungskraft, den Luftwiderstand und die elektrische Polarität einzelner Materialoberflächen beeinflusst. Aerosolpartikel transportieren Mikroben.

Das bekannteste Beispiel eines flüssigen Aerosols ist der Nebel, welcher durch die Kondensation von Wasserdampf entsteht, wenn die Temperatur unter den Taupunkt fällt. Andere flüssige Aerosole werden in Industriewerken erzeugt. Entsprechend ihrer Zusammensetzung können flüssige Aerosole **monodispers** (Partikel mit ungefähr derselben Größe) oder polydispers (Partikel verschiedener Größe) sein.

Gemäß der Partikelgröße gibt es **Dämpfe** (Partikel kleiner als 10 mm) und **Sprays** (Partikel größer als 10 mm). Aerosol-Partikel ändern sofort nach ihrer Entstehung ihre Form, was auf die Verdunstung der Flüssigkeit oder den Einfluss der Partikel-Ansammlung zurückzuführen ist.

Nach der Form disperser Partikel können Aerosole in korpuskulare, laminare und fibrillare Dispersionssysteme unterschieden werden:

- Korpuskulare Dispersionssysteme bestehen aus isometrischen Dispersionspartikeln, deren Dimensionen in allen drei Raumrichtungen fast identisch sind.

- Laminare Dispersionssysteme (mineralische Partikel aus Bleich- und Porzellanerde) und fibrillare Dispersions- systeme (natürliche und synthetische Fasern organischer und anorganischer Natur) haben nicht-isometrische Partikel. In solchen Partikeln herrschen ein oder zwei dieser Dimensionen vor, welche zu Diform-Systemen gehören.

7.1.2. Biologische Effekte des Aerosol-Mikroklimas

Die Auswirkungen eines Aerosol-Mikroklimas hängen in erster Linie von der Bewegung der Aerosolpartikel, der Zeit, der man ihm ausgesetzt ist, der Konzentration, der chemischen Zusammensetzung und den physischen Eigenschaften ab. Zu den physischen Eigenschaften gehören die Partikelgröße, -form und -stärke, die elektrische Ladung, die Löslichkeit in biologischen Flüssigkeiten usw.

Die Auswirkungen von Aerosolpartikeln auf den Organismus lassen sich in Bezug auf physische (mechanische Eigenschaften), chemische (Toxizität), physisch-chemische und biologische (allergie- und krebsauslösend) Gesichtspunkt charakterisiert.

Aerosole wirken mechanisch auf die Haut, auf die Augenmembranen und auf die Schleimhäute ein, blockieren die Lymphgefäß-bahnen in der Lunge und dergleichen. Ist man ihnen länger ausgesetzt, führt dies zu Reizungen und nicht näher spezifizierbaren Entzündungen der Haut, Augenmembranen und Schleimhäute. Diese Auswrikungen hängen wiederum von der chemischen Zusammensetzung der Partikel, ihrer Menge, Größe, Form, Einwirkungstiefe und der individuellen Reaktion darauf ab.

7.1.3. Kriterien eines Aerosol-Mikroklimas

Es gibt keine Kriterien, mit welchen sich der maximal zulässige Aerosolstrom in den menschlichen Organismus festlegen ließe. Die meisten Regularien geben die höchstzulässige Aerosolkonzentration in der Luft an: In der Außenluft darf Staub maximal 20% SiO2 enthalten, eine durchschnittliche Konzentration von 0,15 mg/m³ ist pro Tag erlaubt und es dürfen nicht mehr als 150 Tonnen Staub pro km² pro Jahr anfallen.

7.1.4. Optimierung des Aerosol-Mikroklimas

Um das Aerosol-Mikroklima zu optimieren, kann man entweder bei dessen Entstehung ansetzen oder in das Übertragungsfeld eingreifen.

Der **Entstehung von Aerosol** kann man auf drei Arten vorbeugen:

- Verändern der bereits in Ausführungsvorbereitung befindlichen Technologie
- Mischen von Grundmaterial mit anderen geeigneten Substanzen wie Wasser
- Schließen der Quelle mit einer festen Abdeckung oder einem flüssigen Film

Eine **Beeinflussung des Aerosol-Übertragungsfeldes** ist folgendermaßen möglich:

- Begrenzung der Aerosoldisperion im Gebäude (vertikale oder horizontale Verteilung)
- Belüftung
- Luftfilteranlagen
- Eindickung von Aerosolpartikeln (Durch das versprühen eines flüssiges Aerosols mit einer hohen Benetzbarkeit, schließen sich kleine Partikel zu größeren zusammen, welche sich aufgrund der Gravitation absetzen)

Das letzte Mittel gegen Aerosole ist der Einsatz von **Schutzausrüstung** wie Schutzbrillen, Atemschutzgeräten und Schutz-anzügen. Solche Schutzmaßnahmen sind extrem unangenehm, weshalb ihr Einsatz die Ausnahme bleiben sollte. Es gibt jedoch Arbeitsplätze, wo man ohne sie nicht auskommt: zB Farbgeschäfte, Chemiewerke, Operationssäle, Minen, Textilfabriken usw.

8. GERÜCHE IM GEBÄUDEINNEREN

Schlagworte: Geruchsmikroklima, Geruch, Geruchsmessung, Wahrnehmungsschwellenstrom, Reizschwelle, Geruchsbeseitigung, intensive Luftionisierung

8.1. Geruchsmikroklima

Geruchstoffe sind gasförmige Luftkomponenten, die als Geruch wahrgenommen werden. Es handelt sich hierbei um organische und anorganische Substanzen, welche vor allem durch menschliche Aktivitäten produziert werden. Es gibt fünf Hauptarten von Gerüchen:

- Sterblichengeruch (menschliche Gerüche)
- aromatischer Geruch (reifes Obst)
- Isovaleriangeruch (Tabakrauch und Tierschweiß)
- Staubgeruch (Milchprodukte)
- narkotischer Geruch (abbauende Proteine)

Geruch ist ein Parameter, der physisch und chemisch schwer zu quantifizieren ist. Es handelt sich um die Fähigkeit von Geruchstoffen (Odereants) oder Stoffgemischen, den Geruchsinn zu aktivieren und eine Empfindung zu erzeugen.

Geruchstoffe sind organische oder anorganische Substanzen, welche vom Menschen und seinen Aktivitäten erzeugt werden. Die vorherrschenden Bestandteile von Geruchsstoffen im inneren von Gebäuden sind Kohlendioxid und flüchtige organische Verbindungen. Sie werden von Baumaterialien und Bauanlagen freigesetzt.

Die **Geruchsmessung** ist eine Methode zur objektiven Feststellung von Geruchstoffen in der Luft, welche auf dem menschlichen Geruchssinn basiert.

Der **Wahrnehmungsschwellenstrom** ist die geringste Geruchskonzentration, welche es 50% der Testpersonen ermöglicht, die riechbare Luft von geruchloser Luft zu unterscheiden – und zwar ausgehend von der ersten Wahrnehmung der Testluft.

Die **Reizschwelle** ist die geringste Geruchskonzentration, welche es 50% der Testpersonen ermöglicht, Geruchstoffe enthaltende Luft von geruchloser Luft zu unterscheiden – und zwar unter dem Gesichtspunkt, dass der Geruch in der Testluft als klar erkennbar empfunden wird.

Geruchstoffe dringen entweder **aus dem Freien** in Räume ein oder werden **direkt im Inneren von Gebäuden** erzeugt (durch menschliche Aktivitäten oder Freisetzung aus

Baumaterialien). Ungefähr 50 bis 80% der Gerüche dringen über die Außenluft ins Gebäude ein. Es handelt sich hierbei um Erzeugnisse von Verbrennungsmotoren und Verbrennungsgase von Heizwerken. Das Ergebnis menschlicher Aktivitäten sind Gerüche verschiedenster Art, wobei man in diesem Kontext zB den Ausstoß von Zigarettenqualm, den Geruch von Kosmetika, den Gestank von Müll und den Duft von Waschmittel nennen kann.

8.1.1. Biologische Effekte von Gerüchen

Geruchstoffe müssen mit der Schleimhaut in Berührung kommen, um eine Geruchsempfindung auszulösen. Okulare Zellen übertragen dann die elektrochemischen Impulse in das Geruchszentrum im vorderen Bereich des Gehirns. Jener Teil des Gehirns, welcher auch den Gestank enthält, befindet sich über der Nase und erzeugt Emotionen. Dies legt nahe, dass Gerüche die Stimmungslage beeinflussen.

Die Auswirkungen von Geruchstoffen können in vier Gruppen unterteilt werden:

- Erfrischend oder beruhigend
- positiv bestärkend
- schwindend oder möglicherweise berauschend
- unwillkürlich Zustände der inneren Unruhe und Aggression auslösend

8.1.2. Optimierung des Mikroklimas

Das optimale Geruchsklima kann durch die Inangriffnahme des Geruchsursprungs oder durch ein Eingreifen in das Übertragungsfeld zwischen der Quelle und dem ihr ausgesetzten Subjekt erfolgen. Die effektivste Möglichkeit zur Optimierung besteht darin, den Geruch zu reduzieren oder dessen Ausgangspunkt vollständig zu beseitigen, zB durch den Einsatz von schnelltrocknenden Farben (Farben, die nach einem Kontakt mit UV-Strahlen eine rapide Wandlung von Verbindungen mit geringem molekularem Gewicht zu Verbindungen hohem molekularen Gewicht vollziehen).

Die Optimierung des Geruchsmikroklimas mittels eines Eingriffs in das Übertragungsfeld wird durch die Beschränkung der Geruchsverbreitung im Gebäude, ausreichende Belüftung, Luftfilterung, Geruchsbekämpfung oder -neutralisierung mit ionisiertem Ozon erreicht. Das Prinzip des Beschränkens der Geruchsverbreitung in Gebäuden besteht darin, vertikale Schächte in mehrere Bereiche aufzuteilen oder die geeignete Platzierung von Geruchsquellen. Die Frischluftmenge steht in einem Verhältnis zur Geruchskonzentration im Inneren von Gebäuden.

Das Herausfiltern von Gerüchen aus der Luft erfolgt mithilfe von Aktiv- oder Holzkohlefiltern, durch das Reinigen mit Wasser, mit Luft, mit biologischen Waschmaschinen oder

mittels biologischer Filter. Aktiv- oder Holzkohlefilter nehmen so gut wie keine Feuchtigkeit auf und verändern den Zustand der Luft nicht. Deren Effektivität hängt von der Zeit ab, in der das Gas mit der Kohle in Berührung kommt. Um eine Effizienz von 80% zu erreichen ist eine Aktivkohleschicht mit einer Stärke von mindestens 25 mm notwendig, darüber hinaus darf die Strömungsrate durch den Filter 3,0 m/s nicht übersteigen. Das Waschen der Luft mit Wasser empfiehlt sich besonders bei Substanzen, welche sich an das Wasser binden. Ein Beispiel hierfür ist Ammoniak. Eine biologische Waschmaschine funktioniert nach dem Prinzip, dass Geruchsgase von Reinigungsflüssigkeiten mit dispersen Mikroorganismen absorbiert werden. Diese Filtermethode ist besonders für stark verschmutzte Gase geeignet. Biologische Filter enthalten eine natürliche Füllung, z.B.: Torf. Die darin befindlichen Mikroorganismen sind in der Lage, aromatische Verbindungen wie Kohlenwasserstoffe abzubauen. Ein großer Vorteil dieser Filter sind ihre geringen Betriebskosten.

Geruchsbekämpfung basiert auf dem Einsatz eines Geruchs (zB eines Parfums), der anders, stärker und angenehmer als der ursprüngliche Geruch ist.

Ein **neutralisierender Effekt** wird durch ionisiertes Ozon erreicht, welches ein starkes Oxidationsmittel ist. Die Moleküle eines Geruchstoffs werden abgebaut und in Wasserdampf, Kohlendioxid und andere geruchlose Substanzen umgewandelt. Hierbei gilt es jedoch – unter dem Gesichtspunkt seiner Giftigkeit – auf die richtige Dosierung des Ozons zu achten.

Gerüche können auch durch die **intensive Ionisierung der Luft** mit hohen Konzentrationen von negativen Luftionen eliminiert werden.

Zimmerpflanzen sind nicht nur eine Zierde und Konsumenten von CO2, einige Arten sind auch in der Lage, die Luft von Benzol, Kohlendioxid, Stickstoffdioxid und Formaldehyd zu reinigen.

9. MIKROORGANISMEN IM INNENRAUM-MIKROKLIMA

Schlagworte: Mikrobielles Mikroklima, Mikroorganismen, extremophil, Bakterien, Viren, Milben, Schimmel

9.1. Mikrobielles Mikroklima

Das **mikrobielle Mikroklima** besteht aus den Mikroorganismen, sprich Bakterien, Viren, Milben und Schimmel, welche im Inneren von Gebäuden zu finden sind. Ein großes Problem sind vor allem Sporen, Pilz- und Pollenpartikel, welche allergische Reaktionen auslösen können.

Bakterien sind mikroskopisch kleine, einzellige Organismen verschiedener Größe. Die durchschnittliche Größe eines Bakteriums beträgt ungefähr 0.3 - 2.0 µm. Einige im Wasser lebende Bakterien erreichen eine Größe von einigen dutzend bis einigen hundert Mikrometern.

Viren sind nicht-zelluläre Mikroorganismen, welche aus einer genomischen Nukleinsäure bestehen, die in eine Proteinhülle eingeschlossen ist. Sie können sich nur in der Zelle eines Wirts vermehren.

Milben sind eine Anzahl kleiner Gliederfüßer, welche zur Gattung der Spinnentiere gehören und deren Körper sich zu einer Einheit zusammengeschlossen haben. Viele Milben sind parasitäre und gefährliche Krankheitsträger.

Pilze (Schimmel, fadenförmige, mikroskopisch kleine Pilze, Mikromyceten) sind mehrzellige Mikroorganismen. Schimmelarten wachsen in Form von mehrzelliger fadenähnlicher Strukturen, welche Hyphen genannt werden. Pilze, die als Einzelzellen existieren, nennt man Hefe.

Entsprechend der Methode ihres Eindringens ins Hausinnere unterscheidet man drei Herkunftsorte von Mikroorganismen:

- die Außenluft
- Lüftungs- und Klimaanlagenausrüstung in Gebäuden
- Menschen

Am häufigsten, wenn auch nicht ausschließlich, haben Mikroorganismen ihren Ursprung im Menschen selbst. Menschen verbreiten Mikroorganismen (Keime) in der Innenraum- und Außenluft. Von dort aus befallen sie dann auch Belüftungs- und Klimaanlagen sowie

deren Ausrüstung.

Die **Hauptträger** von Mikroorganismen sind **flüssige Aerosole** und **feste Aerosole** (Staub). Aus diesem Grund ist es notwendig, die Ansammlung von Staub in geschlossenen und schwer zu erreichenden Luftschächten (mit Rückschlagkappen, durch Sicherstellen eines Überdrucks etc.) zu vermeiden, da sonst die Gefahr besteht, dass sich darin Viren und Schimmel festsetzen.

Besonders gern entstehen Mikroorganismen in Heißluftheizungen, Belüftungs- und Klimaanlagensystemen, Filterausrüstungen, Luftbefeuchter und -entfeuchtern, Luftschächten und doppelten Decken.

Mikroorganismen gelangen über die Kleidung, durch Sprechen, Husten und Niesen in die Luft und überleben lange in feuchter Umgebungsluft. Sie verbinden sich in der Luft mit feinen Wassertröpfchen, die sich nicht ablagern. Wie lange so ein Tröpfchen in der Luft überdauert, hängt rein von seiner Größe ab.

Das größte Vorkommen von Mikroorganismen im Gebäudeinneren gibt es im Winter. Um überleben und sich vermehren zu können, benötigen die meisten Mikroorganismen dringend hohe Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Bau- und technische Objekte bieten Mikroben keine idealen Lebensbedingungen, trotzdem finden sich darin bzw. darauf viele Mikrobenfamilien. Diese Mikroben benötigen eine außergewöhnliche Umwelt, um zu überleben. Sie gehören zu den sogenannten Extremophilen.

Ausgewählte Arten extremophiler Organismen, einschließlich ihres Vorkommens in der Umgebung, in der sie auftreten:

- Thermophile – hohe Temperaturen
- Psychrophile – niedrige Temperaturen
- Adidophile – saure Umwelt (geringer pH-Wert)
- Alkalophore – ätherische Umwelt (hoher pH-Wert)
- Halophylle – hohe Salzkonzentration
- Barophile – hoher Druck
- Oligophile – geringe Konzentration organischer Substrate
- Osmophile – wasserfreie Umgebung

In Gebäuden findet man zumeist psychrophile und alkalophile, aber auch osmophile und oligophile Mikroorganismen. Strukturelle Elemente von Häusern und Wohnunge (Holzbalken, Mauerwerk, Fußböden, Fensterrahmen etc.) können die Entstehung von Schimmelarten begünstigen, welche bestimmte Bedingungen für ihre Existenz und ihr weiteres Wachstum benötigen. Die vier Hauptkriterien sind eine bestimmte Feuchtigkeit, Temperatur, ein bestimmter pH-Wert von Baumaterialien und bestimmte Nährstoffe. Dort, wo eine hohe Feuchtigkeit vorherrscht, kann man von einer Schimmelbildung ausgehen. Gebäudestrukturen mit hoher Feuchtigkeit sind der perfekte Nährboden für

Schimmel. In den letzten Jahren hat es einen Anstieg des Schimmel-vorkommens in vielen Wohnungen gegeben. Der Grund dafür ist der Austausch der Fenster. Durch die neuen luftdichten Fenster werden die Räume nicht ausreichend belüftet, wodurch die Feuchtigkeit ansteigt. Andere Ursachen für Feuchtigkeit sind wie das Staatliche Gesundheitsinstitut aufzeigt, Leckstellen im Dach und der Anstieg des Grundwassers. Pilzbefall sieht nicht nur unästhetisch aus, er kann bei Menschen auch Allergien auslösen. Der Einfluss von Sauerstoff und der Einfluss der Sonnenstrahlung können von Art zu Art variieren.

9.1.1. Qualität des mikrobiellen Mikroklimas

Die Qualität des mikrobiellen Mikroklimas wird anhand der akzeptablen Mikrobenkonzentration bewertet. In Wohngegenden beträgt diese 200 bis max. 500 Mikroben/m³, im städtischen Umfeld findet man Konzentrationen von bis zu 1.500 Mikroben/m³. Die Qualitätsanforderungen an die Lebensumstände in konventionellen Gebäuden werden erfüllt, wenn die Konzentration an Bakterien oder Schimmel 500 KTJ/m³ Luft (Koloniebildungseinheiten) nicht übersteigt.

9.1.2. Optimierung des mikrobiellen Mikroklimas

Das optimale mikrobielle Mikroklima kann auf zwei grundlegende Arten sichergestellt werden:

- Eingreifen in die Entstehung von Mikroorganismen
- Eingreifen in die Ressourcen des Übertragungsfelds der Mikroorganismen hin zum ausgesetzten Subjekt

Um die Bildung von Mikroorganismen zu verhindern bzw. zu verringern, empfehlen sich insbesondere gründliche Hautpflege, spezielle Kleidung und Schuhe sowie die Abschottung von Patienten. Es ist ratsam, die Brauseöffnung im Klimaanlagensystem durch einen Dampfbefeuchter zu ersetzen, wo die Befeuchtung durch das Sprühen von Wasserdampf in die Heizvorrichtung sichergestellt wird. Es ist in diesem Zusammenhang notwendig, kondensierten Wasserdampf abzulassen. Anstatt eines Kondensators oder einer Entfeuchtungsanlage sollte man Trocknungsmethoden für den Heizkörper verwenden. Methoden zur Trockenluftfiltration sind besser, da die relative Feuchte der durch den Filter strömenden Luft nie mehr als 70% beträgt. Um das Kondensieren von Wasserdampf an den Wänden zu verhindern, kann man sich einer thermischen Isolation, einer geeigneten Heizmethode, Belüftung und Installationen von Entfeuchtungsanlangen bedienen.

Unter das Eingreifen in das Übertragungsfeld fällt die Verringerung der Verbreitung von Mikroben in einem Gebäude durch ein Sicherstellen der Sauberkeit der Innenausstattung, das Entfernen lästiger Insekten, ausreichend Frischluft (Belüftung), Luft-Desinfektion mittels UV-Bestrahlung oder durch das Implementieren geeigneter, modifizierender Substanzen in den Ober-flächenfilm.

10. ELEKTROSTATISCHE UND ELEKTROMAGNETISCHE ENERGIE IN GEBÄUDEN

Schlagworte: Elektrostatisches Mikroklima, statische Elektrizität, antistatische Agenten, Erdung, elektromagnetischens Mikroklima, elektromagnetische Strahlung, Elektrosmog

10.1. Elektrostatisches Mikroklima

Statische Elektrizität bezieht sich auf das Phänomene, welche durch die Anhäufung elektrischer Ladung an der Oberfläche verschiedener Körper und Objekte sowie deren sich berührenden Stellvertretern entsteht.

Statische Ladung wird entweder durch Reibung oder dadurch erzeugt, dass sich zwei Materialen treffen und wieder trennen. Dies führt zur Verbreitung oder zum Transfer negative Elektronen von einem Atom zum anderen. Die Größe der Ladung hängt von mehreren Faktoren ab, zB von dem Material, der Temperatur, der Feuchtigkeit, dem Druck und dem Materialabscheide-grad. Je höher der Druck oder die Abscheiderate ist, desto höher ist die Ladung. Statische Ladung tritt aufgrund von geringer Luftfeuchtigkeit verstärkt in den Wintermonaten auf. Zurückzuführen ist dies darauf, dass einige Materialien Feuchtigkeit (Wasser) aus der Luft absorbieren können und dadurch leitungsfähiger werden.

10.1.1. Entstehung statischer Energie

Eine der wahrscheinlich größten Quellen statischer Energie auf der Erde sind Wasserläufe, wo statische Elektrizität durch die Reibung von Wassermolekülen an Felsen oder dem Untergrund entsteht. Die Energiebestandteile (Auras, Zonen, Interzonen) von Untergrundquellen, Strömen, Flüssen, Stränden, Meeresströmungen und Küsten erzeugen ein massives dreidimensionales Netz, welches sich über die gesamte Erde erstreckt und dessen elektrischen Strom leitende Bestandteile mit Komponenten von Gewitterwolken und anderen Ladungen interagieren. Aufgrund des sich verändernden Flusses von Wasserläufen und der Verschiebung von Gewitterwolken sind alle drei Komponenten statischer Elektrizität in ständiger Bewegung. Diese Energie fließt in die Fauna und Flora.

Ursprung im Gebäudeinneren

- geringe Luftfeuchtigkeit
- nicht ausreichende Erdung des Gebäudes/der Böden
- alle Metalle
- Wasserfluss durch die Röhren des Heizungssystems
- elektrische Drähte
- alle elektrischen Anlagen
- Feuer usw.

Ursprung im Freien

- Standort des Gebäudes (Kreuzungspunkt statischer Zonen)
- Wind
- Gebäudegröße und Gebäudemasse
- Effekte statischer Elektrizität
- Schädigung der Elektronik
- erhöhte Spannung in Gehirnzellen
- unangenehme Schocks
- in der Gesundheitsversorgung und in der Industrie (Materialverhalten)

10.1.2. Optimierung des elektrostatischen Mikroklimas

Das optimale elektrostatische Mikroklima ist durch ein minimales Vorkommen von statischer Elektrizität gekennzeichnet. Die vollständige Vermeidung statischer Elektrizität ist unrealistisch. Dennoch ist es ratsam, statische Elektrizität zu minimieren.

Das potenzielle Auftreten statischer Elektrizität muss verhindert werden, zB durch passendes Erden oder eine geeignete Modifikation des elektrischen Transfers. Es ist notwendig, die angestaute Ladung in der kürzestmöglichen Zeit abzuleiten, um die Ansammlung hoher elektrostatischer Potenziale zu verhindern. Optimieren lässt sich das elektrostatische Klima entweder durch ein Eingreifen in ihren Ursprung oder durch ein **Eingreifen in ihr Übertragungsfeld**.

Regulieren lässt sich die Entstehung von Elektrostatik mithilfe **antistatischer Agenten und Erdungen**. Für gewöhnlich bedient man sich zu diesem Zweck leitender Filme, angefangen von Wasser bis hin zu Ammonium-Halogenen mit hohem molekularem Gewicht. Geeignete Kleidung und richtiges Schuhwerk können auch die Erzeugung statischer Elektrizität verringern.

Klimaanlagen und Oberflächenveredlungen von Wänden und Fußböden können das elektrostatische Feld optimieren. Die Schaffung eines optimalen elektro-ionischen Mikroklimas wird mittels Inversion, durch Luftionisierung oder durch ein Erhöhen der relativen Luftfeuchtigkeit erreicht. Das Risiko, dass statische Elektrizität entsteht, ist bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60-70% minimal. Bei Fußböden und Wänden sollte man sich bemühen, antistatische Verkleidungen und eine perfekte Erdung zu verwenden.

10.2. Elektromagnetisches Mikroklima

Das **elektromagnetische Mikroklima** ist jener Bestandteil der Lebensumstände im Inneren von Gebäuden, welcher durch ein alternierendes elektromagnetisches Feld aus elektromagnetischen Wellen mit einer Wellenlänge von mehr als einem Millimeter (3.1011 Hz) im Raum erzeugt wird und welchem eine Auswirkung auf den allgemeinen Zustand des Menschen zugeschrieben wird. Die magnetische Induktion sollte an Orten, wo sich Menschen häufig aufhalten und schlafen, nicht höher sein als 25 Nanotesla, sprich 0.025 μT (Mikrotesla).

Elektromagnetische Strahlung tritt sowohl im Freien als auch im Inneren von Gebäuden auf. **Elektromagnetische Strahlung** kann entweder von außen nach innen eindringen oder ihren Ursprung bereits im Gebäudeinneren haben. Im Freien sind atmosphärische Entladungen und Sonnenaktivitäten der natürliche Ausgangspunkt elektromagnetischer Strahlung. Künstlich **geschaffene Quellen** sind Transmitter und Hochspannungsleitungen. Eine im Gebäudeinneren befindliche Quelle elektro-magnetischer Strahlung können zB Mikromellen, Mobiltelefone, Monitore, Bildschirme und andere elektronische Geräte sein.

Ein Magnetfeld entsteht immer rund um den Leiter, durch welchen der elektrische Strom fließt. Umgekehrt, wenn sich das Magnetfeld ändert, wird der elektrische Strom immer in den Leiter induziert. Jede Veränderung des elektrischen Felds hat eine Veränderung des Magnetfelds zur Folge, dasselbe gilt auch umgekehrt.

10.2.1. Ausgangspunkte elektromagnetischer Strahlung

- Hochspannungsleitungen, Untergrundkabel, Transformatorstationen
- Hauptantennenstationen (BTS) und Hochgeschwindigkeitsinternet
- Mobilfunk-, Radio- und TV-Transmitter
- Sicherheitssysteme
- Elektrische Kreisläufe wie Steckdosen, Beleuchtung, Bodenheizung
- Haushaltsgeräte, Mikrowellen, Fernseher, Fernbedienungen
- Handys und Computer, WiFi-Geräte
- Ferngesteuerte Kinderspielzeuge und Babyphone

Unter **Elektrosmog** fällt die gesamte unsichtbare Strahlung, welche von Haushaltsgeräten abgegeben wird. Elektrosmog ist die elektromagnetische Strahlung, die auftritt, wenn Elektrizität erzeugt und übertragen wird – zB im Zuge der Verwendung elektrischer Geräte, in mobilen Netzwerken, in der Telekommunikation, aber auch in der Fernseh- und Radioübertragung. Abhängig von der Frequenz wird zwischen niedrig- und hochfrequentem Elektrosmog unterschieden.

Elektromagnetische Strahlung beeinträchtigt sowohl lebende Organismen als auch nicht-lebende Objekte. Am empfindlichsten reagieren die Augen, das Nervensystem und die Sexualorgane darauf. Nicht-lebende Objekte werden davon bedroht, wenn sie nicht gut genug davor abgeschirmt sind.

Elektromagnetische Kompatibilität (EMC) ist ein wissenschaftliches Feld, welches sich dem Schutz der Benutzer vor elektromagnetischer Strahlung widmet. Zum Einsatz kommt es nicht nur in speziellen Arbeitsumgebungen, sondern in allen Bereichen, wo Menschen mit elektromagnetischer Strahlung in Berührung kommen.

10.2.2. Faktoren des elektromagnetischen Mikroklimas

Der Hauptfaktor ist die **Bestrahlung**, welche von der Feldstärke und der Zeit, die man ihr ausgesetzt ist, abhängt. Die Feldstärke hängt von der Entfernung des Strahlungsursprungs und dessen Größe ab.

10.2.3. Optimierung des elektromagnetischen Mikroklimas

Optimieren lässt sich das elektromagnetische Mikroklima entweder durch ein Eingreifen in die Ausgangspunkte elektro-magnetischer Strahlung, einen Eingriff in das Übertragungsfeld oder den Einsatz persönlicher Schutzausrüstung. Der effizienteste Weg ist es, die Entstehung elektromagnetischer Strahlung zu verhindern. Schutzmaßnahmen sind mitunter Aluminium- oder Kobaldbleche mit einer Stärke von mindestens 0,5 mm. Die elektrische Abschirmung muss richtig geerdet werden. Ein Eingriff in das Übertragungsfeld besteht ebenfalls in der lokalen Abschirmung gemäß den Prinzipien der Quellenstrategien.

10.2.4. Schutz vor Elektrosmog

- Ausschalten elektrischer Geräte, wenn sie nicht verwendet werden
- Ausschalten des WLAN-Routers in der Nacht; den Stecker der Nachttischlampe aus der Steckdose ziehen, in der Nacht das Handy ausschalten oder es in den Flugmodus versetzen
- sich nicht vor einer Wand aufhalten, hinter der sich eine elektrische Anlage befindet
- einen Abstand von 0,5 bis einem Meter zu Kabeln und Verteilern halten
- keine Babyphone verwenden

Zu den Schutzmechanismen gegen elektromagnetische Strahlung zählen spezielle schützende Mauerverputze, Pfannen-steine, Fassaden, Farben und Fußbodenbeläge. Darüber hinaus gibt es auch Fensterblenden, getönte Stoffe an der Wand oder spezielle Handyhüllen.

.

II. ELEKTRO-IONISCHES MIKROKLIMA

Schlagworte: elektro-ionisches Klima, Lenard-Effekt, Ion, Anionen, Kationen, Aeroionen, Ionisator

II.I. Elektro-ionisches Mikroklima

Das **elektro-ionische Mikroklima** ist ein Bestandteil der Lebensumstände im Gebäudeinneren, welches durch positive und negative Ionen in der Atmosphäre erzeugt wird, die sich auf den Menschen auswirken und ihren allgemeinen Zustand formen.

Die Gasmoleküle sind unter normalen Bedingungen elektrisch neutral. Aufgrund der Auswirkungen ionisierender Energie gibt es nicht-elastische Zusammenstoße neutraler Moleküle. In der Folge dieser Präzipitationen werden Elektronen aus der orbitalen Sphäre gezogen, wodurch sich ein Paar elektrisch geladener Partikel bildet. Diese Partikel sind instabil und verbinden sich mit neutralen Atomen oder Molekülen zu Clustern (bis zu 30 Molekülen), welche stabiler sind. Diese Cluster werden Leichtionen genannt.

Ein **Ion** ist ein elektrisch geladenes Partikel, welches sich aus einem zunächst elektrisch neutralen Atom oder Molekül entwickelt, welchem Elektronen entzogen oder beigefügt werden, ohne dass sich die ursprüngliche Protonen-Anzahl verändert.

Ein **Aeroion** ist ein Komplex aus 10 bis 30 Molekülen, welches durch durch Zusammenführung elektrisch geladener Partikel mit neutralen Atomen entsteht.

II.I.I. Quellen von Ionisationsenergie

Ionen werden durch die Einwirkung eines elektrischen Felds, ionisierender und ultravioletter Strahlung und den sogenannten **Lenard-Effekt** erschaffen.

Die Bildung von Luftionen wird durch die Ionisation der Strahlung beeinflusst, die von natürlichen radioaktiven Substanzen ausgeht, welche in der Umwelt (Erdreich, Luft) enthalten sind. Kosmische Strahlen und die Strahlen schwerer Teilchen gelangen – ebenso wie ultraviolette Strahlen – durch die Sonne in höhere Schichten der Atmosphäre.

Im Inneren von Gebäuden können 222Ra und 220Ra auch sehr starke Quellen von Aeroionen sein. Diese sind in den Baustrukturen (Granit und Beton) enthalten, welche durch Diffusion in die Räume gelangen. Die Dichte an Aeroionen, vor allem in Kombination mit verringerter Zimmerbelüftung, kann daher im Gebäudeinneren deutlich höher sein als im Freien. In einem solchen Fall können Radon und seine Abwandlungen in der Luft die

höchstzulässigen Werte für einen langfristigen Aufenthalt in Räumen übersteigen. Dadurch werden sie zu einer großen Gefahr für die BewohnerInnen, welche nichts davon mitbekommen, da sich die Aeroionen nicht mit ihren Sinnen wahrnehmen lassen.

Der Lenard-Effekt (auch Sprühelektrifizierung, Wasserfalleffekt genannt) tritt auf, wenn Wasser in die Luft oder auf aufgeplatzte Gasblasen auf der Wasseroberfläche gesprüht wird und sich durch das Trennen kleiner Partikel von der Wasseroberfläche positive und negative Ionen bilden. Die gesamte Flüssigkeit wird deshalb in kleine negative Partikel und größere positiv geladene Tropfen unterteilt.

11.1.2. Auswirkungen von Ionen auf den menschlichen Organismus

Aeroionen dienen in erster Linie dazu, biochemische Reaktionen zu beschleunigen. Kleine oder sogar negative Ionen wirken sich positiv auf den Organismus aus. Sie haben einen positiven Effekt auf das Atmungssystem, wo sie ihre Ladung abgeben, was sich positiv in Form einer gesteigerten Aktivität des Ziliarepithels und der Schleimproduktion und eines höheren EEGs, Veränderungen des Blutdrucks, des Grundstoffwechsel und der subjektiven Empfindung von Frische manifestiert. Der positive Einfluss leichter negative Ionen wurde bei Asthmatikern, Allergenen und Rheumatismus beobachtet.

Negative Ionen (Anionen) im Körper führen zu einem Anstieg des pH-Werts im Blut, sinkendem Blutdruck, verringerter Sauerstoffaufnahme, einem Anstieg der Metabolisierung wasserlöslicher Vitamine, erhöhter Sekretbildung durch die Schleim-häute und einer besseren Widerstandsfähigkeit gegen Virus-Erkrankungen.

Positive Ionen (Kationen) führen zu einem Absinken des pH-Werts im Blut, einem niedrigeren Cholesterinspiegel sowie zum Austrocken der Schleimhäute.

Herrschten Kationen in der Luft vor, zeigt sich dies in der Natur durch den negativen Effekt einiger trockener, warmer Winde. Substanzen, welche sich auf die Ionen auswirken, spielen eine wichtige Rolle bei Stoffwechseleffekten und beim Weiterleiten bestimmter Impulse an das untere Mittelhirn, wo sich das Schlaf- und Stimmungszentrum von Menschen befindet.

Luft, die arm an Ionen ist, wird als „schwer“ bezeichnet. Luft, in welcher positive Ionen vorherrschen, bezeichnet man als „Nickerchen“. Luft, in welcher negative Ionen vorherrschen, erscheint „kalt“. Die Luft mit dem optimalen Verhältnis (p/n = 5/4) wird als „leicht und frisch“ beschrieben. Die Bildung mittlerer und besonders die Bildung schwerer Ionen sollte verhindert werden. Saubere Luft ist von größter Bedeutung. Ein elektro-ionisches Mikroklima muss immer zusammen mit einem Aerosol-Mikroklima in Angriff genommen werden.

Der Gehalt an leichten negativen Ionen im Inneren von Gebäuden wird durch menschliche Aktivitäten wie Rauchen verringert. Starkes Rauchen verringert den Gehalt leichter Ionen im Raum für einige Stunden. In einer verrauchten Umwelt leiden Menschen unter einer nicht näher spezifizierbaren Art problematischer Reizung, höherer Müdigkeit, Konzentrationsschwierig-keiten und sind überwies weniger leistungsfähig. Schlafstörungen bis hin zu Schlaflosigkeit können auftreten.

11.1.3. Optimierung des elektro-ionischen Mikroklimas

Um das elektro-ionische Mikroklima zu optimieren, kann man entweder in dessen Entstehung oder in sein Übertragungsfeld eingreifen.

Aeroionen gelangen über die Belüftung ins Gebäudeinnere, auf natürlichem Wege durch Fenster oder Fremdbelüftung, durch welche elektrisch geladene Partikel nicht entladen werden. Das Auftreten von Aeroionen hat signifikanten Einfluss auf verwendete Baumaterialien und Oberflächenveredelungen. Es ist ratsam, klassische Baumaterialien wie Ziegel und Holz zu verwenden. Unbehandeltes Rohholz neutralisiert – im Gegensatz zu glatten Furnieren – eine beträchtliche Menge an Aeroionen auf seiner Oberfläche.

Eine Art, die Zerstörung von Aeroionen zu verhindern, ist die Begrenzung von Übertragungsaktivitäten. Die zweite Option ist das Installieren von Aerosol-Ionisatoren. Aktuell werden hydrodynamische, koronaentladende und Deckenelektrodenionisatoren zur praktischen Verwendung hergestellt.

12. PSYCHISCHES UND LICHT-MIKROKLIMA

Schlagworte: Psychisches Mikroklima, Licht-Mikroklima, Beleuchtung, Farbraum, Farbe, Farbwahrnehmung, optische Annehmlichkeit

12.1. Farben im inneren von Gebäuden

Wie Farbe im Inneren von Gebäuden zum Ausdruck gebracht wird:

- Oberflächenfarbe und Lichtfarbe
- Oberflächenmaterial
- Kombination von Farben auf mehrfarbigen Oberflächen
- Raumgrößen

12.1.1. Innenbeleuchtung

Betreffend die Beleuchtung kann nach verschiedenen Lichtquellen unterschieden werden:

- Tageslicht: natürliches, verstreutes Licht und direkte Sonneneinstrahlung
- Kunstlicht: künstliche Lichtquellen
- Kombiniertes Licht: Tageslichtausleuchtung unterstützt durch künstliche Beleuchtung

Tageslicht ist für den menschlichen Körper besser geeignet als künstliches Licht. Der menschliche Biorhythmus wird auch mit einer regulären Wechselfolge zwischen hell und dunkel in Verbindung gebracht. Eine minimale Dosis an Tageslicht, welche als Tageslichtfaktor [%] bezeichnet wird, muss in Wohngebäuden sichergestellt werden.

Die Faktoren, welche zur Beschreibung des Licht-Mikroklimas verwendet werden, sind:

- Tageslichtfaktor
- Beleuchtung
- Farbwerttemperatur
- Farbwiedergabe-Index (CRI)
- Blendungsindex

Licht ist ein sichtbares Glühen, welches in der Lage ist, eine unmittelbare visuelle Wahrnehmung herbeizuführen, welche durch das normale menschliche Sehen evaluiert wird. Die Spannbreite sichtbarer Strahlung liegt im Wellenlengen-Bereich zwischen 380 und 780 nm.

Der **Tageslichtfaktor** ist das Verhältnis der durch direktes oder reflektiertes Himmelslicht erzeugten Beleuchtung eines Punktes auf einer bestimmten Fläche zu einem bestimmten Zeitpunkt zu einer vergleichbaren Beleuchtung einer im freien befindlichen, unverdunkelten horizontalen Fläche auf Grundlage einer angenommenen oder bekannten Verteilung der Helligkeit des Himmels. Der Beitrag direkter Sonneneinstrahlung zu beiden Lichtintensitäten wird ausgesondert. Der Wert des Tageslichtfaktors wird als Prozentzahl ausgedrückt.

Lichtintensität (Beleuchtung) ist eine lichttechnische Menge, welche als das Lichtflussvorkommen pro Oberflächeneinheit definiert ist. Es handelt sich daher um das Verhältnis des Lichtflusses (Lumen) zur Fläche (m^2).

12.1.2. Farbe des Raums

Die visuelle Wahrnehmung von Farben erzeugt das Gefühl von Wärme und Kälte. Physiologische Funktionen, darunter auch der Grundstoffwechsel, werden durch warme Farben beschleunigt und umgekehrt. Die Veränderung hängt auch vom aktuellen physiologischen Zustand ab. Grün und blau sind passive und kalt-erscheinende Farben, welche die geistige Konzentrations-fähigkeit und die Ausdauer bei der produktiven Arbeitsleistung fördern. Warm-erscheinende Farben (rot, orange oder gelb) haben einen dynamisch-stimulierenden Effekt.

Farbe ist eine Eigenschaft des Lichts oder die Substanz, von der das Licht ausgeht. Farbe ist der Ausdruck der Wahrnehmung, welche auf der Netzhaut mittels sichtbarer elektromagnetischer Strahlen (Wellen) erzeugt wird.

Die **Farbwahrnehmung** hängt von der spektralen Zusammensetzung des einfallenden Lichts (Abhängigkeit von Lichtfluss und Frequenz oder Wellenlänge) und dessen Stärke in Relation zum Hintergrund ab. Rezeptoren, welche dreifarbige Zäpfchen genannt werden, reagieren empfindlich auf die drei Grundfarben rot, grün und blau, welche für das Farbsehen verantwortlich sind. Alle bekannten Farben basieren auf diesen drei Grundfarben.

Die vom Auge wahrgenommene Farbe kann die durch Berührung oder Muskelanspannung ausgelöste Empfindung im Gehirn beeinflussen (dasselbe Objekt kann, je nach Farbe, als leichter oder schwerer betrachtet werden). Die Farbe beeinflusst auch die räumliche Wahrnehmung. Ein Raum kann optisch größer oder kleiner sowie höher oder

niedriger erscheinen, da die Farbe der Umgebung den Eindruck von Volumen oder Festigkeit erzeugt oder sich auf diesen auswirkt. Forschungen im Jahr 1977 kamen zu dem Schluss, dass warme Farben die thermische Annehmlichkeit im Vergleich zu kalten Farben um bis zu 0,4 °C verschieben.

Allgemein gilt, dass schwarz knapp 25 Mal dunkler ist als weiß. Wenn eine 40-Watt-Glühbirne ausreicht, um einen Raum mit weißen Wänden auszuleuchten, bräuchte man daher eine 1000-Watt-Glühbirne, um dieselbe Lichtwahrnehmung in einem Raum mit schwarzen Wänden zu erzeugen.

12.1.3. Effekte von psychischem und lichtbedingtem Stress

Die visuelle Wahrnehmung des Innenraums hängt eng mit dem zentralen Nervensystem zusammen. Das Licht-Mikroklima begünstigt Gefühle wie Ärger, Aufregung, Freude und Heiterkeit. Das Licht-Mikroklima wird durch die geometrischen Dimensionen des Raums, die Art der Lichtquelle, die Anzahl und die Anordnung der Beleuchtungskörper, die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, die Farbwiedergabe und den Raumkontrast bestimmt. Geistige Erschöpfung kann die Folge aller Bestandteile dieser Lebensumstände auf das menschliche Nervensystem sein.

12.1.4. Optimierung des psychologischen und Licht-Mikroklimas

Die Farbe der Umgebung und ihre Bestandteile haben in ihrer Gesamtheit psychologische Auswirkungen auf den Organismus. Es gibt keine allgemeingültige Optimierung des Licht-Mikroklimas. Das Ziel der Optimierung des psychischen und Licht-Mikroklimas ist es, eine optische Annehmlichkeit zu erzielen. Optische Annehmlichkeit (Wohlbefinden) ist jener Zustand des Organismus, in welchem das visuelle System funktioniert und jemand die Lichtsituation als angenehm empfindet.

13. LITERATUR

BEDNÁŘOVÁ, Petra a Jana KREJSOVÁ, 2008. Zdravé domy pro zdravé lidi, VŠTE v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-903888-9-5. [in Czech]

GODISH, Thad. Indoor environmental quality. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 2001. ISBN 1566704022. [in English]

JOKL, Miloslav. Zdravé obytné a pracovní prostředí. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0928-0. [in Czech]

JUHÁSOVÁ ŠENITKOVÁ, Ingrid. Vnímaná kvalita prostředí a výkonnost uživatelů budov. 1. vyd. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2016. 136 s. ISBN 978-80-7468-104-2. [in Czech]

KRAUS, Michal a Ingrid JUHÁSOVÁ ŠENITKOVÁ, Indoor Air Quality of Residential Buildings. In: In 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2017: Book 6 Nano, Bio and Green – Technologies for a Sustainable Future, Sofia (Bulharsko): International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 2017. [in English]

KRAUS, Michal a Ingrid JUHÁSOVÁ ŠENITKOVÁ, Indoor Environment in Residential Prefabricated Buildings. In: World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2017, Prague. [in English]

KRAUS, Michal a Ingrid JUHÁSOVÁ ŠENITKOVÁ, Indoor Environment in Residential Prefabricated Buildings. In: World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2017, Prague. [in English]

KRAUS, Michal, Hygrothermal Analysis of Indoor Environment. In: World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2017, Prague. [in English]

KRAUS, Michal, Hygrothermal Analysis of Indoor Environment. In: World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2017, Prague. [in English]

KRAUS, Michal. Airtightness as Key Factor of Sick Building Syndrome (SBS). In 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016: Book 6 Nano, Bio and Green - Technologies for a Sustainable Future, Volume II. 1. vyd. Sofia (Bulharsko): International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 2016. s. 439-445, 7 s. ISBN 978-619-7105-69-8. doi:10.5593/sgem2016B62. [in English]

NEZNAL, Matěj a Martin NEZNAL. Ochrana staveb proti radonu. Praha: Grada, 2009. ISBN 8024730650. [in Czech]

Radonový program České republiky [online]. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z: http://www.radonovyprogram.cz [in Czech]

Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. [online]. Praha: SÚRO, 2017 [cit. 2017-06-21]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz [in Czech]

ŠENITKOVÁ, Ingrid, Silvia VILČEKOVÁ a Marcela ONDOVÁ. Budovy a prostredie. 1. vyd. Košice: TU, SvF, 2011. 165 s. ISBN 978-80-553-0668-1. [in Slovak]

TŮMA, Jiří. Tepelná pohoda [online]. Praha: Fakulta elektrotechnická, ČVUT, 5228 [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: http://heat.feld.cvut.cz/mertaj/tuma2.html [in Czech]