

rivm

Rapport 609021071/2008
E.F. Hall | A. Dusseldorp

Gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in woningen

Een literatuurstudie

RIVM Report 609021071/2008

**Gezondheidseffecten van een lage relatieve
luchtvochtigheid in woningen**
Een literatuurstudie

E.F. Hall, A. Dusseldorp

Contact:
E.F. Hall
RIVM
lisbeth.hall@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VROM-Inspectie, in het kader van het project M/609021 'Ondersteuning VROM-Inspectie 2007'

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in woningen Een literatuurstudie

In het stookseizoen kunnen bewoners van ongeveer vijf procent van de Nederlandse woningen last hebben van een lage relatieve luchtvochtigheid (vanaf 30 procent RV en lager). Vooral contactlensdragers en mensen met allergieën en huidklachten, kunnen last krijgen van bijvoorbeeld droge ogen en een droge huid. Dat is de conclusie van een literatuurstudie naar de effecten van een lage relatieve luchtvochtigheid op de gezondheid.

Bij een nog lagere relatieve luchtvochtigheid (vanaf 10 procent en lager) worden ook de slijmvliezen van de neus droger, wat de kans op een infectie aan de luchtwegen verhoogt. Een dergelijke lage relatieve luchtvochtigheid wordt echter nauwelijks aangetroffen in Nederlandse woningen.

Als mensen de lucht als droog ervaren, is dat afhankelijk van meer factoren dan de relatieve luchtvochtigheid, zoals te weinig ventilatie, hoge temperatuur en verontreinigde lucht. Daarom is luchtbevochtiging geen eenduidige oplossing voor situaties waarin de lucht als te droog wordt ervaren. Bovendien blijkt dat in het algemeen juist in vochtige ruimtes de luchtkwaliteit als onprettig wordt ervaren: de lucht wordt als bedompter en minder acceptabel ervaren naarmate de relatieve luchtvochtigheid stijgt (vanaf circa 50 procent). Dit effect wordt versterkt door een toename van temperatuur (vanaf circa 23°C) en/of luchtverontreiniging.

Het rapport beschrijft de studies in de wetenschappelijke literatuur vanaf 1990. Er zijn alleen gegevens beschikbaar van buitenlands onderzoek in werk- en testomgevingen. Daardoor moet de vertaalslag naar Nederlandse woningen als een indicatie worden gezien van de te verwachten effecten.

Trefwoorden: gezondheidseffecten, lage relatieve luchtvochtigheid, woningen, droge lucht, binnenmilieu

Abstract

Health effects of low relative humidity in Dutch homes

A study of the literature

A study of the literature on the health effects of low relative humidity indicates that the inhabitants of about five percent of Dutch homes could be affected by low relative humidity (30 percent and below). These inhabitants, particularly contact lens wearers and people with allergies, could experience symptoms such as dry eyes and dry skin during the heating season.

When relative humidity is particularly low (10 percent and below), the mucous membranes of the nose get dryer, which increases the chance of a respiratory infection. However, such low relative humidity is rare in Dutch homes.

Perceiving the air as dry appears to depend not only on the relative humidity but also on other factors, such as too little ventilation, high temperature and polluted air. Therefore, air humidification does not necessarily provide a satisfactory solution for situations in which people perceive the air as being too dry. Furthermore, under humid conditions the air quality is generally perceived as being less pleasant: as the relative humidity increases the air is perceived as being stuffier and less acceptable (from 50 percent RH upwards). These effects are enhanced when the temperature increases and/or the air is polluted.

This report gives an overview of the scientific literature published on this subject since 1990. The results of research performed in the workplace and in climate chambers have been translated to the situation in Dutch homes to give an indication of the effects that can be expected.

Key words: health effects, low relative humidity, homes, dry air, indoor air quality

Inhoud

Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Onderzoek naar de gezondheidseffecten van een lage RV	15
2.1 Klimaatkameronderzoeken	17
2.1.1 Fysiologische en subjectieve effecten bij variërende RV	17
2.1.2 Fysiologische en subjectieve effecten bij variërende RV, temperatuur en luchtverontreiniging	17
2.1.3 Huidklachten van eczeempatiënten bij variërende RV	19
2.1.4 Ervaren luchtkwaliteit bij variërende RV, temperatuur en luchtverontreiniging	19
2.1.5 Ervaren luchtkwaliteit bij variërende RV en luchtverontreiniging	21
2.1.6 Conclusies van de klimaatkameronderzoeken	22
2.2 Interventieonderzoeken in ziekenhuizen en kantoorgebouwen	25
2.2.1 Onderzoek in ziekenhuizen	25
2.2.2 Onderzoek in kantoorgebouwen	26
2.2.3 Conclusies van de interventieonderzoeken in ziekenhuizen en kantoorgebouwen	28
2.3 Dwarsdoorsnedeonderzoeken in kantoorgebouwen	30
2.3.1 Verrichte onderzoeken en resultaten	30
2.3.2 Conclusies van de dwarsdoorsnedeonderzoeken	31
3 Gevoel van droogte door andere factoren dan een lage RV	33
3.1 Lage ventilatie en mechanische ventilatie	33
3.2 Hoge temperatuur	33
3.3 Luchtverontreiniging	33
3.4 Vochtkenmerken	34
4 Luchtbevochtigers in de woning	35
5 Relatieve luchtvochtigheid in Nederlandse woningen	37
5.1 Onderzoek in 1240 woningen	37
5.2 Onderzoek in de nieuwbouwwijk Vathorst	37
5.3 Meldingen van milieugerelateerde gezondheidsklachten	38
5.4 Gezondheidseffecten van een lage RV in Nederlandse woningen?	38
6 Conclusies	41
Literatuur	43

Samenvatting

De laatste jaren is er veel aandacht geweest voor de problematiek van vochtige woningen. Echter de laatste tijd zijn er signalen van bewoners van nieuwbouwwoningen dat zij gezondheidsklachten ondervinden van een als te droog ervaren binnenlucht. De VROM-Inspectie heeft het RIVM gevraagd wat bekend is over de effecten van droge binnenlucht op de gezondheid. Daarbij is een aantal deelvragen te stellen: Is de relatieve luchtvochtigheid (RV) inderdaad laag als mensen de lucht als droog ervaren? Zijn er andere factoren bekend die maken dat mensen de lucht als droog ervaren? Zijn luchtbevochtigers een oplossing voor het probleem of kunnen ze tot ongewenste gezondheidseffecten leiden?

Het RIVM heeft deze vragen beantwoord op grond van een literatuuronderzoek in wetenschappelijke artikelen vanaf 1990. Omdat er geen onderzoek bekend is naar de effecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in woningen zijn de conclusies gebaseerd op resultaten van studies in klimaatkamers en in de werksituatie.

Er zijn drie onderzoeksopties te onderscheiden in de studies:

- klimaatkameronderzoeken; experimentele onderzoeken uitgevoerd in gesloten klimaatkamers;
- interventieonderzoeken uitgevoerd in kantoorgebouwen en ziekenhuizen;
- dwarsdoorsnedeonderzoeken in kantoorgebouwen.

De studies beschrijven zowel fysiologische als subjectieve effecten. Fysiologische effecten zijn het droger worden van de huid en van de slijmvliezen van ogen, neus en keel. Subjectieve effecten zijn de ervaren luchtkwaliteit, thermisch comfort en ervaren droogte van ogen, neus en huid. Soms wordt er naar *sick building syndrome* (SBS)-achtige klachten gevraagd. Dit zijn klachten als hoofdpijn, vermoeidheid en luchtwegklachten die meestal snel over gaan wanneer men het gebouw verlaat.

Klimaatkameronderzoeken

In de klimaatkameronderzoeken zijn proefpersonen blootgesteld aan verschillende niveaus van luchtvochtigheid. In sommige onderzoeken worden ook verschillende niveaus van temperatuur en luchtverontreiniging toegepast.

Uit de fysiologische tests blijkt dat de ogen van proefpersonen droger worden bij een RV van 30% en lager. Vooral contactlensdragers zijn hier gevoelig voor. Ook het subjectieve gevoel van droge ogen is bij 30% RV en lager merkbaar, hoewel er enige gewenning kan optreden. De neusslijmvliezen worden pas droog bij een RV van 10%. Bij deze RV neemt de trilhaaractiviteit van de neusslijmvliezen af, wat de kans verhoogt op het oplopen van een respiratoire infectie. Bij een RV van 30% en lager ervaren proefpersonen na enige tijd het gevoel van droogte van neus en keel. Huidhydratie neemt duidelijk af bij een RV van 30% en lager. Proefpersonen nemen dit echter niet goed waar. Blijkbaar is het gevoel van een droge huid geen goede indicator voor de huidhydratie.

Zowel contactlensdragers als andere gevoelige personen, zoals mensen die hooikoorts krijgen en mensen met droge huidklachten, ervaren meer SBS-achtige klachten van een droge lucht dan niet-gevoelige personen, vooral wanneer de lucht verontreinigd is. Onderzoek met eczeempatiënten laat zien dat hun huid meer gevoelig is voor droge lucht dan die van mensen zonder eczeem.

Proefpersonen ervaren de lucht als droog bij een RV van 15% en lager, maar een afname in RV heeft geen effect op hun thermische comfort en wordt alleen als een momentane afkoeling ervaren. Hoe proefpersonen de luchtkwaliteit ervaren wordt sterk beïnvloed door RV. Met toenemende RV (vanaf 50%) vinden ze zowel schone als verontreinigde lucht steeds minder acceptabel, waarbij de impact van RV op de aanvaardbaarheid sterker is bij schone lucht. Proefpersonen vinden bijvoorbeeld dat schone lucht meer geur heeft naarmate de RV en temperatuur toenemen (vanaf 50% en 23°C), maar dit effect wordt niet gevonden voor verontreinigde lucht. Daarnaast is de impact van verontreiniging sterker bij een lagere RV en temperatuur dan bij een hogere RV en temperatuur. Verontreinigde lucht die koud en droog is wordt net zo acceptabel gevonden als schone lucht die warm en vochtig is.

Interventieonderzoeken in ziekenhuizen en kantoorgebouwen

In de meerderheid van de interventieonderzoeken wordt in de werkomgeving als interventie de luchtvochtigheid kunstmatig verhoogd. Vervolgens worden de verschillen in gezondheidseffecten tijdens de interventie en de gebruikelijke situatie onderzocht. In de verschillende studies is de RV in de gebruikelijke situatie tussen 20% en 38% en tijdens de interventie tussen 27% en 45%.

In de enkele studies waarin deze effecten werden onderzocht nam het objectief waargenomen aantal droge huidklachten af bij een hogere RV en medewerkers waren minder blootgesteld aan statische elektriciteit. Overige objectieve effecten zijn niet gevonden. Dit in tegenstelling tot de klimaatkameronderzoeken. Dit kan verklaard worden doordat in de klimaatkameronderzoeken blootstelling aan lagere percentages RV onderzocht werd.

Vermindering van een aantal SBS-achtige klachten en de intensiteit van deze klachten zijn in alle onderzoeken gevonden bij een hogere RV vergeleken met een lagere RV. Er is echter geen consistent klachtenpatroon gevonden tussen de onderzoeken.

In één interventieonderzoeken in een kantoorgebouw zijn verschillende testcondities toegepast met verschillende combinaties van RV, temperatuur en ventilatie. Verschillen in subjectieve waarnemingen en prestaties tijdens de testcondities zijn onderzocht. De resultaten van dit onderzoek wijzen in de tegenovergestelde richting van de andere interventieonderzoeken. Een aantal SBS-achtige klachten verergerde bij een hogere RV (>50%). Deze resultaten hoeven echter niet tegenstrijdig te zijn. Het kan zijn dat SBS-achtige klachten verergeren bij zowel een hogere als een lagere RV en dat het optimum om geen klachten te krijgen ertussen in ligt (bijvoorbeeld 30-50% RV). In dit onderzoek nam de temperatuur ook toe bij toenemende RV. Wellicht is de combinatie van een hogere RV en een hogere temperatuur verantwoordelijk voor de toenemende SBS-achtige klachten.

De uitkomsten van de interventieonderzoeken ondersteunen de bevindingen van de klimaatkameronderzoeken betreffende de ervaren luchtkwaliteit. Hoe vochtiger de lucht hoe minder acceptabel en bedompter proefpersonen de lucht vinden. Ook constateren ze meer geur bij een hogere RV. Tijdens periodes met een lage RV ervaren proefpersonen de lucht als droger vergeleken met periodes met een hogere RV.

Dwarsdoorsnedeonderzoeken in kantoorgebouwen

In de dwarsdoorsnedeonderzoeken zijn er geen verbanden gevonden tussen RV en subjectieve klachten. Wel is er een verband gevonden tussen SBS-achtige klachten en het gevoel van een droge lucht thuis. Het is niet onderzocht of de lucht thuis daadwerkelijk droog was, wat de interpretatie hiervan bemoeilijkt. Wat objectieve klachten betreft is er een relatie gevonden tussen

RV en huidhydratie. Dit verband is conform de resultaten uit de klimaatkameronderzoeken; de huidhydratie neemt af bij een lagere RV.

Gevoel van droogte

Uit de interventieonderzoeken blijkt dat de lucht vanaf een RV van 30% en lager als droog ervaren wordt, terwijl in de klimaatkameronderzoeken dit effect pas bij een RV van 15% en lager gevonden wordt. Wellicht zijn er andere factoren aanwezig in de onderzochte werksituaties die het gevoel van droogte hebben veroorzaakt. Uit andere onderzoeken blijkt namelijk dat het ervaren van de lucht als droog niet hoeft te wijzen op een lage relatieve luchtvochtigheid, maar kan samenhangen met lage ventilatie, hoge temperatuur en luchtverontreiniging (onafhankelijk van de RV).

Luchtbevochtigers

Bepaalde soorten luchtbevochtigers, ultrasone en ‘cool mist’ bevochtigers, kunnen micro-organismen en mineralen verspreiden in de binnenlucht. Het inademen van nevel waarin zich deze micro-organismen bevinden zou luchtwegklachten kunnen veroorzaken. De Environmental Protection Agency (EPA) van de VS benadrukt het belang van een goede schoonmaak en onderhoud van deze apparaten om blootstelling aan schimmels en bacteriën te minimaliseren. De kans dat verdampers en stoombevochtigers micro-organismen in de lucht verspreiden acht de EPA veel kleiner.

Omdat de relatieve luchtvochtigheid niet altijd de oorzaak is van klachten over droge lucht is het gebruik van luchtbevochtigers ook geen eenduidige oplossing. Daarbij speelt dat bevochtigde lucht als bedompter en minder acceptabel ervaren wordt dan niet bevochtigde lucht.

Bij toepassing van luchtbevochtigers in de woning is het van belang dat deze op de juiste manier gebruikt, schoongemaakt en onderhouden worden om potentiële gezondheidseffecten te voorkomen.

Gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in Nederlandse woningen

Omdat gegevens ontbreken over de gezondheidseffecten van een lage RV in woningen, is het moeilijk om goed onderbouwde uitspraken te doen over mogelijke gezondheidseffecten in Nederlandse woningen. Desondanks is er aan de hand van de bestudeerde onderzoeken wel een beeld te schetsen van de te verwachten effecten.

In Nederlandse woningen is in het stookseizoen de relatieve luchtvochtigheid (RV) gemiddeld boven 37%. In 5% van de woningen is de gemiddelde RV onder 32% en het weekminimum onder 25%. Alleen in deze ‘droogste’ woningen zouden klachten kunnen optreden, vooral op momenten wanneer de RV het minimum bereikt. Uit de studies blijkt namelijk dat fysiologische effecten, zoals het droger worden van de huid en oogslimvliezen, kunnen optreden bij een RV van 30% en lager. Naast fysiologische effecten kunnen bij 30% RV en lager ook subjectieve effecten optreden zoals het gevoel van droge ogen, huid, neus en keel, hoeveel er geen eenduidig klachtenpatroon uit de onderzoeken naar voren komt. Contactlensdragers en personen met allergische klachten en huidklachten zijn gevoeliger voor de effecten van een lage relatieve luchtvochtigheid dan anderen.

Op grond van de bestudeerde literatuur en de gegevens over RV in Nederlandse woningen, is het niet te verwachten dat op grote schaal effecten op de gezondheid van bewoners optreden door een lage RV. Daarnaast zullen de effecten die in de droogste woningen kunnen optreden, zoals het droger worden van de huid en oogslimvliezen, verdwijnen wanneer de RV hoger wordt.

1 Inleiding

De afgelopen jaren is er veel aandacht geweest voor de problematiek van vochtige woningen. Vochtige woningen kunnen leiden tot gezondheidsproblemen, zoals luchtwegklachten, verergering van astma en verergering van allergieën. Daarom wordt er tegenwoordig bij nieuwbouw en renovatie extra aandacht besteed aan de vochthuishouding.

De laatste tijd zijn er echter signalen van bewoners van nieuwbouwwoningen dat zij gezondheidsklachten ondervinden van een als te droog ervaren lucht. Klachten zoals geïrriteerde slijmvliezen, droge huid en vermoeidheid worden aan te droge lucht geweten. Het is niet duidelijk of de relatieve luchtvochtigheid daadwerkelijk laag is op het moment dat men de lucht droog vindt. Wellicht zijn er andere factoren in het spel die maken dat men de lucht als droog ervaart en gezondheidsklachten ondervindt. Bewoners zoeken soms naar oplossingen voor de gepercipieerde droge lucht, zoals luchtbevochtigers. De vraag is of echter of deze ‘oplossingen’ voldoen en of ze zelf tot klachten kunnen leiden.

De VROM-Inspectie heeft het RIVM gevraagd een literatuurstudie te doen naar deze aspecten.

De vraagstelling luidt daarbij als volgt:

- Wat zijn de mogelijke gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in Nederlandse woningen?

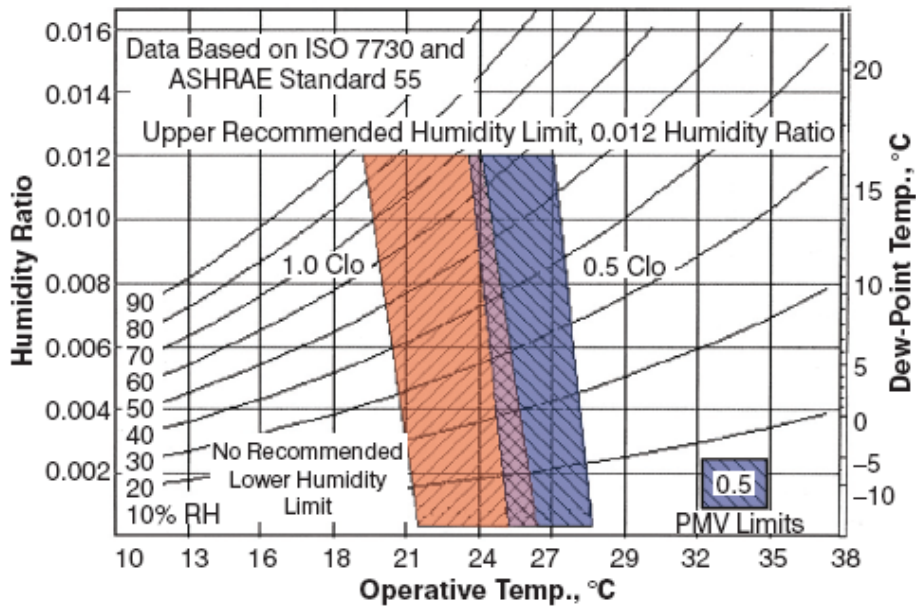
Tevens zijn er twee deelvragen gesteld:

- Zijn er andere factoren die de gezondheidsklachten kunnen veroorzaken die geweten worden aan een te droge lucht?
- Kunnen luchtbevochtigers die ingezet worden om een droge lucht tegen te gaan tot ongewenste gezondheidseffecten leiden?

De **relatieve luchtvochtigheid** (RV) is de verhouding tussen de partiële druk van de waterdamp in de lucht en de verzadigingsdruk van de waterdamp, bij dezelfde temperatuur en luchtdruk. Anders gezegd, de RV is de verhouding tussen de aanwezige hoeveelheid waterdamp en de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten, bij een bepaalde luchtconditie, uitgedrukt in gram vocht per kilogram droge lucht (Van der Meer, 1985). De hoeveelheid vocht die de lucht kan bevatten is afhankelijk van de temperatuur. Hoe lager de temperatuur hoe minder vocht er in de lucht kan. Als lucht met een bepaalde luchtvochtigheid wordt afgekoeld dan blijft de absolute luchtvochtigheid gelijk (tot aan het verzadigingspunt), maar de RV zal stijgen.

De RV is binnen hetzelfde gebouw niet overal gelijk. Ze is namelijk sterk afhankelijk van de hoeveelheid personen, de activiteiten die plaatsvinden (bijvoorbeeld was drogen, koken, dweilen) en de stand van de verwarming (de temperatuur).

Er bestaat geen Nederlandse gezondheidkundige advieswaarde voor relatieve luchtvochtigheid. In de standaard voor thermisch comfort, ASHRAE 55-2004, van *the American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (Olesen en Brager, 2004) wordt wel een bovengrens maar geen ondergrens aanbevolen voor RV (zie Figuur 1).



Figuur 1: Aanvaardbare range van temperatuur en luchtvochtigheid bij twee isolatiewaarden van kleding (0,5 en 1,0 clo) (Olesen en Brager, 2004)

Onderzoekopzet en opbouw van het rapport

In de database Medline is een literatuursearch gedaan naar epidemiologisch onderzoek vanaf 1990 over de gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in de binnenlucht. Tevens is in de literatuur gezocht naar de mogelijke gezondheidseffecten van het gebruik van luchtbevochtigers in de woning.

Hoofdstuk twee omschrijft de resultaten van onderzoek naar de gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid. De bevindingen zijn ingedeeld naar type onderzoek: klimaatkameronderzoeken, interventieonderzoeken in ziekenhuizen en kantoorgebouwen en dwarsdoorsnedeonderzoeken in kantoorgebouwen. Hoofdstuk drie omschrijft welke factoren behalve een droge lucht kunnen leiden tot een gevoel van droogte. Hoofdstuk vier behandelt het gebruik van luchtbevochtigers in de woning en de mogelijke gezondheidseffecten hiervan. In hoofdstuk vijf wordt ingegaan op de mogelijke gevolgen van een lage relatieve luchtvochtigheid in Nederlandse woningen. Het rapport eindigt met een aantal conclusies in hoofdstuk zes.

2 Onderzoek naar de gezondheidseffecten van een lage RV

In dit hoofdstuk zijn onderzoeken naar de gezondheidseffecten van een lage RV beschreven. Er zijn ons geen studies bekend naar de effecten van een lage RV in woningen, ook niet in gebieden waar de binnenlucht zeer droog is. Wel zijn er onderzoeken gedaan in de werksituatie en in klimaatkamers. Er is onderscheid gemaakt in verschillende typen onderzoek:

- **Klimaatkameronderzoeken**
Klimaatkameronderzoeken zijn experimentele onderzoeken uitgevoerd in gesloten klimaatkamers (laboratoriumopstellingen). Vanwege de gecontroleerde omstandigheden zijn deze onderzoeken heel geschikt voor het bestuderen van causale relaties. De nadelen zijn vooral de korte blootstellingsduur (enkele uren) en de kleine groep blootgestelden, die vaak niet een representatieve steekproef van de bevolking vormt. Daarnaast is de vertaalslag naar de werkelijke situatie vaak moeilijk.
- **Interventieonderzoeken in kantoorgebouwen en ziekenhuizen**
In deze onderzoeken is een interventie toegepast in een werkelijke situatie. Het voordeel van deze onderzoeken is dat grote groepen onderzocht worden waardoor de uitkomsten beter generaliseerbaar zijn dan bij klimaatkameronderzoeken. Verder is de duur van de blootstelling vaak veel langer (enkele weken tot maanden) dan die van de klimaatkameronderzoeken. Nadeel is dat er niet voor alle factoren gecontroleerd kan worden, zoals in de klimaatkameronderzoeken, waardoor vertekeningen op kunnen treden.
- **Dwarsdoorsnedeonderzoeken in kantoorgebouwen**
In deze onderzoeken worden blootstellingsgegevens en gezondheidseffecten van proefpersonen maar op één moment in kaart gebracht. Dit heeft als nadeel dat causale relaties niet goed in kaart gebracht kunnen worden omdat niet zeker is of een blootstelling voorafgaat aan een gezondheidseffect. Voordeel is dat deze onderzoeken niet heel tijdsintensief zijn, waardoor grote populaties onderzocht kunnen worden.

De experimentele en prospectieve opzet van de klimaatkameronderzoeken en de interventieonderzoeken maken de uitkomsten van deze studies betrouwbaarder dan de uitkomsten van de dwarsdoorsnedeonderzoeken. Omdat er ook nadelen kleven aan zowel de klimaatkameronderzoeken als de interventieonderzoeken kunnen dwarsdoorsnedeonderzoeken een nuttige aanvulling vormen, onder andere door de grotere onderzoeksgroepen. De uitkomsten van de diverse typen onderzoek dienen in samenhang te worden bekeken; versterken de resultaten elkaar of spreken ze elkaar tegen?

In de onderzoeken worden zowel fysiologische als subjectieve effecten gemeten. De belangrijkste fysiologische tests die bij de proefpersonen worden afgenomen staan in Tabel 1. Subjectieve effecten, zoals ervaren luchtkwaliteit, thermisch comfort en ervaren droogte van ogen, neus en huid worden gemeten met vragenlijsten en schalen. Soms wordt er naar *sick building syndrome* (SBS)-achtige klachten gevraagd. Dit zijn gebouwgeassocieerde specifieke klachten die meestal snel over gaan wanneer men het gebouw verlaat.

Gezondheidsklachten die onder de noemer *sick building syndrome* vallen zijn onder andere:

- slijmvliesirritaties van ogen, neus en keel
- hoesten
- kortademigheid
- druk op de borst
- hoofdpijn
- misselijkheid
- duizeligheid
- droge huid en huidirritatie
- vermoeidheid
- concentratieverlies
- overgevoeligheid voor geuren
- onrust en spanning

Tabel 1: Belangrijkste fysiologische tests toegepast in de onderzoeken

Fysiologische tests		Neemt toe of af met droogte (in theorie)
Traanfilmstabiliteit/ <i>Break-up</i> tijd van de traanfilm	De traanfilmstabiliteit wordt gemeten door middel van de <i>break-up</i> tijd. De <i>break-up</i> tijd is de tijd tussen de laatste maal knippen en het verschijnen van de eerste droge vlekken op het hoornvlies en geeft een idee over de stabiliteit van de traanfilm. Een korte <i>break-up</i> tijd is een teken van een slechte traanfilmstabiliteit.	Af
Knipperfrequentie	De knipperfrequentie is een mate voor de droogte van het oog: hoe droger het oog, hoe meer er geknipperd wordt.	Toe
<i>Mucous ferning</i>	Met de <i>mucous ferning</i> test wordt de kristallisatie van het traanvocht onderzocht. Wanneer traanvocht droogt, kristalliseert het met een patroon dat op varens lijkt. Dit patroon wordt onder de microscoop bestudeerd en geclassificeerd.	Af
Mucociliaire klaring	Mucociliaire klaring is het zelfreinigende mechanisme van de luchtwegen waarbij slijm wordt geproduceerd dat naar buiten wordt bewogen door de trilharen. Hiermee worden ingeademde deeltjes die schadelijk kunnen zijn afgevoerd. Het is één van de belangrijkste afweermechanismen van de luchtwegen. Het wordt gemeten middels <i>saccharin clearance time</i> .	Af
Neuslavage	Wassing van de voorste neusholte, waarin zich <i>biomarkers</i> bevinden. <i>Biomarkers</i> worden gebruikt om biologische effecten op te sporen.	Afhankelijk van de <i>biomarker</i>
Hydratie van de huid	Hoeveelheid vocht in de hoornlaag van de huid. Dit wordt met een <i>corneometer</i> gemeten.	Af
Ruwheid van de huid	Een ruwe huid is karakteristiek voor atopie en is een pre-fase voor atopische eczeem	Toe

2.1 Klimaatkameronderzoeken

In deze onderzoeken zijn proefpersonen blootgesteld aan verschillende niveaus van RV. In sommige onderzoeken worden ook verschillende niveaus van temperatuur en luchtverontreiniging toegepast. De belangrijkste resultaten van deze onderzoeken zijn samengevat in Tabel 2.

2.1.1 Fysiologische en subjectieve effecten bij variërende RV

In Japan, hebben Sunwoo et al. (2006) zestien niet-rokende mannen blootgesteld aan 10%, 30% en 50% RV en een constante temperatuur van 25°C; elke testconditie duurde twee uur. Vooraf aan elke testconditie zijn de proefpersonen blootgesteld aan 50% RV en 25°C gedurende 50 minuten (de zogenaamde pretestconditie). De blootgestelden gaven op een subjectieve schaal een score aan het gevoel van droogte, warmte en comfort. Tevens zijn bij hen bloeddruk, hartfrequentie, knipperfrequentie, huidhydratie, huidtemperatuur, mucociliaire klaring en gewichtsverlies gemeten.

Fysiologische effecten

Ten opzichte van de pretestconditie (50% RV) werd een aantal significante verschillen gevonden. De knipperfrequentie nam toe na 90 minuten blootstelling aan 30% RV en 10% RV, en de mucociliaire klaring nam af na 90 minuten blootstelling aan 10% RV. De huidhydratie van het gezicht nam af vanaf 30 minuten bij zowel 30% als 10% RV. Vanaf 60 minuten was er geen verdere afname en bleek het niveau van huidhydratie zich te stabiliseren. De huidhydratie van de handen toonde geen verschillen tussen de testcondities. Er werd een geringe maar significante daling in lichaamsgewicht gemeten bij 10% RV vergeleken met 30% en 50% RV (circa 50 gram bij 10% RV vergeleken met 50% RV). Ook de huidtemperatuur daalde in geringe maar significante mate. Er was geen verschil in bloeddruk of hartfrequentie tussen de testcondities.

Subjectieve effecten

Het gevoel van droge ogen nam in eerste instantie significant toe bij betreding van de testruimtes met 30% en 10% RV maar bleef daarna stabiel. Na 90 minuten was het verschil met het gevoel van droogte bij 50% RV niet meer significant, wat op adaptatie wijst. Na 90 minuten nam het gevoel van droogte van de neus en keel significant toe bij afnemende RV. Er waren geen verschillen in thermisch comfort tussen de testcondities, wel voelden de blootgestelden zich koeler bij betreding van de testruimtes met 30% en 10% RV. Dit effect was na 90 minuten verdwenen.

2.1.2 Fysiologische en subjectieve effecten bij variërende RV, temperatuur en luchtverontreiniging

Onderzoekers in Denemarken hebben de effecten van een lage RV op *sick building syndrome*-achtige klachten onderzocht (Fang et al., 2003; Wyon et al., 2002). Om de effecten van een lage RV te kunnen onderscheiden van de effecten van temperatuur en luchtverontreiniging hebben ze acht verschillende experimentele condities opgesteld: zes hygrothermische condities en twee niveaus van luchtverontreiniging.

Dertig proefpersonen (zeventien vrouwen) zijn blootgesteld aan schone lucht bij 5%, 15%, 25% en 35% RV en een constante temperatuur van 22°C. Een tweede groep van dertig proefpersonen (vijftien vrouwen) is blootgesteld aan lucht verontreinigd door stoffen uit tapijt en linoleum bij temperaturen van 18, 22 en 26°C en een luchtvochtigheid van 2,4 g/kg droge lucht (respectievelijk 19%, 15% en 11% RV) en 22°C gecombineerd met 35% RV. De blootstelling per testconditie

duurde vijf uur en gedurende deze tijd verrichtten de proefpersonen kantoorwerkzaamheden, zoals typen en rekenen. De proefpersonen zijn onderverdeeld in drie subgroepen (twintig personen per groep) afhankelijk van hun potentiële gevoeligheid voor een lage RV: een ‘gevoelige’ groep (met hooikoortssymptomen in het pollenseizoen en drogehuidsymptomen), contactlensdragers en een ‘niet-gevoelige’ groep. De helft van elke subgroep is blootgesteld aan de testcondities met schone lucht en de andere helft aan de testcondities met verontreinigde lucht.

De niveaus van verontreiniging waren laag en vergelijkbaar met de niveaus die voorkomen in normale kantoorgebouwen. Het gebruikte tapijt kwam uit een kantoorruimte.

De proefpersonen gebruikten standaard visueel analoge schalen om subjectieve waarnemingen betreffende luchtkwaliteit, het gevoel van droge lucht en intensiteit van SBS-achtige symptomen te scoren bij toetreding van de testruimtes en om de twintig minuten. Objectieve medische tests van de ogen, neus en huid werden voor en na elke blootstelling uitgevoerd.

Fysiologische effecten

In schone lucht werd de *mucous ferning* van de ogen slechter naarmate de RV afnam. De *mucous ferning* test toont aan dat bij een blootstelling van vijf uur aan een RV van 15% of lager het slijmvlies van het oog significant droger wordt dan bij een RV van 25% of hoger. Dit wordt ondersteund door het feit dat de knipperfrequentie significant toenam bij 5% RV vergeleken met 35% RV. De *mucous ferning* test van de ogen van degenen blootgesteld aan verontreinigde lucht gaf aan dat de ogen significant droger werden bij 26°C vergeleken met 22°C.

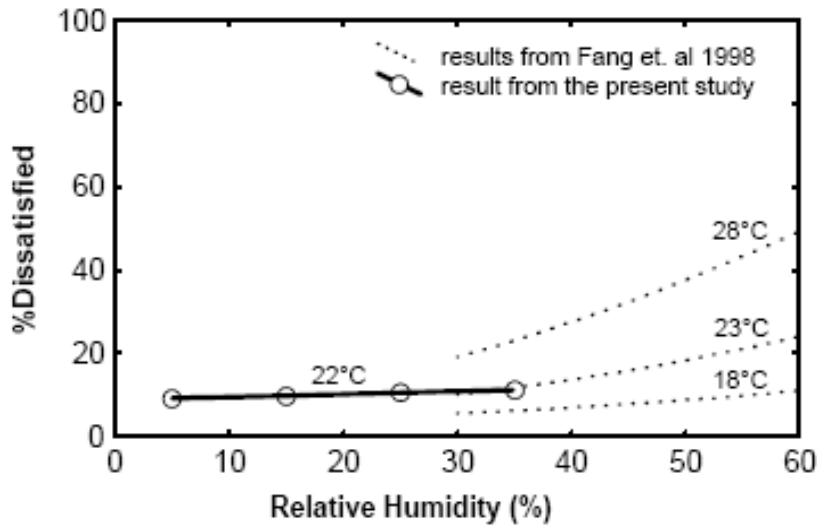
De huid werd droger bij elke blootstellingsconditie. Een analyse van de samengevoegde data van alle proefpersonen gaf een toename in droogte van de huid die significant hoger was bij 15% RV vergeleken met 35% RV.

Subjectieve effecten

De schone lucht werd significant droger ervaren bij 5% en 15% RV vergeleken met 25% en 35% RV. Echter het gevoel van droge lucht was gering; zelfs bij 5% RV beoordeelden de proefpersonen de lucht maar als ‘enigszins droog’. RV had geen significant effect op hoe acceptabel men de schone lucht vond (zie Figuur 2). De verontreinigde lucht werd significant minder acceptabel gevonden bij toenemende temperatuur. Bij 26°C was 13% ontevreden over de luchtkwaliteit van de verontreinigde lucht, vergeleken met 7% bij 22°C.

In schone lucht nam het gevoel van droge ogen significant toe bij een $RV \leq 15\%$ vergeleken met een $RV \geq 25\%$. Het gevoel van branderige ogen bij contactlensdragers en het gevoel van vermoeidheid bij de ‘gevoelige’ groep namen significant toe na vijf uur bij 5% RV vergeleken met 35% RV.

In verontreinigde lucht werden symptomen van droge lippen, droge huid, verstopte neus en keelirritatie significant erger bij 15% RV vergeleken met 35% RV. De scores van de ‘gevoelige’ subgroep bleken bepalend te zijn voor het significante effect van lage RV op drogehuidsymptomen in de hele groep. Bij constante absolute luchtvochtigheid namen de perceptie van droogte en bij de ‘gevoelige’ groep de symptomen van droge keel en neusirritatie toe bij toenemende temperatuur van 18° naar 26°C.



Figuur 2: De effecten van RV op het percentage proefpersonen ontevreden over de luchtkwaliteit bij schone lucht (Fang et al., 2003)

- o- : resultaten van Fang et al., 2003 (zie paragraaf 2.1.2)
- : resultaten van Fang et al., 1998a,b (zie paragraaf 2.1.4)

2.1.3 Huidklachten van eczeempatiënten bij variërende RV

Eberlein-König et al. (1996) hebben de ruwheid van de huid onderzocht bij patiënten met atopisch eczeem en een controlegroep van niet-atopische personen. Tien personen (vijf mannen en vijf vrouwen) per groep werden blootgesteld aan 30% RV en 22°C voor drie uur. Voorafgaand aan deze blootstelling werden de proefpersonen blootgesteld aan 75% RV en 22°C gedurende twee uur. Na blootstelling aan 30% RV was de huid van de eczeempatiënten significant ruwer dan daarvoor. Dit resultaat komt overeen met het feit dat eczeemklachten vaak verergeren in de winter wanneer de luchtvochtigheid laag is en weer verbeteren in de zomer als het vochtiger wordt. De huid van de controlegroep werd wat ruwer na blootstelling aan 30% RV maar de veranderingen waren niet significant.

2.1.4 Ervaren luchtkwaliteit bij variërende RV, temperatuur en luchtverontreiniging

De effecten van RV op de ervaren luchtkwaliteit zijn uitvoerig onderzocht door Fang et al. (1998a, 1998b). In hun eerste onderzoek is de perceptie van schone lucht en lucht verontreinigd met stoffen uit vijf verschillende bouwmaterialen onderzocht bij 30%, 50% en 70% RV en 18°C, 23°C en 28°C (Fang et al., 1998a). Twee concentraties van lucht verontreinigd door de volgende bronnen zijn gebruikt: acryl vloerlak op waterbasis, geweven polyamide tapijt, acryl muurverf op waterbasis en acrylkit. Lucht verontreinigd door PVC-vloerbedekking is bij één concentratie gebruikt. Gedurende elk experiment zijn de gezichten van 40 proefpersonen (tien vrouwen) kortdurend blootgesteld aan lucht verontreinigd door dezelfde bron en vervolgens geconditioneerd tot negen verschillende combinaties van RV en temperatuur. De proefpersonen gaven vervolgens een score aan de aanvaardbaarheid en de geurintensiteit van de lucht.

Geurintensiteit en aanvaardbaarheid van de lucht

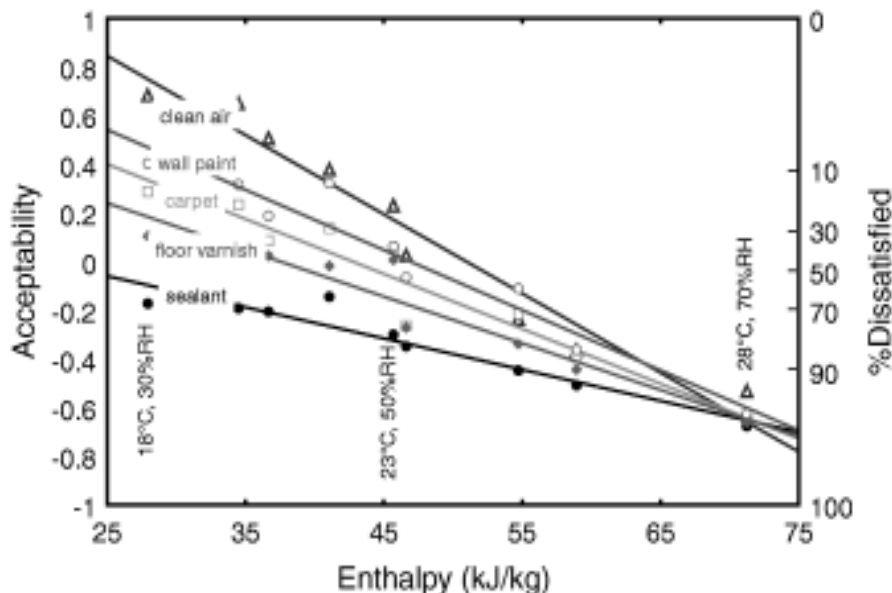
Luchtvochtigheid en temperatuur bleken weinig invloed te hebben op de geurintensiteit van de verontreinigde lucht. Voor schone lucht bleken ze wel een effect te hebben. De proefpersonen gaven aan dat naarmate de RV en temperatuur van de schone lucht toenamen, de lucht meer geur kreeg. Dit effect was gering maar wel significant.

Luchtvochtigheid en temperatuur hadden een sterk significant effect op de aanvaardbaarheid van zowel de verontreinigde lucht als de schone lucht (zie Figuur 2). Met toenemende RV en temperatuur werd de lucht minder acceptabel gevonden voor elke soort en concentratie van luchtverontreiniging. Dit effect was meer geprononceerd bij de lagere concentraties luchtverontreiniging vergeleken met de hogere concentraties.

Aanvaardbaarheid en enthalpie van de lucht

De onderzoekers hebben de invloed van RV en temperatuur op de perceptie van de luchtkwaliteit verder onderzocht door de aanvaardbaarheid te correleren met de warmte-inhoud (enthalpie) van de lucht. De enthalpie van de lucht is de totale energie-inhoud van de lucht, bestaande uit de energie-inhoud van de droge lucht plus de energie-inhoud van de waterdamp. Zij vonden zeer significante relaties tussen de aanvaardbaarheid en de enthalpie van de lucht voor alle concentraties en soorten verontreinigde lucht (zie Figuur 3).

Bij lage enthalpie is het niveau van verontreiniging bepalend voor de perceptie van de luchtkwaliteit. Met toenemende enthalpie wordt de verontreiniging steeds minder bepalend voor de perceptie van de luchtkwaliteit. Boven een bepaalde enthalpie, bijvoorbeeld 70% RV en 28°C, zijn temperatuur en luchtvochtigheid bepalend voor de perceptie van de luchtkwaliteit. Uit dit onderzoek blijkt dat de luchtkwaliteit bij 70% RV en 28°C onacceptabel gevonden wordt, ongeacht of de lucht verontreinigd is of niet.



Figuur 3: Lineaire correlatie tussen aanvaardbaarheid en enthalpie van luchtmonsters (Fang et al., 1998a)

Onderzoek met *whole body exposure*

Fang et al. (1998b) hebben bovenstaand onderzoek herhaald met een langere blootstelling (twintig minuten) over het hele lijf (*whole body exposure*), waardoor adaptatie mogelijk was. In totaal zijn 36 proefpersonen (tien vrouwen) blootgesteld aan de verschillende combinaties van RV en temperatuur die hierboven beschreven zijn, met schone lucht en met lucht verontreinigd door PVC-vloerbedekking en acrylkit. De aanvaardbaarheid en de geurintensiteit van de lucht zijn gescoord onmiddellijk bij toetreding van de klimaatkamer en na 2½, 5, 10, 15 en 20 minuten.

De uitkomsten waren in overeenstemming met het eerste onderzoek van Fang et al. (1998a). De proefpersonen vonden de luchtkwaliteit steeds minder acceptabel met toenemende RV en temperatuur. Bij warme en vochtige lucht was de ervaren luchtkwaliteit voornamelijk afhankelijk van de RV en temperatuur en niet van het niveau van verontreiniging. Bij lage RV en temperatuur was het niveau van verontreiniging bepalend voor hoe acceptabel men de lucht vindt.

Verontreinigde lucht die koud en droog is wordt net zo acceptabel gevonden als schone lucht die warm en vochtig is.

De aanvaardbaarheid van de lucht bleef constant gedurende de twintig minuten blootstelling waaruit blijkt dat er geen adaptatie optreedt bij deze blootstellingsduur.

Ook in dit experiment blijkt de geurintensiteit van de verontreinigde lucht onafhankelijk te zijn van RV en temperatuur.

2.1.5 Ervaren luchtkwaliteit bij variërende RV en luchtverontreiniging

Vergelijkbare uitkomsten als die van Fang et al. (1998a,b) zijn door Tsutsumi et al. (2003) gevonden in hun onderzoek in Japan naar de effecten van RV en luchtverontreiniging op comfort en productiviteit. Zij onderzochten de effecten van drie niveaus van luchtvochtigheid, 30%, 50% en 70% RV, gecombineerd met schone lucht en lucht verontreinigd door *medium-density fibreboard* (MDF). Achttien studenten werden gedurende drie uur blootgesteld aan elke conditie. Tijdens de blootstelling moesten ze rekenen en teksten overtypen. Aan het begin en het einde van de blootstelling gaven ze een score aan de aanvaardbaarheid en de geurintensiteit van de lucht. De huidhydratie en de *break-up* tijd van de ogen werden vier maal gemeten gedurende de blootstelling.

Schone lucht van 30% RV werd het meest acceptabel gevonden. In de winter werd schone lucht significant meer acceptabel gevonden bij 30% RV dan bij 70% RV. De verontreinigde lucht bij 70% RV werd het minst acceptabel gevonden. Er waren geen significante verschillen in *break-up* tijd van de ogen tussen de blootstellingscondities. De huidhydratie nam toe met toenemende RV. De verschillen in huidhydratie bij verschillende niveaus van RV waren kleiner in de winter dan in de zomer.

In tegenstelling tot de resultaten van Fang et al. (1998b) bleek adaptatie gedurende dit experiment wel op te treden: aan het einde van de blootstelling vonden de proefpersonen de lucht meer acceptabel dan aan het begin. De blootstellingsduur was veel langer tijdens dit experiment, namelijk drie uur, tegenover twintig minuten in het onderzoek van Fang et al. (1998b). Blijkbaar heeft het lichaam meer dan twintig minuten nodig voordat adaptatie optreedt.

2.1.6 Conclusies van de klimaatkameronderzoeken

Effecten van een lage RV op de ogen

Uit de klimaatkameronderzoeken blijkt dat de ogen droger worden bij 30% RV en lager. Dit is af te leiden uit de toenemende knipperfrequentie bij een RV van 30% en lager en de aanwijzingen voor het drogen van de oogslimvlies, middels de *mucous ferning* test, bij een RV van 15% en lager. Ook het gevoel van droge ogen is bij 30% RV en lager merkbaar, hoewel uit het onderzoek van Sunwoo et al. (2006) blijkt dat enige gewenning optreedt. Droogte van de ogen wordt meteen gevoeld na een afname van RV tot 30% en lager, maar na 90 minuten is het verschil in dit gevoel vergeleken met het gevoel bij een hogere RV minder geworden. Contactlensdragers zijn gevoeliger voor een lage RV, hetgeen blijkt uit het gevoel van sterk branderige ogen bij een (zeer) lage RV (5%), dat alleen bij deze groep speelde in het onderzoek van Fang et al. (2003).

Deze resultaten komen overeen met de conclusies van Wolkoff en Kjærgaard (2007) in hun review over de effecten van een lage RV op de ervaren luchtkwaliteit en irritatie van slijmvlies. Zij concluderen dat langdurige blootstelling aan een lage RV tot veranderingen van de traanfilm van de ogen leidt. De traanfilm wordt dunner en de *break-up* tijd van de traanfilm wordt korter, wat een teken is van een droog oog. Zij concluderen dat 40% tot 50% RV het gunstigste is voor de stabiliteit van de traanfilm ten opzichte van dehydratie en irriterende stoffen.

Effecten van een lage RV op de neus en keel

Bij 10% RV neemt de ciliaire activiteit van de neusslijmvlies af en ze worden droog (Sunwoo et al., 2006). Dit verhoogt de kans op het oplopen van een respiratoire infectie. Hier speelt ook mee dat de overlevingsduur van bepaalde virussen, waaronder het influenzavirus, toeneemt bij een RV onder 40% (Schaffer et al., 1976). Uit de subjectieve waarnemingen blijkt dat droogte van neus en keel bij een RV van 30% en lager pas na 90 minuten waargenomen wordt.

Effecten van een lage RV op de huid

Huidhydratie neemt duidelijk af met afnemende RV. Maar uit het onderzoek van Sunwoo et al. (2006) blijkt dat dit niet wordt waargenomen; het gevoel van droogte van de gezichtshuid en handhuid nam niet significant af bij 10% en 30% RV in tegenstelling tot de objectieve metingen van de huidhydratie. Blijkbaar is het gevoel van droogte van de huid geen goede indicator voor de huidhydratie.

Effecten van een lage RV bij gevoelige groepen

Gevoelige personen (contactlensdragers, personen die hooikoorts- en/of droge huidklachten krijgen) ervaren meer SBS-achtige klachten van een droge lucht dan niet-gevoelige personen, vooral wanneer de lucht verontreinigd is. Dat gevoelige groepen meer last ervaren van een droge lucht wordt ook door het onderzoek van Eberlein-König et al. (1996) ondersteund. In dit onderzoek was de huid van eczeempatiënten meer gevoelig bij een RV van 30% dan de huid van mensen zonder eczeem.

Effecten van een lage RV op de ervaren luchtkwaliteit en thermisch comfort

Het gevoel van een droge lucht wordt bij een RV van 15% en lager waargenomen, maar een afname in RV heeft geen effect op het thermische comfort en wordt alleen als een momentane afkoeling ervaren.

De ervaren luchtkwaliteit wordt sterk beïnvloed door RV. De aanvaardbaarheid van zowel schone als verontreinigde lucht daalt met toenemende RV. De geurintensiteit van schone lucht neemt toe bij toenemende RV maar dit effect wordt niet gevonden voor verontreinigde lucht.

De impact van RV op de ervaren luchtkwaliteit is sterker bij schone lucht dan bij verontreinigde lucht. Daarnaast is de impact van verontreiniging sterker bij een lagere RV dan bij een hogere RV.

De lineaire correlatie die Fang et al. (1998 a,b) vonden tussen de aanvaardbaarheid en de enthalpie van de lucht impliceert dat het koelen van de slijmvliezen door ingeademde lucht essentieel is om de lucht als aanvaardbaar te percipiëren. Hoe koeler de lucht is die proefpersonen inademen, hoe frisser en meer acceptabel ze de lucht vinden. Verder laat hun onderzoek zien dat hoe meer dit koeffect afneemt hoe slechter de gepercipieerde luchtkwaliteit, ongeacht of de lucht verontreinigd is of niet. De auteurs concluderen, dat in het geval van een verontreinigde lucht met een hoge RV en temperatuur, verlagen van de temperatuur en RV succesvoller zal zijn om een acceptabele luchtkwaliteit te bewerkstelligen dan verlagen van de verontreinigingsniveaus.

Tabel 2: Overzicht van belangrijkste resultaten uit de klimaatkameronderzoeken

Hoofdauteur/ Jaar	Sunwoo, 2006	Fang, 2003 Wyon, 2002	Eberlein-König, 1996	Fang, 1998a,b	Tsutsumi, 2003
Objectieve effecten bij schone lucht	<p>↑ knipperfrequentie bij 10%* en 30%* RV ↓ mucociliaire klaring bij 10%* RV ↓ huidhydratie gezicht bij 10%* en 30%* RV ↓ huidtemperatuur en gewicht bij 10%* RV geen verschil in bloeddruk en hartfrequentie</p> <p>*vs. 50% RV</p>	<p>↑ knipperfrequentie bij 5% vs. 35% RV ↑ droogte oogslimvlies bij 5% en 15% RV vs. 25% RV</p> <p>↑ droogte huid bij 15% vs. 35% RV (gepoolde data van schone en verontreinigde lucht)</p>	<p>↑ ruwheid van onderarmhuid van eczeempatiënten bij 30% vs. 75% RV.</p>	n.v.t.	<p>↓ huidhydratie onderarm bij ↓ RV (30% < 50% < 70%)</p>
Objectieve effecten bij verontreinigde lucht	n.v.t.	<p>↑ droogte oogslimvlies bij 11% RV/26°C vs. 15% RV/22°C</p>	n.v.t.	n.v.t.	-
Subjectieve effecten bij schone lucht	<p>↑ droge ogen bij 10%* en 30% RV* (meteen) ↑ droge neus en keel bij 10%* en 30%* RV (na 90 min.) geen verschil in thermisch comfort</p> <p>*vs. 50% RV</p>	<p>↑ gevoel van droge lucht bij 5% en 15% vs. 25% RV ↑ droge ogen bij 5% en 15% vs. 25% RV ↑ branderige ogen bij 5% vs. 35% RV (alleen bij contactlensdragers) ↑ vermoeidheid bij 5% vs. 35% RV (alleen bij 'gevoelige' groep)</p>	n.v.t.	<p>↑ geurintensiteit bij ↑ RV (30% < 50% < 70%) ↓ aanvaardbaarheid lucht bij ↑ RV (30% > 50% > 70%).</p>	<p>↑ aanvaardbaarheid lucht bij 30% vs. 70% RV</p>
Subjectieve effecten bij verontreinigde lucht	n.v.t.	<p>↑ droge lippen, verstopte neus en keelirritatie bij 15% vs. 35% RV ↑ droge huid bij 15% vs. 35% RV (alleen bij 'gevoelige' groep)</p>	n.v.t.	<p>↓ aanvaardbaarheid lucht bij ↑ RV (30% > 50% > 70%).</p>	-

2.2 Interventieonderzoeken in ziekenhuizen en kantoorgebouwen

In vijf van de zes hieronder beschreven onderzoeken wordt luchtbevochtiging toegepast in de werkomgeving om de luchtvochtigheid te verhogen. De verschillen in objectieve en subjectieve gezondheidsklachten tijdens en zonder luchtbevochtiging werden vervolgens onderzocht. De belangrijkste resultaten van deze onderzoeken zijn samengevat in Tabel 3.

Het onderzoek van Fang et al. (2004) wijkt af van de andere onderzoeken in dat verschillende testcondities worden toegepast met verschillende combinaties van RV, temperatuur en ventilatie. Verschillen in subjectieve waarnemingen en prestaties tijdens de testcondities worden onderzocht. Dit onderzoek lijkt meer op een klimaatkameronderzoek in termen van opzet, duur en grootte van de onderzoekspopulatie maar wordt uitgevoerd in een echt kantoorgebouw.

2.2.1 Onderzoek in ziekenhuizen

Naar aanleiding van grote ontevredenheid over het binnenmilieu onder circa 1000 medewerkers van een nieuw ziekenhuis in Zweden heeft Wyon (1992) het effect van verschillende interventies op de gemelde SBS-achtige klachten onderzocht. Negen verschillende technische maatregelen werden genomen in verschillende zalen van het ziekenhuis gedurende drie weken. Per interventie werd het voorkomen en intensiteit van SBS-achtige klachten onder het personeel in de interventiezaal en in een referentiezaal onderzocht. De medewerkers noteerden de intensiteit van hun klachten middels een visueel analoge schaal en ze werden door een verpleegkundige onderzocht.

Een van de interventies was stoomluchtbevochtiging. Bij installatie van de luchtbevochtiging en verhoging van de RV hiermee tot 50% werd onmiddellijk geklaagd door het personeel. Ze accepteerden 45% RV ook niet waardoor uiteindelijk 40% als experimentele conditie werd gebruikt ten opzichte van 25% RV in de referentiezaal zonder luchtbevochtiging. Na afloop bleek dat luchtbevochtiging tot een significante vermindering van de intensiteit van de subjectieve SBS-achtige klachten leidde en tot een objectief vastgestelde vermindering van het aantal droge huidklachten. Maar luchtbevochtiging leidde ook tot significant meer zelfgerapporteerde stress onder het blootgestelde personeel.

Nordström et al. (1994) hebben de gevolgen van stoomluchtbevochtiging op SBS-achtige klachten en gepercipieerde luchtkwaliteit onderzocht in twee ziekenhuizen in Zweden. Vier afdelingen (twee per ziekenhuis) met een onderzoekspopulatie van 104 personeelsleden deden mee aan het onderzoek. In twee afdelingen (één per ziekenhuis) werd gedurende vier maanden luchtbevochtiging toegepast. De overige twee afdelingen fungeerden als controles. De proefpersonen wisten niet welke afdelingen bevochtigd werden. De RV was significant hoger in de afdelingen met luchtbevochtiging (35-45% RV in de ene en 40-45% RV in de andere) dan in de controleafdelingen (28-38% RV). Voor en na de interventie vulde het personeel een standaard vragenlijst in met vragen over SBS-achtige klachten en gepercipieerde luchtkwaliteit.

De luchtbevochtiging leidde tot een significante vermindering in de gemeten persoonlijke blootstelling aan statische elektriciteit. Er was geen verschil in temperatuur tussen de afdelingen met en zonder luchtbevochtiging. Er werd ook geen verschil in chemische samenstelling van de lucht gevonden.

Na vier maanden luchtbevochtiging waren er significant minder klachten over droge lucht en statische elektriciteit en nam de prevalentie van luchtwegklachten significant af in de groep met

luchtbevochtiging vergeleken met de controlegroep. De scores voor de symptomen droge keel, hoest en mentale vermoeidheid namen ook significant af in de groep met luchtbevochtiging vergeleken met de controlegroep. Er waren geen verschillen in de prevalentie van overige klachten (oog- huid- en algemene klachten), de totale score voor SBS-achtige klachten of in de incidentie van nieuwe astmasymptomen tussen de groepen.

Norbäck et al. (2000) hebben de gevolgen van stoomluchtbevochtiging onderzocht op fysiologische kenmerken van het oog en de neus en op de ervaren luchtkwaliteit. Het onderzoek vond plaats in twee afdelingen van een Zweeds ziekenhuis. Het personeel van deze afdelingen fungeerde als proefpersoon (N=32). Na een eerste reeks medische tests (traanfilmstabiliteit, akoestische rhinometrie, neuslavage) werd stoomluchtbevochtiging toegepast in één afdeling gedurende zes weken. De proefpersonen waren niet op de hoogte van de luchtbevochtiging. Na zes weken werden de proefpersonen opnieuw onderzocht. Voor en na de interventie vulden de proefpersonen een vragenlijst in over onder andere oog-, neus-, keel- en huidklachten. Tijdens de periode van luchtbevochtiging was de RV 43% vergeleken met 35% op de niet-bevochtigde afdeling. Er was geen toename in concentraties schimmels, bacteriën en vluchtige verbindingen in de lucht tijdens de periode van luchtbevochtiging.

Er werden geen verschillen gevonden in traanfilmstabiliteit, *nasal patency* of in concentraties *biomarkers* in neuslavage tussen de personen blootgesteld aan luchtbevochtiging en de niet-blootgestelden. Wel werd er een verschil gevonden in subjectieve symptomen. In de groep met luchtbevochtiging kwamen significant minder huidklachten voor na zes weken dan in de controlegroep. Het gevoel van droge lucht nam significant af in de groep met luchtbevochtiging vergeleken met de controlegroep.

2.2.2 Onderzoek in kantoorgebouwen

Reinikainen et al. (1992, 1997) hebben middels een zogenaamd *cross-over* trial in een Fins kantoorgebouw de effecten van RV onderzocht op de gepercipieerde luchtkwaliteit en zelfgerapporteerde symptomen van droogte, allergie en astma. Gedurende de eerste week van het experiment werd één vleugel (A) van het gebouw geventileerd middels een luchtbevochtiger met lucht van 30-40% RV. In de andere vleugel (B) werd geen luchtbevochtiging gebruikt. In het weekend werd de luchtbevochtiging omgedraaid, waardoor vleugel B middels luchtbevochtiging geventileerd werd en vleugel A op een natuurlijke manier geventileerd werd. Er werd nog vier keer op deze manier van experimentele conditie veranderd. Een derde vleugel (C) werd gedurende het hele experiment gebruikt als controle (geen luchtbevochtiging). De RV tijdens de periodes zonder luchtbevochtiging was 20-30%.

De eerste onderzoekspopulatie bestond uit 290 medewerkers die in vleugel A en B werkten (waarvan uiteindelijk de data van 211 geanalyseerd werd). Zij beoordeelden aan het einde van elke dag hun eigen droogte-, allergische- en astmasymptomen middels een vragenlijst. Ook beoordeelden ze de luchtkwaliteit. Zij wisten niet in welke vleugels op welk moment de lucht bevochtigd werd. Ook de medewerkers in vleugel C (de controle groep) beoordeelden hun eigen symptomen en de luchtkwaliteit. Tevens werd elke week in de drie vleugels de luchtkwaliteit beoordeeld door een panel van twintig externe beoordelaars. Dit panel werd samengesteld uit ongetrainde personen die niet in het kantoorgebouw werkten.

In de categorie droogtesymptomen waren de scores voor oog- en huidklachten significant lager gedurende de periodes met luchtbevochtiging vergeleken met de periodes zonder luchtbevochtiging in vleugels A en B. Ook de gemiddelde scores voor droogtesymptomen waren significant lager gedurende de periodes met luchtbevochtiging. Verder kwamen allergische symptomen significant minder voor tijdens luchtbevochtiging. Er was geen significant verschil betreffende astmatische symptomen tussen periodes met en zonder luchtbevochtiging. Wat betreft ervaren luchtkwaliteit was het gevoel van droogte significant lager tijdens de luchtbevochtiging en het gevoel van bedompte lucht significant hoger vergeleken met geen luchtbevochtiging.

Het panel van externe beoordelaars beoordeelde de geur in de vleugels tijdens luchtbevochtiging als significant sterker en minder acceptabel dan in de vleugels zonder luchtbevochtiging. Ze vonden de lucht ook significant meer bedompt tijdens luchtbevochtiging. Vrouwen vonden de bevochtigde lucht meer bedompt en slechter ruiken dan mannen.

In een nadere analyse van de *cross-over* trial (Reinikainen en Jaakkola, 2003) werden de gegevens van 368 medewerkers van de drie vleugels gebruikt om verbanden tussen symptomen en ervaren luchtkwaliteit enerzijds en luchtbevochtiging en luchtvochtigheid anderzijds op te sporen. Er waren geen verbanden gevonden tussen RV en luchtwegklachten, geur of bedompte lucht tijdens de periodes zonder luchtbevochtiging (20-32% RV). Tijdens luchtbevochtiging (27-41% RV) was er een toename in geur en niezen en een afname in droogte van de neusslijmvliezen en verstopte neus met toenemende RV. Huidsymptomen (droogte en uitslag) namen af met toenemende RV maar oogsymptomen namen niet significant af in tegenstelling tot de resultaten van het eerder onderzoek in alleen vleugels A en B (Reinikainen et al., 1992).

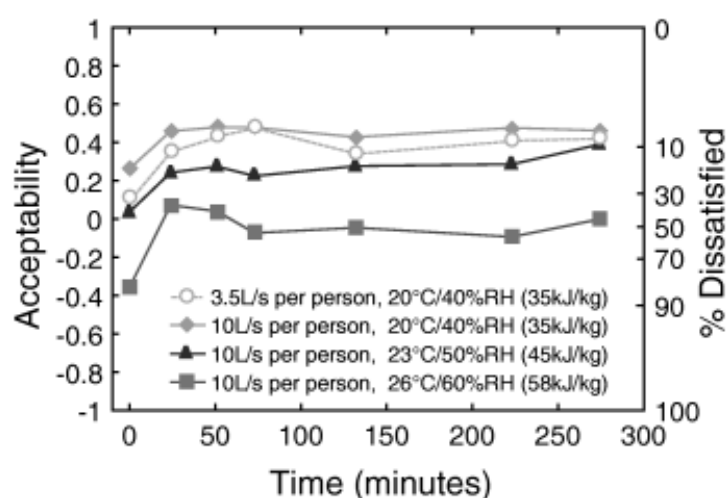
Tijdens het onderzoek werd de luchtkwaliteit gemonitord middels metingen van concentraties bacterie, schimmels, formaldehyde en stof. Er werden geen verschillen gevonden tussen de concentraties tijdens luchtbevochtiging en de concentraties zonder luchtbevochtiging. Dit geeft aan dat het toepassen van luchtbevochtiging geen modifierend effect had op de objectieve luchtkwaliteit tijdens het onderzoek.

Fang et al. (2004) hebben hun eerder beschreven onderzoek (Fang et al., 1998a,b) naar de effecten van luchtvochtigheid en temperatuur op gepercipieerde luchtkwaliteit en SBS-achtige symptomen gevalideerd in een kantooromgeving. Dertig vrouwelijke proefpersonen werden blootgesteld aan de volgende testcondities: 20°C/40% RV, 23°C/50% RV, 26°C/60% RV met 10 l/s/persoon ventilatie en 20°C/40% RV met 3,5 l/s/persoon ventilatie gedurende 280 minuten per testconditie. De proefpersonen verrichtten kantoorwerkzaamheden (typen, proeflezen, rekenen en creatief denken) gedurende de blootstelling en deze taken werden gebruikt om hun prestaties te meten. Verder gebruikten de proefpersonen standaard visueel analoge schalen om subjectieve waarnemingen betreffende luchtkwaliteit, thermisch comfort en intensiteit van SBS-achtige symptomen te scoren.

Dit onderzoek bevestigt de eerder gevonden impact van RV en temperatuur op de gepercipieerde luchtkwaliteit en de lineaire correlatie tussen enthalpie en aanvaardbaarheid van de lucht. De lucht werd significant frisser en meer acceptabel gevonden met afnemende RV en temperatuur. De lucht met een lage enthalpie werd meer acceptabel gevonden zelfs wanneer de ventilatie bij de lage enthalpie maar 3,4 l/s/persoon bedroeg vergeleken met 10 l/s/persoon bij de lucht met een hoge enthalpie. Dit geeft aan dat de aanvaardbaarheid van de lucht meer afhangt van de RV en temperatuur dan van de ventilatie.

In eerste instantie werd de lucht met lagere RV en temperatuur significant droger ervaren dan de lucht met hogere RV en temperatuur. Na twee uur werd er geen verschil meer gevonden. Na twee uur werd er wel een verschil gevonden tussen de lucht van 20°C/40% RV en een ventilatie van 3,5 l/s/persoon en lucht met dezelfde RV en temperatuur en een ventilatie van 10 l/s/persoon. De lucht bij mindere ventilatie werd als droger ervaren.

Het gevoel van ‘niet helder denken’ werd significant sterker gevoeld wanneer de proefpersonen blootgesteld werden aan 26°C/60% RV vergeleken met 20°C/40% RV. Ook vermoeidheid en hoofdpijn verergerden bij toenemende temperatuur en RV. De prestaties van de proefpersonen werden niet beïnvloed door RV en temperatuur.



Figuur 4: Aanvaardbaarheid van lucht bij verschillende combinaties van RV, temperatuur en ventilatie

2.2.3 Conclusies van de interventieonderzoeken in ziekenhuizen en kantoorgebouwen

In drie van de onderzoeken met toepassing van luchtbevochtiging (Nordström et al., 1994; Norbäck et al., 2000 en Reinikainen et al., 1992) wordt de samenstelling van de lucht zowel met als zonder luchtbevochtiging onderzocht. Er werden geen verschillen in samenstelling gevonden. Dit suggereert dat de effecten van luchtbevochtiging toegeschreven kunnen worden aan het verhogen van de RV. Echter, het is niet uitgesloten dat er niet onderzochte factoren zijn die de relatie tussen luchtbevochtiging en RV kunnen vertekenen.

Uit de onderzoeken blijkt dat er een vermindering optreedt van blootstelling aan statische elektriciteit bij een hogere RV (35-45% vergeleken met 28-38%). Ook het objectief waargenomen aantal droge huidklachten neemt af bij een hogere RV (40% vergeleken met 25%). Overige objectieve effecten, zoals verandering in traanfilmstabiliteit, zijn niet gevonden. Dit in tegenstelling tot de klimaatkameronderzoeken. Dit kan verklaard worden door het feit dat in de klimaatkamers blootstelling aan lagere percentages RV onderzocht werd.

Vermindering van een aantal SBS-achtige klachten en de intensiteit van deze klachten werd in alle onderzoeken gevonden bij de experimentele condities met een hogere RV (27-45%) vergeleken met de controlecondities (20-38% RV). Echter de resultaten zijn niet eenduidig. Nordström et al. (1994) vonden een vermindering van luchtwegklachten (waaronder keelklachten en hoest) maar

niet van oog- of huidklachten, terwijl Norbäck et al. (2000) geen vermindering vonden van keel- of oogklachten maar wel van huidklachten. Ook Reinikainen et al. (1992) vonden een vermindering van huidklachten (droge huid) en van droge ogen en droogtesymptomen in het algemeen. In hun nadere analyses (Reinikainen en Jaakkola, 2003) vonden ze echter geen vermindering van oogklachten met toenemende RV bij luchtbevochtiging maar wel een vermindering van neus- en huidklachten.

In het onderzoek van Fang et al. (2004) wijzen de resultaten in de tegenovergestelde richting van de andere interventieonderzoeken. Een aantal SBS-achtige klachten verergerde bij een hogere RV (> 50%). Deze resultaten hoeven niet tegenstrijdig te zijn. Het kan zijn dat SBS-achtige klachten verergeren bij zowel een hogere als een lagere RV en dat het optimum om geen klachten te krijgen ertussen in ligt (bijvoorbeeld 30-50% RV). In het onderzoek van Fang et al. (2004) nam de temperatuur ook toe bij toenemende RV. Wellicht is de combinatie van een hogere RV en een hogere temperatuur verantwoordelijk voor de toenemende SBS-achtige klachten.

De uitkomsten van de onderzoeken ondersteunen de bevindingen van de klimaatkamer- onderzoeken betreffende de ervaren luchtkwaliteit. Hoe vochtiger de lucht hoe bedompter en minder acceptabel ze gevonden wordt. Ook wordt er meer geur geconstateerd. In het onderzoek van Wyon (1992) wordt meer stress ervaren tijdens luchtbevochtiging. Wellicht heeft dit te maken met de geurintensiteit van de lucht en dat het meer bedompt is, al werd dit niet onderzocht. De lucht werd als droger ervaren tijdens periodes zonder luchtbevochtiging vergeleken met periodes met luchtbevochtiging en in het onderzoek van Fang et al. (2004) wordt de lucht als droger ervaren bij afnemende RV. Echter in dit onderzoek was het effect maar van korte duur.

Tabel 3: Overzicht van de belangrijkste resultaten van de onderzoeken met luchtbevochtiging

Hoofdauteur/ Jaar	Wyon, 1992	Nordström, 1994	Norbäck, 2000	Reinikainen, 1992, 1997	Reinikainen, 2003
Controle RV	25%	28-38%	35%	21-31%	20-32%
Experimentele conditie RV	40%	35-45% en 40-45%	43%	30-35%	27-41%
Objectieve effecten bij luchtbevochtiging	↓ droge huid	↓ blootstelling statische elektriciteit	Geen	n.v.t	n.v.t.
Subjectieve effecten bij luchtbevochtiging	cf. geen lucht- bevochtiging: ↓ SBS-achtige klachten ↑ stress	cf. geen lucht- bevochtiging: ↓ klachten statische elektriciteit ↓ luchtwegklachten ↓ keelklachten ↓ hoest ↓ mentale vermoeidheid ↓ gevoel droge lucht	cf. geen lucht- bevochtiging: ↓ huidklachten ↓ gevoel droge lucht	cf. geen lucht- bevochtiging: ↓ droogte symptomen ↓ droge huid ↓ droge ogen ↓ allergische symptomen ↓ gevoel droge lucht ↑ bedompte lucht ↑ geur ↓ aanvaard- baarheid lucht	bij toenemende RV: ↓ verstopte neus ↓ droge neus ↓ huidklachten ↑ niezen ↑ geur

2.3 Dwarsdoorsnedeonderzoeken in kantoorgebouwen

2.3.1 Verrichte onderzoeken en resultaten

Sundell en Lindvall (1993) hebben een uitgebreid vragenlijstonderzoek uitgevoerd naar het gevoel van droogte en SBS-achtige klachten onder kantoormedewerkers (circa 5000) in Zweden. Daarnaast hebben ze metingen verricht in de kantoren van 567 medewerkers. Zij vonden geen relatie tussen RV en het gevoel van droge lucht of SBS-achtige klachten. Er werd wel een verband gevonden tussen het gevoel van droge lucht en de aanwezigheid van een kopieermachine, veel papierwerk en het verschil in concentratie van vluchtige organische stoffen in de toevoerlucht en de concentratie in het vertrek. Dit verschil kan een indicatie zijn van de productie van irriterende stoffen zoals aldehyden of vrije radicalen door chemische reacties in de lucht. Als deze stoffen de slijmvliezen irriteren kan dit gepercipieerd worden als een gevoel van droge lucht.

In dit onderzoek is ook gevraagd naar het gevoel van droge lucht thuis, maar er zijn geen metingen verricht in de woningen van de medewerkers. Het gevoel van droge lucht was significant hoger in appartementen vergeleken met familiehuizen en in gebouwen van 6-10 jaar oud vergeleken met jongere of oudere gebouwen. Condens op de ramen, tekenen van waterschade, zichtbare schimmels en mechanische ventilatie waren significant geassocieerd met een hogere prevalentie van het gevoel van droge lucht. De eerste drie factoren zijn doorgaans indicatoren van een vochtige woning met een bijbehorende hoge RV en zijn niet te verwachten bij een lage RV.

Persoonlijke factoren die significant geassocieerd waren met een gevoel van droge lucht waren astma, hooikoorts en eczeem. SBS-achtige klachten waren ook significant geassocieerd met droge lucht thuis. Er was vooral een sterk verband met klachten over vermoeidheid, droge gezichtshuid en jeukende, brandende of geïrriteerde ogen.

Brasche et al. (2004) hebben de risicoprofielen voor zelfgerapporteerde huidklachten onder kantoormedewerkers onderzocht. De hydratatie en het sebumgehalte van de huid van 925 kantoormedewerkers in Duitsland zijn gemeten en de medewerkers gaven een score aan de mate waarin ze last hadden van bepaalde huidklachten. Uit de analyse blijkt, dat een lage RV (< 22% vergeleken met een hoge RV > 56%) een significante risicofactor is voor een lage huidhydratie, met bijna een verdubbeling van de kans op een lage huidhydratie. Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen RV en zelfgerapporteerde klachten.

Brasche et al. (2005) hebben ook de risicoprofielen voor oogklachten onder 817 kantoormedewerkers onderzocht. Daarbij werden medische tests van de ogen uitgevoerd en de medewerkers gaven een score aan de mate waarin ze last hadden van bepaalde oogklachten. Er werd geen significante relatie gevonden tussen lage RV (< 22%) en de uitkomsten van de tests of de zelfgerapporteerde klachten.

2.3.2 Conclusies van de dwarsdoorsnedeonderzoeken

Er zijn geen verbanden gevonden tussen RV en subjectieve klachten in de dwarsdoorsnedeonderzoeken. Wel is er een verband gevonden tussen SBS-achtige klachten en het gevoel van een droge lucht thuis. Het is niet onderzocht of de lucht thuis daadwerkelijk droog was, wat de interpretatie hiervan bemoeilijkt.

Wat objectieve klachten betreft is er een relatie gevonden tussen RV en huidhydratie. Dit verband is conform de resultaten uit de klimaatkameronderzoeken; de huidhydratie neemt af bij een lagere RV.

3 Gevoel van droogte door andere factoren dan een lage RV

Uit onderzoek blijkt dat het gevoel van droogte veroorzaakt kan worden door andere factoren dan alleen een lage RV. Hieronder staan voorbeelden van onderzoeken waaruit dit blijkt.

3.1 Lage ventilatie en mechanische ventilatie

In hun experimenteel onderzoek in een Deens kantoorgebouw vonden Wargocki et al. (2000) een afname van het gevoel van droogte van mond en keel met toenemende ventilatie van 3 tot 30 l/s/per persoon. De RV (40%) en temperatuur (22°C) bleven constant tijdens dit onderzoek naar de effecten van ventilatie op de ervaren luchtkwaliteit, SBS-achtige klachten en productiviteit onder 30 vrouwen. Een soortgelijk effect van ventilatie op ervaren droogte werd ook gevonden in het eerder beschreven onderzoek van Fang et al. (2004) (zie paragraaf 2.2).

In hun eerder beschreven onderzoek in Denemarken vonden Sundell en Lindvall (1993) een verband tussen het gevoel van droge lucht en mechanische ventilatie in de woning (zie paragraaf 2.3). Ook in Zweden is deze relatie gevonden, in een onderzoek van Bornehag et al. (2003) naar vochtige woningen.

3.2 Hoge temperatuur

Dwarsdoorsnedeonderzoek door Jaakkola et al. (1989) naar SBS-achtige klachten onder kantoorwerkers in Finland vond een relatie tussen het gevoel van droge lucht en de temperatuur. Bij een redelijk constante luchtvochtigheid (10% tot 15% RV) nam het gevoel van droogte toe bij toenemende temperatuur boven 22°C. Ook de SBS-achtige klachten namen toe.

In hun eerder beschreven onderzoek in een Fins kantoorgebouw (zie paragraaf 2.2.2) vonden Reinikainen en Jaakkola (2001) een verband tussen een temperatuur boven 22°C en het gevoel van droogte en droogtesymptomen, onafhankelijk van wel of geen luchtbevochtiging.

3.3 Luchtverontreiniging

De gecombineerde data van twee soortgelijke interventieonderzoeken in Denemarken en Zweden (Wargocki et al., 2002) laten het effect zien van de aanwezigheid van een verontreinigingsbron op de ervaren luchtkwaliteit en symptomen van droogte van kantoormedewerkers. De medewerkers vonden de lucht significant droger en hadden een drogere neus wanneer ze blootgesteld werden aan de verontreinigde lucht vergeleken met schone lucht. Er was geen verschil in de RV van de lucht. De verontreinigingsbron was een oud kantoortapijt. Deze onderzoeken ondersteunen de theorie dat de perceptie van droge lucht veroorzaakt kan worden door irriterende stoffen in de lucht.

3.4 Vochtkenmerken

In het onderzoek van Sundell en Lindvall (1993) is er een verband gevonden tussen het gevoel van droge lucht in de woning en condens op de ramen, tekenen van waterschade en zichtbare schimmels (zie paragraaf 2.3). Dat deze factoren geassocieerd waren met een gevoel van droge lucht lijkt contra-intuïtief want ze zijn indicatoren van een vochtige woning met een bijbehorende hoge RV.

Ook Bornehag et al. (2003) vonden een verband tussen het gevoel van droge lucht en vochtproblemen in de woning. De irriterende werking van schimmelsporen op de slijmvliezen zou het gevoel van droge lucht in deze onderzoeken kunnen verklaren.

4 Luchtbevochtigers in de woning

Luchtbevochtigers voor de woning zijn in verschillende soorten en maten te koop op de Nederlandse markt. In hoeverre ze ingezet worden in Nederlandse woningen is niet bekend. Men kan verschillende soorten luchtbevochtigers onderscheiden:

- *Ultrasone luchtbevochtigers* produceren een fijne nevel door hoog frequente trillingen;
- *'Cool mist' bevochtigers* produceren een koele nevel door een snel roterende schijf;
- Bij *verdampers* wordt lucht door een vochtige filter geblazen door een ventilator;
- Bij *stoombevochtigers* wordt water opgewarmd en wordt stoom de ruimte ingeblazen.

Onderzoek door de *Environmental Protection Agency* (EPA) en de *Consumer Product Safety Commission* (CPSC) van de VS heeft aangetoond dat ultrasone en 'cool mist' bevochtigers micro-organismen en mineralen kunnen verspreiden in de binnenlucht (United States Environmental Protection Agency, 1991). De EPA benadrukt het belang van een goede schoonmaak en onderhoud van deze apparaten om blootstelling aan schimmels en bacterie te minimaliseren. Deze micro-organismen kunnen groeien in bevochtigers met een reservoir van stilstaand water. Het inademen van nevel verontreinigd door deze micro-organismen zou luchtwegklachten kunnen veroorzaken. Het gebruik van water met een laag gehalte mineralen wordt aangeraden. Dit dient voornamelijk om aanslag in het apparaat te voorkomen dat als voedingsbodem zou kunnen dienen voor micro-organismen. Daarnaast kan het de verspreiding van mineralen in de lucht tegen gaan. De kans dat verdampers en stoombevochtigers micro-organismen in de lucht verspreiden acht de EPA veel kleiner.

Verschiedende gezondheidseffecten door het gebruik van luchtbevochtigers zijn beschreven in de literatuur. Bijvoorbeeld, Koschel et al. (2005) hebben negen gevallen van extrinsieke allergische alveolitis (ontsteking van de longblaasjes) en twee gevallen van toxische alveolitis door het gebruik van ultrasone mistfonteinen in Duitsland beschreven. Deze fonteinen schijnen steeds vaker gebruikt te worden voor luchtbevochtiging, luchtreiniging en aromatherapie. Ze verspreiden druppels van 0,5 tot 3µm die in de distale luchtwegen terechtkomen. De auteurs verwachten dat de incidentie van dit soort ziektes zal toenemen vanwege de toenemende populariteit van deze apparaten. Vanwege het ontbreken van precieze instructies over hoe en hoe vaak ze schoongemaakt dienen te worden, raden de auteurs het gebruik van deze apparaten af. In andere landen, bijvoorbeeld in Japan (Suda et al., 1995) en Spanje (Alvarez-Fernández et al., 1998), zijn er ook gevallen van extrinsieke allergische alveolitis door gebruik van een ultrasone luchtbevochtiger gerapporteerd.

Anderson et al. (2007) hebben een schatting gedaan van blootstelling aan endotoxinen in kraanwater door het gebruik van luchtbevochtigers. Zij concluderen dat wanneer kraanwater gebruikt wordt in ultrasone luchtbevochtigers, ze de potentie hebben om grote hoeveelheden respirabele endotoxinen te verspreiden in een korte periode en dat dit tot gezondheidseffecten zou kunnen leiden. Ook 'cool mist' luchtbevochtigers achten zij in staat om significante concentraties van endotoxinen te verspreiden in een korte periode.

Onderzoek naar risicofactoren van astma heeft een verband gevonden tussen luchtbevochtiging in de woning en het voorkomen van astma. Bijvoorbeeld, prospectief onderzoek naar risicofactoren van astma onder jongeren vond een significante associatie tussen het gebruik van luchtbevochtigers in de woning en nieuwe gevallen van astma (McConnell et al., 2002). De

onderzoekers denken dat het verhoogde risico op het krijgen van astma door het gebruik van een luchtbevochtiger veroorzaakt zou kunnen worden door een toename in huisstofmijtallergieën door het vochtiger klimaat in de woning of door gunstiger condities voor schimmelgroei in de woning of in de luchtbevochtiger zelf. Zij vonden het onwaarschijnlijk dat het gebruik van een luchtbevochtiger slechts een indicator was voor niet gediagnosticeerd astma aan het begin van het onderzoek. Eerder onderzoek heeft ook een verband gevonden tussen het gebruik van luchtbevochtiging in de woning en de incidentie en prevalentie van astma onder kinderen (bijvoorbeeld Infante-Rivard, 1993; Dekker et al., 1991).

5 Relatieve luchtvochtigheid in Nederlandse woningen

Om de vertaalslag van de hierboven beschreven onderzoeken naar de Nederlandse situatie te maken, moet er eerst gekeken worden naar wat bekend is over het voorkomen van een lage RV in Nederlandse woningen en de klachten die hierover geuit worden. De uitkomsten van twee onderzoeken die recentelijk zijn uitgevoerd in Nederlandse woningen geven een beeld van de huidige situatie (Van Dongen en Vos, 2007; Duijm et al., 2007). Daarnaast is er recentelijk een inventarisatie gedaan van milieugerelateerde gezondheidsklachten die gemeld worden bij de GGD'en (Dusseldorp et al., 2007). De relevante bevindingen van deze onderzoeken worden hieronder beschreven waarna de mogelijke gezondheidseffecten van een lage RV in Nederlandse woningen omschreven worden.

5.1 Onderzoek in 1240 woningen

In het stookseizoen 2004-2005 is uitgebreid onderzoek gedaan in 1240 woningen in Nederland (Van Dongen en Vos, 2007). In de woningen zijn gegevens verzameld betreffende gebruiksveiligheid, thermisch comfort, luchtkwaliteit en geluidwering. Om thermisch comfort in kaart te brengen is gedurende zeven dagen onder andere RV gemeten in de woonkamer en de hoofdslaapkamer van alle woningen. De belangrijkste resultaten van de metingen in de woonkamer staan in Tabel 4 (Van Dongen en Vos (2007) hebben de resultaten van de metingen in de hoofdslaapkamer niet gerapporteerd).

Tabel 4: Weekgemiddelde en weekminimum RV in de woonkamer

	Gemiddeld	5-percentiel	Minimum
Weekgemiddelde	45%	32%	22%
Weekminimum*	37%	25%	11%

* minimale RV gemeten in een week gedurende enig moment

Uit de tabel is af te lezen dat de droogste 5% van de woningen een weekgemiddelde RV hebben van onder 32% in de woonkamer en in 5% van de woningen is de RV soms tijdelijk lager dan 25%. Van Dongen en Vos (2007) rapporteren verder dat in 18% van de woningen de weekminimum RV onder 30% is in de woonkamer.

In woningen gebouwd vanaf 1970 neemt de RV in de woonkamer af naarmate de woningen later gebouwd zijn. Dat woningen droger worden blijkt ook uit de bevindingen betreffende vocht en schimmelplekken. In koopwoningen van na 1945 en alle typen woningen na 1980 is de omvang van de schimmelproblematiek zeer beperkt.

5.2 Onderzoek in de nieuwbouwwijk Vathorst

Recentelijk is er onderzoek gedaan naar gezondheidsklachten in relatie tot het binnenmilieu in Vathorst een nieuwbouwwijk bij Amersfoort (Duijm et al., 2007). Het onderzoek bestond uit een telefonische enquête, inspectie van de woning en een aantal metingen van mogelijk relevante

factoren in het binnenmilieu, waaronder RV. In de woonkamer en de belangrijkste slaapkamer van 100 woningen werd RV gemeten gedurende minimaal een week in het stookseizoen.

Er is geen verband gevonden tussen gezondheidsklachten en RV en er waren geen verschillen in RV tussen woningen met balansventilatie en woningen met luchttoevoer via roosters. Echter, de klacht 'droge lucht' kwam vaker voor onder bewoners van woningen met balansventilatie. De onderzoekers vermoeden dat de oorzaak van de drogeluchtklachten aan de luchtkwaliteit te wijten is. Zij veronderstellen dat deze klachten veroorzaakt worden door specifieke prikkeling van de slijmvliezen. Dit zou kunnen berusten op allerlei verontreinigingen. In dit onderzoek waren geen specifieke verontreinigingen of bronnen van mogelijke verontreinigingen gevonden die de klachten konden verklaren. Een verband tussen droge lucht klachten en type ventilatie is ook elders gevonden (zie paragraaf 3.1).

5.3 Meldingen van milieugerelateerde gezondheidsklachten

Sinds april 2004 heeft circa 80% van de GGD'en de meldingen van milieugerelateerde gezondheidsklachten en -vragen van burgers op uniforme wijze geregistreerd. Het RIVM heeft de gegevens tot en met december 2006 geïnventariseerd (Dusseldorp et al., 2007). Van de 3235 klachten over het binnenmilieu, waren er vier met als oorzaak een te droge binnenlucht. De meldingen vormen uiteraard geen random steekproef van de Nederlandse bevolking en er zijn meerdere factoren die het aantal meldingen kunnen beïnvloeden, zoals media-aandacht voor een onderwerp of bekendheid van de GGD bij de plaatselijke bevolking. Desondanks kan uit de inventarisatie geconcludeerd worden dat een als te droog ervaren lucht niet één van de belangrijkste binnenmilieuklachten vormt.

5.4 Gezondheidseffecten van een lage RV in Nederlandse woningen?

Omdat gegevens ontbreken over de gezondheidseffecten van een lage RV in woningen, is het moeilijk om uitspraken te doen over mogelijke gezondheidseffecten in Nederlandse woningen. De onderzoeken omschreven in hoofdstuk 2 geven wel aanwijzingen voor mogelijke effecten maar de resultaten kunnen niet letterlijk vertaald worden naar de Nederlandse situatie vanwege de beperkingen omschreven in het begin van hoofdstuk 2.

Uit het hierboven beschreven onderzoek in Nederlandse woningen (Van Dongen en Vos, 2007) blijkt dat woningen droger zijn naarmate ze later gebouwd zijn. Echter de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in het stookseizoen is niet extreem laag: de laagst gemeten gemiddelde waarde was 22%. In de noordse landen, waar veel van de onderzoeken naar de effecten van RV gedaan zijn, is de RV binnen doorgaans 10-20% tijdens de winter maanden (Reinikainen et al., 1992).

Wel is de weekgemiddelde RV in de droogste 5% van de woningen onder 32% in de woonkamer en in 5% van de woningen is de RV soms tijdelijk lager dan 25% in de woonkamer. Dit zijn waarden waarbij uit de fysiologische onderzoeken blijkt dat ogen en huid droger worden. In de range 30-20% RV treden ook subjectieve effecten op bij proefpersonen, zoals het gevoel van droge ogen, neus, keel en huid, die niet optreden bij een hogere RV. Echter, de klachten variëren nogal per onderzoek, waardoor geen eenduidig klachtenpatroon aan te wijzen is.

Uit de onderzoeken blijkt dat gevoelige personen (contactlensdragers en mensen met huidklachten en allergische klachten) meer klachten kunnen ervaren van een droge lucht. Dit zou ook het geval kunnen zijn in Nederlandse woningen.

Uit de interventieonderzoeken blijkt dat mensen de lucht soms als droger ervaren in de range 30-20% RV, hoewel in de klimaatkameronderzoeken dit effect pas onder de 15% RV gevonden werd. Vanwege de tegenstrijdige resultaten op dit gebied is het belangrijk om in het achterhoofd te houden dat het ervaren van een droge lucht geen betrouwbare indicator is van een daadwerkelijke droge lucht (zie hoofdstuk 3). Dit wordt ook bevestigd door de uitkomsten van het Vathorst-onderzoek. In dit onderzoek werd geen verband gevonden tussen klachten van een droge lucht en een lage RV maar wel tussen klachten van een droge lucht en het gebruik van balansventilatie.

In maar één onderzoek naar de gezondheidseffecten van een lage RV is blootstelling aan statische elektriciteit bestudeerd. Uit dit onderzoek is af te leiden dat meer blootstelling aan statische elektriciteit en meer klachten hierdoor te verwachten zijn bij een RV tussen circa 25-35% vergeleken met 35-45% RV. Dit zou kunnen betekenen dat men in Nederlandse woningen incidenteel meer klachten ondervindt van statische elektriciteit.

Op grond van de bestudeerde literatuur en de gegevens over RV in Nederlandse woningen, is het niet te verwachten dat op grote schaal effecten op de gezondheid van bewoners optreden door een lage RV. Dit blijkt ook uit het kleine aantal meldingen bij GGD'en over een te droge lucht. In de droogste 5% van de woningen kunnen mensen klachten ervaren, vooral op momenten wanneer de RV het minimum bereikt. Het is te verwachten dat deze klachten van voorbijgaande aard zijn.

6 Conclusies

In Nederlandse woningen is de relatieve luchtvochtigheid (RV) in de woonkamer in het stookseizoen gemiddeld 45%. In 5% van de woningen is de gemiddelde RV onder 32%. Alleen in deze ‘droogste’ woningen zouden klachten kunnen optreden die te maken hebben met een lage RV wanneer de resultaten van onderzoeken in klimaatkamers en in de werksituatie ook gelden voor de woonsituatie.

Uit deze studies blijkt namelijk dat fysiologische effecten, zoals het droger worden van de huid en oogslimvliezen, kunnen optreden bij een RV van 30% en lager. Naarmate de RV afneemt kunnen meer effecten optreden. Bij 10% RV en lager worden de slijmvliezen van de neus droger wat de kans op een respiratoire infectie verhoogt. Dit effect is niet te verwachten in Nederlandse woningen omdat het minimum RV doorgaans hoger is dan 10%.

Naast fysiologische effecten kunnen bij 30% RV en lager ook subjectieve effecten optreden zoals het gevoel van droge ogen, huid, neus en keel. De resultaten met betrekking tot deze klachten variëren nogal per onderzoek, waardoor geen eenduidig klachtenpatroon aan te wijzen is. Sommige mensen zijn gevoeliger voor de effecten van een lage relatieve luchtvochtigheid dan anderen. Het gaat om contactlensdragers en personen met allergische klachten en huidklachten.

Uit de literatuurstudie blijkt dat het feit dat mensen de lucht als droog ervaren, niet hoeft te wijzen op een daadwerkelijke lage relatieve luchtvochtigheid. Meerdere factoren in het binnenmilieu, zoals lage ventilatie, hoge temperatuur en luchtverontreiniging, kunnen (onafhankelijk van de RV) verantwoordelijk zijn voor het ervaren van de lucht als droog. Dus ook bewoners van woningen met een RV boven 30% kunnen de lucht als droog ervaren.

Omdat de relatieve luchtvochtigheid niet altijd de oorzaak is van klachten over droge lucht is het gebruik van luchtbevochtigers geen eenduidige oplossing. Bovendien blijkt uit de studies, dat in het algemeen juist in vochtige ruimtes de luchtkwaliteit als onprettig wordt ervaren: de lucht wordt als bedompter en minder acceptabel ervaren naarmate de RV stijgt (vanaf 50%). Dit effect wordt versterkt door een toename van temperatuur en luchtverontreiniging en een afname van ventilatie. Met afnemende RV neemt de ervaren luchtkwaliteit juist toe. Bij toepassing van luchtbevochtigers in de woning is het van belang dat deze op de juiste manier gebruikt, schoongemaakt en onderhouden worden om potentiële gezondheidseffecten te voorkomen.

Bij deze conclusies moet worden bedacht dat ze gebaseerd zijn op resultaten van onderzoek in de werksituatie of een gesimuleerde omgeving. Voor woningen zelf zijn geen gegevens beschikbaar over de relatie tussen een lage relatieve luchtvochtigheid en klachten. Het is goed zich te realiseren dat deze vertaling een vertekend beeld kan opleveren. Het is niet uit te sluiten dat er andere factoren in woningen aanwezig zijn die de relatie tussen een lage RV en gezondheidseffecten kunnen beïnvloeden. Daarnaast zijn werknemers en vrijwilligers niet representatief voor de algemene bevolking. Tot slot zijn de meeste onderzoeken uitgevoerd in het buitenland, voornamelijk in Noord-Europese landen. Het is niet uit te sluiten, dat in de Noord-Europese populatie er factoren zijn die de relatie tussen een lage RV en gezondheidseffecten beïnvloeden maar die niet gelden voor de Nederlandse populatie, of andersom.

Literatuur

Alvarez-Fernández JA, Quirce S, Calleja JL, Cuevas M, Losada E. Hypersensitivity pneumonitis due to an ultrasonic humidifier. *Allergy*. 1998; 53(2):210-2.

Anderson WB, George Dixon D, Mayfield CI. Estimation of endotoxin inhalation from shower and humidifier exposure reveals potential risk to human health. *Journal of Water and Health*. 2007; 5(4): 553-572.

Bornehag CG, Sundell J, Hägerhed L, The DBH Study Group. Dampness in dwellings and sick building symptoms among adults: a cross-sectional study on 8918 Swedish homes. *Proceedings: Healthy Buildings 2003*.

Brasche S, Bullinger M, Schwab R, Gebhardt H, Herzog V, Bischof W. Comparison of risk factor profiles concerning self-reported skin complaints and objectively determined skin symptoms in German office workers. *Indoor Air*. 2004; 14(2): 137-43.

Brasche S, Bullinger M, Petrovitch A, Mayer E, Gebhardt H, Herzog V, Bischof W. Self-reported eye symptoms and related diagnostic findings--comparison of risk factor profiles. *Indoor Air*. 2005; 15 Suppl. 10: 56-64.

Dekker C, Dales R, Bartlett S, Brunekreef B, Zwanenburg H. Childhood asthma and the indoor environment. *Chest*. 1991; 100(4): 922-6.

Duijm F, Hady M, van Ginkel J, ten Bolscher GH. Gezondheid en ventilatie in woningen in Vathorst; onderzoek naar de relatie tussen gezondheidsklachten, binnenmilieukwaliteit en woningkenmerken. *GGD Eemland*. 2007.

Dusseldorp A, van Poll R, Hall EF. Meldingen van milieugerelateerde gezondheidsklachten bij GGD'en. Inventarisatie 2004-2006. *RIVM*. 2007. Rapport 609330001/2007.

Eberlein-König B, Spiegl A, Przybilla B. Change of skin roughness due to lowering air humidity in climate chamber. *Acta Dermato-Venereologica*. 1996; 76(6): 447-9.

Fang L, Clausen G, Fanger PO. Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor Air*. 1998a; 8: 80-90.

Fang L, Clausen G, Fanger PO. Impact of temperature and humidity on perception of indoor air quality during immediate and longer whole-body exposures. *Indoor Air*. 1998b, 8: 276-284.

Fang L, Wyon DP, Fanger PO. Sick building syndrome symptoms caused by low humidity. *Proceedings: Healthy Buildings 2003*.

Fang L, Wyon DP, Clausen G, Fanger PO. Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air*. 2004; 14, Suppl 7: 74-81.

Infante-Rivard C. Childhood asthma and indoor environmental risk factors. *American Journal of Epidemiology*. 1993; 15;137(8):834-44.

Jaakkola JJK, Heinonen OP, Seppanen O. Sick building syndrome, sensation of dryness and thermal comfort in relation to room temperature in an office building: need for individual control of temperature. *Environment International*. 1989; 15: 163-168.

Koschel D, Stark W, Karmann F, Sennekamp J, Müller-Wening D. Extrinsic allergic alveolitis caused by misting fountains. *Respiratory Medicine*. 2005; 99(8): 943-7.

McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Islam T, Gauderman WJ, London SJ, Avol E, Rappaport EB, Margolis HG, Peters JM. Indoor risk factors for asthma in a prospective study of adolescents. *Epidemiology*. 2002; 13(3): 288-95.

Norbäck D, Wieslander G, Nordström K, Wålander R, Venge P. The Effect of Air Humidification on Symptoms and Nasal Patency, Tear Film Stability, and Biomarkers in Nasal Lavage: A 6 Weeks' Longitudinal Study. *Indoor and Built Environment*. 2000; 9 (1)

Nördstrom K, Norback D, Akselsson R. Effect of air humidification on the sick building syndrome and perceived indoor air quality in hospitals: a four month longitudinal study. *Occupational and Environmental Medicine*. 1994; 51: 683-688.

Olesen BW, Brager GS. *ASHRAE Journal*. August 2004: 20-26.

Reinikainen LM, Jaakkola JJ, Seppanen O. The effect of air humidification on symptoms and perception of indoor air quality in office workers: a six-period cross-over trial. *Archives of Environmental Health*. 1992; 47(1): 8-15.

Reinikainen LM, Aunela-Tapola L, Jaakkola JJK. Humidification and perceived indoor air quality in the office environment. *Occupational and Environmental Medicine*. 1997; 54(5): 322-7.

Reinikainen LM, Jaakkola JJK. Effects of temperature and humidification in the office environment. *Archives of Environmental Health*. 2001; 56(4): 365-8.

Reinikainen LM, Jaakkola JJK. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air*. 2003; 13(4): 344-52.

Schaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of airborne influenza virus: Effects of propagating host, relative humidity, and composition of spray fluids. *Archives of Virology*. 1976; 51: 263-273.

Suda T, Sato A, Ida M, Gemma H, Hayakawa H, Chida K. Hypersensitivity pneumonitis associated with home ultrasonic humidifiers. *Chest*. 1995; 107(3): 711-7.

Sundell J and Lindvall T. Indoor air humidity and sensation of dryness as risk indicators of SBS. *Indoor Air*. 1993; 3: 382-390.

Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochiyama Y. Physiological and subjective responses to low relative humidity. *Journal of Physiological Anthropology*. 2006; 25(1):7-14.

Tsutsumi H, Chen Y, Akimoto T, Tanabe S, Suzuki T. Effects of humidity and indoor chemical pollutants on human comfort and productivity. Proceedings: Healthy Buildings 2003.

United States Environmental Protection Agency. Indoor Air Facts No. 8: Use and care of home humidifiers. February 1991.

Van der Meer A., Relatieve luchtvochtigheid in kantooromstandigheden. Tijdschrift voor Sociale Gezondheidszorg. 1985; 63(20): 852-854).

Van Dongen J, Vos H. Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland. TNO. 2007. Rapport: 2007-D-R0188/A.

Wargocki P, Wyon DP, Sundell J, Clausen G, Fanger PO. The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (SBS) symptoms and productivity. Indoor Air. 2000; 10(4):222-36.

Wargocki P, Lagercrantz L, Witterseh T, Sundell J, Wyon DP, Fanger PO. Subjective perceptions, symptom intensity and performance: a comparison of two independent studies, both changing similarly the pollution load in an office. Indoor Air. 2002; 12(2):74-80.

Wolkoff P, Kjærgaard SK. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. Environment International. 2007; 33(6):850-7.

Wyon DP. Sick buildings and the experimental approach. Environmental Technology. 1992; 13: 313-322.

Wyon DP, Fang L, Meyer HW, Sundell J, Weirsøe, CG, Sederberg-Olsen, N, Tsutsumi H, Agner T, Fanger PO. Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors. Proceedings: Indoor Air 2002.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl