

De rol van negatieve ionen op de kwaliteit van binnenlucht

Negatieve ionen in de lucht kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan een comfortabeler binnenmilieu en kunnen op een eenvoudige wijze worden geproduceerd. Bijvoorbeeld met lamp waarbij naast verlichting ook via (smd) halfgeleidertechniek negatieve ionen worden gevormd. Negatieve ionen reageren met deeltjes waardoor deze clusteren en deze uit de binnenlucht worden verwijderd. Ook kunnen ze met zuurstof en vocht reageren, waarbij het reactieve superoxide en peroxides gevormd worden. Deze radicalen zijn verantwoordelijk voor het verwijderen van bijvoorbeeld ongewenste geuren en mogelijk ook allergenen en schimmels.

Dr. John Havermans
Senior onderzoeker



TNO Bouw en Ondergrond
Afdeling Energie, Comfort en Binnenmilieu
Postbus 49
2600 AA DELFT

Summary

Negative ions may contribute to a more comfortable indoor environment. Even a simple apparatus as a lamp with semi conductor technique produces easily negative ions. These ions will react with particles forming agglomerates that will precipitate. Also a reaction with oxygen and moist will result in the formation of a superoxide radical and peroxides. These radicals easily react with e.g. organic volatiles including spores and allergens. Depending on the concentration of the radicals, these compounds can be deteriorated fully.

Trefwoorden

Binnenmilieu, luchtkwaliteit, verlichting

Inleiding

De samenstelling van lucht in o.a. woningen, kantoren en ziekenhuizen is complex. Naast de verbindingen die in de buitenlucht voorkomen, zoals stikstof oxiden, organische koolwaterstoffen (VOC) en fijnstof zijn er vele chemische verbindingen aanwezig die afkomstig zijn uit bouwmaterialen (lakken, spaanplaat), meubels, vloerbedekking en andere huishoudelijke producten als schoonmaakmiddelen [o.a. 1]. Soms worden deze afgegeven verbindingen als prettig ervaren. Denk aan de verspreiding van de geur van een sinaasappel of het schoonmaken met een middel waar citroenzuur in zit. De geur kan ook als oncomfortabel worden ervaren, bijvoorbeeld bij een te hoge afgifte van formaldehyde uit spaanplaat of uit andere materialen. Dit levert onder andere prikkende en tranende ogen op. Ook wordt geur gerelateerd aan een specifieke omgeving, denk aan de geur van oude boeken in een bibliotheek, het toilet, een trapportaal, schimmel of van dieren [o.a. 2]. De gassen, die uit de diverse materialen emitteren, kunnen zowel met elkaar reageren als met de verbindingen die uit de buitenlucht komen en kunnen vervolgens nieuwe verbindingen vormen [3]. Meestal merken we daar weinig van, omdat de concentraties erg laag zijn. Soms worden er ook verbindingen gevormd die een negatief effect hebben op de kwaliteit van de binnenlucht. Momenteel komen meer en meer innovatieve methoden op de markt, waarmee de kwaliteit van de binnenlucht verbeterd kan worden. Een van deze methoden is gebaseerd op ionisatie van de binnenlucht en het produceren van negatieve ionen.

Luchtionisatie

Ionisatie van de lucht is simpel gezegd: ‘het inbrengen van ionen in de lucht’. Een ion is een elektrisch geladen atoom en kan positief dan wel negatief zijn. Deze ionen kunnen met de aanwezige moleculen in de lucht reageren. Dit is meestal gebaseerd op het principe van het aanbrengen van een hoge spanning, waardoor er elektronen vrij komen, dan wel worden afgevangen. Naast het opwekken van een stroom, of het creëren van een potentiaalverschil, wordt ook gebruik gemaakt van een plasma of van een ultraviolette stralingsbron [4].

Er kunnen vervolgens positieve en negatieve ionen ontstaan. Deze ionen kunnen reacties aangaan met bijvoorbeeld zuurstof. Daarnaast kunnen zij een binding aangaan met vaste deeltjes in de lucht, waardoor deze deeltjes gaan clusteren tot grotere deeltjes waarna deze kunnen neerslaan.

In de verschillende websites van leveranciers wordt vaak gerefereerd aan het voorkomen van negatieve ionen in de natuur. Bijvoorbeeld luchtionisatie door bliksem in een zomerse onweersbui. Door de grote ontlading vult de lucht zich met ionen waarna wij vaak de tintelende geur en een opgeklaarde lucht ervaren. Een minder bekend voorkomen is de vorming van ionen bij een waterval. Een waterval modificeert continu het ionenspectrum erboven. Volgens Lutz verschilt het type van de ionen significant naarmate we verder van de waterval komen. Dat er ionen worden gevormd komt door onder andere een combinatie van auto-ionisatie, verandering van de lading door de stroming van het water, de botsing van de moleculen en verdamping van waterdruppels [5, 6].

Mogelijkheden om ionen op te wekken

Ionen in de lucht kunnen op diverse manieren worden gecreëerd. Met behulp van alfa deeltjes (Heliumkernen) en met behulp van het opwekken van een elektrisch veld, corona of een plasma. Een van de meest innovatieve methoden is gebaseerd op de toepassing van een halfgeleidertechniek (spd) en kan geleverd worden in lampen [7].

Radioactieve straling

Het opwekken van ionen met alfa deeltjes werkt vaak op basis van een radioactieve bron (Po-210) [4]. De in deze bron ontstane He-kernen botsen met lichtmoleculen, waardoor elektronen uitgezonden worden. De gasmoleculen die de elektronen verliezen worden zodoende positief geladen. Bij alfa ionisatoren worden zowel positieve en negatieve deeltjes gevormd. Immers voor elk deeltje dat een elektron uitzendt, wordt positief en elk deeltje dat een elektron ontvangt wordt negatief. Een groot nadeel hierbij is de benodigde radioactieve bron (in ons voorbeeld Polonium). Ook sterkere stralingsbronnen, bijvoorbeeld gamma straling dat met een Cobalt 60 bron is opgewekt, kan een reactie met de lucht veroorzaken waardoor negatieve ionen kunnen ontstaan. Het is vanzelfsprekend dat een dergelijke methode niet van toepassing is voor binnenshuis.

Fotokatalyse

Een andere wijze om negatieve ionen op te wekken is fotokatalyse, zoals deze onder andere door de NASA is ontwikkeld voor de beheersing van de binnenluchtkwaliteit in ruimtestations [8]. Fotokatalyse is niets anders dan het versnellen van een chemische reactie onder aanwezigheid van een katalysator en licht. Deze methode is gebaseerd op een combinatie van titaandioxide (TiO_2) en UV licht. Hierdoor worden radicalen gevormd die organische moleculen kunnen afbreken. De uiteindelijke afbraak van bijvoorbeeld organische verbindingen vindt plaats aan het oppervlak van het materiaal. Ondanks dat bij deze methode ook negatieve ionen een rol spelen in de zuiverende werking van de lucht, is het principe totaal anders dan de methoden waarbij negatieve ionen door elektriciteit worden opgewekt.

Elektriciteit

Als er een elektrisch veld wordt geïnitieerd, bijvoorbeeld bij een corona ionisator, dan kunnen deze velden elektronen afstoten of ontvangen. Dit is afhankelijk van de lading van de ionisator. Voor positieve ionen geldt, dat deze zich langzamer in de lucht verplaatsen dan negatieve ionen. Voor het

opwekken van positieve ionen is een hogere voltage nodig dan voor het opwekken van negatieve [o.a. 9, 10].

Verreweg de meeste commerciële apparaten (mobiele ionisatoren) zijn gebaseerd op het opwekken van negatieve ionen, onafhankelijk of dit nu met een corona, plasma of met halfgeleidertechniek gebeurt.

Deze halfgeleidertechniek vormt een bijzondere innovatie op het gebied van de productie van negatieve ionen. Zeker zoals de firma Freshlight b.v. heeft geïntroduceerd. Hieruit blijkt dat de productie van negatieve ionen eenvoudig door een klein apparaat, dat bovendien ook een lamp is, kan worden gerealiseerd [7].

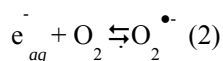
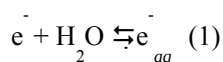
In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op hoe negatieve ionen worden gevormd en welke rol zij vervullen in de binnenlucht.

De vorming van negatieve ionen

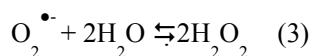
Zoals eerder werd vermeld, worden ionen in de lucht primair geproduceerd doordat er een (corona) ontlading plaatsvindt, door de aanwezigheid van UV-C straling, het toepassen plasma of door halfgeleider techniek.

De productie van negatieve ionen berust op het principe, dat een vrijkomend elektron (e^-) reageert met het aanwezige vocht (H_2O) in de lucht, waardoor er een elektron geclusterd deeltje ontstaat,

e^-_{aq} (zie reactie 1). Vervolgens zal het geïoniseerde watermolecuul reageren met bijvoorbeeld zuurstof O_2 , waarbij superoxide ($O_2^{\bullet-}$) ontstaat. Zie reactie 2 [11].

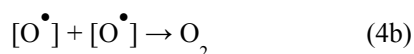
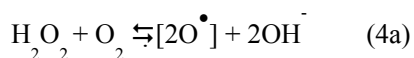


Dit superoxide anion, $O_2^{\bullet-}$, is een van de belangrijkste deeltjes in het totale proces. Het is zowel een radicaal als een ion [12]. Omdat het superoxide anion een radicaal is, zal deze zeer snel verder reageren met andere verbindingen in de lucht, waarbij de vorming van waterstofperoxide (H_2O_2) mogelijk is [13]. Dit is in reactie 3 weergegeven.



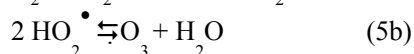
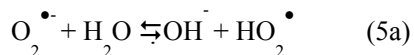
Waterstofperoxide staat bekend als een krachtig bleekmiddel. Dit komt, omdat waterstofperoxide reageert met zuurstof, waarbij zuurstofradicalen ($O^{\bullet}$) ontstaan (4a). Op basis van de chemie van de gevormde radicalen, zijn vele andere reacties mogelijk, waarbij nieuwe ionen en radicalen worden gevormd. Dit is volledig afhankelijk van de samenstelling van de binnenlucht en de ventilatie van de ruimte. Het gaat in dit artikel echter te ver, om al deze reacties te bespreken.

Wel is van belang, dat radicalen kunnen verdwijnen doordat ze met andere radicalen reageren. Een van de makkelijkste vormen is de reactie tussen twee zuurstofradicalen waarbij gewoon zuurstof wordt gevormd (4b).



Ozon?

Op basis van de eerdergenoemde chemische reacties, blijkt wel dat ozon gevormd kan worden bij luchtionisatie. Immers uit de reactie van het superoxide met vocht kunnen peroxide radicalen worden gevormd ($\text{HO}_2^\bullet$). Peroxide moleculen kunnen met elkaar reageren waarbij ozon wordt gevormd. Zie ook reactie (5a) en (5b).



In Californië (Verenigde Staten) hebben onderzoekers aangetoond, dat sommige elektronische luchtreinigers een ozon concentratie in de binnenlucht kunnen veroorzaken die boven de 90 ppb grenswaarde uitkomt. Luchtionisatoren kunnen hiertoe behoren [14]. Op basis van het onderzoek van Zhang naar de productie van negatieve ionen en ozon door UV licht, werd aangetoond dat dit alleen plaatsvond bij UV-C licht. UV-A en UV-B straling doen dit niet [15].

Samengevat, de gevormde (negatieve) elektronen reageren primair met vocht in de lucht. Dit geïoniseerd deeltje zal snel met zuurstof reageren waarbij het superoxide anion wordt gevormd. Vervolgens worden andere radicalen gevormd die met organische en anorganische verbindingen in de binnenlucht reageren. Dit geldt voor zowel de aanwezige gasvormige verbindingen als ook luchtgebonden deeltjes. De mogelijke vorming van ozon zal afhangen van het gebruik van UV-C licht door de luchtionisator.

Welke reacties negatieve ionen aangaan en welke verbindingen gevormd kunnen worden is afhankelijk van de samenstelling van de omgevingslucht. Wel blijkt, dat door de optredende reacties negatieve ionen een bijdrage kunnen leveren in de verbetering van de binnenluchtkwaliteit.

Verbetering van de binnenluchtkwaliteit door luchtionisatie

Deeltjes

Stofdeeltjes worden door de ionisatie negatief geladen, waardoor deze deeltjes vervolgens worden aangetrokken door bijvoorbeeld geaarde oppervlakken zoals een vloer of een wand. Deze voorstelling, waarbij deeltjes uit de binnenlucht wordt verwijderd, wordt vaak erg eenvoudig aangegeven. Soms vergelijkt men appels met peren. Een foute voorstelling is het vergelijken van stofdeeltjes met virussen: de ionen zouden aan de deeltjes gaan zitten om peroxiden te vormen en vervolgens dat de deeltjes worden afgebroken [16]. Echter, het uit de lucht halen van deeltjes berust op een totaal ander principe en mechanisme dan het afbreken van organische componenten, waaronder ook virussen behoren.

Onderzoekers van TNO (Nederland), SP (zweden) en VTT (Finland) hebben diverse commerciële apparaten bestudeerd op hun werking naar de afname van stofdeeltjes in de lucht. Hieruit blijkt allereerst, dat niet elk apparaat doet waarvoor het gemaakt is. Ook valt op, dat het onderzoeken naar de werking van ionisatoren niet is geharmoniseerd. Er bestaat slechts een Japanse standaard, waarbij eerder de hoeveelheid ionen mee wordt vastgesteld dan de daadwerkelijke werking.

In 2007 onderzocht Bolst een Freshlight 20W lamp [7] op de uitstoot van negatieve ionen, ozonproductie en stofbinding [17]. Zoals eerder werd vermeld, zijn producten van Freshlight innovatief: zij combineren licht met ionenafgifte. Bolst concludeerde dat de lamp genoeg ionen produceert (ruim $1.500.000 \text{ ionen per cm}^3$) en dat 92% stofafname waargenomen wordt, zonder dat er ozon wordt geproduceerd. Hoewel er niet aan de Japanse norm werd gerefereerd, kan worden gesteld dat de meting vrijwel identiek aan deze norm is uitgevoerd. Het feit dat er geen ozon wordt waargenomen, komt overeen met eerder besproken onderzoeken over de werking van luchtionisatie,

de lampen produceren immers geen UV-C. Het is echter niet mogelijk om de verkregen testresultaten te vertalen naar de praktijk, door het gebrek van informatie als waargenomen omgevingsparameters. Ook een internationale standaardisatie voor het vaststellen van de kwaliteit van luchtionisatie ontbreekt.

Op basis van onze literatuurstudie, is gebleken dat ionisatie van de binnenlucht er voor zorgt dat deeltjes in de binnenlucht afnemen. Vooral het effect op rookdeeltjes bleek groot, zoals Cornelissen in 2008 concludeerde. De tot op heden besproken onderzochte apparaten produceerden geen ozon [18-20]. Het NIAQ in Zweden concludeerde eveneens, dat de lucht van deeltjes door ionisatie wordt gereinigd. Tijdens hun onderzoek stelden zij vast, dat kleinere deeltjes clusteren tot grotere deeltjes. Hierdoor neemt de concentratie van de gemeten kleine deeltjes af terwijl de concentratie van grotere deeltjes toeneemt. Hedström stelde zodoende vast, dat ionisatie het aantal deeltjes in de lucht niet reduceert, omdat er andere, waaronder grotere, deeltjes worden gevormd. Deze grotere deeltjes zullen, mede door de ontvangen lading en verandering van massa, zich afzetten aan wanden en vloeren [21]. Naast deeltjes is ook onderzoek verricht naar de verwijdering van aerosolen. Dit is een colloïdaal mengsel van stofdeeltjes en/of vloeistofdeeltjes in de lucht. Onderzoekers als Mayya en coworkers concludeerden, dat het juist grote deeltjes waren die als gevolg van ionisatie afnamen in de binnenlucht. Een opvallende tegenspraak dus met eerder vermeld onderzoek. Men is unaniem van mening, dat de gevormde geladen deeltjes naar wanden en andere aanwezige (ongeladen of gearde) oppervlakten migreren [10, 22].

Een ander aspect in ruimtes is ventilatie. Het is maar zelden dat een ruimte vrij is van ventilatie. Het effect van de combinatie van ventilatie en ionisatie op de verwijdering van deeltjes is slechts uitgevoerd door enkele onderzoekers. Onafhankelijk van elkaar concludeerden zij, dat de ventilatie van een ruimte een gelijke bijdrage levert aan de effectieve verwijdering van deeltjes in de binnenlucht in vergelijking met ionisatie.

Samengevat, zal geïoniseerde lucht bijdragen aan een vermindering van deeltjes in de binnenlucht. De mate waarop dit gebeurt hangt af van de concentratie aan ionen in de binnenlucht en het ventilatievoud die in de ruimte heerst. Onduidelijk is de daadwerkelijke relatie tussen deeltjes en het heersende ventilatievoud.

Wat gebeurt er chemisch?

Naast de verwijdering van deeltjes en aerosolen door agglomeratie en sedimentatie, kunnen ook nieuwe stoffen worden gevormd. Dit is een van de conclusies van Waring en coworkers die het effect van draagbare luchtreinigers op de verwijdering van ultra-kleine deeltjes in de lucht bestudeerden. Zij concludeerden dat apparaten die tevens ozon produceerden de deeltjes effectief verwijderden. Echter in de aanwezigheid van o.a. terpenen (bijvoorbeeld uit verf) wordt formaldehyde gevormd [23] Formaldehyde is ook wel bekend als spaanplaatgas en kan bijvoorbeeld irritatie op de luchtwegen veroorzaken.

Hieruit blijkt al dat de reacties van negatieve ionen met chemische verontreinigen in de binnenlucht complex zijn. Een van de belangrijkste eigenschappen van de negatieve ionen is de vorming van reactieve stoffen in de binnenlucht als superoxide en peroxiden. Deze verbindingen zijn in staat om aanwezige verbindingen te oxideren. Zijn de verbindingen van organische aard (zij zijn de meeste geuren binnenshuis afkomstig van organische verbindingen), dan kunnen deze deels of volledig worden afgebroken. De mate waarop de afbraak ontstaat, is afhankelijk van

- 1) concentratie aan negatieve ionen dat doorreageert tot de genoemde reactieve verbindingen;
- 2) vocht, omdat transport van de elektronen nodig is en, omdat vocht nodig is voor de reacties;
- 3) zuurstof in de ruimte en temperatuur, immers alle chemische reacties gaan sneller bij verhoging van de temperatuur en
- 4) de aanwezige ventilatie in die ruimte.

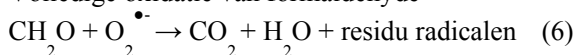
Er zijn echter geen onderzoeksgegevens bekend over de mate van ionen in de lucht (gradiënt), de mate van luchtvochtigheid en optredende reacties en de rol van ventilatie in deze. De aanwezige studies

naar de effectiviteit van mobiele ionisatoren zijn tot op heden gericht op de afname van een verbinding, en niet op de vorming van een nieuwe verbinding.
Met de komende drie voorbeelden wordt aangegeven, wat er zich in de binnenlucht kan afspelen.

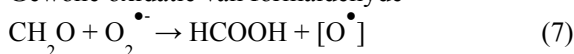
Voorbeeld 1. Spaanplaatgas verdwijnt en er worden nieuwe verbindingen gevormd.

Het eerste voorbeeld is met formaldehyde (spaanplaatgas). Formaldehyde heeft als chemische formule CH_2O . Als dit volledig oxideert dan wordt er CO_2 en H_2O gevormd (zie reactie 6). Bij een normale oxidatie wordt er mierenzuur gevormd (HCOOH) zoals in reactie 7 is weergegeven. Echter, als er radicalen aanwezig zijn, kunnen er ook verbindingen als ‘monohydroxymethyl hydroxoperoxide’ worden gevormd (zie reactie 8). Deze groep van organische peroxiden kunnen vele gewenste en ongewenste stoffen vormen [24].

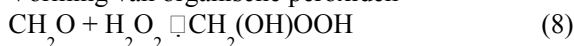
Volledige oxidatie van formaldehyde



Gewone oxidatie van formaldehyde



Vorming van organische peroxiden

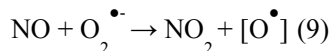


Voorbeeld 2. Een etherische olie vormt nieuwe verbindingen bij een milde reactie met radicalen.

Een ander voorbeeld is een reactie met D-Limoneen. Dit is een etherische olie dat onder andere uit citrusvruchten komt en wordt veelvuldig gebruikt in geur en smaakstoffen. Het heeft een citroenachtige geur. Met uit ionisatie gevormde peroxide radicalen, kan deze verbinding reageren waarbij verbindingen als limoen aldehyde (IPOH) en 4-acetylmethylcyclohexaan (AMCH) worden gevormd [25]. Deze stoffen kunnen nieuwe aerosoldeeltjes in de lucht vormen. Deze deeltjes kunnen vervolgens clusteren waarbij zij secundaire organische aerosolen kunnen vormen. Het effect van deze aerosolen op onder andere de gezondheid van de mens is tot op heden onbekend.

Voorbeeld 3. Buitenluchtverontreinigingen die binnentreden.

Tot slot zijn er in de buitenlucht stoffen aanwezig, die zonder dat we het merken ook binnen aanwezig kunnen zijn [o.a. 26]. Een van deze verbindingen is stikstofmonoxide (NO). Deze verbinding reageert niet snel met een andere verbinding. Echter met geïoniseerd lucht, dat superoxide of peroxide radicalen bevat, kan deze verbinding reageren tot stikstof dioxide (NO_2), zie ook reactie 9. Een verhoging van de NO_2 concentratie in de binnenlucht is ongewenst.



(Negatieve) Ionen kunnen dus een bijdrage leveren tot een verlaging van vluchtige organische koolwaterstoffen, VOC, in de binnenlucht, omdat bij een concentratie die hoog genoeg is deze verbindingen volledig geoxideerd kunnen worden tot CO_2 en H_2O . Echter, het is meer waarschijnlijk dat er ook andere verbindingen zullen ontstaan als carbonzuren. Dit is volledig afhankelijk van de samenstelling van de binnenlucht. Ook is verhoging van bijvoorbeeld de concentratie NO_2 in de binnenlucht mogelijk. Er zijn echter géén gegevens bekend over de mate van ionen in de lucht (gradiënt), de mate van luchtvochtigheid en optredende reacties en de rol van ventilatie in deze. De

aanwezige studies naar de effectiviteit van mobiele ionisatoren zijn tot op heden gericht op de afname van een verbinding, en niet op de vorming van een nieuwe verbinding.

Overigens neemt dit niet weg, dat de vele reacties die negatieve ionen kunnen aangaan vele toepassingsmogelijkheden bieden. Mogelijke reacties van radicalen gevormd uit de negatieve ionen met bijvoorbeeld virussen, schimmels, bacteriën en allergenen waardoor de hoeveelheid van deze componenten in de lucht afneemt is vaak wenselijk. Door de gaande innovaties op het gebied van ionisatie met halfgeleidertechniek zijn er geen limitaties meer voor implementatie in de diverse ruimtes. Door bijvoorbeeld een combinatie van verlichting en de productie van negatieve ionen kan op elk lichtpunt in een gebouw negatieve ionen worden geproduceerd.

Sprookje of waarheid?

Betreffende de mogelijke toepassingen van negatieve ionen; Er wordt vaak vermeld, dat negatieve ionen de vitamines in de lucht vormen. Er wordt vaak verwezen naar de concentratie aan negatieve ionen in bergachtige gebieden in relatie tot gezondheid. Het zou de oplossing tegen stress, hoofdpijn, lusteloosheid en depressie. Negatieve ionen zouden het zogenaamde 'serotonine hyperfunctie syndroom' voorkomen. Het verhoogt het serotonine niveau waardoor je happy wordt. Het is de nieuwe zon, de ademkatalysator en de wonderlamp. Zelfs Albert Einstein had de oplossing al geopperd! Dit zijn quotes van onder andere fabrikanten van ioniserende apparatuur [7, 16, 27-32]. Het ioniseren van de binnenlucht is volgens deze fabrikanten de oplossing. De vraag is of dit daadwerkelijk het geval is, omdat vele van de hierboven genoemde effecten nog nooit voldoende wetenschappelijk onderzocht zijn.

Toch worden aan de negatieve ionen in de binnenlucht positieve effecten toegeschreven [33]. Immers, een schoner binnenklimaat resulteert in een comfortabelere en gezondere omgeving.

Hoewel de directe positieve effecten van negatieve ionen op de gezondheid van mens niet wetenschappelijk bewezen zijn blijken consumenten, die dergelijke apparaten in huis halen, positieve ervaringen op de diverse websites te melden. Verder onderzoek zal uit moeten wijzen of luchtionisatie daadwerkelijk directe effecten hebben op de gezondheid van mens en dier zelf.

Conclusies

Luchtionisatie kan een belangrijke bijdrage leveren aan een comfortabeler binnenmilieu.

Primair verantwoordelijk voor het schoonmaken van de lucht zijn de te vormen superoxide radicalen, die vervolgens door kunnen reageren tot peroxide radicalen. Daarnaast kunnen diverse geïoniseerde luchtbestanddelen worden gevormd.

Deeltjes

De geïoniseerde lucht kan op effectieve wijze deeltjes uit de lucht verwijderen. Kleinere nog geladen deeltjes zullen door geaarde oppervlakten aangetrokken worden en kunnen dus ook op wanden terecht komen.

Deeltjes agglomereren, worden groter en krijgen dus meer massa. Hoewel het hierdoor aannemelijk lijkt dat deze deeltjes op de grond terecht zullen komen, is dit niet bewezen.

Deeltjes en ventilatie

Ventilatie speelt ook een rol in verwijdering van deeltjes uit de binnenlucht. Echter een goede relatie tussen de mate van verwijdering van deeltjes in de lucht door ventilatie en door ionisatie ontbreekt.

Organische verbindingen als geuren

Geïoniseerde lucht breekt organische moleculen af, waardoor bijvoorbeeld geuren (gewenste en ongewenste) worden verwijderd. De gevormde radicalen (superoxide en peroxide radicalen) zijn niet selectief en reageren met alles wat zij in de lucht tegenkomen. Zij kunnen dus ook met sporen, virussen en allergenen reageren.

De concentratie

De concentratie van superoxide en peroxide radicalen in de lucht moet altijd groter zijn dan de concentratie van de aanwezige verontreinigingen. Is de concentratie superoxide en peroxide radicalen in de lucht aan lager, dan kunnen ongewenste verbindingen ontstaan. Dit geldt voor de gehele ruimte en direct aanliggende ruimtes, die door luchtionisatie wordt gezuiverd.

Helaas ontbreekt in de literatuur elk gegeven over deze nieuw gevormde verbindingen in relatie tot de concentratie van negatieve ionen in de binnenlucht.

Harmonisatie

Er zijn in Nederland en Europa geen standaardmethoden om de kwaliteit en effectiviteit van luchtionisatie te toetsen. Hierdoor is een vergelijking van de kwaliteit tussen de diverse op de markt aanwezige apparaten moeilijk te maken. Er is slechts een Japanse standaard aanwezig, die aangeeft hoe de concentratie aan gevormde ionen gemeten moet worden, JIS B 9929.

Het daadwerkelijke effect op bijvoorbeeld het luchtzuiverend vermogen ontbreekt ook in deze standaard. Het is van groot belang dat een dergelijke standaard op korte termijn wordt ontwikkeld.

Toekomstperspectief

Ondanks de nog vele open vragen, is er een toekomst voor luchtionisatie. Indien de behandelwijze van lucht met ionisatie goed wordt beheerst kan hierdoor het comfort van binnenlucht toenemen. Ook innovaties als ionen producerende lampen zullen hier goed aan bijdragen, denk eens aan liften waar altijd licht aan is, rookhokken in openbare ruimtes en bedrijven, huizen en scholen nabij een snelweg gelegen, bussen en treinen, . Ook op plekken met een slechte ventilatie als toiletten, ruimtes met veel stof, kippenstallen etc. kan luchtionisatie de luchtkwaliteit positief beïnvloeden.

Er zijn aanwijzingen, dat virussen en bacteriën ook effectief kunnen worden verwijderd. Wel is hiervoor ter onderbouwing meer onderzoek nodig. Is eenmaal het positieve effect bewezen, dan zijn ook hier de toepassingen legio. Denk aan toepassingen in ziekenhuizen of de sector die het culturele erfgoed moet behouden. Bijvoorbeeld bij het preventief behandelen van de binnenlucht als een door overstroming nat geworden collectie archiefmateriaal tijdelijk moet worden opgeslagen.

Dankwoord

Deze publicatie is tot stand gekomen met ondersteuning van ministerie van Economische Zaken en Freshlight b.v. Ook wil ik Lara M'Rabet (Slim²) bedanken voor de gegeven input en discussies.

Geraadpleegde literatuur

1. Gustafsson, H., *Building materials identified as major sources for indoor air pollutants*. 1992, Swedish Council for Building research: Stockholm. p. 72.
2. Buchbauer, G., et al., *On the Odour of Old Books*. Journal of Pulp and Paper Science, 1995. **21**(11): p. J398-J400.
3. Uhde, E. and T. Salthammer, *Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality--A review of recent advances in indoor chemistry*. Atmospheric Environment, 2007. **41**(15): p. 3111-3128.
4. Kaspas, G.J., F.E. De Buissonjé, and A.J.A. Aamink, *Ionisatie voor reductie fijnstofemissie uit pluimveestallen. Fase I: Inventarisatie*. 2008, Animal Sciences Group Wageningen UR: Wageningen.
5. Luts, A. and T. Parts, *Evolution of negative small air ions at two different temperatures*. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2002. **64**(7): p. 763-774.
6. Luts, A., et al., *Some air electricity phenomena caused by waterfalls: Correlative study of the spectra*. Atmospheric Research, 2009. **91**(2-4): p. 229-237.
7. *Freshlight website*. 2007 [cited 2009 30-09-2009]; Available from: <http://www.freshlight.nl/>.
8. Hartman, D., *Photocatalytic air cleaning* J. Havermans, Editor. 2010, Telephone conference: Delft.
9. Amuhanna, E., *Dust control in livestock buildings with electrostatically-charged water spray*. 2007, Kansas State University: Kansas.
10. Mayya, Y.S., et al., *Aerosol removal by unipolar ionization in indoor environments*. Journal of Aerosol Science, 2004. **35**(8): p. 923-941.
11. Yang, E., *Oxygen delignification. The role of hydroxyl and superoxyde radicals*, in *Department of Pulp and Paper Chemistry and Technology*. 1995, Royal Institute of Technology: Stockholm, Sweden.
12. Koppenol, W.H., *Names for Inorganic Radicals. (IUPAC Recommendations 2000)*. Pure Appl. Chem., 2000. **72**(3): p. 437-446.
13. Richardson, G., et al., *Negative air ionisation and the production of hydrogen peroxide*. Atmospheric Environment, 2003. **37**(26): p. 3701-3706.
14. Piazza, T., R.H. Lee, and J. Hayes, *Survey of the Use of Ozone-generating Air Cleaners by the California Public*. 2006, Survey Research Center, University of California: Berkeley, Ca.
15. Zhang, J. and Z. Yu, *Experimental and simulative analysis of relationship between ultraviolet irradiations and concentration of negative air ions in small chambers*. Journal of Aerosol Science, 2006. **37**(10): p. 1347-1355.
16. AirSain. *Negatieve ionen verbeteren luchtkwaliteit*. 2009 [cited 2009 30-09-2009]; Available from: <http://www.airsain.nl/index.cfm>.
17. Bolst, K., *Prüfprotokoll IWK 07-009 Freshlight*. 2008, Institut für Wärme-, Klima- & Verfahrenstechnik eV: Bochum, Germany.
18. Cornelissen, H.J.M., *Test Light Air luchtreiniger*. 2008, TNO Bouw en Ondergrond: Delft. p. 21.
19. Johansson, J.H.P., *Dust coverage percent on collector of an air cleaner in comparsion to an inactive collector*. 2001, SP: Boras, Sweden.
20. LightAir. *LightAir: LightAir Performance*. 2009 [cited 2009 30-09-2006]; Available from: <http://www.lightair.com/show.php?id=1038257>.
21. Hedström, A., *Reduction Test of LightAir ionizing air cleaner*. 2005, NIAQ, Nordiska Institut för Luftkvalitat AB: Stockholm, Sweden.
22. Uk Lee, B., M. Yermakov, and S.A. Grinshpun, *Removal of fine and ultrafine particles from indoor air environments by the unipolar ion emission*. Atmospheric Environment, 2004. **38**(29): p. 4815-4823.
23. Waring, M.S., J.A. Siegel, and R.L. Corsi, *Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners*. Atmospheric Environment, 2008. **42**(20): p. 5003-5014.

24. Gorse, R.A. and D.H. Volman, *Analysis of mixtures of hydrogen peroxide and formaldehyde*. Analytical Chemistry, 1971. **43**(2): p. 284.
25. Ebersviller, S.M., et al., *A Comparison of the Oxidation Products and Secondary Organic Aerosol Formation Potential of d d-Limonene and a Household Cleaning Product Containing d-Limonene*, in *Air and Waste Management Association 2006*, AWMA: New Orleans, Louisiana.
26. Havermans, J.B.G.A. and T.A.G. Steemers, *Air pollution and its prevention*, in *Ageing and stabilisation of paper*, M. Strlic and J. Kolar, Editors. 2005, National and University Library: Ljubljana. p. 165-179.
27. 4Q-Air. *Plasma en ionen*. 2009 [cited 2009 30-09-2009]; Available from: <http://www.4q-air.nl/kennisbank/65-plasma-en-ionisatie>.
28. API-Verwarming. *Luchtzuivering, Waarom Luchtreinigers*. 2009 [cited; Available from: http://www.api-verwarming.nl/luchtzuivering/waarom_luchtreinigers/].
29. Bioclimatic. *Lucht ionisatie systemen. Een natuurlijke activatie van de lucht*. 2009 [cited 2009 30-09-2009]; Available from: www.bioclimatic.nl.
30. Chi. *Aromatherapie en luchtzuivering*. 2009 [cited 2009 30-09-2009]; Available from: <http://www.chiaromatherapy.com/>.
31. Nuon, *Nuon Wonderlamp*. 2007, Nuon. p. 39.
32. TheCloud. *The Cloud*. 2009 [cited 2009 30-09-2009]; Available from: <http://www.thecloud.nl/>.
33. Innogoods, *Ionisatie: Dé oplossing tegen stress, hoofdpijn, lusteloosheid en depressies.*, in *Libelle*. 2006.