

ionisierte luft im innen- raum

Hrsg. Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)
Horw, Januar 2013

Review zur Anwendung ionisierter Luft im Innenraum



Impressum

Herausgeberin	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP) Technikumstrasse 21 CH-6048 Horw www.hslu.ch/cctp
Autoren	Dr. Jan Eckert ¹ Sibylla Amstutz ¹ Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Külpmann ² Prof. Kurt Hildebrand ² Prof. Dr. Peter Schwehr ¹
Praxispartner	s-Leit swissengineering AG, Beckenried Durrer-Technik AG, Adligenswil
Datum	Januar 2013
Kontakt	cctp.technik-architektur@hslu.ch
ISBN	978-3-033-03859-2
Nutzungsrecht	Die vorliegende Publikation unterliegt dem Urheberrecht der Herausgeber und der Autorenschaft. Gemäss dem Vervielfältigungs- und Verbreitungsrecht darf die Publikation in ihrer bestehenden Form vervielfältigt und an Dritte weitergegeben werden. Sämtliche Textauszüge oder Bildmaterial, welches anderweitig zitiert oder publiziert wird, muss entsprechend gekennzeichnet, sowie die Autorenschaft erwähnt werden.

¹ Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)

² Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Abteilung Gebäudetechnik

Zusammenfassung

Die vorliegende Literaturreview zur Anwendung ionisierter Luft im Innenraum behandelt die Frage, ob und wie sehr sich ionisierte Raumluft auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen in Innenräumen auswirkt. Anhand dieser Review soll die Frage geklärt werden, welche Zusammenhänge zwischen einem künstlich wieder hergestellten Ionengehalt der Raumluft, wie er auch in der Natur besteht, und den Wirkungen beim Menschen nachgewiesen werden können. Darüber hinaus wird versucht zu ermitteln, ob ionisierte Raumluft auch im Zusammenhang mit dem Sick Building Syndrom (SBS) zu einer Verbesserung der Raumluftqualität und einer niedrigeren Wahrscheinlichkeit für SBS beitragen kann.

Zur Klärung dieser Fragen wurde eine umfassende Recherche der nationalen und internationalen Literatur durchgeführt, sowie verschiedene Herstellerinformationen hinzugezogen. Die Resultate der einzelnen Studien geben deutliche Hinweise darauf, dass Zusammenhänge zwischen der Gesundheit, dem Wohlbefinden und der physischen Leistungsfähigkeit und dem Ionengehalt der Luft bestehen. Dabei ist offensichtlich die Wiederherstellung vom natürlichen Verhältnis von negativen zu positiven Ionen von Bedeutung. Es konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass ionisierte Luft zu einer verbesserten Luftqualität beitragen kann, da durch Luft-Ionisierung der Anteil an Aerosolen und organischen Partikeln in der Luft gesenkt wird. Weiter sticht in Bezug auf den Menschen die verbesserte Sauerstoffaufnahme bei einem ausgewogenem Ionenverhältnis als wohl aussagekräftigster Indikator im Zusammenhang mit der Gesundheit, dem Wohlbefinden und der Leistungsfähigkeit heraus.

Die Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass noch ein enormer Forschungsbedarf besteht, um die Wirkung von ionisierter Raumluft in Abhängigkeit von z. B. der verwendeten Baumaterialien, deren statische Aufladung und der Raumluftfeuchte genauer beurteilen zu können. Auch sollten die Auswirkungen von verschiedenartig ionisierter Luft auf Menschen im Bereich der Büroarbeit mittels der Durchführung von breit angelegten Feldstudien verlässlicher belegt werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
2. Luftqualität	10
2.1. Luftqualität als Komfortfaktor	10
2.2. Das Sick Building Syndrom und Luftqualität	10
2.3. Luftqualitätsbeeinflussende Stoffe und Abscheideverfahren	12
3. Ionen in der Luft	17
3.1. Luft Ionen	17
3.2. Entstehung auf natürlichem Wege	17
3.3. Entstehung auf künstlichem Wege	18
3.4. Ionendichte und Ionenverhältnis	19
3.5. Ionisationsverfahren	20
4. Auswirkungen von Luft Ionen auf den Menschen	22
4.1. Allgemeines	22
4.2. Übersicht zur Luft-Ionen-Forschung	23
4.3. Resultate	27
4.3.1. Wohlbefinden	27
4.3.2. Senkung von VOC und antibakterielle Wirkung	27
4.3.3. Auswirkung auf die Sauerstoffaufnahme beim Menschen	28
4.3.4. Folgeeffekte auf die Leistungsfähigkeit	28
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	30
6. Literaturverzeichnis	32
7. Abbildungsverzeichnis	34

1. Einleitung

Die Menschen in Europa halten sich heute durchschnittlich 90% der Zeit in Innenräumen auf. Dabei atmet der Mensch je nach Alter und Aktivität 10 bis 20 m³ Luft pro Tag ein, was einer Masse von 12 bis 24 kg Luft entspricht (Umweltbundesamt Deutschland). Dies ist weitaus mehr, als ein Mensch durch Nahrung (Lebensmittel und Trinkwasser) zu sich nimmt. Die Qualität der Innenraumluft ist deshalb wichtig für das Wohlbefinden der Menschen. Ein wesentliches Problem bei der Bereitstellung von hochwertiger Innenraumluft ist die Verunreinigung durch Inhaltsstoffe wie etwa Partikel, Mikroorganismen oder Gase. Diese Inhaltsstoffe können sich unter Umständen negativ auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen auswirken. Seit 1983 wurde eine Reihe von Befindlichkeitsstörungen, die unter anderem mit der Qualität der Raumluft zusammenhängen, auch unter dem sogenannten «Sick Building Syndrom» (SBS) zusammengefasst (WHO, 1983).

Um den negativen Einwirkungen einer niedrigen Raumluftqualität entgegenzuwirken, gibt es eine Anzahl von Verfahren, welche den Gehalt an beeinträchtigenden Inhaltsstoffen auf ein für den Menschen unbedenkliches Mass senken; respektive positive Qualitäten der natürlichen Aussenluft wieder herstellen. Einer dieser Ansätze ist die Ionisierung der Raumluft. Ziel der vorliegenden Literaturreview ist es, einen Überblick über den Stand der Forschung und Kenntnisse zu den Auswirkungen von ionisierter Luft in Innenräumen auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen zu geben.

Zusammenhänge zwischen der Luftqualität in Innenräumen und dem Wohlbefinden des Menschen wurden schon häufig nachgewiesen (s. dazu u. a. Bundesamt für Gesundheit), allerdings konnte bisher noch nicht genau genug nachgewiesen werden, welche Rollen dabei die Ionendichte und das Ionenverhältnis spielen. In der Geschichte der Ionenforschung finden sich stellenweise Hinweise darauf. So etwa in Studien, die eine erhöhte Sauerstoffkonzentration im Blut von ionisierter Luft ausgesetzten Probanden nachweisen (Varga, 1972, 1986). Dies führte unter Umständen auch zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Demgegenüber konnte in der bisher einzigen gross angelegten ProKlimA Feldstudie kein Einfluss von ionisierter Raumluft auf den Sauerstoffgehalt im Blut der Probanden nachgewiesen werden. Beide Studien geben aber aus heutiger Sicht keine vollständigen Angaben zur Art und Höhe der Luftionisierung (Bischof et al., 2004).

Ein historischer Überblick über die Erforschung von atmosphärischen Ionen und eine Auswahl an Studien, die die Auswirkungen auf den menschlichen Organismus behandeln, versucht darzustellen, wo bisher Probleme beim Nachweis und der Anwendung von atmosphärischen Ionen in Innenräumen lagen.

Mit dieser Literaturreview soll die Grundlage geschaffen werden, um der Frage weiter nachgehen zu können, ob die Wiederherstellung der natürlichen Ionendichte und des Ladungsverhältnisses der Raumluft durch Ionisierung die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen speziell bei der Ausführung von Büroarbeit fördern kann.

Im ersten Teil dieser Literaturreview sind die Grundlagen der Luftqualität in Innenräumen, so wie die Definition des Sick Building Syndrom (SBS) und deren Zusammenhang mit der Luftqualität beschrieben.

Im zweiten Teil ist das Phänomen der Luft Ionen und deren physiologische Bedeutung dargestellt. Ein geschichtlicher Überblick zeichnet darüber hinaus die Erforschung von «Atmosphärischen Ionen» nach und zeigt auf, welche Ergebnisse und Probleme im Laufe der Zeit ermittelt werden konnten. Weiterhin werden die verschiedenen Ionisierungsverfahren erläutert. Anschliessend wird zusammengetragen, welche nachweisbare physiologische Bedeutung die Ionen auf den Menschen haben. Dazu wurden vier wesentliche Aspekte betrachtet, die Zusammenhänge zwischen ionisierter Raumluft und dem Wohlbefinden, der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit des Menschen erkennen lassen:

- Komfort
- Senkung von VOC, Mikroorganismen und antibakterielle Wirkung
- Sauerstoffaufnahme des Menschen
- Folgeeffekte auf die Leistungsfähigkeit.

2. Luftqualität

2.1. Luftqualität als Komfortfaktor

In der natürlichen Umgebung wird die Luft meist als angenehm und wohltuend empfunden. Folglich stellt sich die Frage, wieso dies in manchen Innenräumen nicht der Fall ist und wo die Gründe für eine unterschiedlich wahrgenommene Qualität der Luft liegen, um daraus schliessen zu können, welche Qualitäten der Luft entscheidend für das Wohlbefinden des Menschen sind.

Das Wohlbefinden in Innenräumen wird bekanntlich durch unterschiedliche Faktoren bestimmt. Nebst der Akustik, der Lichtqualität und der thermischen Behaglichkeit spielt u. a. die Luftqualität eine wesentliche Rolle dabei, wie und ob ein Raum als angenehm beurteilt wird. Bisher wird die Qualität der Luft hauptsächlich an ihrer Reinheit festgemacht, respektive wie sehr sie etwa mit Inhaltsstoffen, wie beispielsweise Partikeln, Mikroorganismen oder Gasen verunreinigt ist. Somit soll die Innenraumluft der Norm nach auf ein vorgegebenes Mindestqualitätsmass gebracht werden. Zum Beispiel machen seit 2007 die SIA-Norm «382/1» und international EU- und ISO-Richtlinien zur «Indoor Air Quality, IAQ» Mindestangaben zur Raumluftqualität in Innenräumen. Um es zu erfüllen, stellt die Raumluftechnik (RLT) standardmässig verschiedene Verfahren zur Reduktion und Abscheidung von unerwünschten Inhaltsstoffen zur Verfügung.

2.2. Das Sick Building Syndrom und Luftqualität

Seit den 1970er Jahren werden eine Reihe von Befindlichkeitsstörungen beobachtet, die nicht auf eine konkrete Erkrankung zurückgeführt werden können, sondern mit dem Aufenthalt in Innenräumen in Verbindung gebracht werden und abklingen, sobald das Gebäude verlassen wird (Fiedler 2012, Bischof & Wiesmüller 2007, Lindvall 1992, Norbäck 1992, Sullivan Jr. et al. 1992). Im Jahre 1983 fasst die World Health Organisation WHO diese Störungen unter dem Begriff «Sick Building Syndrom» (SBS) zusammen und prägt erstmals den Begriff SBS (WHO, 1983).

Häufig genannte Symptome sind Augenbeschwerden (brennende/gereizte oder tränende Augen), Trockenheitssymptome (erkältungsähnliche Symptome), Irritationen der Haut oder neurosystemische Beschwerden, wie etwa Kopfschmerzen, Müdigkeit oder gereizte Haut (SBS Symptome laut WHO, 1983). Darüber hinaus unterscheidet die WHO zwei Arten von SBS: das «temporäre SBS», welches jene Beschwerden kurz nach dem Bezug eines Gebäudes beschreibt und das «permanente SBS», welches auch nach dem Bezug andauernd anhält.

Dennoch ist das SBS kein medizinischer Fachbegriff, sondern fasst lediglich einen Komplex unspezifischer Symptome zusammen (Fiedler 2012), welche grösstenteils mit nicht messbaren, aber mit dem Gebäude im Zusammenhang stehenden Einflussfaktoren in Zusammenhang gebracht werden. Dadurch muss das SBS abgegrenzt werden von jenen gesundheitlichen Beschwerden, welche auf spezifische Grössen und Angaben der betroffenen Personen bezogen werden können. Darunter finden sich (vergl.: Fiedler 2012, Bischof & Wiesmüller 2007):

- Building Related Illness (BRI) und Building Related Complaints (BRC), welche beide spezifische Beschwerden beschreiben, die auf konkrete, messbare Ursachen des Aufenthaltes in Gebäuden zurückzuführen sind. (Beispiel: Schimmelpilz – Schimmelpilzallergie, Legionellen etc.).
- Multiple Chemical Sensitivity (MCS) ist ein klinisches Syndrom, welches multiple, unspezifische Beschwerden auslösen und allgemein auf Chemikalien- und Medikamentenunverträglichkeit zurückgeführt werden kann (Allergien, Hautveränderungen, Kopfschmerzen, Konzentrationsstörungen, Gelenk- und Muskelschmerzen).
- Das Chronic Fatigue Syndrom (CFS) ist ein chronischer oder lang andauernder Erschöpfungszustand. Dieser wird unter Umständen auch von Gelenk-, Muskel- und Halsschmerzen, Lymphknotenschwellungen, Kopfschmerzen und Konzentrationsschwierigkeiten begleitet.

Während BRI, BRC, MCS und CFS konkrete gesundheitliche Beschwerden einzelner Personen beschreiben, beziehen sich die Symptome des SBS meist auf Angaben von Personengruppen. Als Ursachen für das SBS werden verschiedene Faktoren angegeben. In SBS-Studien an Büroarbeitsplätzen wurde eine Reihe dieser Risikofaktoren identifiziert. Dazu zählen eine ungenügende Lüftung, mangelnde Hygiene bei Klimaanlage, Emissionen von geruchsintensiven und reizenden Substanzen aus Materialien und Geräten, Feuchtigkeitsschäden, störende Dauergeräusche und schlecht eingerichtete Bildschirmarbeitsplätze. Einen grossen Einfluss auf die Häufigkeit und die Stärke der dem SBS zugeordneten Beschwerden hat aber auch ein erhöhter psychischer Stress am Arbeitsplatz. Dieser kann zum Beispiel durch Arbeitsüberlastung, Mangel an Einflussmöglichkeiten, Mangel an Privatsphäre oder Probleme mit Mitarbeitenden und Vorgesetzten verursacht sein. (Bundesamt für Gesundheit).

Häufig kann bei den Betroffenen festgestellt werden, dass die Symptome entweder nach dem Verlassen des «kranken Gebäudes» nachlassen oder wenn die Luftwechselrate erhöht wurde (Amstutz 2010, Bischof et al. 2004). Diese Erkenntnis lässt einerseits die Vermutung zu, dass einige der Symptome des SBS mit der Raumluftqualität in Verbindung stehen. Andererseits lässt sich folgern, dass die Qualität der Luft, wie sie in der natürlichen Umgebung, und somit ausserhalb von Gebäuden, anzutreffen ist, keine SBS hervorrufen sollte und das Wohlbefinden, die Gesundheit und somit die Leistungsfähigkeit des Menschen unterstützt wird.

Unter den umfangreicheren Studien zum Sick Building Syndrom berücksichtigt lediglich die ProKlima Studie Luft Ionen als Einflussvariable und bezieht diese unter den physikalischen, chemischen und biologischen Raumklimavariablen mit ein (Bischof & Wiesmüller 2007).

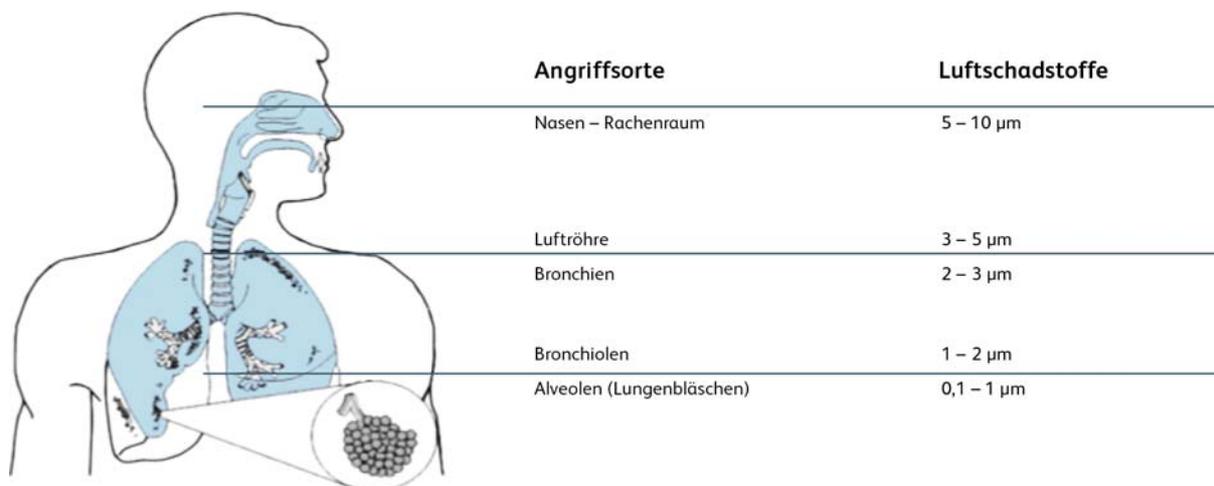
Dabei wurde bei keiner der Einflussvariablen dieser Gruppe ein signifikanter Einfluss auf die übergreifenden, unter SBS zusammengefassten Beschwerden, festgestellt. Über den direkten Bezug von Luft Ionen zu einzelne Beschwerden oder darüber ob und wie sehr der Ionengehalt der Luft bei der Untersuchung beeinflusst worden ist, wird auch in dieser Studie keine Aussage getroffen.

2.3. Luftqualitätsbeeinflussende Stoffe und Abscheideverfahren

Wenn sich ein erhöhter Gehalt mancher Inhaltsstoffe in der Raumluft negativ auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen auswirken kann, spricht man von Schadstofflasten. Bei diesen ist zu unterscheiden zwischen «Bestoffungslasten» und «Entstoffungslasten» (Rietschel, 1994). Die meisten «Entstoffungslasten» entspringen Stoffquellen, die sich im Raum befinden. Sie erzeugen Emissionen, deren Konzentration entsprechend abgesenkt, beziehungsweise die aus dem Raum abgeführt werden müssen. Die häufigsten Emissionsquellen sind Menschen sowie Bau- oder Einrichtungsmaterialien. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, dass Schadstoffe über verunreinigte Aussenluft infiltriert werden.

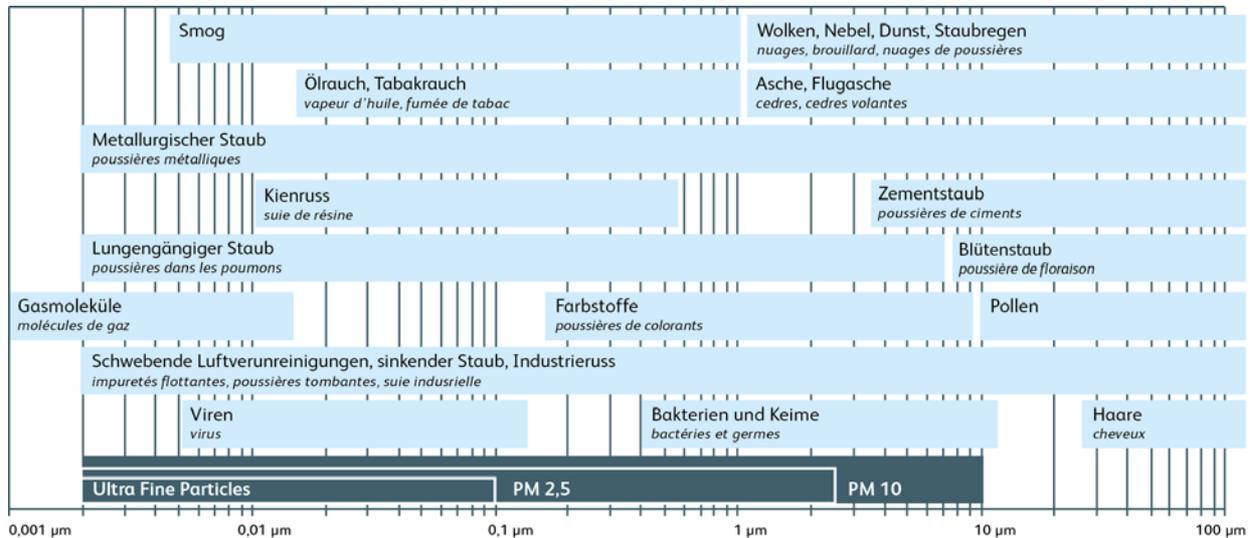
«Bestoffungslasten» hingegen rühren von einer zu niedrigen Konzentration eines Inhaltsstoffes der Raumluft, so dass dessen minimale Konzentration durch künstliches Zufügen des entsprechenden Stoffes erzeugt werden muss.

Luftgetragene Belastungsstoffe können vielseitig in ihrer Wirkung auf den Menschen sein und ihre Eindringtiefe in die Atemungswege hängt im Wesentlichen von ihrer Grösse ab, wie Darstellung 1 verdeutlicht.



Darstellung 1: Belastung der menschlichen Lunge durch Stäube
 Quelle: «PM10 Fragen und Antworten», BAFU, 11/06; vergl. SWKI-Richtlinie VA101-01: 2007, Seite 15

Gerade Partikel mit einer Grösse von unter 3 µm mittlerer Durchmesser erreichen die Bronchien und Bronchiolen. Sie können zu einer Verschlechterung der Lungenfunktion führen und eine Verstärkung von Asthmasymptomen, erhöhte Anfälligkeit von Atemwegserkrankungen und sogar ein erhöhtes Krebsrisiko bewirken. Nicht nur Feinstaub, auch Bakterien und Viren liegen in dieser Grössenordnung, wie die Übersicht von Belastungsstoffen in Darstellung 2 erkennen lässt.



Darstellung 2: Partikelgrößenverteilung

Quelle: Camfil & Farr; 2007; vergl. SWKI-Richtlinie VA101-01: 2007, Seite 20

Praktisch alle Regelwerke zur Raumluftqualität (z. B. SIA 382/1, 2007) geben vor, dass von ihr keine gesundheitlichen Störungen und keine Beeinträchtigung des Wohlbefindens ausgehen darf. Da Aussenluft in den meisten Fällen noch «sauber» genug ist genügt es bis heute, die Raumluft mit gefilterter Aussenluft zu mischen, die Raumlasten also zu verdünnen. Dies führt zu unterschiedlich hohen Werten der spezifischen Aussenluftfrate in den Regelwerken (z. B. 36 m³/h und Person).

Nachfolgend sollen die häufigsten luftqualitätsrelevanten Inhaltsstoffe in der Aussen- und Raumluft, ihre charakteristischen Merkmale und übliche Abscheideverfahren kurz erläutert werden:

Partikel

Sie sind physikalisch und chemisch neutral und formstabil. Partikel sind biologisch nicht aktiv. Das heisst, sie haben primär keine Auswirkungen auf den menschlichen Stoffwechsel und können lediglich sekundäre Einflüsse auf das Stoffwechselsystem ausüben.

Abscheidungsverfahren von Partikeln

Variante 1: Anlagerung an den Fasern von Partikelfiltern.

Die Abscheidung erfolgt dabei durch Trägheits-, Sperr- oder Diffusionseffekte. Je nach Filteraufbau können fast alle Grössenordnungen von Partikeln abgeschieden werden. Die Luftfiltrierung ist das umfangreichste erforschte und entwickelte Abscheidungsverfahren von Luftverunreinigungen und soll im Rahmen dieser Review nicht weiter erläutert werden.

Variante 2: Abscheidung mittels Elektrofilter.

Dieses Verfahren findet als Spezialvariante in der Prozesslufttechnik Anwendung und hat sich nicht in der Komfortlüftung durchgesetzt. Es hat seine Vorzüge bei der Abscheidung von Feinstaub. Dabei durchströmen die Staubteilchen ein elektrisches Gleichstromfeld, das zwischen Sprühelektroden und gegenpoligen Niederschlagselektroden gebildet wird. Die aufgeladenen Partikel werden an der Niederschlagselektrode durch Anhaftung abgeschieden. Die Niederschlagselektroden sind regelmässig zu reinigen.

Elektrofiltertechniken können Prinzip bedingt auch zur unregelmässigen Spaltung von Luftsauerstoff und Bildung von Ozon führen.

Mikroorganismen

Darunter fallen Keime (= Bakterien, Viren), Pollen, Pilze, sowie deren Teilprodukte: Sporen und Endotoxine. Mikroorganismen sind biologisch aktiv und ihre Vermehrung und Lebensdauer hängt sehr unterschiedlich von den Umgebungsbedingungen ab. Sie können Stoffwechselfvorgänge des Menschen beeinflussen, respektive Infektionskrankheiten erregen oder zu übermässigen Abwehrreaktionen (allergischen Reaktionen) führen. Bezogen auf die Abscheidungsverfahren ist die Grössenordnung ein Unterscheidungsmerkmal:

Bakterien, Pollen, Pilze, Sporen: Grössenunterteilung $> 0,5 \mu\text{m}$,

Viren, Endotoxine: Grössenunterteilung $< 0,5 \mu\text{m}$.

Abscheidungsverfahren von Bakterien, Pollen, Pilze, Sporen

Variante 1: Abscheidung und dabei Ansammlung in Partikelfiltern.

Hohe Abscheidung ab Filterklasse F 9 möglich (vergl. SWKI 101-01, EN 779, VDI 3803-4).

Inaktivierung nicht sicher und dauerhaft möglich.

Variante 2: Denaturierung durch UV-Lichtbestrahlung.

Die Energie der elektromagnetischen Strahlung von Ultraviolettlampen kann bei ausreichender Intensität und Wellenlängenspektrum die schützende Proteinhülle von Mikroorganismen durchdringen und den Zellkern schädigen. Dabei sollte das Wellenlängenspektrum der Lampen im Bereich «UV-C»

liegen (100 – 280 nm), um nicht gleichzeitig eine unkontrolliert hohe Bildung von Ozon zu erreichen. Mit besonders hoher Intensität wird zudem eine mechanische Zerstörung der Zellen erreicht. Die Wirksamkeit von UV-Lichtenergie nimmt stark mit der Entfernung zwischen Lichtquelle und bestrahltem Keim ab.

Variante 3: Denaturierung durch Ozonzugabe der Luft.

Mit Hilfe eines geregelten Ozongenerators werden Sauerstoff-Radikale und Ozon erzeugt. Durch ihre Berührung mit Mikroorganismen wird deren Zellstruktur geschädigt und dabei die Radikale und Ozon wieder in Sauerstoff und andere chemisch stabile Moleküle umgewandelt. Im Vergleich zur Variante 2 benötigt Variante 3 mehr Einwirkzeit und die erforderliche Ozonkonzentration ist für Mensch und Tier gesundheitsgefährlich. Dieses Verfahren ist daher nicht zur kontinuierlichen Reinigung von Raumluft, sondern nur zur Desinfektion und dem Abbau von starken oxidierbaren Gerüchen in Nichtaufenthaltsbereichen anzuwenden.

Abscheideverfahren von Viren, Endotoxine

Variante 1: Abscheidung und dabei Ansammlung in mechanischen Filtern.

Hohe Abscheidung ab Filterklasse H13 möglich (vergl. VDI 3803-4). Inaktivierung nicht sicher und dauerhaft möglich.

Variante 2: Denaturierung durch UV-C-Lichtbestrahlung.

Dabei erfolgt eine Zellkernschädigung bzw. mechanische Zerstörung. Ozon ist bei Viren meist wirkungslos, da ihre Zellwände sehr hart sind.

Gase

Bei Gasen wird unterschieden zwischen nicht gesundheitsgefährdenden Gasen, wie etwa Düfte und Gerüche, sowie gesundheitsgefährdenden, riechbaren oder nicht riechbaren (Gift-)Gasen.

Düfte und Gerüche können angenehm oder unangenehm riechen und sind physikalisch und chemisch praktisch neutral. Sie zerfallen durch die Reaktion mit Sauerstoff.

Riechbare und nicht riechbare (Gift-)Gase hingegen sind chemisch aggressiv und meist reaktionsfähig mit Sauerstoff. Dabei bilden sich häufig weitere Stoffe, die ebenfalls chemisch aggressiv sein können (z. B. Säuren). (Gift-)Gase können angenehm oder unangenehm riechen, aber auch geruchlos sein.

Sie können Reizreaktionen der Atemwege und der Haut bewirken, sowie betäubend auf das Zentrale Nervensystem (ZNS) wirken und im Extremfall zu Vergiftungen führen.

Abscheideverfahren für nicht gesundheitsgefährdende Gase

Anlagerung an Aktivkohle bis Anlagerungskapazität erschöpft ist.

Abscheideverfahren für Gesundheitsgefährdende Gase

Abhängig von Gasart: Anlagerung in Molekularfiltern z. B. an Aktivkohle, sonst Absaugung, Verdünnung mit Aussenluft. Meist nur bei Abluft: Absorption durch Wasser mittels Sprühbefeuchter (z. B. bei NH_3).

Elektromagnetische Felder

Das Vorkommen und die Stärke elektromagnetischer Felder sind abhängig von der Nähe zu hochfrequenten Stromleitern oder Radiowellen-Sendestationen. Elektromagnetische Felder sind vom Menschen zunächst nicht wahrnehmbar. Sie können jedoch in hoher Konzentration und bei langer Einwirkung gesundheitsgefährdend sein, indem sie das Zellwachstum negativ beeinflussen.

Schutzvorkehrungen vor elektromagnetischen Feldern

Abschirmung von Räumen durch elektrisch leitende Umschliessungsflächen und umfangreicher Erdung.

3. Ionen in der Luft

3.1. Luft Ionen

Luft Ionen sind elektrisch geladene atomare oder molekulare Teilchen, die an instabilen Gasballungen haften oder an submikroskopischen Partikeln hängen und die immer reichlich in der Luft schwebend zu finden sind (Wehner, 1969). Anders als neutrale Atome oder Moleküle haben Ionen entweder mehr oder weniger Elektronen als im Neutralzustand. Somit tragen sie entweder eine positive (zu wenige Elektronen, Bezeichnung: Kationen) oder eine negative Ladung (zu viele Elektronen, Bezeichnung: Anionen).

Die Molekülionen umgeben sich innerhalb einiger Mikrosekunden mit neutralen O_2 -, N_2 -, CO_2 - oder H_2O -Molekülen, um «Cluster» zu bilden. In der uns umgebenden, erdnahen Luftschicht (0 – 1 km) gibt es ein breites Grössenspektrum an gebildeten Ionen. Hinsichtlich ihrer Masse und Beweglichkeit lassen sich diese in drei Gruppen einteilen: Kleinionen, Mittel- und Grossionen.

Kleinionen weisen noch eine Beweglichkeit von grösser $1,3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ auf. Dabei ergibt sich die Einheit aus dem Messverfahren zur Bestimmung der Beweglichkeit von Ionen beim Durchtritt durch eine Anlagefläche und der dabei erzeugten Entladungsspannung. Grossionen haben noch eine Beweglichkeit von $< 1,3 - 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

Weiterhin ist die Ionenlebensdauer ein relevanter Aspekt bei der Erzeugung von künstlichen Ionen. So liegt sie bei Kleinionen in der Grössenordnung von 10^{-2} s und bei Grossionen bei 10^4 s . Da Kleinionen besonders leicht in die Lunge eindringen können, kommt ihnen die grösste bioklimatische Bedeutung zu. (Eichmeier, 1962).

3.2. Entstehung auf natürlichem Wege

Ionen können natürlichen, aber auch künstlichen Ursprungs sein. Im Allgemeinen bilden sie sich auf zweierlei Art und Weise (vgl. Varga 1986):

- Ein neutrales Molekül wird von einem energiereichen Partikel getroffen und in einen negativen und positiven Teil gespalten.
- Es lagert sich ein Elektron oder ein aufgeladenes Partikel an ein neutrales Molekül an.

Natürliche Kleinionenerzeuger sind elektrische Entladungen, kosmische Strahlungen, UV-Strahlungen und die natürliche Radioaktivität. Elektrische Entladungen treten dann auf, wenn die elektrische Feldstärke zwischen zwei Luftschichten die elektrische Festigkeitsgrenze der Luft übersteigt (Varga, 1981). Es gibt aber auch stille elektrische Entladungen, Vertikalströme, Niederschlagsströme usw., die am gesamten atmosphärischen Ladungsumsatz beteiligt sind.

Weitere ionisierende Strahlen bildet die kosmische Strahlung oder X-Strahlung, bestehend aus energiereichen Teilchen (Elektronen, Protonen, Neutronen). Die UV-Strahlen, die die Erde erreichen, haben ein relativ hohes Mass an Ionenerzeugungspotential. Dabei hängt die UV-Strahlungsintensität auf dem Erdboden von der Jahreszeit, Sonnenstärke und vom Aerosol- und Wasserdampfgehalt der Atmosphäre ab (Varga, 1981). Auch natürliche Radioaktivität gilt als Ionenquelle. Dazu gehören die

diversen Strahlen (z. B. Heliumkerne mit zweifacher positiver Ladung), β -Strahlen (Elektron mit negativer Ladung) und γ -Strahlen (elektromagnetische Wellen). Bei der Bildung von Kleinionen gibt es Unterschiede zwischen kontinentaler und Meeres-Atmosphäre. Auf dem Kontinent kommt zu der Luftstrahlung zusätzlich die Bodenstrahlung hinzu. Dadurch kommt es zu einer verstärkten Ionenbildung (Varga, 1981).

Zusammenfassend kann die Entstehung von Luft Ionen ohne künstlichen Einfluss unter Auftreten folgender Faktoren ausgelöst werden:

- radioaktive Stoffe in der Atmosphäre
- radioaktive Strahlung des Erdbodens
- Ultraviolettstrahlung der Sonne
- kosmische Strahlung
- stille elektrische Entladungen in der Atmosphäre
- Gasentladungen in der Atmosphäre (Blitz).

In Innenräumen spielen darüber hinaus weitere Faktoren eine Rolle bei der natürlichen Entstehung von Ionen:

- radioaktive Strahlung aus der Umgebung (Boden, Gegenstände, Baumaterialien)
- Gasentladungen aufgrund von Reibungselektrizität
- glühende Körper für Beleuchtung und Heizung
- offene Flammen.

Wichtig ist zu verstehen, dass Ionen zunächst eine gänzlich natürliche Erscheinung sind. In der freien Natur sind normalerweise nur 1'000 – 3'000 der etwa 10^{19} Moleküle je Kubikzentimeter Luft ionisiert (Strachan, Karnstedt, 2005).

Aus physiologischen Gründen ist der Gehalt von ionisierten Sauerstoffmolekülen von Bedeutung, weil Sauerstoff an den Stoffwechselprozessen bei Lebewesen massgeblich beteiligt ist. Neutrale Sauerstoff Moleküle (O_2) sind chemisch sehr träge. Sie benötigen für ihre Bereitschaft zur Oxidation mit anderen Stoffen hohe thermische Energie oder Stoffe, die als Katalysatoren wirken. Chemisch instabile Sauerstoff-Radikale wie z. B. Ozon (O_3) gehen demgegenüber viel bereitwilliger chemische Reaktionen ein, woraus sich die Bedeutung von «aktiviertem» Sauerstoff erklärt.

3.3. Entstehung auf künstlichem Wege

Die gezielte Erzeugung von Luftionen kann auf zweierlei Wegen erreicht werden (vgl. Varga, 1986):

- durch die sogenannte Koronaentladung, bei der an eine kugel-, ring-, oder spitzenförmige Elektrode Hochspannung angelegt wird und diese an die vorbeiströmende Luft, besonders an Sauerstoffmoleküle, abgegeben wird.

- durch gezielte radioaktive Strahlung, die mittels radioaktiver Stoffe von geringer Energie, wie etwa Tritium oder Polonium, erzeugt wird und deren Reichweite nur wenige Zentimeter beträgt und somit für den Menschen unbedenklich ist.

Während beim Gebrauch von radioaktiven Stoffen zunächst nicht gänzlich ausgeschlossen werden konnte, dass nebst den atmosphärischen Ionen auch andere Produkte entstehen (John Rheinsteins verweist etwa auf das Curry'sche Aran, vgl. Rheinsteins, 1960, Seite 28), entstand bei ersterer Methode als ungewünschtes Nebenprodukt eine messbare Menge an Ozon. Dieses entstand infolge der Verbindung von geladenen O₂-Molekülen und gespaltenen O-Atomen zu O₃-Molekülen (Rheinsteins, 1960). Spätere Generationen von Ionengeneratoren konnten die ungewünschte O₃-Produktion auf ein Mindestmass begrenzen bzw. gänzlich verhindern.

3.4. Ionendichte und Ionenverhältnis

Durch Messungen ist nachweisbar, dass der in der Aussenluft vorhandene Gehalt von atmosphärischen Ionen durch den Transport in Lüftungskanälen und den Prozess der Filterung und Aufbereitung massgeblich reduziert wird. Zudem können u. a. Kunststoff-Lüftungsauslässe oder die statische Aufladung des Bodenbelags durch die Reibung beim Gehen das Verhältnis zwischen positiven und negativen Ionen verändern.

Folgende Werte zeigen die Bandbreite und das Niveau des Ionengehaltes in natürlichen Umgebungen und in Innenräumen:

- In unmittelbarer Nähe zu Wasserfällen
20'000 – 70'000 Ionen/cm³
- Im Gebirge oder in Meeresnähe
4'000 – 10'000 Ionen/cm³
- Am Stadtrand, auf Wiesen und in Feldern
1'000 – 3'000 Ionen/cm³
- In der Stadt und Agglomeration
200 – 500 Ionen/cm³
- In belüfteten oder klimatisierten Räumen
10 – 100 Ionen/cm³

Aus dem Vergleich zwischen der Ionendichte im Aussenraum und in künstlich belüfteten Innenräumen lässt sich schliessen, dass die natürliche Ionendichte durch raumluftechnische Verfahren i.d.R. abhandenkommt.

Meist ist in der Natur das Verhältnis der natürlichen Polarität der Ionen ausgeglichen mit einem leichten Hang zu positiven Ionen (Varga, 1986). An jenen Orten oder Situationen, die allgemein als äusserst wohltuend empfunden werden, an denen es sich «frei atmen» lässt (etwa im Gebirge oder

in Meeresnähe), überwiegt die Anzahl an negativen Ionen und dies in etwa mit einem Verhältnis von maximal 2:1 negativen zu positiven Ionen. In Innenräumen hingegen wird dieses Verhältnis durch Einflüsse, wie statische Aufladung von Materialien, mechanische Lüftung, reduziert bzw. umgekehrt.

Zusammenfassend lässt sich aus den positiven Erfahrungen von Menschen beim Aufenthalt in der freien Natur schliessen, dass Störungen der natürlichen Ionendichte und -verteilung negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden und evtl. auch auf die Gesundheit von Menschen haben können. Folglich sollte bei der Herstellung einer zuträglichen Raumluft gemäss der Definition von «Bestoffungslasten» der entsprechende Stoffmangel wieder ausgeglichen werden. Oder anders gesagt, wenn ein natürlicher Gehalt und eine natürliche Verteilung von Ionen das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen fördert, ist die künstliche Ionisierung der Raumluft eine Möglichkeit, die Raumluftqualität zu steigern.

3.5. Ionisationsverfahren

Technisch basieren Luft-Ionisationsverfahren auf der Herstellung von polrichtungsstabilen oder polseitig alternierenden Hochspannungs-Gleichstromfeldern. Die Prozessgüte wird von der Regelbarkeit und Messbarkeit der Ionisierung beeinflusst. Die Herstellverfahren beeinflussen massgeblich das erzeugte Grössenspektrum und die Lebensdauer der erzeugten Luft Ionen. Während die übliche Lebensdauer von natürlichen Luft-Ionen mehrere Minuten beträgt, liegt sie bei technisch erzeugten Ionen oft nur unter einer Minute. Dabei nimmt die Lebensdauer mit der Grösse der Ionen zu. Einige Verfahren fokussieren auf die geregelte Erzeugung von einem überwachten Verhältnis von positiven und negativen Kleinionen (Beweglichkeit $> 1,3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) mit einer Lebensdauer von bis zu 20 Minuten und der Vermeidung von Ozonbildung. Andere Verfahren erzeugen bewusst Ozon, um den Abbau von Mikroorganismen und VOC zu bewirken. Dann ist aber eine Abscheidung des überschüssigen Ozons mittels Aktivkohlefilter erforderlich oder eine gut geregelte Ozonerzeugung. In der nachfolgenden Übersicht sind bisher übliche technische Konzepte bezogen auf ihren Wirkungsfokus dargestellt und in ihren Grundmerkmalen erläutert. Dabei sind als Wirkungsfokus alle lufthygienisch bekannten Kriterien aufgeführt, die von Ionisationsverfahren und anderen Verfahren beeinflusst werden können.

Wirkungsfokus auf:

Prinzip	AUL Ionen-Verhältnis	Bakterien, Pilze, Sporen Reduktion	Viren Reduktion	VOC Reduktion	Aktivkohlefilter nötig
A	x	(x)	–	(x)	–
B	–	–	–	x	–
C	x	x	(x)	x	x
D	–	x	x	x	–
S	–	x	x	x	–

x: Regelgrösse –: keine Wirkung (x): unregelmässige Auswirkung auf diesen Fokus möglich

Darstellung 3: Übersicht zum Wirkungsfokus von Luftbehandlungsverfahren mittels Ionisations- bzw. UV-Lichttechniken

Unter den Prinzipien A – S sind verschiedene Luftbehandlungsprinzipien gruppiert, die folgende technischen Grundmerkmale aufweisen:

A: Ionengenerator,

- der geregelt so viele negative und positive Ionen in der Zuluft erzeugt, dass das Ionenverhältnis (negative/positive Ionen) wieder dem der Aussenluft entspricht (Niveau ca. 2000 Ionen/cm³, Verhältnis zugunsten neg. Ionen ca. 1,5/1).
- der dabei eine so niedrige Spannung verwendet, dass noch keine toxischen Stoffe, insbesondere noch kein Ozon generiert werden (ca. 7 kV).
- Kennzeichnende Grundkomponenten: Sprühelektroden, keine Niederschlagslektroden.

B: Ionengenerator,

- der geregelte/abgestufte negative oder positive Ionen in der Zuluft erzeugt (ohne Einhaltung vom Ionenverhältnis) und in geringen Mengen Ozon und andere Radikale erzeugt.
- der dabei eine erhöhte Gleichspannung verwendet, um Ozon zu generieren (> 8 kV).
- Kennzeichnende Grundkomponenten: Sprühelektroden, Niederschlagslektroden aus biochemisch nicht optimierten Oberflächen.

C: Ionengenerator,

- mit geregelttem Ionenverhältnis. Zusätzlich Ozongeneration durch hohes Gleichspannungsniveau (8 – 14 kV). Optional: mit UV-C-Leuchte.
- Partikelabscheidung an Niederschlagslektroden aus biochemisch optimierten Oberflächen (verstärkte denaturierende Wirkung für Mikroorganismen) und durch Reaktion mit Ozon, Rest-Ozonabsorption im Aktivkohlefilter. Optional: Denaturierung von Viren durch UV-C-Leuchte.
- Kennzeichnende Grundkomponenten: Sprühelektroden, (optional UV-C-Leuchte), Niederschlagslektroden aus biochemisch optimierten Oberflächen, Aktivkohlefilter.

D: UV-C-Licht Bestrahlung

- UV Licht im Wellenlängenbereich ca. 200 – 280 nm (UV-C-FUV nach DIN 5031-7).
- Energiemenge so hoch, dass alle Mikroorganismen in der Nähe der Leuchten denaturiert werden. Begrenzung auf C-Spektrum verschlechtert sich bei Verschmutzung der Lampenoberfläche. Dann zunehmende (ungeregelte) Generation von geringen Mengen Ozon und anderer Sauerstoffradikale.

S: Sonderverfahren für Nicht-Aufenthaltsräume

z. B. Ozongeneratoren. Sie werden in dem Kontext dieser Review nicht weiter betrachtet.

4. Auswirkungen von Luft Ionen auf den Menschen

4.1. Allgemeines

Die physiologische Bedeutung von Ionen wird hauptsächlich mit den Stoffwechselfvorgängen in unserem Körper in Verbindung gebracht, welche auf Oxidation beruhen, denn Ionen sind vom Menschen zunächst sinnlich nicht wahrnehmbar. Als wahrnehmbaren Effekt können Ionen lediglich das Luftfrischeempfinden beeinflussen (z. B. nach Gewitter/Regenfällen). Bei der Oxidation wirken (Sauerstoff-)Ionen als Energieträger aus der Luft, welche sich infolge chemischer Reaktion im Atemtrakt neutralisieren. Das heisst, sie geben ihre Ladung ab oder nehmen eine Gegenladung auf. Durch diesen Ladungsaustausch entsteht ein sogenannter biologischer Reizstrom, der unterschiedliche Vorgänge in unserem Körper beeinflussen kann (vgl. Varga, 1986). Jener Vorgang, der sich hauptsächlich im Atemtrakt abspielt und somit unmittelbar an die Ladung von atmosphärischen Ionen gebunden ist, ist die Sauerstoffaufnahme. Darüber hinaus sind auch Vorgänge unseres Herz-Kreislauf Systems unmittelbar mit der Sauerstoffaufnahme verbunden. Folglich können manche dieser Vorgänge durch die Ladung und Ladungsdichte der Luft, resp. dem Ionengehalt beeinflusst werden.

Im Zusammenhang mit den physiologischen Wirkungen weisen einige Studien auch auf die Auswirkungen von Ionen auf den Serotoninspiegel im Blut hin (Krueger 1968; Ryushi et al. 1998). Serotonin ist ein Hormon und Neurotransmitter, welcher eine Vielzahl von Funktionen im Herz-Kreislauf-System, im Darmnervensystem und im Zentralen Nerven System beeinflusst. Aufgrund dieser Komplexität ist eine konkrete Ableitung von Auswirkungen auf einzelne Körperfunktionen nahezu unmöglich.

Jener Zusammenhang, welcher bisher mit Luft Ionen nachgewiesen werden konnte, ist deren Auswirkung auf den Serotoninspiegel im Blut: Dr. Albert Krueger berichtet 1966, dass negativ geladene Sauerstoff Ionen den Grad beschleunigen, mit dem Serotonin im Blut oxidiert wird. Ableitend lässt sich nicht sagen, ob sich die Senkung des Serotoninspiegels gleichermassen auf einen niedrigeren Blutdruck auswirkt. Je nach Organ, kann sich Serotonin nämlich unterschiedlich auswirken (Bsp. Lunge u. Nieren: gefässverengend, Muskeln: Erweiterung der Gefässe, Darm: Stimulation der Darmbeweglichkeit/Peristaltik). Im Zusammenspiel dieser Wechselwirkungen ist folglich auch die Aussage darüber, ob der Blutdruck über die Einwirkung von Luft Ionen auf den Serotoninspiegel beeinflusst wird, nicht möglich.

Dennoch gibt es Studien, welche einen konkreten Bezug zwischen Luft Ionen und der Sauerstoffaufnahme herstellen können. Einige davon werden im Kapitel «Resultate» diskutiert. Vorweg lässt sich sagen, dass bei jenen, die alleinig die Sauerstoffaufnahme unter Einwirkung von Ionen untersuchten, keine grossen Unterschiede zwischen positiven oder negativen Ionen festgestellt werden konnten (vgl. Varga, 1986). Bei Studien zur Behandlung von Atemwegserkrankungen hingegen wurde eine heilsame Wirkung hauptsächlich bei negativen Aerosolen nachgewiesen (vgl. Varga 1972, 12ff). Darüber hinaus weist Varga (Varga 1972) eine Senkung des Blutdrucks (insbesondere bei Probanden mit natürlich hohem Blutdruck) und der Pulsfrequenz nach.

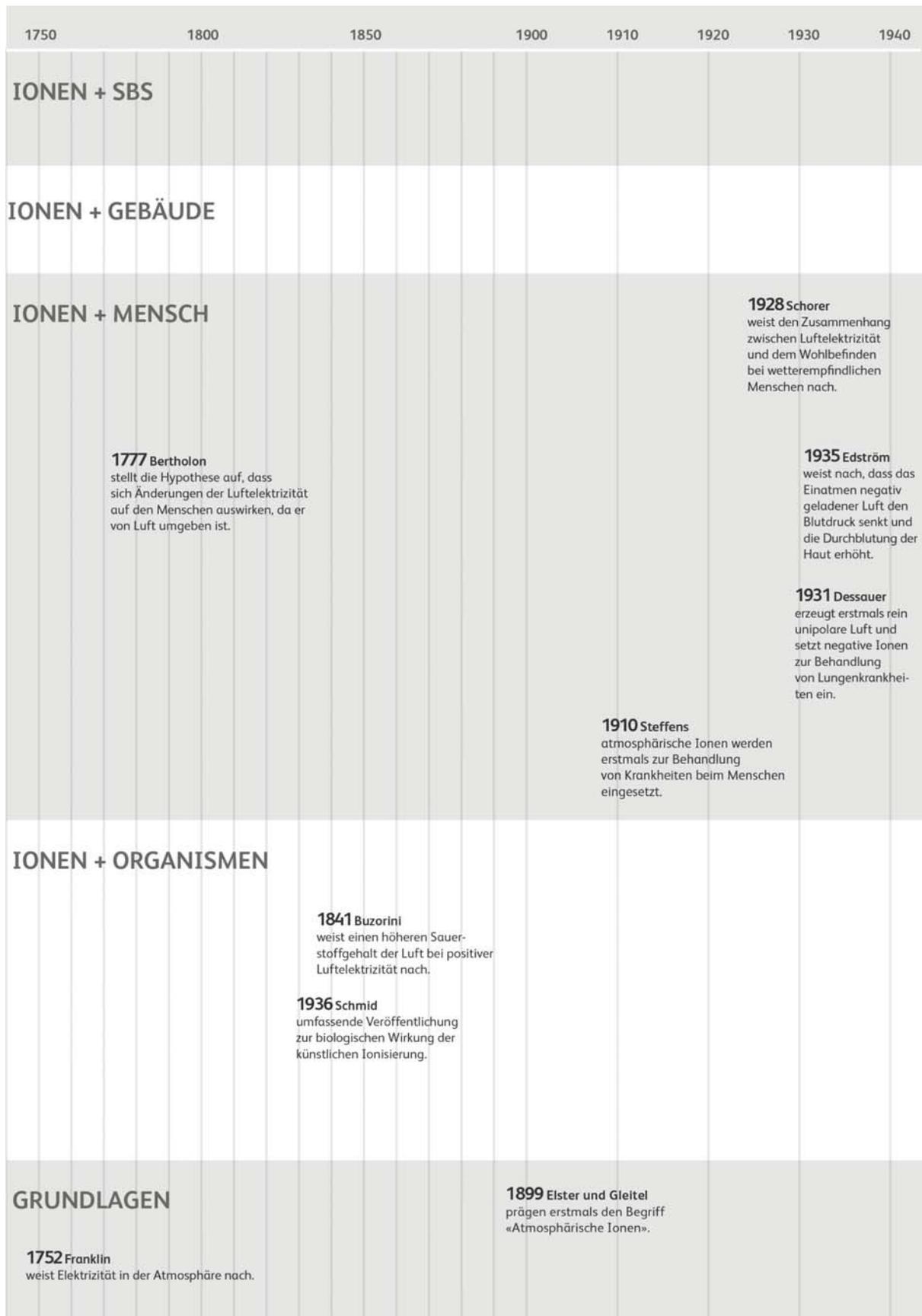
4.2. Übersicht zur Luft-Ionen- Forschung

Die durchgeführte Literaturrecherche zeigt zunächst, dass ein Grossteil der Studien zeitlich etwa um 1930 bis 1935 und 1950 bis 1970 stattfanden und aktuellere Resultate aus Forschungsprojekten zu diesem Thema mit wenigen Ausnahmen erst wieder ab den 1990er Jahren und der Jahrtausendwende publiziert wurden (s. Darstellungen 2 und 3).

Insgesamt lässt sich die Forschung über «Atmosphärische Ionen» bis auf das Jahr 1752 zurück datieren, als Benjamin Franklin mit seinem Versuch mittels eines aufsteigenden Drachens die Elektrizität in der Atmosphäre nachweist. Wenig später im Jahre 1777 stellt Pierre Bertholon (Bertholon, dt. Übersetzung 1781) die Hypothese auf, dass sich Änderungen der Luftelektrizität auf den Menschen auswirken, da er von Luft umgeben ist und ebenso sein Körper leitend ist. Elster und Gleitel nennen 1899 erstmals die in der Luft elektrisch geladenen Schwebeteilchen «atmosphärische Ionen» (Elster, Gleitel; 1899). Daraufhin folgt eine ganze Reihe von Studien, die «atmosphärische Ionen» insbesondere auf ihre Wirksamkeit bei Krankheiten (Insbesondere Atemwegserkrankungen) untersuchen (vgl. Varga 1972, 12ff; Goldstein, 2001).

Den Höhepunkt erreicht die Ionenforschung in den 1950er bis 1970er Jahren. Zahlreiche Studien untersuchen hauptsächlich die Heilungsmöglichkeiten von Atemwegserkrankungen mittels Elektro-Aerosolen (vgl. Varga 1972, 12ff; Goldstein 2001) oder etwa die Auswirkung von negativen und positiven Ionen auf das Herz-Kreislauf-System von Mensch und Tier (vgl. Varga 1986). Danach ist ein starker Rückgang der Forschungsaktivitäten zum Thema Luft Ionen zu verzeichnen. Vermutlich besteht der Zusammenhang darin, dass durch die Entdeckung der schädlichen Wirkung von Ozon das Interesse an Ionisierungsapparaten jener Zeit, welche allesamt als Nebenprodukt auch Ozon ausstießen, sank.

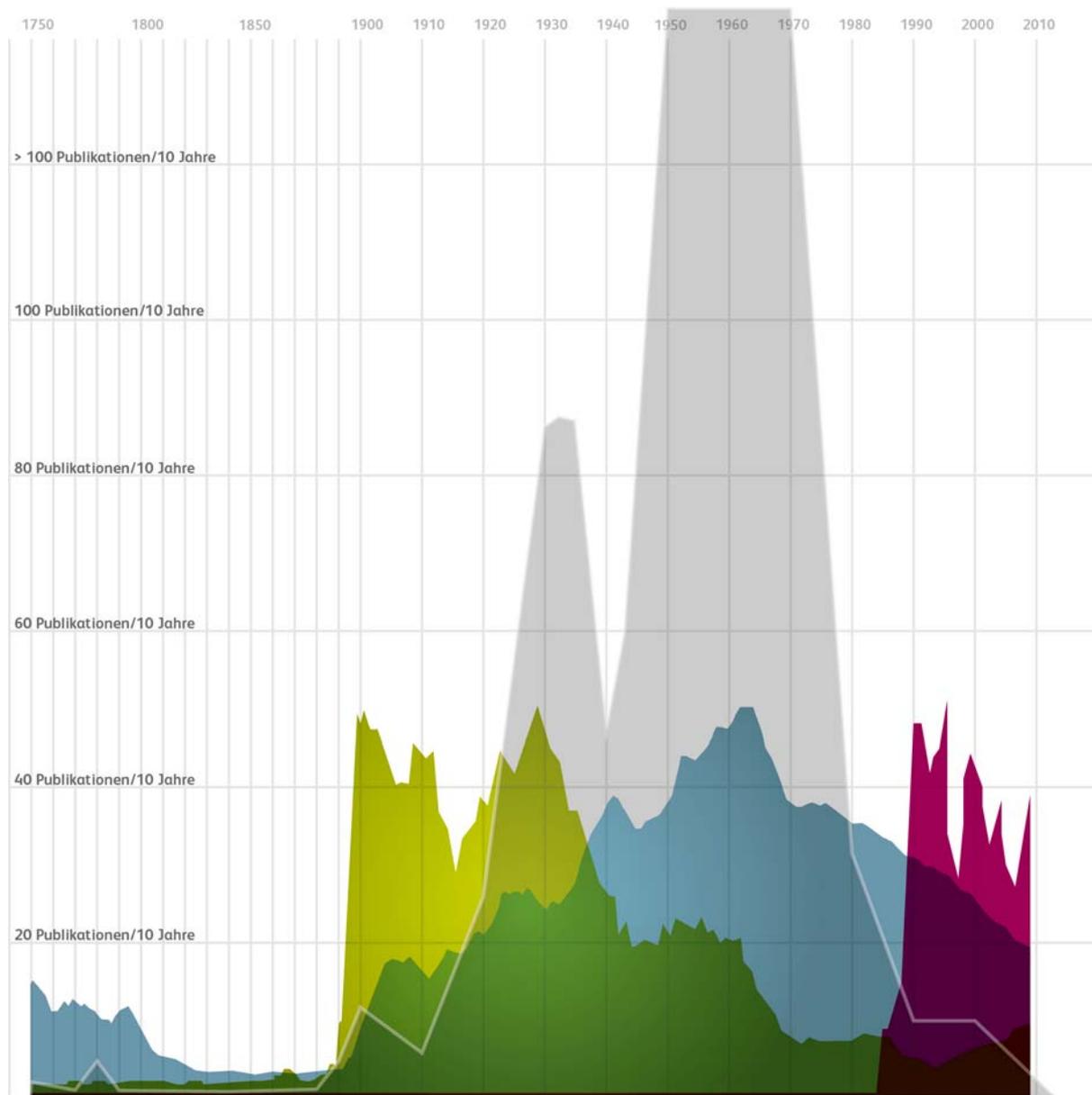
Es konnten darüber hinaus nur wenige Studien im klinischen Bereich gefunden werden, welche unter anderem die antibakterielle Wirkung von ionisierter Luft untersuchen (Grinspun et al., 2005; Fletcher et al. 2008). Weiter besteht durchweg ein Mangel an Studien, welche die physiologischen Wirkungen an gesunden Menschen zu Hause, oder etwa im Arbeitsumfeld, wie z. B. in Büroräumen untersuchen.



Darstellung 4: Studien zu Luft Ionen 1752 bis 2008, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in der Architektur (CCTP)

1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
			<p>1983 Die World Health Organisation WHO prägt erstmals den Begriff Sick Building Syndrom.</p>		<p>2003 Bischof et al. Das ProKlimA Projekt ist die einzige umfassende SBS – Studie, welche Ionen als Einflussfaktor mit einbezieht.</p>	
		<p>1971 Maczyski et al. messen die Erhöhung des Ionengehalts im Büro bei Anwesenheit von Angestellten.</p>			<p>2007 Hermann Rietschel Institut testet die Ionisierung der Luft als ein Verfahren zur Verbesserung der empfundenen Luftqualität.</p>	
	<p>1961 Minch weist eine höhere körperliche Leistung unter Einfluss künstlicher Ionen bei Sportlern nach.</p> <p>1962 Eichmeier weist die Stimulierung der Atemfrequenz, des Pulses und der Alphafrequenz durch Ionen beim Menschen nach.</p>		<p>1982 Buckalew, Rizzuto stellen Zusammenhang zwischen negativen Ionen und entspannender Wirkung her.</p>		<p>2002 Iwama et al. messen die Senkung von Lactatwerten bei Postoperativen Patienten und negativen Ionen.</p> <p>2002 Nakane et al. Negative Ionen wirken sich positiv auf den Stressabbau aus (durch Computerarbeit verursacht/getestet).</p>	
	<p>1955 Kornblueh et al. Behandlung von Heuschnupfen mit Aerosolen. Weisen Wirkung auf Alphafrequenz nach.</p>		<p>1979 Sovijari et al. weisen einen Zusammenhang zwischen negativen Ionen und der Herzfrequenz nach.</p>	<p>1981 Charry, Wawkinshire untersuchen atmosphärische Elektrizität und soziales Verhalten.</p>		
	<p>1962 Wehner Behandlung von Atemwegserkrankungen mittels Ionen.</p>		<p>1986 Varga Umfassende Publikation zur biologischen Wirkung von Ionen.</p>		<p>1998 Ryushi et al. weisen bei negativen Ionen eine blutdruck- und serotonin-senkende Wirkung nach.</p>	
		<p>1968 Varga stellt ein Senken der Herzfrequenz durch Ionen beim Menschen fest.</p>				
	<p>1965 Bachmann weist die Stimulierung der Atemfrequenz und des Pulses durch Ionen bei Ratten nach.</p>		<p>1976 Krueger weist die Wirkung von Ionen auf den Serotoninspiegel bei Tieren nach.</p>		<p>2008 Fletcher et al. reduzieren den Bakteriengehalt mittels negativer Ionen bei manchen Spezies.</p>	
		<p>1966 Krueger et al. weist Wirkung von Ionen auf den Serotoninspiegel bei Mäusen nach.</p>			<p>2007 Bloexam untersucht die Wirksamkeit von ionisierter Luft zur Senkung von Keimen und weist einen Wirkungsgrad von 98 % nach 90 Minuten nach.</p>	
	<p>1957 Krüger weist die durch Ionen geförderte Absterberate von Bakterien in reiner Luft nach.</p>				<p>2006 Yamada et al. weisen ein Verlangsamen des Krebstumorwachstums durch negative Ionen bei Mäusen nach.</p> <p>2006 Grinspun et al. weisen eine Reduktion von Aerosolen und Mikroorganismen nach.</p>	
			<p>1986 Yates et al. Bisherige Labortests werden bemängelt, da Einflussfaktoren, wie etwa das Mikroklima nicht ausreichend isoliert worden sind.</p>			

© 2013 Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)



© 2013 Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)

- Anzahl der vorliegenden Titel/Publikationen zum Thema Luftionen in deutscher und englischer Sprache 1750 – 2012, Quelle: Fachbibliothek der Firma s-Leit swissengineering AG
- Gebrauch des Begriffes «Ionen» in der deutschsprachigen Literatur 1750 – 2008, Quelle: Google NGram Viewer, <http://books.google.com/ngrams/> (Zugriff 06. August 2012)
- Gebrauch des Begriffes «Ions» in der angelsächsischen Literatur 1750 – 2008, Quelle: Google NGram Viewer, <http://books.google.com/ngrams/> (Zugriff 06. August 2012)
- Gebrauch des Begriffes «Sick Building Syndrome» in der angelsächsischen Literatur 1750 – 2008, Quelle: Google NGram Viewer, <http://books.google.com/ngrams/> (Zugriff 06. August 2012)

Darstellung 5: Forschung zu Luft Ionen und Sick Building Syndrom (SBS) seit 1750, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in der Architektur (CCTP)

4.3. Resultate

Bei den nachfolgenden Studienresultaten sind jene zusammen getragen, die im Kontext Innenräume und Arbeitswelt mit dem Schwerpunkt Büroarbeitsplatz in Verbindung gebracht werden können. Darüber hinaus werden nur Resultate besprochen, die bei heutigem Stand der Forschung genügend Zusammenhänge zwischen Luft Ionen und der Gesundheit, sowie dem Wohlbefinden und der Leistungsfähigkeit beim gesunden Menschen nachweisen können. Ausgeschlossen worden sind Studien, die auf Tierversuchen basieren, so wie jene die die Wirksamkeit von ionisierter Luft bei der Behandlung von Krankheiten (etwa Atemwegserkrankungen) untersuchen.

4.3.1. Wohlbefinden

Da sich die meisten Studien auf die direkt nachweisbaren physiologischen Wirkungen von Luft Ionen, wie etwa die Sauerstoffaufnahme, beschränken, gibt es verhältnismässig wenige wissenschaftliche Nachweise, die das Wohlbefinden der Probanden ermitteln.

Frey (1959) und Lueder (1965) können beide feststellen, dass bei der Ionisierung eines gesamten Innenraumes eine Steigerung des Wohlbefindens ermittelt werden kann. Lueder (1965) berichtet, dass nach dreitägiger Inhalation von Luft mit einem leichten Überschuss an negativen Ionen das Allgemeinbefinden gehoben wurde, was er mit einer «nervlichen Beruhigung» der Probanden begründet. In der Studie von Sovijarvi et al. (1979), die nebst der gemessenen Pulsfrequenz bei Betätigung auf einem Fahrradergometer auch die selbsteingeschätzte Ermüdung der Probanden in die Ergebnisse mit einbezieht, gaben die Probanden bei ionisierter Luft an, weniger Ermüdung zu verspüren.

4.3.2. Senkung von VOC und antibakterielle Wirkung

Die Alternative zur herkömmlichen «Verdünnung» der Luft in Innenräumen durch Ionisierung wurde hauptsächlich im klinischen Bereich erprobt.

Grinspun et al. (2005) testeten in ihrer Laborstudie, inwiefern der Abbau von Aerosolen bei der Ionisierung der Luft gefördert wird und können dies nachweisen. Ihre Messergebnisse zeigen, dass bei den leistungsstärkeren Ionisierungsgeräten nicht nur die Reduktion von VOC und Mikroorganismen bis auf annähernd 0% der Anfangskonzentration erreicht wurde, sondern gleichzeitig die benötigte Zeit auf bis zu 12 Minuten reduziert werden konnte.

Fletcher et al. (2008) untersuchten ebenfalls in einer Laborstudie (isolierter Versuchsraum), ob bei ionisierter Luft auch eine antibakterielle Wirkung nachgewiesen werden kann. Zwar konnte nicht bei allen Bakterien eine gleiche Wirkung erzielt werden, doch wirkten sich negative Ionen drastisch reduzierend auf die Existenz mancher bakterieller Spezies aus. Fletcher et al. (2008) schliessen daraus, dass der Einsatz von ionisierter Luft in klinischen Bereichen nur gegen bestimmte Infekte vorbeugend wirksam sein kann.

4.3.3. Auswirkung auf die Sauerstoffaufnahme beim Menschen

Die wohl umfassendste Darstellung der Wirkung von Luft Ionen auf die Physiologie des Menschen bietet András Varga in seinen Forschungsberichten von 1972 und 1986. In seinen Studien untersuchte er den Sauerstoffgehalt des Blutes, den Blutdruck, so wie die Pulsfrequenz seiner Probanden und kann bei allen drei Faktoren eine Wirksamkeit nachweisen. Varga kann bei Nichtrauchern einen erhöhten Sauerstoffgehalt im Blut, so wie bei der Mehrzahl der Probanden eine Senkung der Pulsfrequenz sowie des Blutdrucks ermitteln wenn sie ionisierter Luft ausgesetzt sind.

In der gleichen Zeitperiode untersuchte Sovijari 1979 die Pulsfrequenz sowie die selbst eingeschätzte Ermüdung von Testpersonen, während sie auf einem Fahrradergometer fuhren. Er konnte, wie ebenfalls Varga, nachweisen, dass beides, Pulsfrequenz und empfundene Ermüdung, unter Einfluss von negativen Luft Ionen gesenkt werden konnte. (Sovijarvi et al., 1979).

Nach Varga und Sovijari untersuchen Ryushi et al. (1998) am gleichen Experiment (Fahrrad-Ergometer), ob negativ geladene Luft Ionen in der Regenerationsphase nach der körperlichen Tätigkeit zu einer Senkung des Blutdrucks beitragen und können dies bei negativen Ionen nachweisen.

4.3.4. Folgeeffekte auf die Leistungsfähigkeit

Versuche zur Auswirkung von täglich eingeatmeten Luftionen auf die Ausdauer und Leistungsfähigkeit von Menschen wurden bereits mehrfach durchgeführt und Studienergebnisse dazu veröffentlicht. Insbesondere Minkh (1961) konnte feststellen, dass bei Leistungssportlern der verschiedensten Disziplinen die Ausdauer einer Arbeitsleistung um mehr als 40% und die bisherige Spitzenleistung um mindestens 10% anstieg gegenüber einer Probandengruppe, die keiner ionisierten Raumluft ausgesetzt war. Negative Effekte wurden dabei nicht beobachtet.

Ungesicherten Erkenntnissen nach sind aufgrund dieser beachtlichen Ergebnisse in der Sowjetunion auch in Bürogebäuden Luftionisationsgeräte installiert worden. Studienergebnisse hierzu konnten jedoch nicht gefunden werden.

Konkret wurde in keiner der gefundenen Studien die Leistungsfähigkeit in Bezug auf kognitive Leistungen wie sie bei Büroarbeit der Fall ist, untersucht. Doch lassen die physiologischen Wirkungen ionisierter Luft und Zusammenhänge mit dem Wohlbefinden des Menschen die Ableitung von Folgeeffekten zu, welche unter Umständen die kognitive Leistung des Menschen beeinflussen können. In den Studien von Frey (1959), Varga (1972), Rheinstein (1960) und Lueder (1965) werden seitens der Verfasser Hinweise dazu gegeben.

So wurde von Frey (1959) im Zusammenhang mit der Steigerung des Wohlbefindens zudem ein positiver Einfluss auf die Lösung von komplexen Aufgaben festgestellt, weshalb der Autor empfiehlt, weitere Studien zur Leistungsfähigkeit von der Variable «Komplexe Aufgabenstellung» abhängig zu gestalten.

Darüber hinaus betrachten Varga (1972), Rheinstein (1960) und Lueder (1965) die Wirkung von Luft Ionen auf das menschliche Nervensystem. So untersuchten Varga und Rheinstein an ihren Probanden nebst den erwähnten physiologischen Faktoren auch die Reaktionszeit auf optische Reize. Beide konnten bei ihren Untersuchungen bei einer Mehrzahl der Probanden eine Verkürzung der Reaktionszeit nachweisen. Lueder beschreibt darüber hinaus eine «nervliche Beruhigung», welche unter Umständen auf neuronale Zusammenhänge zurückzuführen ist.

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In dieser Review sind die Literaturinformationen zur Wirkung von Luftionisierung mit speziellem Fokus auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen bei der Ausführung von Büroarbeit in Innenräumen zusammengetragen.

Generell zeigt sich, dass eine wissenschaftlich umfassende Stellungnahme zu diesem Thema noch nicht vollständig möglich ist. Zum einen liegen die meisten Studien zeitlich um mehrere Jahrzehnte zurück, zum anderen ging keine der Studien konkret dieser spezifischen Frage nach.

Die Studien geben jedoch deutliche Hinweise darauf, dass es Zusammenhänge zwischen der Gesundheit, dem Wohlbefinden und der physischen Leistungsfähigkeit mit dem Ionengehalt der Luft sowie dem Verhältnis von negativen zu positiven Ionen gibt. Ebenso finden sich Hinweise darauf, dass ionisierte Luft zu einem hohen Luftqualitätsempfinden beitragen kann.

Die wohl aussagekräftigste Wirkung der Luftionisation in Bezug auf den Menschen ist deren Sauerstoffaufnahme und die damit zusammenhängenden Vorgänge im menschlichen Organismus und in der Folge das Wohlbefinden.

Die Studien zeigen sehr deutlich, dass insbesondere luftionisierende Methoden, die kein Ozon produzieren, weiter untersucht werden sollten, weil sie eine positive Wirkung auf das Wohlbefinden, die Gesundheit und die Leistung des Menschen in geschlossenen Räumen praktisch ohne negative Nebenwirkungen ermöglichen.

Weitere Untersuchungen sollten durchgeführt werden, auch unter Berücksichtigung von heute üblichen Baumaterialien und deren statische Aufladung bzw. allgemein unter Erfassung der elektrostatischen Verhältnisse in Räumen.

Abschliessend sind nach derzeitigem Wissensstand zwei Hauptaussagen möglich:

A – Im Bezug zum SBS lässt sich lediglich ableiten, dass ein Ionenverhältnis, wie es in der Natur/Aussenluft vorkommt nicht zu SBS führen sollte, wohingegen ein unnatürliches Verhältnis einer von vielen Einflussfaktoren in Bezug auf SBS ist (wie stark der Einfluss ist, ist jedoch nicht klar).

B – in Bezug auf Wohlbefinden/Sauerstoffaufnahme:

Die Erkenntnis, dass das natürliche Ionenverhältnis/Gehalt die Sauerstoffaufnahme beim Menschen optimal unterstützt (und somit Behaglichkeit und Leistungsfähigkeit), stützt die These, dass ein unausgewogenes Ionenverhältnis in der Raumluft wieder ausgeglichen werden sollte.

6. Literaturverzeichnis

- Amstutz, S.; Küng, Sandra; Monn, Chr. (2010); SBiB-Studie, Schweizerische Befragung in Büros. Staatssekretariat für Wirtschaft SECO und Hochschule Luzern – Technik & Architektur
- Bertholon, A. (1781): Des Abts Bertholon's Preisschrift über die Elektrizität nach medizinischen Gesichtspunkten betrachtet, dt. Übersetzung des Originaltextes von 1777 von Weber, F.A., Heilbronn
- Bischof, Wolfgang; Bullinger-Naber, M.; Kruppa, B.; Müller, B.H.; Schwab, R. [Hrsg.] (2004): Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden. Ergebnisse des ProKlimA-Projektes; IRB Verlag: Stuttgart
- Bischof, Wolfgang; Wiesmüller, Gerhard Andreas; (2007); Das Sick Building Syndrome (SBS) und die Ergebnisse der ProKlimA-Studie; erschienen in: Umweltmed Forsch Prax 12(1), Seiten 23 – 42
- Bundesamt für Gesundheit (2010): Befindlichkeitsstörungen – Sick Building Syndrom. <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00238/01355/01356/10352/index.html?lang=de> (Zugriff am: 19. Dezember 2011)
- Eichmeier, Josef; (1962): Über den Bioklimatischen Einfluss künstlich erzeugter atmosphärischer Kleinionen auf die Atmungsfrequenz, die Pulsfrequenz und den kortikalen Alpha-Rhythmus des Menschen
- Elster, J.; Geitel, H. (1899): Luftelektrizität, in: Phys. Zeitung; Nr. 1, 1899, Seiten 245ff
- Fiedler, Klaus; (2012): Das leidige Sick Building Syndrom. Vielschichtig, schwer zu diagnostizieren, aber trotzdem da; erschienen in: Sanitär + Heizungstechnik; ISSN: 0036-4401; Jg.: 77, Nr.6, 2012; Seiten 30 – 33
- Fletcher, L.; Noakes, C.; Sleight, A.; Beggs, C. (2008): The bacterial Effects of Negative Ions in Air, in: Indoor Air, August 2008, Seiten 17 – 22
- Frey, A. H.; (1959): Behaviour and Atmospheric Ions
- Goldstein, N.; (2002): Reactive Oxygen Species as Essential Components of Ambient Air
- Grinshpun, S. A.; Mainelis, G.; Trunov M.; Adhikari, A.; Reponen, T.; Willeke, K.; (2005): Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces
- Krueger, A. P.; Andriese, P.C.; Kotaka, S. (1968): Small Ions: Their Effect on Blood Levels of Serotonin in Terms of Modern Physical Theory, in: Int. J. Biometeor, Vol. 12 No. 3, Seiten 225 – 239
- Läng, H.P. (2008): Leitfähige Luft als ein möglicher Heilsbringer, in: Haustech Nr. 6, Juni 2008
- Lindvall, T.; (1992); The Sick Building Syndrome – Overview and frontiers, erschienen in: Knöppel, H.; Wolkoff, P. [Hrsg.]: Chemical, microbiological, health and comfort aspects of Indoor air quality – State of the art in SBS; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, Seiten 1 – 14
- Lueder, H.; (1965): Elektroklimatisierung im Hinblick auf die biologischen Wirkungen lufttechnischer Anomalien
- Minkh, A. A. (1961). «The Effect of Ionized Air on Work Capacity and Vitamin Metabolism». *Journal of the Academy of Medical Sciences, U.S.S.R.* (Translated by U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.)
- Norbäck, D.; (1992); Epidemiology of principal Building-related illnesses and complaints, erschienen in: Levy, F., Maroni, M. [Hrsg.]; NATO/CCMS Pilot study on Indoor Air Quality. 4th plenary meeting. Epidemiology and medical management of building related complaints and illnesses; National Institute of Occupational Health, Oslo, Seiten 27 – 46

- Rheinstein, J.; (1960): Der Einfluss von künstlich erzeugten atmosphärischen Ionen auf die einfache Reaktionszeit und auf den optischen Moment
- Rietschel, Hermann; Esdorn, Horst [Hrsg.]; (1994, 16. Ausgabe): Raumklimatechnik, Springer Verlag
- Riekert, Horst; (1971): Untersuchungen zur Beweglichkeit der Kleinionen in der freien Atmosphäre
- Ryushi, T.; Kita, I.; Sakurai, T.; Yasumatsu, M.; Isokawa, M.; Aihara, Y.; Hama, K.; (1998): The effect of exposure to negative air ions on the recovery of physiological responses after moderate endurance exercise
- Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein SIA (2007): Norm 382/1 Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
- Sovijari, A.R.; Rosset, S.; Hyvarinen, J.; Franssila, A.; Graeffe, G.; Lehtimäki, M. (1979): Effect of Air Ionization on Heart Rate and perceived Exertion during a Bicycle Exercise Test. A double-blind cross-over Study, in Eur Appl Physiol Occup Physiol. 1979, Aug.; Vol. 41 (4): Seiten 285 – 291
- Strachan, D.; Karnstedt, J. (2005): Negative Ions – Vitamins of the Air?
http://www.negativeionsinformation.org/ions_vitamins.html (Zugriff am: 20. Dezember 2011)
- Sullivan Jr, J.B.; van Ert, M.; Krieger, G.R.; (1992): Indoor air quality and human health; erschienen in: Sullivan Jr., J.B., Krieger, G.R. [Hrsg.]; Hazardous Materials Toxicology. Clinical Principles of Environmental Health, Williams&Wilkins, Baltimore, Seiten 667 – 689
- Umweltbundesamt Deutschland: Gesundheit und Umwelthygiene, Richtwerte für die Innenraumluft.
<http://www.umweltbundesamt.de/gesundheit/innenraumhygiene/richtwerte-irluft.htm>
 (Zugriff am: 19. Dezember 2011)
- Varga, A. (1986): Biologische Wirkungen von Luft Ionen
- Varga, A. (1981): Grundzüge der Elektrobioklimatologie mit besonderer Berücksichtigung der Umwelthygiene-Elektrobioklimatologie; Heidelberg; Verlag für Medizin Fischer
- Varga, A. (1972): Forschungsbericht über die physiologische Wirkung von Luft Ionen und deren Bedeutung als Umweltfaktoren
- VDI 3803-4; (2012): Raumluftechnik – zentrale Raumluftechnische Anlagen: Luftfiltersysteme, Beuth Verlag, Berlin
- WHO (World Health Organisation); (1983); Indoor Air Pollutants, Exposure and Health Effects Assessment; erschienen in: Euro-Reports and Studies No. 78, Copenhagen-Denmark/Nördlingen, WHO Regional Office
- Wehner, A.P.; (1969): Electro-Aerosols, Air Ions and Physical Medicine; erschienen in: American Journal of Physical Medicine 18: Seiten 119 – 149

7. Abbildungsverzeichnis

Darstellung 1: *Belastung der menschlichen Lunge durch Stäube*

Quelle: «PM10 Fragen und Antworten», BAFU, 11/06;
vergl. SWKI-Richtlinie VA101-01: 2007, Seite 15

Darstellung 2: *Partikelgrößenverteilung*

Quelle: Camfil & Farr; 2007; vergl. SWKI-Richtlinie VA101-01: 2007, Seite 20

Darstellung 3: *Übersicht zum Wirkungsfokus von Luftbehandlungsverfahren mittels Ionisations- bzw. UV-Lichttechniken,*

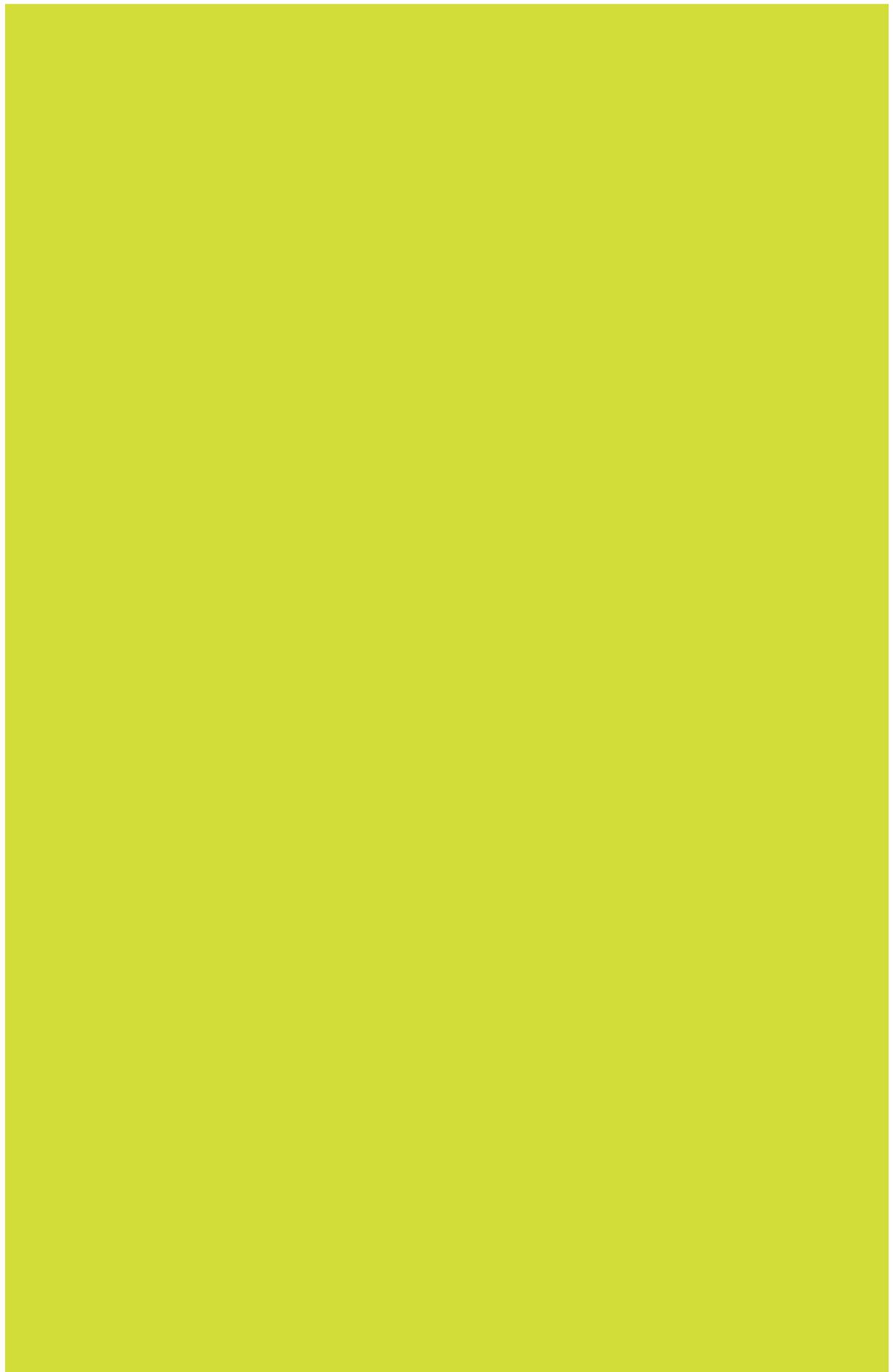
Quelle: Hochschule Luzern, Abteilung Gebäudetechnik; Külpmann, Rüdiger, 2012

Darstellung 4: *Studien zu Luft Ionen 1752 bis 2008,*

Quelle: Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP);
Eckert, Jan; 2012

Darstellung 5: *Forschung zu Luft Ionen und Sick Building Syndrom (SBS) seit 1750,*

Quelle: Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP);
Eckert, Jan; 2012



Die vorliegende Literaturreview zur Anwendung ionisierter Luft im Innenraum behandelt die Frage, ob und wie sehr sich ionisierte Raumluft auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit des Menschen in Innenräumen auswirkt. In dieser Review wird nach dem derzeitigen Wissensstand aufgezeigt, welche Zusammenhänge zwischen einem künstlich wieder hergestellten Ionengehalt der Raumluft, wie er auch in der Natur vorkommt, und den Wirkungen beim Menschen nachgewiesen werden können. Hierzu wurde eine umfassende Recherche der nationalen und internationalen Literatur durchgeführt, sowie verschiedene Herstellerinformationen hinzugezogen.

KOMPETENZZENTRUM TYPOLOGIE & PLANUNG IN ARCHITEKTUR (CCTP)

Das Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP) erforscht die Interaktion zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Es untersucht architektonischen Raum als Lebensraum, im Kontext sich verändernder Anforderungen. Dabei steht die Transformation von Gebäuden und Quartieren im Zentrum der wissenschaftlichen Arbeit.