

Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt

Klima

baua: Bericht

**Forschung
Projekt F 2353**

K. Bux
C. Polte

**Psychische Gesundheit
in der Arbeitswelt**

Klima

Dortmund/Berlin/Dresden 2016

Der vorliegende Bericht wurde im Rahmen des BAuA-Forschungsprojekts „Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt - Wissenschaftliche Standortbestimmung“ erstellt und ist dem Themenfeld „Technische Faktoren“ zugeordnet. Weitere Informationen zum Projekt finden Sie unter www.baua.de/psychische-gesundheit. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Autoren: Dr. Kersten Bux
Carolin Polte
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelbild: eckedesign, Berlin

Titelgestaltung: eckedesign, Berlin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon: 0231 9071-2071
Telefax: 0231 9071-2070
E-Mail: info-zentrum@baua.bund.de
Internet: www.baua.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40 - 42, 10317 Berlin
Telefon: 030 51548-0
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:
Fabricestr. 8, 01099 Dresden
Telefon: 0351 5639-50
Telefax: 0351 5639-5210

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

www.baua.de/dok/7930566

DOI: 10.21934/baua:bericht20160713/4c

ISBN 978-3-88261-197-7



Abstract

Definition thermisches Raumklima

Das thermische Raumklima wird durch das Zusammenwirken der vier Klimafaktoren Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit der Luft sowie die Wärmestrahlung definiert. Es hat einen wesentlichen Einfluss auf Gesundheit, Wohlbefinden, Motivation und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten. Insbesondere Unzufriedenheit mit dem Raumklima (zu warm, zu kalt), Leistungsminderung durch niedrige/hohe Temperaturen, Stress durch das Unvermögen, selbst das Raumklima beeinflussen zu können, sowie Auswirkungen bestimmter Klimaphänomene (z. B. Hautreizung infolge trockener Raumluft) können bereits im **moderaten Raumklima** (z. B. Büro) neben physischen auch indirekt psychische Beanspruchungen hervorrufen. Im technologisch bedingten **kalten oder warmen/heißen Raumklima** sind infolge der hohen thermischen Beanspruchung neben den Mechanismen der Thermoregulation (z. B. Schwitzen) und Kälte-/Hitzeerkrankungen (z. B. Unterkühlung/Hitzeekollaps) auch Stressreaktionen und Wirkungen auf die Leistungsfähigkeit zu beobachten.

Messung thermisches Raumklima

Zur messtechnischen Bestimmung des Raumklimazustandes steht auf der Basis von Normen ein technisch ausgereiftes Sortiment an Messmethoden und Messinstrumenten zur Verfügung, mit dem, entsprechendes Fachwissen vorausgesetzt, sich der Zustand des Raumklimas exakt bestimmen lässt. Zudem lässt sich auf der Basis von Simulationsrechnungen das sich infolge von Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Gebäudezustand usw. einstellende Raumklima hinreichend genau vorausberechnen. Auch für die Bestimmung bzw. Prognose von physiologischen Reaktionen des Menschen auf thermische Beanspruchungen (z. B. Schweißrate, Änderung der Körperkerntemperatur) stehen valide Messmethoden bzw. Messinstrumente sowie Rechenmodelle zur Verfügung. Die psychisch orientierten Reaktionen der Beschäftigten auf das Raumklima (z. B. thermisches Empfinden, Zufriedenheit, Leistungsbereitschaft, Motivation) können mit standardisierten Befragungsmethoden erfasst werden (Likert-Skalen). Zur Bestimmung der objektiven Leistungsfähigkeit (Performance) werden unterschiedliche, oft selbst entwickelte Instrumente genutzt (z. B. Erfassung Geschwindigkeit/Genauigkeit von Schreiben/Rechnen, Reaktion auf Signale usw.).

Beanspruchungen thermisch behagliches Raumklima

Sofern nicht durch technologische Zwänge abweichende kalte oder heiße Klimate erforderlich sind, wird in Arbeitsstätten ein thermisch behagliches Raumklima angestrebt, insbesondere in Büros und ähnlichen Bereichen. Dieser als „Thermische Behaglichkeit“ bezeichnete Klimazustand ist dann gegeben, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und es weder wärmer noch kälter wünscht. Physiologisch hat der Organismus dabei den geringsten thermoregulatorischen Aufwand, seine Körperkerntemperatur konstant zu halten. Mit einem an die Bedürfnisse des Menschen angepassten Raumklima wird eine nachhaltig positive Wirkung auf Gesundheit, Arbeitsleistung und Wohlbefinden der Beschäftigten erreicht. Eine entsprechend ausgelegte Heizung im Winter bzw. Klimatisierung im Sommer sowie Lüftung soll das Raumklima nach anerkannten Regeln der Technik optimal einstellen. Dafür existiert ein valides Gestaltungswissen, basierend auf einem umfangreichen Normenwerk. Trotzdem zeigt die Erfahrung, dass es nicht allen Nutzern recht gemacht werden kann. Gleiche Klimate werden von verschiedenen Personen als zu warm oder zu kalt empfunden, es treten Beschwerden z. B. über Zugluft, kalte Fußböden, trockene Luft oder zu intensive Wärmestrahlung von Heizflächen auf (Unzufriedenheit mit dem Raum-

klima). Verursacht wird das dadurch, dass neben den rein physiologischen Wirkungen des Klimas (Thermoregulation, Überwärmung, Unterkühlung) die Beziehung zwischen Temperaturreiz und deren individuell verschiedene Beurteilung und das daraus resultierende persönliche Erleben des Raumklimas eine große Rolle spielt. In der Klimaforschung ist bekannt, dass insbesondere im thermisch behaglichen Raumklima (Komfort) die Wahrnehmung/Beurteilung nicht nur von physikalisch/physiologischen Randbedingungen abhängt (Klimafaktoren, Bekleidung, Arbeitsschwere), sondern auch von psychologischen Komponenten wie Erwartungshaltung, Erfahrung, eigene/fremde Vorurteile oder gruppendynamische Prozesse. Dadurch wird zusätzlich eine starke individuelle Streuung der Beurteilung bzw. Wahrnehmung des Klimas verursacht. Eng verknüpft mit diesen Mechanismen sind die folgenden Effekte für die Arbeitswelt bedeutungsvoll:

1. Ein komplexes Problem, das auch Auswirkungen auf die **Gesundheit** der Beschäftigten hat, tritt insbesondere in der Heizperiode bei Beschäftigten im Bürobereich auf – Klagen über brennende Augen, trockene Schleimhäute oder juckende Haut. Die Ursache dafür wird in einer niedrigen relativen Luftfeuchte gesehen, die außerklimatisch bedingt in Innenräumen in dieser Jahreszeit vorherrscht. Neben den physiologischen Wirkungen kann damit auch indirekt eine psychische Belastung verbunden sein (Beschwerden über trockene Luft). Die Ursachen scheinen multifaktorieller Natur zu sein und werden in der Fachwelt kontrovers diskutiert.
2. Thermische Behaglichkeit wird in technologisch nicht belasteten Arbeitsstätten (z. B. Büros) nach dem Stand der Technik eingestellt (Heizung, Klimatisierung). Trotzdem kann es in der Praxis nicht allen recht gemacht werden; ein gleiches Raumklima wird von verschiedenen Nutzern unterschiedlich empfunden. Beschwerden z. B. über Zugluft, kalte Fußböden oder unsymmetrische Wärmestrahlung von Heizflächen wirken sich negativ auf das **Befinden** aus.
3. Selbst ein optimal eingestelltes Raumklima kann zum Problem werden. So wirkt sich ein länger unverändertes Klima (Reizmangelsyndrom, Klimamonotonie) oder die Wahrnehmung, selbst keine Möglichkeit zu haben, das Raumklima am Arbeitsplatz beeinflussen zu können („wahrgenommene Kontrollmöglichkeit“), negativ auf den Menschen aus und führt zu Beschwerden und Unzufriedenheit und so zur Minderung der **Motivation und Arbeitszufriedenheit**. Dadurch setzt ein zunehmendes bewusstes Gefühl der Unbehaglichkeit ein. Es kann sich von einer einfachen Belästigung bis hin zur qualvollen Wahrnehmung steigern und wirkt so als temporärer oder auch permanenter Stressor. Letztlich können auf indirektem Weg psychische Störungen auftreten.
4. Ein weiterer Effekt tritt insbesondere bei steigenden oder auch fallenden Raumtemperaturen (überwärmte oder unterkühlte Räume) auf. Aufmerksamkeit, Konzentration und letztlich die Leistungsbereitschaft sinkt. Die erhöhte Anstrengung zur Leistungserfüllung, oft subjektiv wahrgenommene Leistungsminderung sowie die Unzufriedenheit über vermehrte Fehler münden letztlich in Stressreaktionen (Minderung der **Leistung**).

Beanspruchungen in klimatisch belastenden Raumklima (Hitze-/Kältearbeit)

Arbeit in klimatisch belastenden Bereichen (Hitze-/Kältearbeit) führt zu einer thermischen Beanspruchung (Über-/Unterkühlung) und kann neben akuten und chronischen körperlichen Erkrankungen auch grundsätzlich zu psychischen Beanspruchungen wie Unzufriedenheit oder Stress führen, gerade wegen der auftretenden Folgeerkrankungen (z. B. Erkältung), die vom Beschäftigten ursächlich mit der klimatischen Belastung bei der Arbeit in

Zusammenhang gebracht werden. Allerdings dominieren hier nach den betrieblichen Erfahrungen die physiologischen Folgen hoher thermischer Beanspruchungen auf die **Gesundheit** bei Hitze (z. B. Hitzekollaps, Hitzekrämpfe, Hitzschlag) oder Kälte (z. B. akut – Unterkühlung, lokale Erfrierungen; chronisch – Rheuma, Atemwegserkrankungen) und psychische Probleme treten eher in den Hintergrund, Änderungen der kognitiven Leistungsfähigkeit deuten sich an.

Beanspruchungen warmes Raumklima

Anschließend an den Bereich der thermischen Behaglichkeit (Komfort, keine oder nur geringe thermische Beanspruchung) steigt bei hohen Temperaturen im warmen Klima die Schweißrate deutlich an, die Herzschlagfrequenz nimmt allmählich zu, jedoch erhöht sich die Körperkerntemperatur kaum bzw. verharrt zunächst auf einem geringfügig angehobenen Niveau auf Dauer. Dies ist der sog. „zumutbare Bereich“, in dem die Körperkerntemperatur kaum vom Umgebungsklima beeinflusst wird und der Organismus sich somit noch homiotherm verhält. Am oberen Ende dieses Bereichs erreicht die Schweißrate nahezu ein Maximum und die Körperkerntemperatur kann auf Dauer nicht konstant gehalten werden und steigt bei zunehmender Klimabelastung zeitlich an. Dies entspricht Hitzearbeit, die nur zeitlich begrenzt und mit Schutzmaßnahmen ausgeführt werden kann. Hitzekollaps, Hitzekrämpfe, Hitzeerschöpfung durch Salzverarmung (Salzmangel), Hitzeerschöpfung durch Dehydratation, klassischer Hitzschlag sowie anstrengungsbedingter Hitzschlag sind typische Hitzeerkrankungen.

Beanspruchungen kaltes Raumklima

Im kalten Klima kann beim Menschen eine negative Energiebilanz auftreten, d. h., die Körperkerntemperatur sinkt ab. Entscheidend für die Beanspruchung unter Kältebelastung sind neben der Lufttemperatur die Arbeitsschwere (metabolische Wärmeproduktion), die Bekleidung, die Luftgeschwindigkeit sowie die Aufenthaltszeit (Kältearbeit). Zugluft führt zu deutlich erhöhter Abkühlung, insbesondere auf ungeschützten Hautoberflächen. Auch wenn die Wärmebilanz für den gesamten Körper ausgeglichen ist, können ungeschützte Hautoberflächen (z. B. Ohren, Nase, Kinn) und die Extremitäten (Finger, Zehen), die in Kälte nur schwach durchblutet werden, gefährdet sein und Gesundheitsschäden (lokale Erfrierungen) sind möglich. Bei lang andauernder – auch mäßiger – Kälteexposition werden Folgen festgestellt bzw. diskutiert wie Einbuße an Beweglichkeit, Verringerung der Geschicklichkeit und verminderte Sensibilität. Es gibt Hinweise auf vermehrte Erkrankungen der Atemwege, rheumatische Erkrankungen, erschwertes Ausheilen anderer Erkrankungen, was aber nicht epidemiologisch nachgewiesen ist.

Wandel der Arbeit

Mit dem Wandel der Arbeit ist auch eine deutliche Änderung in Bezug auf die Belange des Raumklimas in der Arbeitswelt zu beobachten. Klassische Klimaprobleme (insbesondere Hitzearbeit) treten mit der zunehmenden Automatisierung sowie dem Rückgang bestimmter Industrien (z. B. Stahlwerke, Kohlebergbau) in den Hintergrund. Dagegen treten verstärkt negative Auswirkungen im Zusammenhang mit dem komplexen Betrieb klimatisierter Gebäude auf (z. B. Beschwerden, „wahrgenommene Kontrollmöglichkeit“) oder durch sommerliche Überwärmung infolge hoher Glasflächenanteile in der Gebäudefassade (Leistungsminderung). Vor diesem Hintergrund ist, obwohl sich bisher keine direkten Wirkungsketten zwischen klimatischen Belastungen und psychischer Gesundheit ableiten lassen, eine indirekte psychische Beanspruchung infolge von z. B. Unbehaglichkeit, Unzufriedenheit, Ärgernis über das Klima bzw. das Unvermögen, dieses im gewollten Sinn beeinflussen zu können, festzustellen; auch wird mitunter dem Klima im Sinne einer „Stellvertreterfunktion“ die Beschwerde oder das Ärgernis zugeordnet, obwohl andere Probleme die Psyche negativ beeinflussen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Theorien und Modelle zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“	9
2.	Betriebliche Rahmenbedingungen	10
2.1.	Raumklima ohne wesentliche technologische Beeinflussung (erweiterter Behaglichkeitsbereich)	10
2.2.	Raumklima mit wesentlicher technologischer Beeinflussung (Kältebereich, Warm-/Hitzebereich)	11
3.	Eckdaten zur Literaturrecherche	11
3.1.	Trefferlage	11
3.2.	Charakteristika	13
4.	Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“ und Outcomes.....	14
4.1.	Beschreibung zum Merkmal A „Thermische Behaglichkeit“	16
4.1.1.	Beschreibung zum Merkmal A und Gesundheit	17
4.1.2.	Beschreibung zum Merkmal A und Befinden	19
4.1.3.	Beschreibung zum Merkmal A und Motivation sowie Arbeitszufriedenheit.....	23
4.1.4.	Beschreibung zum Merkmal A und Leistung	25
4.2.	Beschreibung zum Merkmal B „Klimatisch belastender Bereich (Hitze-/ Kältearbeit)“	28
4.2.1.	Beschreibung zum Merkmal B und Gesundheit	29
4.2.2.	Beschreibung zum Merkmal B und Leistung	30
5.	Bewertung und Diskussion der Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“ und den Outcomes	31
5.1.	Studiendesign, Stichprobencharakteristika, Exposition und demografische Angaben.....	31
5.2.	Operationalisierung der Merkmale A und B (UV)	33
5.3.	Operationalisierung der AV	34
5.3.1.	Gesundheit und Befinden.....	34
5.3.2.	Motivation und Arbeitszufriedenheit	35

5.3.3. Produktivität und Leistungsfähigkeit	35
5.4. Zusammenfassende Bewertung.....	35
6. Zusammenfassende Bewertung aller Merkmale des Arbeitsbedingungsfaktors „Klima“, Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf.....	36
7. Gestaltungsaussagen zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“	38
7.1. Gestaltung der Arbeit bei „Trockener Raumluft“ in der kalten Jahreszeit (Gesundheit)	39
7.2. Gestaltung der Arbeit im thermisch neutralen Raumklima (Befinden)	39
7.3. Gestaltung „Wahrgenommene Kontrollmöglichkeit“ (Motivation/ Arbeitszufriedenheit)	40
7.4. Gestaltung der Arbeit zur Minderung der Auswirkung überhitzter Arbeitsräume ohne technologische Belastung im Sommer (Leistung)	41
7.5. Gestaltung Hitze-/Kältearbeit (Gesundheit).....	42
8. Suchstrings zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“	43
9. Literatur	48
10. Tabellenverzeichnis.....	54
11. Abbildungsverzeichnis.....	54

1. Theorien und Modelle zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“

Das Klima wird durch die thermodynamischen Zustandsgrößen – Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit der Luft sowie die Wärmestrahlung der Umschließungsflächen bestimmt (Klimafaktoren). Im Kontext mit anderen Umgebungsfaktoren, wie Beleuchtung oder Lärm, hat das Klima einen wesentlichen Einfluss auf Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden der Menschen bei der Arbeit. Das Klima wirkt sich förderlich auf den Menschen aus, wenn es optimal an seine Bedürfnisse angepasst ist. Abweichungen davon können zu Unbehagen, Leistungsminderung bis hin zu Schädigungen der Gesundheit führen.

In der Arbeitswelt wird zwischen dem Klima in Räumen (Raumklima) und dem Klima beim Arbeiten im Freien (Außenklima) unterschieden. Das Raumklima kann direkt den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden (Heizung/Kühlung) bzw. wird durch technologische Zwänge geprägt. In Büroräumen wird es z. B. optimal an die menschlichen Bedürfnisse angepasst, d. h., ein behagliches Raumklima wird angestrebt. In anderen Bereichen wird es wesentlich durch die Technologie beeinflusst (z. B. Stahlwerk) und es wird versucht, negative Auswirkungen auf den Menschen zu reduzieren (z. B. Hitzeschutzkleidung, Kühlung). In einem dritten Bereich bestimmt die Technologie das Raumklima (z. B. Kühlhaus, medizinische Bäder) wo ein kaltes oder warmes Klima benötigt wird und der Mensch davor geschützt werden muss (z. B. Kälteschutzkleidung). Das Außenklima wird durch klimatische (Klimazone, Jahreszeit) und witterungsbedingte (Wetter mit Regen, Wind, Sonneneinstrahlung) Faktoren bestimmt. Eine direkte Beeinflussung ist nicht möglich und der arbeitende Mensch muss vor negativen Einflüssen geschützt werden (z. B. Wetterschutzkleidung, Sonnensegel). Hier müssen zudem längerfristig die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Arbeitswelt beachtet werden (Stössel & Matzarakis, 2008). Insofern wird bei der Recherche der Fokus auf das Raumklima gelegt, das Außenklima wird nicht einbezogen. Zudem wird nicht auf das Klima in Fahrzeugen (Kraft-, Schienen- und Luftfahrzeuge, Schiffe) sowie nicht auf das Klima in Bergwerken eingegangen, da diese Bereiche speziellen Bedingungen und Regelungen unterliegen.

Für eine systematische Bewertung wird das Raumklima in drei Bereiche eingeteilt: Kältebereich, Behaglichkeitsbereich sowie der Warm-/Hitzebereich. Der Warm-/Hitzebereich wird dabei in eine gemäßigte, noch erträgliche Zone (Warmbereich) und dem Bereich der eigentlichen Hitzearbeit unterteilt (Belding et al., 1969). In den Bereichen treten unterschiedliche Wirkungen auf den Menschen und Gefährdungen auf, sie werden mit dafür speziell angepassten Modellen bewertet und es gibt individuell anzuwendende Gestaltungs- und Schutzmaßnahmen.

Um die Wirkung der Klimafaktoren auf den Menschen zu bewerten oder ob durch deren Zusammenwirken eine Gefährdung besteht, müssen weitere personenbezogene Faktoren berücksichtigt werden. Das sind die körperliche Arbeit (Arbeitsenergieumsatz), die Bekleidung (Wärmeisolation) und die Expositionszeit (Schicht-/Pausenregime). Zudem ist die persönliche Konstitution und Disposition des Menschen zu beachten – Vorerkrankungen, Tagesverfassung, Anpassung an die Hitze (Akklimation) sowie eine ausreichende Trinkmenge (Dehydratation). Das grundlegende Ziel im Zusammenhang mit der Wirkung des Klimas auf den Menschen ist es, die Körperkerntemperatur von ca. $+37\text{ °C}$ durch die Thermoregulation konstant zu halten. Zudem strebt der Mensch ein thermisch behagliches Klima an. Das Zusammenwirken der genannten Faktoren bestimmt letztlich die Wirkung der Thermoregulation (Gefahr der Unterkühlung/Überhitzung) und das thermische Empfinden (Behaglichkeit/Unbehagen). Um diese komplexen Zusammenhänge beschreiben und

bewerten zu können, werden die einzelnen Faktoren mit sog. Klimasummenmaßen zusammengefasst. Ein Klimasummenmaß ist eine Zusammenfassung von mehreren Klimagrößen (z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung) und gegebenenfalls anderen Faktoren wie Arbeitsschwere und Bekleidungsisolationsleistung. Ein gleicher Zahlenwert eines Klimasummenmaßes soll eine gleiche Wirkung auf den Menschen anzeigen. Eine Zusammenfassung bestehender Klimasummenmaße (oder auch Temperaturindex) und Evaluation dieser in Bezug auf das thermische Wohlbefinden und Komfort geben Epstein und Moran (2006). Weitere Beschreibungen der Klimasummenmaße für den Behaglichkeitsbereich sind im Abschnitt 4.1.2. enthalten.

Körperliche Arbeit führt zu einer vermehrten Wärmeentwicklung im Körper des Menschen. Diese wird mit verschiedenen Mechanismen an die Umgebung abgegeben. Hierzu zählen die Wärmeabgabe durch Konvektion an die umgebende Luft, Wärmestrahlung in Wechselwirkung mit den Umgebungsflächen, Verdunstungskühlung durch die Abgabe von Schweiß und Feuchte durch die Haut sowie durch Wärmeleitung im direkten Kontakt mit Umgebungsflächen und über die Atmung von warmer/kalter Luft. Diese Prozesse haben je nach den Umgebungsbedingungen einen unterschiedlichen Anteil an der Gesamtwärmeabgabe. Im Behaglichkeitsbereich werden z. B. ca. 45 Prozent der Wärme durch Strahlung und zu je ca. 27 Prozent durch Konvektion und Verdunstung an die Umgebung abgegeben. Dabei wird die Wärmeabgabe wesentlich durch die Bekleidungsisolationsleistung beeinflusst. Im Hitzebereich wird dem Menschen zusätzlich von außen Wärme zugeführt. Muss er zudem schwere Arbeit leisten und dabei Schutzkleidung tragen (Stahlwerk), führt das zu einer starken Hitzebeanspruchung, was als Hitzearbeit bezeichnet wird. Er reagiert mit einer Erhöhung der Temperatur der kühleren äußeren Körperschale (Extremitäten, Haut und äußere Fettschichten, Pufferwirkung), Steigerung von Wärmeabgabe durch vermehrte Schweißverdunstung und einer in Grenzen höher eingestellten Körperkerntemperatur (bis ca. +38 °C unbedenklich). Dies ist nur über eine bestimmte Expositionszeit möglich, die zudem durch Pausenregime, Schichtlänge und technologische Abläufe bestimmt wird. Im Kältebereich verhält es sich ähnlich. Hier wirkt physiologisch eine erhöhte innere Wärmeproduktion bis hin zum Muskelzittern sowie verhaltensregulatorisch eine verstärkte Bekleidungsisolationsleistung dem Wärmeverlust entgegen.

2. Betriebliche Rahmenbedingungen

In der Arbeitswelt gibt es Branchen, in denen kein wesentlicher Einfluss auf das Klima besteht (z. B. Büro), Branchen mit Technologien mit starkem Einfluss auf das Klima (z. B. Stahlwerk) sowie Branchen, die ein bestimmtes Klima erfordern (z. B. Kühlhaus).

2.1. Raumklima ohne wesentliche technologische Beeinflussung (erweiterter Behaglichkeitsbereich)

Insbesondere in Büroräumen wird das Raumklima an die menschlichen Bedürfnisse angepasst, ein behagliches Raumklima wird angestrebt. In anderen Bereichen mit geringen Lasten (Wärme, Stoffe, Feuchte), wie Tischlereien, Montagehallen oder Postverteilzentren, kann ein gesundheitlich zuträgliches Raumklima ohne hohen zusätzlichen technischen Aufwand i. d. R. sichergestellt werden. Natürlich müssen diese Bereiche im Winter beheizt und im Sommer vor hohem Wärmeeintrag von außen geschützt werden. Sofern die baulichen Voraussetzungen (z. B. ausreichende Wärmedämmung, nicht zu große Fensterflächen) nicht genügen, wird in diesen Bereichen oft eine Heizung bzw. Klimatisierung eingesetzt, um ein gesundheitlich zuträgliches bzw. behagliches Raumklima einzustellen. Da in diesen Branchen grundsätzlich die Erwartungshaltung eines behaglichen Raumklimas besteht, spielt hier die psychische Komponente eine größere Rolle. Mit einem

deutlichen Behaglichkeitsverlust treten zunehmend Beschwerden und Unzufriedenheit auf, die als Stressor wirken. Akute und chronische Gesundheitsgefahren durch das Klima bestehen i. d. R. nicht, jedoch können bestimmte Erscheinungen (z. B. Zugluft, trockene Luft im Winter, überwärmte Büroräume bei Sommerhitze, eingeschränkte Möglichkeit, das Raumklima zu beeinflussen) gesundheitliche Beeinträchtigungen und auch psychische Belastungen hervorrufen. Diese Branchen werden bei der Recherche besonders berücksichtigt, insbesondere in Bezug auf die abhängigen Variablen (AV) Gesundheit (Muskel-Skelett-System und Herz-Kreislauf-System, psychische Störungen), Befinden, Motivation/Arbeitszufriedenheit und Leistung.

2.2. Raumklima mit wesentlicher technologischer Beeinflussung (Kältebereich, Warm-/Hitzebereich)

Es gibt Branchen, in denen das Raumklima (insbesondere Warm- und Hitzebereich) wesentlich durch die Technologie beeinflusst wird (z. B. Stahlwerk, Glasgießerei) und die negativen Auswirkungen auf den Menschen durch technische, organisatorische oder personenbezogene Maßnahmen reduziert werden müssen (z. B. Kühlung, Entwärmungsphasen, Hitzeschutzkleidung). Ähnlich ist es dort, wo die Technologie das Raumklima bestimmt (z. B. Kühlhaus, medizinische Bäder), d. h., ein kaltes oder warmes Klima für den Zweck der Arbeit benötigt wird und der Mensch davor geschützt werden muss (z. B. Kälteschutzkleidung, Aufwärmzeiten, Entwärmungsphasen). In diesen Branchen bestehen akute und chronische Gefährdungen der Gesundheit durch die Wirkung des Klimas. Auch die Abnahme der Leistungsfähigkeit und eine erhöhte Unfallgefahr durch geminderte Aufmerksamkeit muss berücksichtigt werden. Da das Klima technologisch bestimmt ist, besteht bei den Beschäftigten grundsätzlich keine Erwartungshaltung an bessere Klimabedingungen, Hitze oder Kälte gehören zur Arbeit und mit den entsprechenden Schutzmaßnahmen werden die negativen Auswirkungen reduziert. Das Beschwerdeverhalten ist i. d. R. gering. Diese Branchen werden bei der Recherche insbesondere bzgl. der abhängigen Variablen (AV) Gesundheit und Leistung, berücksichtigt.

3. Eckdaten zur Literaturrecherche

3.1. Trefferlage

Die Identifizierung der zu extrahierenden, thematisch relevanten Studien erfolgte über eine Recherche in Fachdatenbanken sowie darin integrierte Handsuche-Prozesse, einem anschließenden Titel-/Abstract-Screening zum Ein- und Ausschluss interessierender Studien und einer abschließenden Entfernung von doppelten Treffern (Dubletten).

Die Trefferzahlen und der Studieneinschluss sowie -ausschluss sind zusammenfassend im Flussdiagramm in Abb. 1 dargestellt.

Obwohl durch die Suchstrings (siehe Kapitel 3.2. und 8.) ein breites Spektrum an Begrifflichkeiten und Synonymen zum Bereich Raumklima und fokussierter Outcome-Variablen abgedeckt wurde bzw. Themen von vornherein ausgeschlossen wurden, stellte sich die Trefferlage sehr durchwachsen und thematisch weit gefächert dar. Ein Großteil der Studien fokussierte Themengebiete ohne Bezug zum Raumklima, z. B. deckten sie vor allem außerklimatische Aspekte ab und/oder behandelten in keiner Weise arbeitsrelevante Settings, d. h. boten keinen Zusammenhang zum Thema Arbeitsumgebung. Publikationen mit diesen Merkmalen wurden grundsätzlich ausgeschlossen. Weitere, nicht dem Gegenstand des Reviews zugehörige Themenbereiche traten vor allem zu Beatmungs- und Patientenaspekten bzw. Krankenhaussettings, Schule und Schüler, Soldaten oder Tierexperi-

menten auf. Zusätzlich wurden Studien, die nicht in den für das Review vorgesehenen Sprachen Deutsch und Englisch verfasst sind oder deren Bezugszeitraum zu weit in der Vergangenheit lag (vor 2000) aus dem Pool der zu extrahierenden Publikationen entfernt. Ein- und Ausschluss von Studien erfolgte nach der Suche durch das Titel-/Abstract-Screening sowie Dublettenentfernung. Durch das Titel-/Abstract-Screening wurde somit ein Großteil der über Suchstrings ermittelten potenziellen Publikationen ausgeschlossen.

Insgesamt wurden 30 Studien zur weiteren Extraktion identifiziert. Davon beziehen sich die meisten Studien auf Untersuchungen zum Behaglichkeitsbereich ($n = 27$), nur wenige Studien mit Bezug auf Hitze/Kälte konnten extrahiert werden ($n = 3$). Zusätzlich wurden insgesamt 35 den Autoren bereits bekannte Quellen aus dem Behaglichkeitsbereich und 28 Quellen vom Bereich Hitze/Kälte in die fachlichen Darstellungen einbezogen (nicht extrahierte Studien bzw. Literatur, Regelwerke, Normen und Handlungshilfen).

Der überwiegende Teil der Studien konnte über die Suche in den Fachdatenbanken ermittelt werden. Ein weiterer, jedoch kleinerer Teil der eingeschlossenen Studien konnte über Handsuche in den Referenzlisten anderer Publikationen bzw. auf Grundlage von bereits vorhandenen Literaturbeständen vorhergehender Berichte unabhängig von der strukturierten Recherche über Suchstrings ermittelt werden.

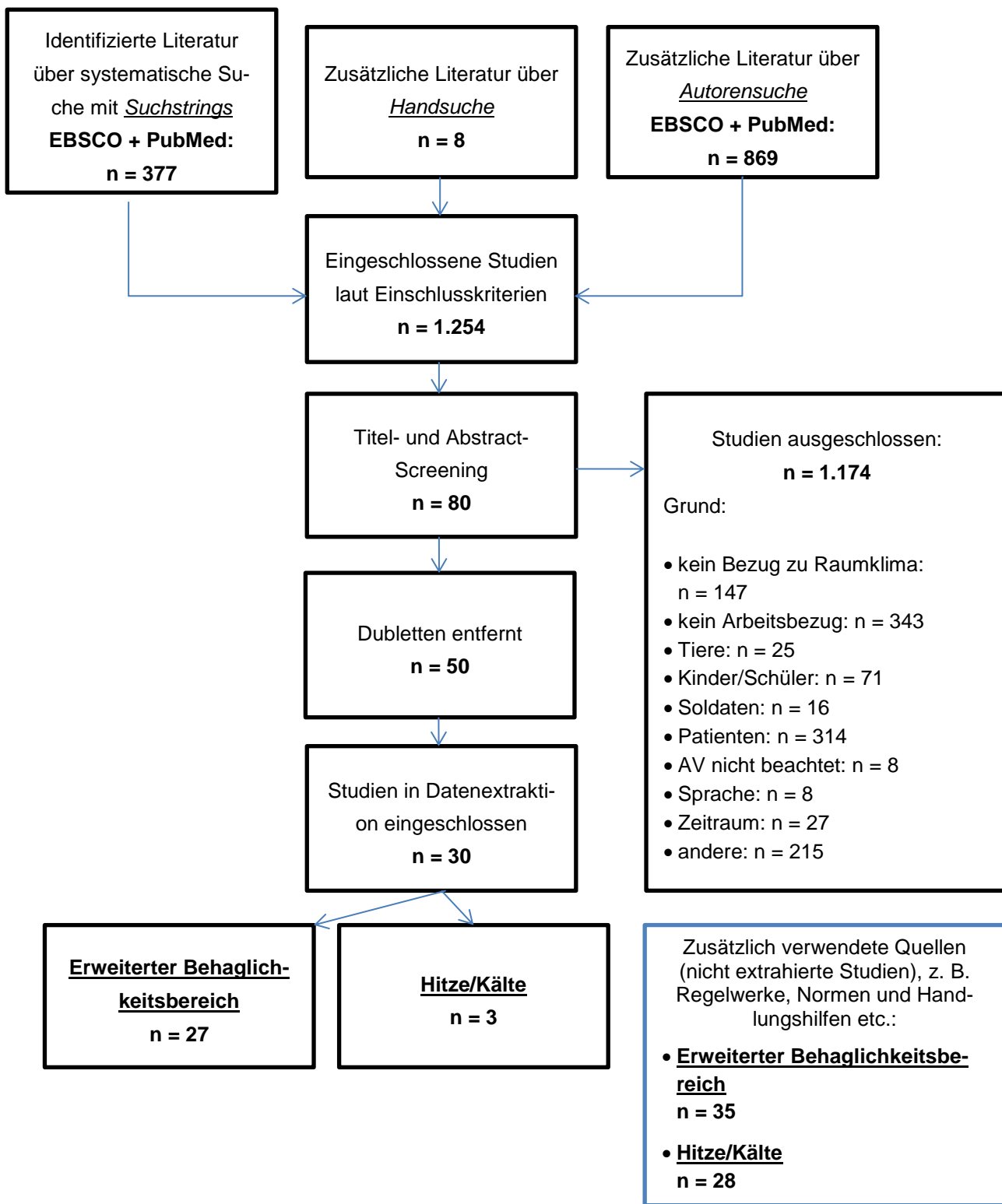


Abb. 1 Flussdiagramm – Übersicht zur Rechercharbeit, Trefferlage und Studienein-/ausschluss

3.2. Charakteristika

Die Recherche nach relevanter Literatur erfolgte über die Suchoberfläche von EBSCOHost und PubMed, über die auf die Fachdatenbanken PSYINDEX, PsycARTICLES und PsycINFO via EBSCO bzw. Medline via PubMed zugegriffen wurde. Die Suche über EBSCOHost erfolgte unter Bezugnahme der Advanced-Search-Option (mehrere benutzerdefinierbare Suchebenen) in allen drei verfügbaren Datenbanken gleichzeitig; die Su-

che via PubMed wurde separat, jedoch im Suchablauf kongruent zu EBSCO, durchgeführt.

Die Recherchestrategie umfasste ein dreistufiges Vorgehen. Zuerst wurde für jeden Suchvorgang eine systematische Suche über Suchstringkombinationen aus den Zuordnungen unabhängige Variable (UV), abhängige Variable (AV), Kontextvariable (KV) und einschränkendes NOT-Kriterium (NV) durchgeführt. Eine Beschreibung der Suchstringkombinationen, ihrer thematischen Zuordnung und Anwendung in der Recherche befindet sich in Kapitel 8. Die verwendeten Suchstrings wurden auf der Grundlage der einheitlich im Projekt vorgegebenen Kombinationen erstellt. Dabei wurden die einzelnen Suchstrings an die spezifischen Kriterien des „Raumklimas“ angepasst. Damit konnte eine Verbesserung der Treffergenauigkeit erreicht werden. Kleine Anpassungen wurden zudem für Suchstrings der Variablen UV1a, AV3.2a und AV4a bereits in Form zusätzlicher OR-Operatoren vorgenommen. Aus der im ersten Schritt eingeschlossenen Literatur wurde anschließend in einem zweiten Schritt per Handsuche weitere relevante Literatur ermittelt. Ergänzend wurden in einem dritten Schritt mit einer Autorensuche über die Namen der im Themenbereich Raumklima bekannten Autoren weitere Publikationen erfasst.

Konnten lediglich große Trefferzahlen durch die Suchstringsuche erzielt werden, wurden die Suchanfragen über Einstellungen zu Sprache und Zeitraum nachträglich modifiziert, um die Trefferzahlen einzugrenzen und eine optimale Durchsicht und Bearbeitung dieser zu gewährleisten. Um Studien in den im Projekt vorgesehenen Sprachen Deutsch und Englisch zu fokussieren, wurde die Suche, wenn möglich, über die in den Suchoberflächen verfügbaren Optionen auf diese Sprachen eingeschränkt. Möglich war dies bei EBSCOHost für PSYINDEX und PsycINFO über die Suchoptionseinstellung im Abschnitt „Special limiters for PSYINDEX“ und „Special limiters for PsycINFO“. In PubMed wurde dies über den Limiter [Language] realisiert. Für die Recherche wurde ein Zeitraum zwischen 2000 bis 2015 gewählt, der für EBSCOHost in den Search Options hinterlegt wurde; für PubMed wurde der Limiter [Publication-Date] verwendet. Führten die eingesetzten Einschränkungen nicht zum gewünschten Ergebnis, wurden die Vorgaben beim Titel-/Abstract-Screening berücksichtigt. Weder in der EBSCOHost noch in der PubMed-Suchoberfläche wurden für die Recherchevorgänge weitere Einstellungen zur Einschränkung der Suche vorgenommen, sondern voreingestellte Optionen genutzt.

Alle Studien wurden zunächst über ihren Titel und ihr Abstract gescreent. Studien, die sich formal nicht eindeutig in den Bereich Raumklima (Behaglichkeit, Kälte/Hitze) mit Arbeitsbezug zuordnen ließen bzw. thematisch zwar zulässig waren, aber ein Publikationsdatum älter als 2000 aufwiesen oder sich primär auf das Sick-Building-Syndrom bezogen, wurden zunächst als „Klasse B“-Studien gesammelt und nachfolgend nochmals auf ihre Relevanz geprüft. Relevante Studien wurden dann entweder in die Kategorie „Behaglichkeit“ oder „Kälte/Hitze“ eingeteilt und extrahiert.

4. Beschreibung des Zusammenhangs zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“ und Outcomes

Der Arbeitsumgebungsfaktor Raumklima wird im Rahmen des Projekts in zwei Merkmale eingeteilt. Merkmal A umfasst das Raumklima ohne wesentliche technologische Beeinflussung (erweiterter Behaglichkeitsbereich, siehe 2.1.) und wird im Folgenden mit „Thermische Behaglichkeit“ bezeichnet. Merkmal B umfasst das Raumklima mit wesentlicher technologischer Beeinflussung – Kältebereich und Warm-/Hitzebereich. Die Wirkungen des Raumklimas mit Bezug zur psychischen Gesundheit sind insbesondere mit Merkmal A

verbunden. Zur Veranschaulichung der komplexen Wechselwirkungen zwischen den abhängigen Variablen und den verschiedenen Facetten des Raumklimas sind in Abb. 2 dargestellt. Schon geringe Abweichungen von den Behaglichkeitskriterien führen zu einer Störung des Befindens (zu warm, zu kalt, es zieht). Ist zudem das Raumklima länger unverändert und die Nutzer können darauf selbst keinen Einfluss nehmen, wirkt dies als weiterer Stressor und kann sich negativ auf Motivation und Arbeitszufriedenheit auswirken. Gelangt das Raumklima an die Grenzen der thermischen Behaglichkeit, wie z. B. in sommerlich überhitzten Büros, so tritt neben verstärkten physiologischen Reaktionen der Thermoregulation u. a. eine geminderte Leistungsbereitschaft und zum Teil auch ein messbarer Abfall der Leistung ein. Bestimmte Klimaphänomene können auch im thermisch nicht belastenden Bereich (Merkmal A) unmittelbare Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Das sind neben den Auswirkungen von Zugluft insbesondere die hier näher betrachteten Folgen von trockener Raumluft. Auch diese beiden Erscheinungen lösen wegen ihres störenden Charakters und dass oft keine Einflussnahme darauf möglich ist, mitunter emotionale Reaktionen bei den Beschäftigten aus und können indirekt als Stressor negativ auf die psychische Gesundheit einwirken.

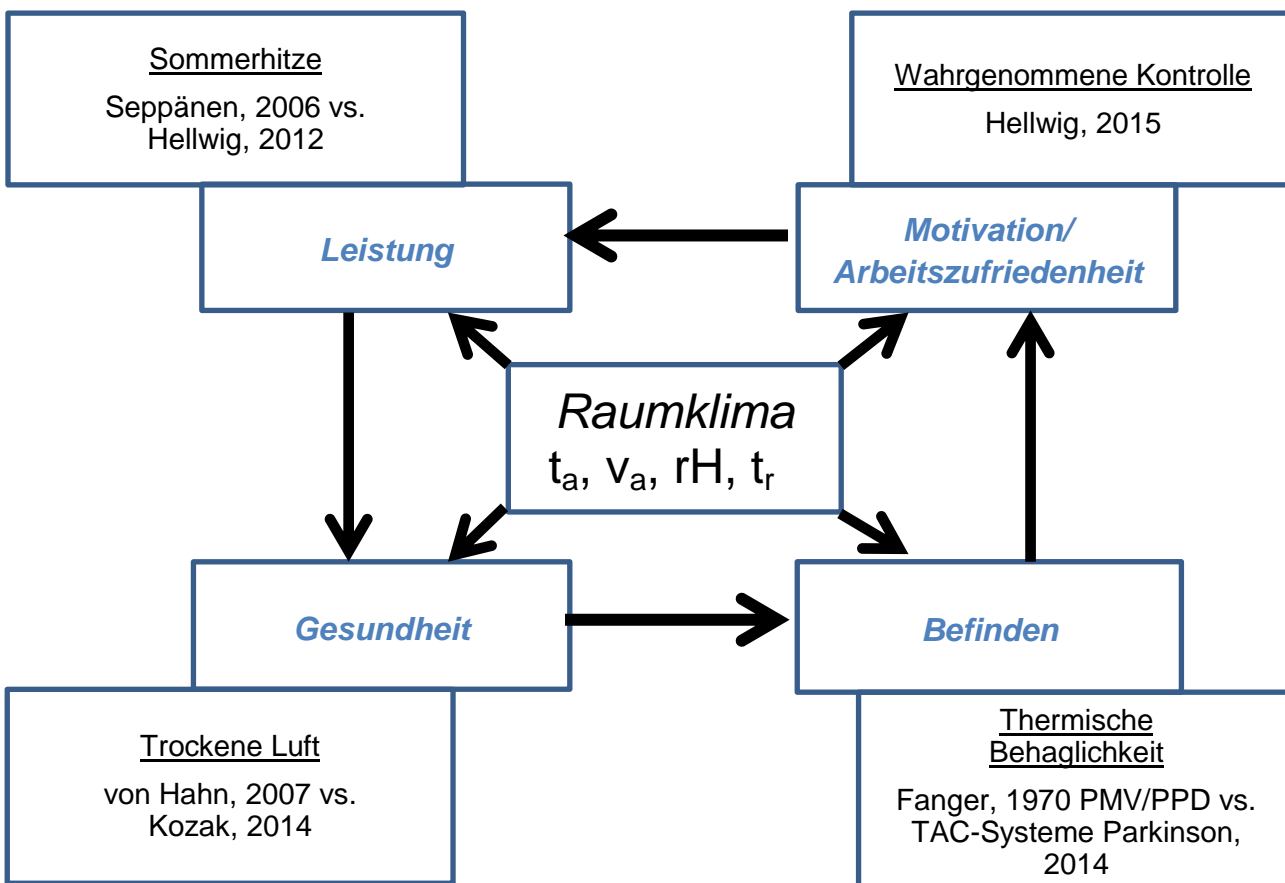


Abb. 2 Wechselwirkungen der abhängigen Variablen (AV1 bis AV4), Modelle/Literatur (Beispiele) sowie Hauptproblemfelder zum Merkmal A des Arbeitsbedingungs-faktors Raumklima (t_a – Lufttemperatur, v_a – Luftgeschwindigkeit, rH – relative Luftfeuchte, t_r – Strahlungstemperatur)

4.1. Beschreibung zum Merkmal A „Thermische Behaglichkeit“

Tab. 1 Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal A und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien				Sonstige*
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien			
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige	
Gesundheit (AV1)	1	3	0	4	0	13
Befinden (AV2)	3	3	0	2 ^{1, a}	1	7
Motivation, Arbeitszufriedenheit (AV3)	0	1 ^{1, a}	0	4	0	3
Leistung (AV4)	3 ^{1, a}	9 ^{3, c}	0	1 ^{1, b}	0	5
AV1 bis AV4	0	0	0	0	0	7

Mehrfachnennung von Studien, die mehrere AV behandeln, möglich (Mehrfachnennungen werden für die entsprechende Spalte gezählt) – Zahlen enthalten Mehrfachnennungen:

¹ Mehrfachbenennung einer Studie, ^a Studie aus AV1, ^b Studie aus AV3

³ Mehrfachbenennung von 3 Studien, ^c eine Studie aus AV1, 2 Studien aus AV2

* nicht extrahierte Studien bzw. Literatur, Regelwerke, Normen und Handlungshilfen mit relevantem Bezug zur Wirkung des Umgebungsfaktors Raumklima (ohne Mehrfachnennung)

Hinweis

Als Interventionsstudien wurden Studien mit Versuchsanordnungen, bei denen die Versuchsbedingungen und somit größtenteils auch die Ausprägungen der Einflussgrößen (UV) vom Studienleiter bzw. -team vorgegeben und somit kontrolliert werden, eingeordnet. Ein Beispiel dafür sind Laborstudien, in denen die Umgebungsparameter in simulierten Settings je nach Versuchsblock und Fragestellung variiert werden (vgl. z. B. Zhang et al. (2010)). Allerdings werden auch Feldstudien, bei welchen durch den Versuchsleiter aktiv Einfluss auf die Versuchsumgebung genommen und damit das Setting und die Einflussvariable je nach Anforderung modifiziert wird, als Interventionsstudie gezählt, wie bspw. bei Akimoto, Tanabe, Yanai und Sasaki (2010). Unter Nicht-Interventionsstudien werden Beobachtungsstudien bzw. Studien, bei denen die fokussierten Einflussgrößen zwar gemessen, jedoch nicht künstlich innerhalb des Studiendesigns verändert werden, verstanden (siehe z. B. Katz (1988)). Ein analoges Vorgehen wurde auch für das Merkmal B vorgenommen.

Der überwiegende Teil der Publikationen waren primäre Interventionsstudien sowie Querschnittstudien aus dem Bereich der Nicht-Interventionsstudien. Grund für die hohe Repräsentation dieser beiden Studientypen ist in der guten Simulationsmöglichkeit von Raumklima und der Praktikabilität bei der Erfassung des Zeitraums zu sehen. Interventionsstudien zeichneten sich vor allem durch Versuchsanordnungen in Klimakammern aus, in denen das Raumklima entsprechend der Fragestellungen und Anforderungen an den Versuchsaufbau effektiv nachgebildet werden kann. Querschnittstudien werden zu einem bestimmten Zeitpunkt erhoben und sind im Vergleich zu Zeitreihen in Längsschnittstudien kostengünstiger und zeitlich komprimierter durchführbar. Da Querschnittstudien auch an den eigentlichen Arbeitsplätzen initiiert wurden, um reale Arbeitssituationen abzubilden

und somit in den Arbeitsalltag eingreifen, ist eine kurze zeitlich begrenzte Erfassung notwendig. Längsschnittstudien generieren im Vergleich dazu zwar zeitlich konsistentere Ergebnisse, haben allerdings auch den Nachteil, dass einzelne Studienteilnehmer nachverfolgt werden müssen und dies im Arbeitsalltag nicht immer effektiv ohne Einschränkung des eigentlichen Arbeitsprozesses umgesetzt werden kann.

Die Kategorie „Sonstige“ erfasst das den Autoren aus anderen Quellen bekannte Fachwissen, das im Vorfeld des Reviews umfassend recherchiert wurde. Da das Thema Raumklima am Arbeitsplatz ein in der Vergangenheit bereits häufig untersuchtes Themengebiet darstellt, ist ein über die Jahre gewachsenes Fundament an Studien und Publikationen aus vorhergehenden Jahrzehnten vorhanden. Hier liegt es nahe, dieses Wissen in Sekundärliteratur zusammenzufassen.

4.1.1. Beschreibung zum Merkmal A und Gesundheit

Wirkung „Trockene Raumlufte“ in der kalten Jahreszeit auf die Gesundheit der Beschäftigten

Insbesondere in der Heizperiode wird von Beschäftigten z. B. über brennende Augen, trockene Schleimhäute und juckende Haut geklagt. Die Ursache dafür wird in einer niedrigen relativen Luftfeuchte gesehen, die aufgrund außenklimatischer Bedingungen in Innenräumen in dieser Jahreszeit vorherrscht. Sofern die Raumlufte nicht befeuchtet wird, treten in den Wintermonaten relative Luftfeuchten von deutlich unter 30 Prozent auf; dies ist physikalisch bedingt.

Das Problem „trockene Luft und ihre Auswirkungen auf Wohlbefinden und Gesundheit“ wird von der Fachwelt kontrovers diskutiert. Auch Stimmstörungen, geschwächte Immunabwehr und unangenehme elektrische Aufladungen werden damit in Verbindung gebracht. Unterschiedliche Studien sprechen für und gegen mögliche negative Auswirkungen niedriger Luftfeuchten auf die Gesundheit. So haben z. B. Bischof, Bullinger-Naber, Kruppa, Müller und Schwab (2003) in Büroräumen aus selbst berichteten Beschwerden festgestellt, dass in klimatisierten Räumen die Luft häufiger als zu trocken empfunden wird, obwohl sie feuchter war als in vergleichbar beurteilten natürlich belüfteten Räumen. Dabei wurden Luftfeuchten von ca. 50 Prozent von „sehr trocken“ bis zu „sehr feucht“ eingeschätzt. Begründet ist dies damit, dass der Mensch kein Sinnesorgan besitzt, um Luftfeuchte wahrnehmen zu können. Zudem ergab die Studie weder bei niedrigen (< 22 Prozent) noch bei hohen (> 56 Prozent) relativen Luftfeuchten einen signifikanten Einfluss auf die berichteten Beschwerden bezüglich Augen, Haut, Nase, Mund und Hals. Nur in Kombination von Luftfeuchte und Lufttemperatur wird bei feuchtwarmem Klima (sog. Schwülegrenze) die Luftfeuchte als hoch und unangenehm schwül empfunden (Scharlau, 1941).

In einer umfassenden Literaturstudie zu Luftfeuchte in Innenräumen von von Hahn (2007), die die Jahre von 1960 bis 2004 mit insgesamt 29 Klimakammer- und Feldstudien erfasst, wurden Effekte auf die verschiedenen Bereiche des Körpers (Schleimhäute, Erkältungskrankheiten, Augenbeschwerden, Hautbeschwerden) und elektrostatische Auf- und Entladung ausgewertet. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere keine wesentlichen Auswirkungen auf das Austrocknen der Schleimhäute und des Tränenfilms der Augen feststellbar sind. Dagegen werden die Zunahme der Hautrauigkeit (Klagen über trockene und juckende Haut) und vermehrte elektrostatische Aufladungen („fliegende“ Haare bei weniger als 40 Prozent relativer Luftfeuchte) in einen direkten Zusammenhang mit niedrigen Luftfeuchten gebracht. Letztlich konnte durch Bewertung aller betrachteten Studien ein eindeutiger negativer Einfluss einer geringen Luftfeuchte auf die Gesundheit der Beschäftigten nicht gefunden werden. Nur bei Menschen mit bestimmten Vorerkrankungen,

wie atopisches Asthma oder Neurodermitis, waren Effekte vorhanden. Insofern wird hier aus Sicht des Arbeitsschutzes der Einfluss der Luftfeuchte eher als eine Frage der Behaglichkeit und des Wohlbefindens eingestuft und nicht als ein gesundheitliches Problem. In Auswertung der Daten der ProKlimA-Studie (Bischof et al., 2003) wurde dies untermauert und es konnte gezeigt werden, dass das Auftreten von „Trockenheitssymptomen“ (subjektive Wahrnehmung von Hautgefühl) signifikant erhöht ist bei Frauen, bei Nutzung schlechter PC-Software, insgesamt ungünstigen Arbeitsplatzmerkmalen, allergischen Erkrankungen und bei Verwendung von Hautcreme. Objektiv betrachtet ist die Verwendung von Hautcreme bei trockener Haut allerdings mit einer Schutzwirkung verbunden, wobei die erhöhten Effekte der Studie in Bezug zur Hautcremeverwendung subjektiv eher als Ausdruck der Unzufriedenheit mit dem Hautzustand gewertet werden können.

Eine niedrige Hautfeuchtigkeit tritt signifikant bei hohen Konzentrationen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) und niedriger relativer Luftfeuchte (< 22 Prozent) auf. Hohe relative Luftfeuchten (> 56 Prozent) wirken demgegenüber insgesamt präventiv gegen niedrige Hautfeuchten (Brasche et al., 2004). Bezüglich der Wirkung auf die Augen wurde in einer weiteren Auswertung (Brasche et al., 2005) von Daten der ProKlimA-Studie (Bischof et al., 2003) festgestellt, dass die Aufreißzeit des Tränenfilms (Benetzungszeit, break-up time – BUT) bei Frauen, Kontaktlinsenträgern, Allergikern und Personen über 40 Jahre signifikant kleiner als zehn Sekunden ist, d. h., belastend auf das Auge wirkt. Niedrige relative Luftfeuchten (< 22 Prozent) und Lufttemperaturen (< 21 °C) wirken sich ungünstiger bzgl. BUT aus als höhere Werte (> 56 Prozent, > 25 °C), wobei hierbei ein signifikanter Einfluss auf die Lipidschichtdicke nicht zu erkennen war. Deutlich wurde bei der Auswertung auch, dass bei einem niedrigen Bildungsniveau, geringer Arbeitszufriedenheit, Augenvorerkrankungen, Kontaktlinsenträgern sowie bei Frauen bei Arbeit ohne Computer selbst berichtete Augenprobleme deutlich vermehrt auftreten.

Der im Auftrag INQA-BÜRO – Deutsches Netzwerk Büro e. V. erstellte „Ratgeber Büro“ (RatgeberBüro, 2009) erweitert den Beurteilungskreis dahingehend, dass „trockene Luft“ den Menschen in Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit beeinträchtigen kann. Hier werden Werte für die relative Luftfeuchte empfohlen (größer 40 Prozent), die im Winter dauerhaft nur mit einer aktiven Luftbefeuchtung erreicht werden können. Begründet wird dies mit einer Zusammenstellung von Hinweisen aus der Literatur, die auf einen Zusammenhang zwischen niedrigen relativen Luftfeuchten und verschiedenen Gesundheitsproblemen hindeuten. So sind Hinweise in einzelnen Studien zu finden, dass die Selbstreinigungsfunktion der Schleimhäute (Mucociliar Clearance) beeinträchtigt wird, die Lebensdauer von Grippeviren bei niedrigen Luftfeuchten höher ist (erhöhtes Infektionsrisiko), das Risiko von Heiserkeit und Kehlkopfentzündungen steigt, dass das insbesondere bei Bildschirmarbeit auftretende Problem „trockenes Auge“ (Keratoconjunctivitis sicca, Syndrom des trockenen Auges, office eye syndrom) damit in Zusammenhang steht sowie trockene, juckende und rissige Haut vermehrt auftritt. Chronische Vorerkrankungen wie Neurodermitis und Schuppenflechte werden verstärkt. Eine detaillierte Prüfung dieser Zusammenstellung wurde im Rahmen dieses Reviews nicht vorgenommen, was mit weiteren Forschungsaktivitäten erfolgen sollte (siehe Kapitel 6). Beispielhaft soll hier auf die saisonalen Grippeepidemien verwiesen werden, die ihre Aktivitätsspitzen in der Mitte des Winters haben. Unter kalten, trockenen Bedingungen scheint die Übertragung der Influenzaviren am effizientesten zu sein (Steel, Palese & Lowen, 2011).

Im Zusammenhang mit Beschwerden über „trockene Luft“ spielt die Selbstwahrnehmung eine große Rolle. In einer Feldstudie in der Winterperiode (290 Bürobeschäftigte, 6 Wochen) wurde der Einfluss von künstlicher Luftbefeuchtung (20 bis 30 Prozent, 30 bis 40 Prozent, gleichbleibende Raumtemperatur) durch Selbstauskunft über ein Skalensys-

tem zu verschiedenen allergischen Symptomen (Asthma, Haut-, Augen- und Nasenprobleme) erhoben (Reinikainen, Jaakkola & Seppanen, 1992). Bei den hohen Luftfeuchten wurden signifikant weniger Haut- und Nasenprobleme und allergische Symptome sowie Asthmareaktionen berichtet. Die psychische Komponente scheint demnach bei Problemen mit trockener Luft einen indirekten Einfluss zu haben.

Neuere Studien (Kozak et al., 2014) deuten auf einen multifaktoriellen Zusammenhang für die bei trockener Luft beobachtete Hautaustrocknung und Reizung der Augen. Demnach hat die Luftführung einen signifikanten Einfluss. Lokale erhöhte Luftgeschwindigkeiten (Zugluft) und Turbulenzen, wie sie z. B. bei Mischlüftung vermehrt auftreten, führen zu einer zusätzlichen Verdunstung auf der Haut. Eine Schlussfolgerung aus Simulationsrechnungen ist, dass Geschwindigkeit und Turbulenzgrad der Luft einen Einfluss auf die Verdunstungsrate haben, der etwa 30 Prozent des Einflusses von Temperatur und Luftfeuchte entspricht. Vorteilhaft ist deswegen ein flächenhafter Lufteintrag (Quelllüftung) oder Fußbodenheizung anstatt Wandheizkörper, um eine turbulenzarme Raumluftrömung mit niedrigen Luftgeschwindigkeiten zu erzeugen.

Zusammenfassung Gesundheit in Bezug auf „trockene Raumlufte“

„Trockene Luft“ hat mit physiologischen Wirkungen (Austrocknung der Haut) und daraus resultierender Hautreizung einen direkten Einfluss auf die Gesundheit. Da dies und andere damit in Zusammenhang gebrachte Erscheinungen (insbesondere Reizungen der Augen) im komplexen Wirkzusammenhang mit anderen Mechanismen (z. B. mangelhafte Arbeitsplatzergonomie an Bildschirmarbeitsplätzen, trockene Raumlufte tritt im Winter ganzheitlich auch im häuslichen Bereich auf) betrachtet werden muss, kann „trockene Raumlufte“ nicht als originäres Problem des Arbeitsschutzes betrachtet werden. Aufgrund des störenden Charakters und dass oft keine Einflussnahme darauf möglich ist, werden mitunter emotionale Reaktionen bei den Beschäftigten ausgelöst, wobei „trockene Raumlufte“ als Stressor wirkt. Die psychische Komponente und die Selbstwahrnehmung scheinen demnach hier einen Einfluss zu haben. Es deutet sich ein indirekter Zusammenhang zwischen der Wirkung von „trockener Luft“ und der psychischen Gesundheit an.

4.1.2. Beschreibung zum Merkmal A und Befinden

Abweichung von der thermischen Behaglichkeit – Wirkung von Unzufriedenheit mit dem Raumklima

Die Betrachtung der thermischen Behaglichkeit erfolgt auf der Basis einer Gesamtwärmebilanz des Menschen mit einer mittleren behaglichen Hauttemperatur (globales thermisches Behaglichkeitskriterium). Unter der Voraussetzung einer bestimmten Bekleidung und körperlichen Aktivität (z. B. Büronutzung) werden für einen Raum mittlere Werte der Temperatur, Geschwindigkeiten und Feuchte der Luft sowie der Strahlungstemperatur der Umgebung definiert. Hierfür wurde auf der Basis umfangreicher Klimakammerexperimente mit Probanden ein mathematisches Modell entwickelt (Fanger, 1970). Es geht von der Gleichheit der Wärmeentwicklung im Körper mit der Summe der Wärmeabgabe (durch Konvektion, Strahlung, Verdunstung, Atmung) aus. Es zielt auf die Einhaltung einer sog. „behaglichen mittleren Hauttemperatur“ ab (DIN EN ISO 7730:2006-05, 2005). Im Ergebnis wird ein Klimasummenmaß, der sog. PMV-Wert (Predicted Mean Vote), berechnet. Das ist ein dimensionsloser Maßstab des thermischen Empfindens der Raumnutzer. Er entspricht deren mittleren vorhergesagten Klimabeurteilung. Mit zunehmender Abweichung vom neutralen Bereich wächst die Unzufriedenheit der Raumnutzer mit dem Klima. Aus dem PMV-Wert lässt sich der zu erwartende Prozentsatz von Raumnutzern berechnen, die mit den eingestellten klimatischen Bedingungen unzufrieden sind, der sog. PPD-Wert (Predicted Percentage of Dissatisfied). Nach den Ergebnissen von Fanger (1970)

wird deutlich, dass es selbst bei optimal eingestellten raumklimatischen Bedingungen mindestens fünf Prozent unzufriedene Raumnutzer geben kann. Bedingt ist dies durch die individuell unterschiedlichen physiologisch bedingten Klimaoptima der Raumnutzer.

Die PMV- und PPD-Werte beschreiben lediglich das thermische Behaglichkeitsempfinden des gesamten Körpers. Weitere Bedingungen können zu großen Unterschieden der lokalen Wärmestromdichte an der Hautoberfläche des Menschen führen, was eine lokale Unterkühlung oder Überwärmung der Haut und der darunter liegenden Schichten bewirken kann. Das wird mit den lokalen thermischen Behaglichkeitskriterien beschrieben (DIN EN ISO 7730:2006-05, 2005). Hierzu zählen insbesondere Zugluft, Strahlungsasymmetrie und Temperaturschichtung sowie warme/kalte Wände, Fußböden oder Decken. Für jeden dieser Faktoren gibt es ausgeprägte Zusammenhänge zum Grad der Unzufriedenheit. Dabei werden Konventionen festgelegt, welcher Prozentsatz an unzufriedenen Nutzern akzeptiert wird. Die Wirkung von Luftbewegungen wird z. B. mit dem sog. Zugluftrisiko (DR [%], Draft Risk) beschrieben. Zugluft ist ein als störend empfundener Luftzug, der zu einer lokalen Abkühlung infolge konvektiver Wärmeabgabe, insbesondere an unbedeckten zugluftempfindlichen Körperflächen (Nacken, Fußgelenke), führt. Neben der Luftgeschwindigkeit hängt die Wirkung zusätzlich von Lufttemperatur, Turbulenzgrad und körperlicher Aktivität des Menschen ab. Zur Beurteilung werden Wertekombinationen dieser Parameter gebildet, die z. B. zu einem Zugluftrisiko von 15 Prozent führen, d. h., bis zu 15 Prozent der Raumnutzer könnten sich über Zugluft beschweren.

Auch die zeitliche Veränderung des Raumklimas wirkt sich auf dessen Wahrnehmung aus. So werden gleichbleibende Klimagrößen über den Arbeitstag negativ bewertet. Verbunden mit sonstiger Monotonie (z. B. Arbeitsinhalte, andere Umgebungsfaktoren) kann dieser Reizmangel die Unzufriedenheit mit dem Klima verstärken (Peters, 1976). Besteht die Möglichkeit, Einfluss auf die Lufttemperatur in der Heizperiode zu nehmen, so hat das einen positiven Effekt auf die thermische Akzeptanz, wobei Art der Aktivität und Grad der Kleidungsisolation einen deutlichen Einfluss haben (Kuchen & Fisch, 2009). Hier kommt der neuere Ansatz von Hellwig (2014) zum Tragen, dass bei eingeschränkter Möglichkeit der Einflussnahme auf das Klima die Unzufriedenheit wächst (siehe Kapitel 4.1.3.). Das macht sich z. B. auch in der Zufriedenheit mit dem Raumklima unter warmen sommerlichen Bedingungen bemerkbar. Demnach ist die Zufriedenheit in Gebäuden mit natürlicher Lüftung (Fensterlüftung) oder mit rein mechanischer Lüftung deutlich höher als in Gebäuden mit Klimaanlage. Bei einem PMV-Wert von 0,5 (Klima wird als leicht warm empfunden) waren in einem Gebäude, in dem die Nutzer das Klima durch Öffnen und Schließen der Fenster selbst beeinflussen konnten, ca. 20 Prozent der Nutzer unzufrieden, während bei gleichem Klimaempfinden in klimatisierten Bürogebäuden ca. 40 Prozent unzufriedene Nutzer in einer Feldstudie ermittelt wurden (van der Linden, Boerstra & Kurvers, 2002). Zudem führt die Nähe zu einem Fenster, das offenbar ist, zu einer höherer Zufriedenheit (Newsham, Veitch & Charles, 2008). Zudem wurden hier deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt, Frauen waren viermal häufiger „sehr unzufrieden“ bei gleichem Klimaempfinden als Männer. Das wird in einer Laborstudie untermauert, wonach Frauen das gleiche Klima kühler empfinden und damit eher unzufrieden als Männer sind. Demnach unterscheiden sich Männer und Frauen in der thermischen Wahrnehmung deutlich, was zu unterschiedlichen Neutral- und Komfortbedingungen für beide Geschlechter führt. Im Kühlfall benötigen Frauen z. B. für thermische Zufriedenheit eine ca. 1,2 K (Kelvin) höhere Lufttemperatur (Schellen, Loomans, de Wit, Olesen & van Marken Lichtenbelt, 2012). Noch stärkere Effekte verbunden mit psychischen Störungen wurden bei einer Feldstudie (Long, He, Wang, Zhan & Li, 2000) im Vergleich zwischen klimatisierten Büroräumen ($n = 128$) und natürlich belüfteten Büros ($n = 104$) festgestellt. Somatische Störungen, Zwang, Probleme bei zwischenmenschlichen Beziehungen, Depression, Angst

und Feindseligkeit waren bei Frauen in klimatisierten Räumen mit optimalen Klimaparametern signifikant höher als bei den Frauen in den natürlich belüfteten Büros. Diese psychischen Gesundheitsprobleme werden offensichtlich durch die synergetische Wirkung von mehreren Faktoren verursacht.

Dass im Sommer in Räumen ohne maschinelle Kühlung, in denen man die Fenster öffnen kann, hohe Temperaturen bis über 30 °C noch als behaglich empfunden und von den Nutzern akzeptiert werden, ist mit physiologischen und verhaltensregulatorischen Anpassungsprozessen (Kampmann, 2000) verbunden und der Erwartungshaltung der Nutzer, dass von einem klimatisierten Gebäude eine kühle Temperatur, von einem natürlich belüftet dies nicht erwartet wird. Dieser adaptive Ansatz wurde von der Normung aufgegriffen und eine behagliche operative Raumtemperatur (DIN EN ISO 15251:2012-12, 2012) eingeführt. Diese wird in Abhängigkeit eines gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur gebildet. Eine erste Umsetzung in der Regelsetzung fand diese Norm im „Klimaerlass“ (2008). Demnach sind alle Neu-, Um- und Erweiterungsbauten des Bundes so zu planen und auszuführen, dass gesundheitlich zuträgliche Raumtemperaturen in normalen Büroräumen im Sommer generell ohne Einsatz maschineller Kühlung eingehalten werden können. Die Raumtemperaturen müssen dabei den o. g. Anforderungen der DIN EN ISO 15251:2012-12 (2012) genügen.

Die oben dargestellte zum Teil inhomogene Studienlage wird in einer umfangreichen Literaturzusammenfassung (Nordamerika/USA) dahingehend ausgewertet, um Möglichkeiten der Verbesserung der thermischen Behaglichkeit mit Bezug zu den Energiekosten der Gebäude (Heizung, Klimatisierung) abzuleiten (Brager, Zhang & Arens, 2015). Demnach ist die Schaffung des heute üblichen thermisch monotonen standardisierten Raumklimas einerseits äußerst energieintensiv, führt aber gleichermaßen nicht zu den gewünschten Komfort- und Gesundheitseffekten bei den Beschäftigten. So fühlen sich Personen in natürlich belüfteten Gebäuden im Vergleich zu Personen in klimatisierten Gebäuden über einen deutlich breiteren Temperaturbereich komfortabel. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt eine weitere Literaturstudie von Roaf, Brotas und Nicol (2015). Ein in engen Bereichen kontrolliertes uniformes Raumklima erfordert einen hohen Energieverbrauch und führt zu hohen Kosten und negativen ökologischen Folgen, was auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu betrachten ist.

In jüngerer Zeit wird ein neuer Ansatz zum Erreichen thermischer Zufriedenheit verfolgt. Es wird eine thermisch inhomogene Umgebung erzeugt, wobei gezielt nur die Körperbereiche beheizt bzw. gekühlt werden, die besonders empfindlich für das thermische Empfinden sind. Sogenannte „personally controlled task ambient systems“ (TAC) heizen nur Füße und Hände im Heizfall bzw. kühlen nur die Hände und das Gesicht im Kühlfall. Es wird konvektiv warme/kalte Luft eingeblasen oder Fuß-/Handauflageflächen werden durch Wärmeleitung geheizt bzw. gekühlt. Andere Bezeichnungen für diese Systeme sind „personal environmental control systems“ (PEC), „personal ventilation systems“ oder persönliche Lüftungsanlagen. Diese Systeme bieten die Möglichkeit der Einstellung eines individuellen Komforts, ohne das gesamte Gebäude zu kühlen oder zu heizen. Es ist ein Konzept, das sich auf das thermische Befinden einer Person fokussiert, nicht aber auf den thermischen Zustand eines ganzen Gebäudes. Diese Systeme können automatisch voreingestellt oder frei durch persönliche Einstellung der Nutzer betrieben werden. Sowohl eine Feldstudie von Akimoto et al. (2010) als auch eine Laborstudie von Zhang et al. (2010) zeigen, dass diese Systeme ein komfortables Empfinden über einen großen Lufttemperaturbereich von +18 °C bis +30 °C erzeugen können, wobei konvektive Systeme besser wirken als Heizflächen und die persönliche Einstellung durch die Nutzer günstiger ist. Diese nur lokal wirkende Heizung/Kühlung ist gleichzeitig mit einer deutlichen Energie-

einsparung (30 bis 40 Prozent) verbunden (Zhang et al., 2010). Geringe Probandenzahlen ($n < 20$) und der Kontext zum subtropischen Umgebungsklima (Japan) limitieren diese Ergebnisse. Der Einfluss auf die Leistung war in beiden Studien nur gering, andere Studien konnten dagegen Effekte zur Leistungsverbesserung feststellen (Brager et al., 2015). Das enorme Potenzial der TAC-Systeme bezüglich Komfortverbesserung bei gleichzeitiger Energieeinsparung wird in der Literaturzusammenstellungen von Roaf et al. (2015) und Brager et al. (2015) deutlich. Die Auswertung von Simulationsergebnissen zeigt dabei, dass eine Erweiterung des Temperaturbereichs um 1 K (kühler oder wärmer), in dem sich Angestellte komfortabel fühlen, zu einer jährlichen Energieeinsparung von ca. zehn Prozent führen könnte.

Im Zusammenhang mit der Anwendung der TAC-Systeme wird von Parkinson und de Dear (2014) ein neues Konzept zur Beschreibung von thermischer Behaglichkeit aufgestellt, das sich von Vorgängermodellen (Fanger, 1970) deutlich unterscheidet. Das als „thermische Allästhesie“ bezeichnete Konzept geht von der Annahme aus, dass thermisches Behagen nicht bei thermischer Neutralität in einer thermisch uniformen Umgebung entsteht, sondern durch eine thermisch nicht uniforme Umgebung. Das Prinzip ist dabei, dass ein peripherer thermischer Reiz der Haut, der ein thermisches Ungleichgewicht (thermal load-error) ausgleicht oder diesem entgegenwirkt, als angenehm wahrgenommen werden kann (positive Allästhesie/thermisches Vergnügen); im Gegensatz dazu gibt es negative Allästhesie, wenn der Reiz als unangenehm empfunden wird („hedonische Valenz“). Das wird durch die Wirkung eines bestimmten peripheren Reizes auf die Thermoregulation des Körpers in Bezug zum aktuellen thermischen Zustand einer Person bestimmt. So wird z. B. bei erhöhter Körperkerntemperatur eine „kalte Brise“ als angenehm empfunden, in einem thermisch neutralen Körperzustand würde man dies als kalt empfinden. Zu begründen ist das damit, dass innerhalb der thermisch neutralen Zone die thermische Wahrnehmung in einem starken Zusammenhang mit der Änderungsrate der lokalen Hauttemperatur steht (räumliche Allästhesie/special alliesthesia). Der klassische Ansatz der thermischen Behaglichkeit (DIN EN ISO 7730:2006-05, 2005; Fanger, 1970) basiert dagegen auf Klimakammerexperimenten, die in erster Line negative Allästhesie fokussieren, z. B. Zugluft (draught) oder Temperaturasymmetrien. Lokale Hauttemperaturen sind aber natürlicherweise inhomogen („warmer Kopf, kalte Füße“) und das Konzept der positiven Allästhesie kommt dem entgegen, was praktisch z. B. mit den TAC-Systemen erzeugt werden kann (Roaf et al., 2015).

Zusammenfassung Befinden

Zur Gestaltung eines thermisch behaglichen Raumklimas liegen gesicherte Modelle (PMV/PPD) vor, mit denen der Prozentsatz unzufriedener Raumnutzer bei gegebenen Randbedingungen (Kombinationen aus Temperatur, Feuchte und Geschwindigkeit der Luft, Wärmestrahlung der Umschließungsflächen, Aktivität und Bekleidung der Raumnutzer) berechnet werden kann. Zudem treten lokale Effekte (z. B. Zugluft, Strahlungsasymmetrie, kalte Fußböden) auf, die zu Unbehaglichkeit und Beschwerden führen und das Befinden beeinträchtigen. Während dieses Modell von minimal fünf Prozent unzufriedener Nutzer ausgeht, zeigt die Praxis ein oft deutlich höheres Beschwerdeverhalten. Unter sommerlichen Bedingungen ist die Zufriedenheit mit dem Raumklima in Gebäuden mit natürlicher oder mechanischer Lüftung deutlich höher als in Gebäuden mit Klimaanlage. In natürlich belüfteten Gebäuden wird dabei ein breiterer Temperaturbereich als komfortabel empfunden als in klimatisierten.

Ein als „thermische Allästhesie“ bezeichnetes neues Konzept geht von der Annahme aus, dass thermisches Behagen nicht bei thermischer Neutralität in einer thermisch uniformen Umgebung entsteht (wie beim PMV-/PPD-Modell), sondern durch eine thermisch nicht

uniforme Umgebung. Um dies zu erreichen, werden gezielt nur die Körperbereiche beheizt bzw. gekühlt, die besonders empfindlich für das thermische Empfinden sind. Sogenannte „personally controlled task ambient systems“ (TAC) heizen nur Füße und Hände im Heizfall bzw. kühlen nur die Hände und das Gesicht im Kühlfall. Diese Systeme bieten die Möglichkeit der Einstellung eines individuellen Komforts ohne das gesamte Gebäude zu kühlen oder zu heizen.

Grundsätzlich lässt sich ein indirekter Einfluss auf die psychische Gesundheit infolge von Unbehaglichkeit, Unzufriedenheit oder Ärger über das Klima ableiten. Dabei fungiert aber mitunter das Klima im Sinne einer „Stellvertreterfunktion“, dem Beschwerden oder Ärgernisse zugeordnet werden, obwohl andere Probleme dafür die Ursache sein können.

4.1.3. Beschreibung zum Merkmal A und Motivation sowie Arbeitszufriedenheit

Wirkung des Raumklimas auf die Arbeitszufriedenheit

Die Beurteilung des Raumklimas und die Zufriedenheit damit hängen zudem stark vom Arbeitskontext ab, was unter dem Aspekt der psychischen Gesundheit von Bedeutung ist. Wird die Arbeitssituation allgemein negativ bewertet und die Beschäftigten sind damit unzufrieden, werden gleichzeitig auch die Raumklimabedingungen als unbefriedigend bewertet (Radl, 1983). In Auswertung der Daten der ProKlimA-Studie (Bischof et al., 2003) konnte gezeigt werden, dass die thermische Behaglichkeit und Zufriedenheit in deutlicher Wechselwirkung mit extraphysikalischen Bedingungen stehen, zu denen neben demografischen Charakteristika auch Tätigkeitsmerkmale, Arbeitszufriedenheit und die Belüftungsart des Gebäudes oder Raumes gehören (Bischof, Hellwig & Brasche, 2007). Die Wirkung des Raumklimas auf die Arbeitszufriedenheit ist insofern praktisches Erfahrungswissen und entspricht dem Ansatz der positiven Wirkung der thermischen Behaglichkeit auf den Raumnutzer. Mit einer empirischen Untersuchung des Einflusses von Lufttemperatur und -feuchte auf Leistungsfähigkeit und Arbeitszufriedenheit mit Fragebogen und Selbstausskunft in einer medizinischen Einrichtung konnte eine signifikante Minderung der Arbeitszufriedenheit in Abhängigkeit vom Raumklima bereits von Katz (1988) festgestellt werden. Zurückgeführt wird das auf die subjektiv empfundene allgemeine Leistungsbeeinträchtigung und der damit verbundenen Leistungshemmung, was letztlich einen Einfluss auf die Arbeitszufriedenheit hat. Zudem wurde erkennbar, dass das Raumklima offenbar weniger auf die Arbeitszufriedenheit derjenigen Personen wirkt, die die klimatischen Bedingungen des Arbeitsplatzes selbstständiger regulieren können. Eine Feldstudie (n = 779 (Veitch, Charles, Farley & Newsham, 2007)) zeigt den Zusammenhang von Arbeitszufriedenheit mit physikalischen Arbeitsumgebungsfaktoren (Klima, Licht, Lärm, Luftqualität), nach der Zufriedenheit mit der Arbeitsumgebung auch im Job zufriedener macht. Auch ist der umgekehrte Effekt feststellbar. Bei sommerlich heißem Außenklima und Büroarbeit in klimatisierten Räumen führt eine höhere Arbeitszufriedenheit zu thermisch „neutralem“ Empfinden, d. h., eine höhere Arbeitszufriedenheit ist mit einem niedrigeren mittleren Wärmeempfinden verbunden und zeigt möglicherweise eine höhere Zufriedenheit mit dem gegebenen Klima an (Erlandson, Cena, Dear & Havenith, 2003).

Wahrgenommene Kontrollmöglichkeit als Mediator oder Moderator für Zufriedenheit mit dem Raumklima

Eine weitere Facette der Zufriedenheit mit dem Klima liegt in der Möglichkeit der individuellen Einflussnahme darauf, was letztlich auf die Motivation und Zufriedenheit mit der Arbeit rückkoppelt. Das Raumklima wird in neueren Gebäuden durch Gebäude- bzw. Raumautomation geregelt. Dabei folgen Ingenieure bei der Entwicklung der Automationsalgorithmen den raumklimatischen Anforderungen, die in Verordnungen, Normen und Richtli-

nien festgelegt sind. Die Zufriedenheit mit dem Raumklima müsste demnach hoch sein. Trotzdem zeigen Befragungen immer wieder, dass die Unzufriedenheitsrate höher als erwartet ist (siehe z. B. Bischof et al. (2003)). Bereits die Studie von Scholl (1987) zeigte, dass große Klimaanlageanlagen, die dem einzelnen Nutzer keine Einflussmöglichkeit auf das Raumklima erlauben, sich negativ auf die Befindlichkeit der Betroffenen auswirken (geringe Zufriedenheit, Depressivität). Die Nutzung von Thermostaten zur individuellen Regulierung der Raumtemperatur und von Fenstern, die zum Lüften geöffnet werden konnten, wirkte sich dagegen sehr positiv auf die mit verschiedenen Fragebögen erhobenen Marker aus. Wie dieses Beispiel zeigen auch Untersuchungen anderer Wissenschaftler, dass der „wahrgenommenen Kontrolle“ oder „empfundenen Möglichkeit der Einflussnahme“ eine entscheidende Rolle zukommt. Eine wahrgenommene Einschränkung der Möglichkeit zur individuellen Anpassung des Raumklimas kann nicht nur zu Unzufriedenheit führen, sondern auch zu erhöhten Beschwerderaten und bei unwirksamer Beschwerde zu Stress und sogar zu Befindlichkeitsstörungen (Hellwig, 2014; 2015a; 2015b). Bisher wurde Zufriedenheit mit dem Raumklima mit einem Zustand der Behaglichkeit gleichgesetzt. Zufriedenheit mit dem Raumklima entsteht nach Hellwig (2015a) nicht nur im Zustand der Behaglichkeit, sondern auch, wenn im Falle von Unbehaglichkeit eine Kontrollmöglichkeit erfolgreich vom Gebäudenutzer angewendet wurde und die Veränderung des Raumklimas in Richtung des gewünschten Zustands bereits eingesetzt hat. Falls z. B. in einer Situation plötzlich Unbehaglichkeit auftritt, die betreffende Person aber die Möglichkeit besitzt, durch eine erfolgreiche Handlung die Situation in ihrem Sinne zu beeinflussen, wird durch diese kurzfristig unbehagliche Situation trotzdem Zufriedenheit hervorgerufen. Eine hohe wahrgenommene Kontrolle ist nicht nur wichtig in einer Situation, in der Unbehaglichkeit auftritt. Alleine das Wissen um die Option zur Beeinflussung im Falle von Unbehaglichkeit dürfte sich positiv auf die Raumklimazufriedenheit auswirken. Eine weitere Facette dabei sind die in mit hoher Automation ausgerüsteten Gebäuden häufig anzutreffenden unübersichtlichen und mit vielen Wahlmöglichkeiten verbundenen Bedienelemente. Es tritt eine Überbelastung durch zu viele Informationen und Unsicherheit bei der Betätigung auf. Ein solcher Konflikt kann auch zu einer Reduzierung der wahrgenommenen Kontrollmöglichkeit führen.

Wenige Untersuchungen setzten die wahrgenommene Kontrolle auch in Bezug zur Arbeitsleistung. So zeigt eine Onlinebefragung von 34.000 Bürobeschäftigten in 215 Gebäuden eine hohe Korrelation zwischen Zufriedenheit mit dem Klima und Selbsteinschätzung der wahrgenommenen Produktivität (Huizenga, Abbaszadeh, Zagreus & Arens, 2006). Die Möglichkeit zur persönlichen Kontrolle des Raumklimas (z. B. über Thermostate oder zu öffnende Fenster) hatte dabei einen positiven Einfluss auf die Nutzerzufriedenheit. Analogien zu allgemeingültigen psychologischen Konstrukten legen nahe, dass eine als gering wahrgenommene Kontrolle zu vergleichbaren Effekten führen kann, wie „erlernte Hilflosigkeit“ in Bezug auf das Raumklima. Modelle aus der Umweltpsychologie zeigen, dass fehlgeschlagene Bewältigungsstrategien Stress auslösen können. Ein erstes umfassendes theoretisches Modell zur „wahrgenommenen Kontrolle“ hat Hellwig (2015a) entwickelt. Demnach tritt Zufriedenheit mit dem Raumklima nicht nur bei den klassischen „Komfort-Bedingungen“ (DIN EN ISO 7730:2006-05, 2005) ein, sondern auch unmittelbar nach einer erfolgreichen „Regelaktion“, auch wenn die thermoregulatorische Behaglichkeit (Homöostase) noch nicht erreicht worden ist (Vergnügen). Wenn man den Nutzern die Möglichkeit zur Steuerung des Klimas gibt, kann das in höhere Ebenen der Zufriedenheit führen und sich damit positiv auf die Motivation und Arbeitszufriedenheit auswirken. Eine hohe wahrgenommene Kontrolle beeinflusst die Bewertung des Raumklimas positiv und hat somit eine positive Auswirkung auf die psychische Befindlichkeit. Hellwig (2015b) stellt zudem fest, dass die verfügbaren Kontrollmöglichkeiten nicht nur die vom Gebäude, der Anlagentechnik oder der Gebäudeautomation bereitgestellten Optionen umfassen. Auch bestimmte Verhaltensnormen in Organisationen, z. B. ein Dresscode oder Abstimmungs-

prozesse in Gruppen von Personen, sind mit dem Begriff der verfügbaren Kontrollmöglichkeiten verbunden. Es kann als eine Einschränkung empfunden werden, wenn vor dem Ausüben einer Handlung der Bedarf besteht, dies erst mit anderen Raumnutzern verhandeln zu müssen („Darf ich das Fenster öffnen?“).

Die wahrgenommene Kontrollmöglichkeit oder die empfundene Möglichkeit einer Person, das Raumklima zu beeinflussen, hängt von einer Reihe von Faktoren ab und wird von Hellwig (2015b) wie folgt zusammenfassend beschrieben. Die Erfahrungen mit dem Raumklima am Arbeitsplatz, die Kompetenzen und Fähigkeiten sowie das Wissen einer Person über die potenziellen Möglichkeiten zur Beeinflussung des Raumklimas, die Erfahrungen mit früheren Raumklimasituationen am aktuellen oder früheren Arbeitsplatz, die individuell gewichtete Wichtigkeit einzelner Raumklimaparameter, die aktuellen Präferenzen der Person sowie Einschränkungen, die aus den baulichen Gegebenheiten, der Anlagentechnik und der Betriebsweise der Anlagentechnik oder auch der sozialen Umgebung resultieren, sind im Begriff der wahrgenommenen Kontrollmöglichkeit beinhaltet.

Zusammenfassung Motivation/Arbeitszufriedenheit

Wird die Arbeitssituation allgemein negativ bewertet und sind die Beschäftigten unzufrieden, werden gleichzeitig auch die Raumklimabedingungen als unbefriedigend bewertet. Zudem werden gleichbleibende Klimagrößen über den Arbeitstag negativ bewertet. Verbunden mit sonstiger Monotonie (z. B. Arbeitsinhalte, andere Umgebungsfaktoren) kann dieser Reizmangel die Unzufriedenheit mit dem Raumklima verstärken und letztlich zu Inaktivität und Gleichgültigkeit mit der Arbeit führen.

Bei eingeschränkter Möglichkeit der Einflussnahme auf das Raumklima wächst die Unzufriedenheit. Ein hoher Grad an Kontrollmöglichkeiten beeinflusst die Bewertung des Raumklimas dagegen positiv und kann förderlich auf psychische Befindlichkeiten wirken. Zufriedenheit mit dem Raumklima entsteht, wenn eine Kontrollmöglichkeit erfolgreich vom Gebäudenutzer angewendet wurde und die Veränderung des Raumklimas in Richtung des gewünschten Zustandes bereits eingesetzt hat („Konzept der wahrgenommenen Kontrolle“). Klimaanforderungen der Raumnutzer sind kontextabhängig, man will es sich einstellen, Einflussnahme ausüben und reagiert auf eine „erfolgreiche Aktion“ mit Zufriedenheit und weniger Stress. Dabei ist aber „Benutzerfreundlichkeit“ auch für Gebäude notwendig, da der Mensch grundsätzlich viele Auswahlmöglichkeiten schätzt, jedoch es bei zu großer Auswahl zu Stress bei der Entscheidung für die beste Variante kommen kann.

4.1.4. Beschreibung zum Merkmal A und Leistung

Wirkung erhöhter Raumtemperaturen auf Leistungsfähigkeit von Beschäftigten in technologisch nicht belasteten Arbeitsstätten

Auch in Arbeitsstätten, die bisher keiner erhöhten Wärmebelastung ausgesetzt waren, ist bedingt durch Energieeinsparung bei der Klimatisierung sowie auch durch die globale Erwärmung der Erde mit einem saisonalen Anstieg der Raumtemperaturen insbesondere in den Sommermonaten zu rechnen. Nur mit einer Klimatisierung kann das Raumklima optimal eingestellt werden (Richter, 2007). Ohne Klimatisierung können in Bürogebäuden Lufttemperaturen oberhalb +26 °C bis +35 °C auftreten, selbst wenn sie über einen sommerlichen Wärmeschutz nach den anerkannten Regeln der Technik verfügen. Die Beschwerdefrequenz der Raumnutzer steigt deutlich und es wird über Müdigkeit, Schläfrigkeit, Leistungsminderung, sinkende Konzentration und Anstrengungsbereitschaft sowie über erhöhte Beanspruchung berichtet. Neben verstärkten physiologischen Reaktionen zur Thermoregulation – insbesondere dem Anstieg der Feuchtigkeitsabgabe (Schwitzen), der Hauttemperatur und Herzfrequenz – wurde in Studien ein messbarer Abfall der Leistungs-

fähigkeit beobachtet (Parsons, 2000; Parsons, 2003). Die Minderung der rein körperlichen Leistungsfähigkeit setzt dabei eher ein als bei den kognitiven und psychomotorischen Fähigkeiten. Die Effekte treten bereits oberhalb des Behaglichkeitsbereiches auf, wobei die Ausprägung je nach betrachtetem Leistungsparameter unterschiedlich ist.

Eine Laborstudie deutet auf die theoretische Möglichkeit hin, dass in Innenräumen Lärm, Hitze sowie Licht in Interaktion auf kognitive Leistungen (Aufmerksamkeit, Langzeit-/ Kurzzeit-Erinnerungsvermögen und Problemlösung) wirken sowie dass Frauen eine bessere Leistung als Männer bei Problemlösungsaufgaben zeigen und sich mehr Worte merken können (Hygge & Knez, 2001). Auch eine Feldstudie deutet darauf, dass Wärme und Lärm in Kombination negativ auf Leistung bei Büroarbeit insbesondere im Großraumbüro wirken, wobei die Wechselwirkungen aber noch unklar sind (Witterseh, Wyon & Clausen, 2004). Dabei wurde eine Abnahme der selbst eingeschätzten Leistung und Konzentration beobachtet. Diese beiden Studien deuten auf die Komplexität des Problems hin und dass verallgemeinerbare Aussagen zur Leistungsbeeinflussung formal nicht ableitbar sind. Eine darauf abzielende zusammenfassende Auswertung verschiedener dazu ausgeführter Studien zeigt im Mittel einen Leistungsabfall (kognitive und psychomotorische Tests) von 1,8 bis 2,2 Prozent je Kelvin (Seppänen & Fisk, 2004). Weitere Studien präzisierten diese Aussage (Seppänen, Fisk & Lei, 2006). Dabei wurden 24 verschiedene Studien betrachtet und in Abhängigkeit von der Art der Büroarbeit und der Anzahl an Testpersonen ein Gewichtungsfaktor eingeführt und normiert. Damit ergibt sich ein Maximum der Leistungsfähigkeit bei einer Temperatur von ca. +22 °C. Bei +30 °C tritt ein Abfall der Leistungsfähigkeit um ca. neun Prozent auf. Einige Ergebnisse zeigten dabei, dass der angenehmste Temperaturbereich optimale Arbeitsergebnisse garantiert, während andere auf bessere Leistung außerhalb des Komfortbereichs aufgrund der Erregungswirkung der Umgebung hinweisen. Mehrere Studien unterstützen die Hypothese eines Temperaturbereichs (+21,5 bis +24,8 °C) ohne signifikante Wirkung auf die Produktivität (Seppänen, Fisk & Faulkner, 2004). Die betrachtete Leistung und die Art ihrer Messung (z. B. Schreiben, Gedächtnis, numerische Aufgaben, Anzahl/Dauer Telefongespräche, Fehlerraten beim Schreiben, Morsen oder Rechnen), die Auswahl der Probanden (Anzahl 11 bis 50, Art wie Angestellte aus Büros/Callcenter, Studenten, Schüler, Fabrikarbeiter) aber auch die Wahl der Versuchsbedingungen (Dauer 0,5 bis 3 Stunden, verschiedene Temperaturbereiche zwischen +19 und +38 °C) erfolgte bei den einbezogenen Studien sehr unterschiedlich. Aufgrund der vielfältigen Randbedingungen ist eine allgemeingültige Aussage zur Leistungsfähigkeit bis dahin nur bedingt ableitbar.

Hohe Lufttemperaturen in Kombination mit hohen Luftfeuchten (d. h. hohe Enthalpie) zeigen in der Selbstauskunft deutliche Ermüdungserscheinungen, Kopfschmerzen und Schwierigkeiten, klar zu denken, aber keine signifikanten Auswirkungen auf die Ausführung der Aufgaben (Leistung) (Fang, Wyon, Clausen & Fanger, 2004). Eine weitere Schlussfolgerung ist, dass die Produktivität unter solchen Bedingungen an einem realen Arbeitsplatz gegen Ende eines langen Arbeitstages reduziert werden kann. Im Rahmen einer umfassenden Onlinebefragung (n = 34.000!) von Büroangestellten konnte eine sehr hohe Korrelation zwischen der Zufriedenheit mit dem Raumklima und der Selbsteinschätzung der Produktivität festgestellt werden (Huizenga et al., 2006). Eine Laborstudie (n = 12) befasst sich mit simulierter Büroarbeit zum Einfluss der thermischen Unbehaglichkeit (+22 zu +30 °C) auf die kognitive Leistung (Aufmerksamkeit, Kopfrechnen, Text schreiben), thermisches Empfinden, Gemütslage und psychische Arbeitsbelastung (Lan, Wargocki & Lian, 2011; Lan, Wargocki, Wyon & Lian, 2011). Thermische Unzufriedenheit führt dabei zu sinkender Leistungsbereitschaft und erhöhten negativen Effekten der gemessenen Leistungsfähigkeit mit ähnlichen Werten wie frühere Studien (Seppänen et al., 2006).

Andere Studien deuten darauf hin, dass die kognitive Leistungsfähigkeit mit steigender Lufttemperatur weniger stark abfällt (Hellwig, Nöske et al., 2012; Wargocki, Dalewski & Haneda, 2009). Die von Hellwig, Nöske et al. (2012) unter realitätsnahen Bedingungen (vier Stunden Büroarbeit und Leistungstests bei t_a +23 bis +26 °C, +29 bis +32 °C und +33 bis +35 °C, bei ca. rH 31 bis 46 Prozent) erzielten Ergebnisse zeigen, dass trotz deutlicher physiologischer Beanspruchungsreaktionen (Hautfeuchte/-temperatur steigen signifikant) in einem als unbehaglich warm empfundenen Klima und sinkender Anstrengungsbereitschaft der Mensch offensichtlich in der Lage ist, bei der Büroarbeit Hitzebeanspruchung im Interesse mentaler Leistung zu kompensieren. Eine Laborstudie mit simulierter Büroarbeit ($n = 21$, 8,5 Stunden Exposition, $t_a = +28$ °C) deutet darauf hin, dass die kontinuierliche Anstrengung zur Kompensation der thermischen Belastung zur Aktivierung des Herz-Kreislauf-Systems und als Abwehrreaktion zu Bluthochdruck führen könnte (Lan, Lian & Pan, 2010). Eine andere Laborstudie ($n = 96$, +20 °C, +23 °C, +26 °C, rH ca. 60 Prozent, Expositionszeit vier Stunden) mit jungen Erwachsene bzgl. mentaler Leistungsfähigkeit (Erregung/Wachheit, Konzentration, Kreativität) lässt den Schluss zu, dass die niedrigeren Temperaturen mit Kühleempfinden den thermischen Komfort zwar reduzieren, jedoch die mentale Wachsamkeit und Erregung erhöhen und damit Aufmerksamkeit, Ausdauer und Durchhaltevermögen fördern (Tham & Willem, 2010). Allerdings limitieren Probandenwahl und Ausführung der Versuche in einer subtropischen Region die Verallgemeinerungsfähigkeit.

Urlaub, Werth, Steidle, van Treeck und Sedlbauer (2012) stellten in Auswertung der beispielhaft dargestellten inkohärenten Studienlage in ihrem Ansatz einer Metaanalyse fest, dass derzeit nicht ausreichend viele Studien zur Verfügung stehen, um eine gesicherte Aussage über die Auswirkung einer moderaten Wärmebelastung auf den Menschen ableiten zu können. Demnach wird z. B. die Schnelligkeit einer Aufgabenbearbeitung viel stärker beeinflusst als die Genauigkeit. Auch wurde festgestellt, dass die Effektstärke der Tests zur Leistungsfähigkeit mit der Expositionszeit abnimmt. Allerdings wurden bisher nur Studien bis ca. vier Stunden Expositionszeit ausgeführt. Bei noch längerer Expositionsdauer könnte die spürbar erhöhte Anstrengung und Müdigkeit auch auf die Ergebnisse der Leistungstests wirken. Zudem ist mit einer Leistungsminderung bei Arbeit unter Zeitdruck oder erhöhter Aufgabenschwere zu rechnen (Bröde, Rinkenauer, Jaschinski & Schütte, 2013). Auch wurden bei den Studien große individuelle Unterschiede festgestellt. Es gibt Personen, die bei Wärmebelastung keine Leistungsminderung zeigen, während bei anderen dies deutlich eintritt, im Median aller Probanden ist jedoch keine signifikante Leistungsänderung feststellbar (Hellwig, Nöske et al., 2012). Lan, Wargocki und Lian (2014) stellten in einer Laborstudie eine stärkere Abnahme der Aufgabenleistung fest, wenn den Probanden zusätzlich zur thermischen Belastung (+20 °C/+30 °C) ein Feedback zu ihrer Aufgabenerfüllung gegeben wurde. Dies ist allerdings zumindest teilweise durch den Versuchsaufbau und die Art der Messung der Aufgabenleistungsfähigkeit zu begründen. Leistung wird von Lan et al. (2014) als Gesamtleistung, die gleichermaßen Geschwindigkeit und Genauigkeit einer Aufgabenerfüllung in einem Leistungsindex mit gleichen Gewichten beider Komponenten integriert, verstanden und als Quotient aus Reaktionszeit (Geschwindigkeit, z. B. Zeit zur Erfüllung einer Aufgabe) geteilt durch Genauigkeit der Antworten (z. B. korrekte Zeichen oder Einheiten pro Minute) errechnet. Probanden, die ein Feedback zu ihren Aufgaben erhielten, wurden durch ein Computerprogramm auf ihre Fehler hingewiesen und mussten diese unmittelbar korrigieren, bevor sie zur nächsten Aufgabe zugelassen wurden. Somit reduzierte sich die Geschwindigkeit der Aufgabenleistung zugunsten der Genauigkeit in dieser Gruppe und Personen, die weniger akkurat waren und mehr Fehler machten, waren daher langsamer. Dadurch verschlechtert sich auch der integrierte Leistungsindex im Mittel. Die Autoren argumentieren für die Verwendung eines solchen berechneten Indexes für die Messung von Gesamteffekten, da einige Versuchsper-

sonen dazu tendieren, Aufgabengenaugigkeit für eine bessere Geschwindigkeit zu opfern. Zudem ist es besonders in Bürosettings nicht einfach, schnelles aber inakkurates Antwortverhalten mit langsamem und genauem zu vergleichen. Zudem wurde von Lan et al. (2014) bei der Gruppe der Personen ohne Feedback zur Aufgabenleistungsfähigkeit ermittelt, dass sich bei höheren Temperaturen die Genauigkeit der Aufgabenerfüllung kaum änderte, während die Zeit für die Ausführung zunahm, was mit Aussagen von Urlaub et al. (2012) korrespondiert.

Zusammenfassung Leistung

In nicht klimatisierten Arbeitsräumen steigt in der warmen Jahreszeit bei hohen Raumtemperaturen die Beschwerdehäufigkeit der Raumnutzer und es wird über Müdigkeit, Schläfrigkeit, Leistungsminderung, sinkende Konzentration und Anstrengungsbereitschaft sowie über erhöhte Beanspruchung berichtet. Neben verstärkten physiologischen Reaktionen zur Thermoregulation wurde in verschiedenen Studien auch ein messbarer Abfall der kognitiven Leistungsfähigkeit beobachtet. Allerdings sind aufgrund der vielfältigen Randbedingungen (Probandenstruktur nach Anzahl, Alter, Geschlecht, Versuchsbedingungen nach Dauer und Temperaturen) und betrachteten Leistungsparametern (z. B. Schreib-/Rechenaufgaben, Kurz-/Langzeitgedächtnis, Fehlerraten, Mengen oder Dauer der Aufgabenlösung) diese Aussagen nur bedingt verallgemeinerbar. Zudem werden dabei Interaktionen bei der kombinierten Einwirkung von Wärme, Lärm und ungünstiger Beleuchtung auf die Leistungsfähigkeit beobachtet, jedoch bisher ohne klar ableitbare Zusammenhänge. Insbesondere bei Büroangestellten ist eine hohe Korrelation zwischen der Zufriedenheit mit dem Raumklima und der Selbsteinschätzung der Produktivität feststellbar.

4.2. Beschreibung zum Merkmal B „Klimatisch belastender Bereich (Hitze-/ Kältearbeit)“

Tab. 2 Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal B und den Outcomes

Outcomes	Sekundärstudien	Primärstudien				Sonstige*
		Interventionsstudien	Nicht-Interventionsstudien			
			Längsschnitt	Querschnitt	Sonstige	
Gesundheit (AV1)	1	0	0	0	0	28
Befinden (AV2)	0	0	0	0	0	0
Motivation, Arbeitszufriedenheit (AV3)	0	0	0	0	0	0
Leistung (AV4)	0	2	0	0	0	0

* nicht extrahierte Studien bzw. Literatur, Regelwerke, Normen und Handlungshilfen mit relevantem Bezug zur Wirkung des Umgebungsfaktors Raumklima (ohne Mehrfachnennung)

Im Themenbereich Hitze/Kälte ist vergleichsweise wenig Literatur im Kontext zur psychischen Gesundheit aus den letzten Jahren zu finden. Auch hier sind Interventionsstudien aufgrund der Simulationsmöglichkeit der extremen Klimabedingungen vertreten. Auch eine Sekundärquelle ist aufgrund der historisch gewachsenen Studienlage – ähnlich wie zum Thema „Thermische Behaglichkeit“ – vorhanden.

4.2.1. Beschreibung zum Merkmal B und Gesundheit

Hitzebelastungen infolge erhöhter Lufttemperatur gekoppelt mit hohen Luftfeuchten und Wärmestrahlung, oft in Verbindung mit durch dynamische Arbeit vermehrter Wärmeproduktion und dem Tragen stark isolierender Kleidung, löst die Intensivierung der Mechanismen der autonomen Thermoregulation aus, insbesondere eine erhöhte periphere Durchblutung der oberflächennahen Venen (Gefäßerweiterung), Erhöhung der Temperatur der Körperschale und vermehrte Schweißabgabe. Der Körper reagiert dabei insbesondere mit einer Steigerung von Körperkern- und Hauttemperatur (Hyperthermie) sowie mit einer Erhöhung der Herzschlagfrequenz (Thermopulse) und dem Absinken des Blutdrucks. Zudem wirkt der Mensch bewusst verhaltensregulatorisch der Überwärmung entgegen (z. B. Anpassung der Bekleidung, Minderung der Arbeitsschwere, gesteigerte Trinkmengen). Werden Belastungsgrenzen überschritten, kann es zu akuten Hitzeerkrankungen wie Hitzekollaps oder Hitzschlag (ab über +40 °C Kerntemperatur, Versagen der Thermoregulationsmechanismen) kommen. Übermäßiges Schwitzen und die damit verbundenen Elektrolyt- und Flüssigkeitsverluste können Hitzekrämpfe und Hitzeerschöpfung auslösen. Direkter Kontakt mit heißen Oberflächen oder intensive Einwirkung von Wärmestrahlung kann Verbrennungen verschiedenen Grads auslösen (Barrow & Clark, 1998; Kampmann, 2000; Schmidt, Thews & Lang, 2010; Wexler, 2002).

Kältebelastung infolge niedriger Lufttemperaturen wird in einer kalten Umgebung durch erhöhte Luftbewegung verstärkt. Der Körper reagiert thermoregulatorisch mit einer verringerten Hautdurchblutung und sinkender Hauttemperatur, um den Wärmeverlust zu senken. In der Folge sinken Temperatur von Körperschale und -kern (Hypothermie). Zur zusätzlichen inneren Wärmeerzeugung setzt ab einer Kerntemperatur von +35 °C makroskopisches Muskelzittern (Kältezittern) bei zunächst noch erhöhter Herzschlagfrequenz ein. Ab unter +32 °C Kerntemperatur setzt das Kältezittern aus, die Herzschlagfrequenz verringert sich und es kommt zu Bewusstseinsstörungen. Insbesondere wenig isolierte bzw. ungeschützte Bereiche der Extremitäten sowie im Gesicht können von lokalen Erfrierungen betroffen sein. Neben diesen akuten Wirkungen werden bei periodisch längeren Kälteexpositionen chronische Erkrankungen beobachtet wie vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom (Weißfingerkrankheit), Verringerung von Beweglichkeit und Geschicklichkeit, Erkrankungen der Atemwege und rheumatische Erkrankungen (Forsthoff, 1983; Müller-Arnecke & Hold, 1999; Parsons, 2003; Schmidt et al., 2010). Kurzzeitige periodisch verstärkte Durchblutung insbesondere der Finger (kälteinduzierte Vasodilatationen – CIVD) können hier einer Erfrierung entgegenwirken (Daanen, Koedam & Cheung, 2012). Eine aktuelle Zusammenfassung bestehender Literatur zum Thema Arbeit in kalten Innen- und Außentemperaturen und deren Wirkung auf Diabetes, Atemwegserkrankungen, Muskel-Skelett-Beschwerden, Hauterkrankungen und akute Kälteschäden (Unterkühlung, Erfrierung) sowie Auslösung von Unfällen (z. B. Ausrutschen, Stürzen) durch Kälte geben Makinen und Hassi (2009). In Abhängigkeit der Kälteexpositionen (verschiedene Berufsgruppen und Tätigkeiten), Alter und Geschlecht werden bis auf Diabetes bei allen Gruppen mehr oder weniger stark ausgeprägte negative Wirkungen auf die Gesundheit festgestellt. Eine einfache Übersicht zu den Krankheitsbildern lokal begrenzter Erfrierungen und pathologischer Unterkühlung des Gesamtkörpers (Hypothermie) gibt die S1-Leitlinie 002/041 (DGAUM 2012a)

Zusammenfassung Gesundheit

Auf eine vertiefende Darstellung der hinreichend bekannten gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze und Kälte soll hier verzichtet werden. Dazu liegt umfangreiche auf Evidenz basierte Sekundärliteratur vor, wie z. B. Bux and Kampmann (2014) und DGAUM (2012b). Auswirkungen auf die psychische Gesundheit bzw. eine direkte Wirkungskette zu den klimatischen Belastungen bei Hitze bzw. Kälte konnten im Rahmen dieses Reviews nicht abgeleitet werden. Da das Klima im Bereich der Hitze- und Kältearbeit technologisch bestimmt ist, besteht bei den Beschäftigten grundsätzlich keine Erwartungshaltung an bessere Klimabedingungen, Hitze oder Kälte gehören zur Arbeit. Mit angepassten Schutzmaßnahmen werden die negativen Auswirkungen auf die Gesundheit reduziert, was letztlich auch zu einer positiven Wahrnehmung durch die Beschäftigten beiträgt.

4.2.2. Beschreibung zum Merkmal B und Leistung

In zusammenfassender Auswertung zahlreicher bis in die 1950er-Jahre zurückreichender Studien ist festzustellen, dass **Arbeit unter Hitzebelastung** i. d. R. zu einer Reduzierung der kognitiven Leistung führt und die Wahrscheinlichkeit von Unfällen/Beinaheunfällen erhöht (Parsons, 2003). Allerdings zeigten die verschiedenen Studien deutliche Unterschiede in der Ausrichtung in Abhängigkeit der Hitzebelastung (gemessen am WBGT –Index - wet bulb globe temperature, DIN EN 27243:1993) und Expositionszeit. Bei gleicher z. T. hoher Belastung (WBGT > 35 °C) reichen die Ergebnisse von „signifikante[r] Minderung“ und „partielle[r] Minderung“ über „keine Änderung“ bis „Verbesserung“ der kognitiven Leistung. Bei rein „motorischen“ Aufgaben hingegen ist bei einem WBGT-Wert von ca. mehr als 30 °C eine „signifikante Minderung“ zu verzeichnen. Eine neuere Laborstudie bestätigt dies, wo in einer Klimakammer (n = 10 Männer, 1,5 Stunden Expositionszeit bei mittelschwerer Arbeit) der Einfluss einer heißen feuchten Umgebung (WBGT 30 °C/relative Luftfeuchte 70 bis 75 Prozent) in Verbindung mit dem Einsatz von Kühlwesten auf die mentale Leistungsfähigkeit (O'Neal & Bishop, 2010) untersucht wurde. Es wurden Kurzzeitgedächtnis, Rechnen und Reaktionszeit geprüft. Es konnten insgesamt im Mittel keine signifikanten Unterschiede bei der Lösung einfacher mentaler Aufgaben festgestellt werden. Die Ergebnisse zwischen den Einzelpersonen variierten jedoch stark von sehr negativer bis sehr positiver oder fast keiner Reaktion. Es wird deswegen empfohlen, Personen, die negativ von den Wirkungen des Klimas auf ihre mentale Leistungsfähigkeit betroffen sind, mit einfachen Tests (z. B. Rechenaufgaben) zu ermitteln und damit ihren Einsatz bei extremen Klimaten zu optimieren.

Die Auswertung von Parsons (2003) zeigte bei Vorliegen von nur wenigen Studien keine signifikanten Effekte von **kalter Umgebung** auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Auch eine spätere Laborstudie (n = 128) bestätigte das. Untersucht wurden die Effekte der Abkühlung des Körpers auf Wachsamkeit und räumliche Aufmerksamkeit bei Büroarbeit (Cheung, Westwood & Knox, 2007). Die dabei beobachteten Aufmerksamkeitsstörungen werden jedoch stärker auf die störende Wirkung von Kälte auf die Hauttemperatur als auf die Abnahme der Körperkerntemperatur zurückgeführt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Abkühlungs- und Vergleichssituation (keine Abkühlung) festgestellt werden, obwohl die globale Reaktion der Probanden über die Versuchszeit abnahmen. Im Gegensatz dazu nehmen die manuellen Fähigkeiten (z. B. Geschicklichkeit der Finger/Hände) in kalter Umgebung signifikant ab (Parsons, 2003).

Zusammenfassung Leistung

Die vorliegenden wenigen Studien zeigen deutliche Unterschiede in der Ausrichtung der Änderung der kognitiven Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Hitzebelastung und Expositionszeit. Bei gleicher Belastung reichen die Ergebnisse von signifikanter über partieller und keine Änderung bis hin zu einer Verbesserung der Leistung. Bei rein motorischen

Aufgaben hingegen ist eine „signifikante Minderung“ zu verzeichnen. Zudem zeichnen sich deutliche interindividuelle Unterschiede ab. Ähnlich verhält es sich bei Kältebelastung.

5. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen dem Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“ und den Outcomes

Da sich der Großteil der eingeschlossenen Studien auf das Merkmal A bezieht, wird die Bewertung der Studienqualität nachfolgend für Merkmal A und B zusammen vorgenommen, wobei auf Unterschiede in Bezug auf die verschiedenen Studiencharakteristika zwischen Merkmal A und B, so vorhanden, an gegebener Stelle hingewiesen wird.

5.1. Studiendesign, Stichprobencharakteristika, Exposition und demografische Angaben

Der überwiegende Teil der eingeschlossenen Studien ist den Interventionsstudien (siehe Tab. 1 und 2) zuzuordnen, wobei nicht nur reine Laborstudien, sondern auch ein kleiner Teil der Feldstudien mit entsprechenden Designcharakteristika (siehe Tab. 1 Hinweis) eingerechnet worden sind. Diese Studien (vor allem die Laborstudien mit Klimakammersetting) haben den Vorteil, in kontrollierten Umgebungsbedingungen konsistente Ergebnisse zu erbringen, da die Klimafaktoren detailliert überwacht und adjustiert wurden. Allerdings ist eine Übertragung der in den Studien fokussierten klimatischen Konditionen auf Realbedingungen im Alltag z. T. schwierig. Dahingegen sind die weniger vertretenen Feldstudien (Nicht-Interventionsstudien) aussagekräftiger, da sie vor Ort direkt am Arbeitsplatz selbst die Auswirkungen des Raumklimas dokumentieren.

Der Fokus der Interventionsstudien liegt vor allem auf der Evaluierung der AV-Produktivität und Leistung (Akimoto et al., 2010; Cheung et al., 2007; Hellwig, Nöske et al., 2012; Hygge & Knez, 2001; Lan et al., 2010; Lan, Wargocki & Lian, 2011; Lan et al., 2014; Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011; Long et al., 2000; O'Neal & Bishop, 2010; Reinikainen et al., 1992; Tham & Willem, 2010; Zhang et al., 2010), wohingegen Feldstudien im Bereich Behaglichkeit, Gesundheit und Arbeitszufriedenheit/Motivation anzusiedeln sind (Brasche et al., 2005; 2004; Erlandson et al., 2003; Huizenga et al., 2006; Katz, 1988; Kuchen & Fisch, 2009; Newsham et al., 2008; Veitch et al., 2007).

Auffällig für die Gruppen der Feld- und Laborstudien sind die Unterschiede bezüglich der Stichprobengröße. Während Feldstudien relativ große Fallzahlen aufweisen ($n = 241$ bis 1.234), zeigen Laborstudien eher kleine Probandenzahlen ($n = 12$ bis 30 (sehr häufig) bis zu 128). Zudem stellen Teilnehmer von Laborstudien eine relativ vorselektierte Gruppe dar: Probanden sind im Schnitt äußerst jung (zwischen 18 bis 25 Jahre alt), häufig aus einem Pool von Studenten rekrutiert und aufgrund ihrer gesundheitlichen Konstitution (keine chronischen Erkrankungen oder Allergien, „healthy“, Nichtraucher etc.) ausgewählt. Die Demografie dieses Samples kann daher nur bedingt für die arbeitende Allgemeinbevölkerung generalisiert werden. Ein Vorteil jedoch ist die Möglichkeit, alters- und geschlechtsspezifische Anpassungen vorzunehmen und ein ausgeglichenes Verhältnis von Männern und Frauen zu erreichen; dies ist in allen Studien, die entsprechende Angaben berichten, auch vorgenommen worden. In wenigen Laborstudien wurde eine auf die arbeitende Bevölkerung ausgerichtete Probandenauswahl in Bezug auf Alter, Geschlecht, Gesundheit und Leistungsvoraussetzungen getroffen, z. B. Hellwig, Nöske et al. (2012). Untersuchungen von Feldstudien hingegen basieren auf Erwerbstätigen mit einer typischen Altersstruktur, wobei auch hier auf eine Balance zwischen Männern und Frauen geachtet worden ist.

Darüber hinaus ist positiv anzumerken, dass einige Studien (Interventions- und Nicht-Interventionsstudien gleichermaßen) zusätzliche demografische Daten mit erfassen. Dagegen berichten bzw. beziehen ein paar wenige Studien in ihre Auswertungen keine bzw. nur teilweise demografische Faktoren mit ein: Kuchen und Fisch (2009) (Feldstudie zu Gesundheit und Befinden) und Huizenga et al. (2006) (Onlineumfrage zu Leistung und Arbeitszufriedenheit) verzichten vollständig auf Angaben zur Alters- und Geschlechtsverteilung; bei Akimoto et al. (2010) (Feldstudie mit Interventionscharakter zu Leistung) und Zhang et al. (2010) (Laborstudie zu Leistung und Befinden) fehlen Bezüge zum Alter der Probanden. Dass bei den fehlenden demografischen Angaben vor allem Feldstudien ins Auge fallen, ist teilweise der Natur dieser Studien geschuldet, da es einige Settings z. T. erschweren, diese Daten zu erheben, wie z. B. in der Onlineumfrage von Huizenga et al. (2006) (response bias).

Allerdings stellen diese fehlenden Bezüge methodisch nicht zu vernachlässigende Einschränkungen dar (es wurde in Studien bereits gezeigt, dass es bezüglich thermischen Wohlbefindens und Zufriedenheit mit dem Raumklima geschlechtsspezifische Unterschiede gibt: Frauen empfinden das Raumklima häufig kühler als Männer und sind daher unzufriedener als Männer, vgl. Kapitel 4.1.2.), die mit einem angepassten Studiendesign bzw. konsistenter Berichterstattung hätten vermieden werden können. Einige Studien fokussieren sogar bewusst nur eine Geschlechtergruppe (Frauen: Fang et al. (2004), Long et al. (2000); Männer: O'Neal & Bishop (2010)), alle im Bereich der Leistungsfähigkeit, wobei die Studien in der Summe noch zu wenig Material für eine fundierte allgemeine Aussage bieten. Besonders positiv ist der methodische Ansatz zweier Laborstudien von Tham und Willem (2010) bzw. Reinikainen et al. (1992): Hier waren die Probanden gegenüber den Temperatur- (Tham & Willem, 2010) bzw. Luftfeuchtebedingungen (Reinikainen et al., 1992), unter denen die Leistungs- bzw. Gesundheitsmessungen vorgenommen wurden, verblindet, was die Unverfälschtheit der Ergebnisse seitens der Teilnehmer erhöht. Die Anwendung dieses Vorgehens in einigen anderen untersuchten Interventionsstudien wäre denkbar und könnte die Qualität der Ergebnisse erhöhen.

Unterschiede sind auch in Bezug auf Angaben zur Exposition zu finden. Dabei lassen sich Muster vor allem in Hinsicht auf den Studientyp erkennen: Von den sechs Studien mit fehlenden Expositionsangaben sind fünf Nicht-Interventionsstudien (Feldstudien) (Erlandson et al., 2003; Huizenga et al., 2006; Katz, 1988; Kuchen & Fisch, 2009; Veitch et al., 2007), eine ist als Feldstudie mit Interventionscharakter klassifiziert (Long et al., 2000). Ähnlich wie bei der Thematik der demografischen Angaben ist es je nach Fragestellung in der Feldstudie z. T. schwierig, eine genaue Aussage zur Exposition treffen zu können, weswegen diese Angabe daher häufig entfällt. Diese Inkonsistenz beschränkt jedoch nachträgliche Interpretationen und die Einordnung der Aussagefähigkeit der Ergebnisse. Dabei sind alle Outcomes von fehlenden Angaben betroffen, wobei Expositionsangaben in Studien zur Arbeitszufriedenheit/Motivation am häufigsten fehlen (Doppelnennungen möglich: Gesundheit $n = 2$, Befinden $n = 1$, Arbeitszufriedenheit/Motivation $n = 4$, Leistung: $n = 1$). Allerdings ist anzumerken, dass, während einige Studien ihre Untersuchungen auf realistische Expositionen von ganzen Arbeitstagen bzw. wochenweisen Expositionswiederholungen legen (Akimoto et al., 2010; Brasche et al., 2005; 2004; Fang et al., 2004; Lan et al., 2010; Reinikainen et al., 1992; Zhang et al., 2010), andere wiederum nur Expositionen von wenigen Stunden messen (Hellwig, Nöske et al., 2012; Hygge & Knez, 2001; Lan, Wargocki & Lian, 2011; Lan et al., 2014; Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011; Schellen et al., 2012; Tham & Willem, 2010; Witterseh et al., 2004). Letztere könnten Anpassungseffekte, wie z. B. Gewöhnungs- bzw. Lerneffekte übersehen. Kurze Expositionen im Bereich der Extreme (Merkmal B Hitze/Kälte: Cheung et al. (2007) und O'Neal & Bishop (2010)) können hingegen als angemessen gelten.

Beiden Studientypen (und so auch allen Outcomes) gemein ist allerdings die Uneindeutigkeit der Stichprobenrekrutierung. Kaum eine Publikation berichtet, woher die Probanden stammen oder präsentiert den Prozess des Auswahlverfahrens seiner Studienteilnehmer. Nur wenige Studien beschreiben dieses (Hellwig, Nöske et al., 2012). Es ist an dieser Stelle von Convenience-Sampling und Gelegenheitsstichproben auszugehen. Dies ist bezüglich der Feldstudien allerdings kaum zu vermeiden, da diese Studien an den jeweiligen Arbeitsplätzen direkt (es handelt sich vor allem um ausgewählte Bürogebäude, in denen die Studie initiiert wurde) mit den dort verfügbaren Arbeitnehmern durchgeführt werden. Durch die gewählten statistischen Verfahren ist davon auszugehen, dass ein etwaiges Ungleichgewicht entschärft werden konnte. In Bezug zu den Laborstudien können Aussagen aufgrund der demografischen Lage ihrer Probanden nur eingeschränkt generalisiert werden.

Ein weiterer einschränkender Faktor hinsichtlich der Generalisierung auf die deutsche Arbeitsbevölkerung ist das Setting „Land“, in dem die jeweiligen Studien initiiert wurden. Aufgrund der geografischen Lage in anderen Klimazonen herrschen in einigen der Länder zum Teil signifikante Unterschiede in den jährlichen klimatischen Bedingungen. Aussagen und Schlussfolgerungen können daher nur mit Limitierungen auf ein deutsches Setting übertragen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass Bevölkerungsgruppen, die dauerhaft einem wärmeren und/oder feuchteren Klima als in Mitteleuropa üblich, ausgesetzt sind, ein besseres Anpassungsverhalten an hohe Temperaturen und Luftfeuchten zeigen. Gleiches gilt auch für kältere Klimate. In Bezug auf wärmere und feuchtere Klimate kann vor allem für Studien aus dem asiatischen Raum (Akimoto et al., 2010; Lan et al., 2010; Long et al., 2000; Tham & Willem, 2010; Zhang et al., 2010) eine verallgemeinernde Aussage nur eingeschränkt für hiesige Rahmenbedingungen getroffen werden. Auch die Studie von Erlandson et al. (2003) aus Australien bietet Grund zur Annahme, dass eine direkte Übertragung der Forschungsergebnisse mit Vorsicht unternommen werden sollte. Ebenfalls wird die Onlinebefragung von Huizenga et al. (2006) von Beschäftigten in Kanada, den USA und Finnland dadurch limitiert, dass aus der Studie nicht hervorgeht, aus welchen Regionen in Nordamerika die Befragten genau stammen und auf dem nordamerikanischen Kontinent durchaus große Unterschiede bezüglich Außenklimaten bestehen können. Eine eingeschränkte Aussagefähigkeit gilt auch für andere Studien aus Nordamerika, z. B. Laborstudien wie O'Neal und Bishop (2010) in Alabama, USA, sowie Cheung et al. (2007) aus Kanada und Feldstudien von Newsham et al. (2008) bzw. Veitch et al. (2007) aus Kanada, wo extremere Klimate auf die Anpassungsfähigkeit der Probanden wirken könnten. Zudem sind technische Raumklimatisierungen durch leistungsfähige Anlagen in Arbeitssettings in Nordamerika im Gegensatz zu Deutschland üblich und weit verbreitet, was die Präferenzen der Teilnehmer zusätzlich beeinflussen könnte. Andere Studien aus Nordeuropa von Hygge und Knez (2001), Lan et al. (2011) sowie Lan, Wargocki, Wyon et al. (2011) aus Schweden und Reinikainen et al. (1992) aus Finnland stellen sich in ihrem Kontext zwar nicht kongruent zu den deutschen Bedingungen dar, könnten mit Einschränkungen jedoch zur Unterstützung von Empfehlungen im deutschen Bezugsrahmen genutzt werden. Studien aus direkten Nachbarländern wie Dänemark (Fang et al., 2004; Witterseh et al., 2004) oder den Niederlanden (Schellen et al., 2012) und natürlich aus Deutschland (Hellwig, Nöske et al., 2012) bieten eine gute Grundlage zur Erarbeitung von Empfehlungen.

5.2. Operationalisierung der Merkmale A und B (UV)

In den gefundenen Studien wurde die unabhängige Variable, sofern es sich um physikalische Größen wie Temperatur, relative Luftfeuchte oder Belüftungsraten handelt (für nicht physikalische Größen siehe Kapitel zur Erfassung der AV), objektiv über Messungen im Kontext der jeweiligen Untersuchung erfasst. Eine valide Erhebung der Raumklimafakto-

ren kann somit vorausgesetzt werden. Häufig werden in den einzelnen Studien zudem die verwendeten Messgeräte inklusive Marken- und Firmennamen benannt. Demgegenüber stehen einige wenige Studien, die zwar die Erhebung ihrer definierten unabhängigen Variablen (z. B. Klimafaktoren, Komfortempfinden) erwähnen, aber nicht berichten, wie oder womit dies im Detail geschehen ist (Fang et al., 2004; Huizenga et al., 2006; Katz, 1988; Lan, Wargocki & Lian, 2011; Lan et al., 2014). Eine Einschätzung zur Zuverlässigkeit der Messungen kann daher nur bedingt getroffen werden. Im Falle von Lan, Wargocki und Lian (2011) kann davon ausgegangen werden, dass die unabhängige Variable (Temperatur) auf die gleiche bzw. ähnliche Weise wie in Lan, Wargocki, Wyon et al. (2011) gemessen wurde (validierte Messinstrumente), da sich die Ergebnisse beider Publikationen auf das gleiche Sample bzw. die gleiche Studienanordnung beziehen. Bei Katz (1988) ist zudem von einer fundierten Erhebung der UV auszugehen, da der Autor in seiner Methodik Bezug zu vorhergehenden klimatechnischen Messungen nimmt. Fang et al. (2004) ziehen ihre Ergebnisse aus Untersuchungen einer Laborstudie. Da es sich hierbei um stets kontrollierte Umgebungsbedingungen in einer Klimakammer handelt und da die untersuchten Klimazustände ausführlich berichtet werden, ist eine konsistente und valide UV-Erfassung sehr wahrscheinlich. Allerdings ist bei Huizenga et al. (2006) in Bezug auf die Erhebung der UV eine methodische Inkonsistenz zu erwarten. Es handelt sich in der Studie um eine Onlinebefragung von Erwerbstätigen, bei der klimatische Faktoren als eigentliche Größe in einer analytischen Untersuchung nicht ursächlich berücksichtigt und direkte Zusammenhänge nicht geschlossen werden können. Die Autoren beleuchten hier lediglich deskriptiv mögliche Zusammenhänge zwischen raumklimatischen Bedingungen und Zufriedenheit und Produktivität bzw. Prävalenzen.

5.3. Operationalisierung der AV

Sofern es sich bei der unabhängigen Variablen nicht um eine klimatechnische Größe handelt, werden Faktoren wie thermales Empfinden/Behaglichkeit (thermal sensation/thermal comfort), Akzeptanz von Klimabedingungen oder wahrgenommene Luft-/Klimaqualität untersucht. Diese Parameter werden, neben weiteren, in einem Großteil der Studien auch als abhängige Variable einbezogen. Bezüglich der Erfassung ergeben sich sowohl für AV als auch UV in diesem Themenfeld einige Parallelen. Es werden überwiegend Fragebögen als subjektives Erfassungsinstrument verwendet.

5.3.1. Gesundheit und Befinden

Körperliches Befinden im Bereich psychischer Erkrankungen wird über validierte Fragebögen wie den SCL-90 (Long et al., 2000) erfasst. Psychische Symptomatik wird auch über Likert-Skalen zum Thema Gemütszustände erfasst (Lan et al., 2010; Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011). Physische Beschwerden werden z. T. über objektive ärztliche Untersuchungen (Brasche et al., 2005; 2004) oder Likert- bzw. analoge Skalen (Brasche et al., 2005; 2004; Erlandson et al., 2003; Katz, 1988; Reinikainen et al., 1992), deren Validität nicht konkret bewertet werden kann, bestimmt. Thermales Empfinden/Behaglichkeit wird in einem Großteil der Studien über die ASHRAE-7-Punkte-Skala (ASHRAE – amerikanische Gesellschaft für Normung) erfasst (Erlandson et al., 2003; Fang et al., 2004; Lan et al., 2010; Schellen et al., 2012; Tham & Willem, 2010; Veitch et al., 2007). In den Studien selbst werden keine Angaben zur Validität des Instruments gegeben. Da sich die Skala aber auf ASHRAE-Standards bezieht und bereits in einer Vielzahl von Untersuchungen verwendet worden ist, kann von einer zuverlässigen, validen Erfassung durch die ASHRAE-7-Punkte-Skala ausgegangen werden.

5.3.2. Motivation und Arbeitszufriedenheit

Die Arbeitszufriedenheit bzw. Zufriedenheit mit dem Arbeitsumfeld und Motivation werden überwiegend über Likert-Skalen, die für die jeweilige Studie extra entworfen wurden, erfasst (Erlanson et al., 2003; Katz, 1988; Lan et al., 2010; Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011; Newsham et al., 2008). Umfang und Skalierung der einzelnen Skalen unterscheiden sich daher von Studie zu Studie. Likert-Skalen sind in den Fachgebieten der Sozialwissenschaften und Psychologie häufig genutzte Erfassungsinstrumente und repräsentieren ein standardisiertes Verfahren. Ihre Verwendung in den extrahierten Studien kann daher als konform zur allgemeinen wissenschaftlichen Praxis in der Forschung dieser Fachgebiete gewertet werden. Allerdings ist eine abschließende Einschätzung hinsichtlich der Validität für die in den extrahierten Studien angewendeten Likert-Skalen aufgrund der Variabilität der Einsatz- und Gestaltungsmöglichkeiten dieses Erhebungsinstruments erschwert. Somit ist in Bezug zur Erhebung des eigentlichen Outcomes mit Unsicherheiten zu rechnen. Zum Teil werden auch Skalen aus Bevölkerungs-Surveys verwendet (Veitch et al., 2007). In letzterem Beispiel kann eine vorhergehende Validierung des Instruments vorausgesetzt werden, im ersten Fall ist eine Aussage diesbezüglich fraglich.

5.3.3. Produktivität und Leistungsfähigkeit

Die Leistung und Produktivität wird in der überwiegenden Zahl der Studien objektiv über Fehler- und Geschwindigkeitsraten gemessen (Cheung et al., 2007; Hellwig, Nöske et al., 2012; Hygge & Knez, 2001; Lan et al., 2010; Lan et al., 2014; Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011; O'Neal & Bishop, 2010; Schellen et al., 2012; Zhang et al., 2010). Hierbei müssen die Probanden definierte computergestützte Arbeitsaufgaben innerhalb eines bestimmten Zeitfensters bearbeiten. Dieses Vorgehen scheint einem hohen Grad an Validität seiner Messergebnisse zu genügen, wobei sich die Aufgaben im Einzelnen stark voneinander unterscheiden, sowohl in ihrem Aufbau (Aufgabenstellungen wie Text schreiben, Sudoku, Kopfrechnen, Erinnerungsaufgaben, räumliche Orientierung, Problemlösung, Reaktionsaufgaben etc.) als auch im Umfang (einige Minuten bis Stunden), was die Studien auch mit gleichem Outcome z. T. schlecht vergleichbar macht. Allerdings werden keine Angaben zu vorhergehenden Validierungstests zu den einzelnen verwendeten Aufgaben gemacht.

Neben Leistung und Produktivität werden zusätzlich als Surrogat-Parameter auch das Erregungslevel (Tsai-Partington-Test (Lan, Wargocki, Wyon et al. 2011; Tham & Willem, 2010; Witterseh et al., 2004)), Anstrengung (Borg-Skala (O'Neal & Bishop, 2010) oder analoge Skalen (Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011)), Ermüdung (Fatigue-Fragebogen (Akimoto et al., 2010)) und die selbst eingeschätzte Produktivität (analoge Skalen (Wargocki, Wyon & Fanger, 2004; Witterseh et al., 2004)) bzw. die subjektiv empfundenen Arbeitsbelastung (NASA-TLX-Fragebogen (Akimoto et al., 2010; Hellwig, Nöske et al., 2012; Lan et al., 2010; Lan, Wargocki, Wyon et al., 2011) oder analoge Skalen (Lan et al., 2010; Lan, Wargocki, Wyon et al. (2011)) erhoben. Bei dem Tsai-Partington-Test und dem NASA-TLX-Fragebogen kann ob deren häufiger Verwendung von zuverlässiger Erfassung ausgegangen werden, wohingegen die Aussagefähigkeit der analogen Skalen, deren Ausprägungen häufig von den Versuchsleitern selbst entwickelt wurden, als eingeschränkt eingeschätzt werden.

5.4. Zusammenfassende Bewertung

Eine Vergleichbarkeit und Zusammenfassung der Ergebnisse der gefundenen Studien ist teilweise stark eingeschränkt, da das jeweilige Outcome auf sehr unterschiedliche Weise gemessen wird und die Aussagen der Publikationen damit nicht vergleichbar sind. In keiner Publikation wird Bezug zu einem Validierungsverfahren der verwendeten Messinstru-

mente genommen, wobei in Bezug auf die häufig referenzierten Verfahren von validen Erhebungen ausgegangen werden kann. Überwiegend wurden Parameter, die objektiv gemessen werden können, auch entsprechend erfasst. Ein hoher Bias, d. h. störender systematischer Effekt mit einer Grundtendenz aufgrund der Messinstrumente ist, mit wenigen Ausnahmen, demnach nicht zu erwarten. Allerdings ist die Generierung der Stichprobe an sich für alle Studien nicht eindeutig. Es ist überwiegend von Gelegenheitsstichproben auszugehen.

Darüber hinaus sind methodische Einschränkungen für Studien mit Bezug auf alle Outcomes zu finden. Während Interventionsstudien konsistent berichten, viele zusätzliche (vor allem demografische) Parameter in ihre Analysen mit einbeziehen und das Studiendesign von hoher Qualität geprägt ist (Verblindung, ausgeglichene Alters- und Geschlechtsstruktur, kontrollierte Bedingungen), sind die Stärken der Nicht-Interventionsstudien vor allem aufseiten der großen Stichproben und Repräsentativität ihrer Probanden zu sehen. Hierbei ist anzumerken, dass Interventionsstudien häufig auf Produktivität und Leistung mit wenigen jungen, studentischen Probanden, Nicht-Interventionsstudien auf Gesundheit, Befinden und Arbeitszufriedenheit/Motivation mit großen Stichprobenzahlen aus der Arbeitswelt ausgerichtet sind. Fehlende Angaben zu Expositionen treten vor allem bei Nicht-Interventionsstudien auf, wobei auch Interventionsstudien qualitative Unterschiede in der Länge der Expositionen aufweisen. Variationen im Bereich des Studiendesigns und unterschiedliche Studienqualitäten lassen sich so für alle Outcomes finden.

6. Zusammenfassende Bewertung aller Merkmale des Arbeitsbedingungsfaktors „Klima“, Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

Der Arbeitsumgebungsfaktor Klima wird durch Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit der Luft sowie die Wärmestrahlung der Umschließungsflächen bestimmt (Klimafaktoren). In diesem Review wurde der Fokus auf das Klima in Räumen (Raumklima) in der Arbeitswelt gelegt, das Außenklima, Klima in Fahrzeugen und der Bergbau wurden nicht mit eingeschlossen. Dabei wurde zwischen dem moderaten behaglichen Klima (erweiterter Behaglichkeitsbereich, z. B. Büro, Logistikzentrum, *Merkmal A*) und dem Klima infolge hoher technologischer Belastungen (Kälte-/Hitzearbeit, z. B. Kühlhaus, Stahlgießerei, *Merkmal B*) getrennt. Insbesondere im Behaglichkeitsbereich stehen die Wirkungen des Raumklimas auf Befinden, Motivation, Arbeitszufriedenheit, Leistung und Gesundheit in einem engen Kontext und beeinflussen sich gegenseitig. Bei vielen Studien werden diese Facetten oft gemeinsam erhoben und eine Differenzierung ist nur bedingt möglich. Geringe Abweichungen vom „Klimaoptimum“ führen zunächst zu Befindlichkeitsstörungen, Beschwerden über das Klima (zu warm, zu kalt, es zieht) sind die Folge. Verstärken sich diese Effekte und kommt noch Klimamonotonie oder das Unvermögen, das Klima selbst beeinflussen zu können, hinzu, kann das zu einem hohen Maß an Unzufriedenheit, Stress und psychischen Beanspruchungen führen; Motivation und Zufriedenheit mit der eigenen Arbeit sinken. Letztlich nimmt die Anstrengungsbereitschaft ab, die Beschäftigten fühlen sich weniger leistungsfähig und es können objektiv messbare Produktivitätseinbußen und erhöhte Fehlerraten auftreten. Bei all diesen Prozessen spielen die persönlichen Voraussetzungen eine große Rolle – Personen empfinden z. B. gleiche Klimate unterschiedlich, es gibt dabei Unterschiede zwischen den Geschlechtern und Altersklassen, es können Erkrankungen auftreten oder die Tagesverfassung ist verschieden, auch ungenügendes Trinken, Übergewicht oder die Art der Aufgabe, der Grad der Verantwortung und Auslastung bei der Arbeit spielen eine Rolle. Bestimmte Klimabedingungen können bereits im erweiterten Behaglichkeitsbereich zu gesundheitlichen Problemen führen. So können auf Dauer nied-

rige Luftfeuchten im Winter z. B. Hautprobleme und Reizungen der Augen hervorrufen, Zugluft führt zu lokaler Abkühlung der Haut und kann damit Muskelverspannung und Schmerzreaktionen auslösen. Noch stärkere klimatische Belastungen bei sehr niedrigen bzw. hohen Temperaturen führen zu deutlichen physiologischen Beanspruchungsreaktionen infolge der Mechanismen der Thermoregulation – z. B. Muskelzittern und sinkende Körpertemperaturen bei Kälte oder erhöhte Schweißabgabe/Pulsraten und steigende Körpertemperatur bei Hitze. Bei noch extremeren Klimabelastungen können akute und chronische Kälte- bzw. Hitzeerkrankungen auftreten (z. B. lokale Erfrierungen, Unterkühlung bzw. Hitzekollaps, Muskelkrämpfe). Arbeit in diesen Extrembereichen ist zeitlich nur begrenzt ausführbar und andere Faktoren wie Arbeitsschwere, Bekleidungsisolierung und Expositionszeit spielen eine große Rolle. Letztlich koppeln die gesundheitlichen Probleme auf die anderen Prozesse zurück, sie mindern Leistungsbereitschaft und Leistungsfähigkeit, senken die Motivation und Zufriedenheit mit der Arbeit und erhöhen die Zahl der Beschwerden. Die Befundlage der Wirkung von Hitze auf die **kognitive Leistungsfähigkeit** stellt sich indifferent dar und reicht von signifikanter Minderung bis zu einer Steigerung und scheint stark von den individuellen Voraussetzungen abzuhängen. Bei Kälte sind diese Effekte noch deutlich weniger ausgeprägt, hier treten jedoch signifikante Minderungen der manuellen Fähigkeiten ein.

Forschungsbedarf

Die Wirkung und der Einsatz von TAC-Systemen ist bisher nur wenig und zudem vor allem unter fernöstlichen klimatischen Bedingungen untersucht worden. Hier besteht Bedarf, diese Systeme im Kontext des gemäßigten mitteleuropäischen Klimas zu testen. Da hier wenig stark ausgeprägte Wärmeperioden auftreten, sollte im Rahmen von Labor- bzw. Feldstudien (Interventionsstudien) geprüft werden, ob deren Einfluss auf die **thermische Behaglichkeit** gleichermaßen stark ist und wie sich die Anwendbarkeit/der Nutzen sowie Nutzerakzeptanz und das Potenzial an Energieeinsparung darstellt.

Gerade in Bezug auf zukünftige „smarte“ Gebäude, die mehr und mehr Automation enthalten, sind rechtzeitig Hilfestellungen für Planer und Ausführende zu geben, wie z. B. eine ergonomisch geeignete Ausführung und Implementierung solcher neuer Technologien erfolgen kann. Um Erkenntnisse dafür zu gewinnen, wie ein hohes Maß an **wahrgenommener Kontrolle** erreicht werden kann, sollten zukünftige Studien mehr Gewicht auf die Wirksamkeit einer Regelung im Zusammenhang mit der Bauplanung und seine Wechselwirkung mit raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) setzen. In diesem Zusammenhang ist weitere Forschung notwendig, um das erforderliche Maß an Reaktionsfähigkeit des Systems aus „Gebäudeform – RLT-Anlage – Gebäudeautomation – Benutzer“ zu beschreiben. Insbesondere sollten auf Basis einer ergänzenden Literaturanalyse zur wahrgenommenen Kontrolle und zu Befindlichkeitsstörungen mit weitergehenden Studien das erforderliche Maß und die Art der Kontrolle näher bestimmt werden.

Bei den objektiv messbaren Leistungsparametern lässt sich zusammenfassend innerhalb des erweiterten Behaglichkeitsbereichs bisher keine signifikante **Leistungsänderung** feststellen, es sind nicht ausreichend viele Studien für eine gesicherte Aussage vorhanden. Zudem gibt es teils erhebliche interindividuelle Unterschiede in der Leistungserstellung, was bei der Einschätzung von Hitzeauswirkungen im betrieblichen Alltag beachtet werden sollte. Dabei kommt es auf die Leistungserfüllung jedes Einzelnen an, eine Mittelwertbildung würde z. B. Fehler bei der Schreibezeit nicht beseitigen. Auch sind bisher längere Expositionszeiten (über vier Stunden) kaum untersucht worden. Zudem zeigen einige Studien bei erhöhtem Leistungsdruck (Aufgabenschwere, Zeitlimitierung), dass Leistungsabfälle deutlich eintreten. Insofern ist bei solchen Bedingungen oder nach einem langen Arbeitstag im überhitzten Büro mit Leistungsminderungen zu rechnen. Weiterer

Forschungsbedarf ergibt sich aus der Klärung der in diesem Absatz aufgeführten Limitierungen.

Weiterer Forschungsbedarf wird zum direkten Zusammenhang **trockene Luft** und psychische Gesundheit nicht gesehen. Jedoch sollten die Ursachen von direkten physiologischen Auswirkungen (z. B. Hautaustrocknung, Reizung der Augen) weiter geklärt werden, um die öffentliche Diskussion zu versachlichen. In diesem Zusammenhang ist die BAuA bereits im Rahmen des Projektbündels F2299 „Aml-basierte Klimaregelung: Möglichkeiten und Chancen einer Aml-basierten Regelung raumluftechnischer Anlagen und beispielhafte Anwendung auf das Phänomen Trockene Luft“ damit befasst, die multifaktoriellen Zusammenhänge von Feuchte, Temperatur, Geschwindigkeit und Turbulenz der Luft zu ermitteln.

7. Gestaltungsaussagen zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“

Grundsätzliche Gestaltungsaussagen zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“ werden im Arbeitsschutzrecht in der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV., 2010) getroffen, wobei diese Anforderungen gleichlautend aus der Arbeitsstättenrichtlinie 89/654/EWG (Arbeitsstättenrichtlinie, 2007) übernommen wurden. Im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG., 2013) ist keine direkte Nennung des Klimas enthalten, sondern nur ein allgemeiner Bezug auf die Gestaltung der Arbeitsstätte und physikalische Einwirkungen (§ 5 Abs. 2 Ziffern 1 und 2). Im Anhang 3.5 Abs. 1 der ArbStättV wird eine „gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur“ gefordert. „Einem störenden Luftzug“ (Zugluft) dürfen nach Anhang 3.6 Abs. 3 Beschäftigte bei Verwendung von RTL-Anlagen nicht ausgesetzt sein. Gemäß Anhang 1.5 Abs. 1 der ArbStättV müssen Arbeitsplätze eine ausreichende Dämmung gegen Wärme und Kälte und Isolierung gegen Feuchtigkeit aufweisen. Diese allgemeinen Schutzzielbestimmungen werden im untergesetzlichen Regelwerk in Technischen Regeln (ASR) umgesetzt, die die Vermutungswirkung auslösen. Hier sind u. a. konkrete Werte für minimale/maximale Lufttemperaturen (ASR A3.5, 2010) bzw. Fußbodentemperaturen (ASR A1.5/1,2, 2013) und zulässige Luftgeschwindigkeiten zur Vermeidung von Zugluft (ASR A3.6, 2012) zu finden. Mit dem sog. Stufenmodell werden Ausnahmeregelungen für Arbeitsräume bei Außenlufttemperaturen über +26 °C getroffen. Die Klimaparameter werden allerdings unter dem Gesichtspunkt „Arbeitsschutz“ geregelt, d. h., dass keine Gefährdung für Sicherheit und Gesundheit vom „Klima“ ausgehen darf. Es wird bisher nicht die „Behaglichkeit“ geregelt, so fordert z. B. die ASR A3.5 (2010) für leichte Arbeit im Sitzen (Büro) eine Mindestlufttemperatur von +20 °C, behaglich sind aber mindestens +22 °C (DIN EN ISO 7730:2006-05, 2005). In der Praxis werden deswegen auch üblicherweise die Räume mit höheren Temperaturen betrieben, sonst wäre mit einem erhöhten Beschwerdeverhalten zu rechnen. Sofern trotz aller bestehenden regulatorischen Vorgaben gesundheitliche Probleme oder Befindlichkeitsstörungen/Beschwerden an Innenraumarbeitsplätzen auftreten, wird z. B. im „Report Innenraumarbeitsplätze“ (DGUV 2013b) eine systematische Vorgehensweise gegeben, um den Ursachen auf den Grund zu gehen und praxistaugliche Lösungen zu finden. Zugleich werden hier die Grundlagen für die Neugestaltung von beschwerdefreien und leistungsfordernden Arbeitsbedingungen in Innenräumen zusammengefasst.

Sofern psychisch relevante Aspekte wie Zufriedenheit, Befinden und Leistung mit über die Arbeitsstättenverordnung geregelt werden sollen, müsste in Bezug auf das Raumklima eine Anpassung der einzelnen Klimafaktoren in den Technischen Regeln an die „Behaglichkeitskriterien“ bzw. weiteren Faktoren (z. B. Kontrollmöglichkeit) vorgenommen werden. Eine pauschale Festlegung für alle Branchen wäre allerdings realitätsfern. Insofern

sollte zunächst auf bestehende Praxishilfen zurückgegriffen werden, eine zusammenfassende Darstellungen mit Hinweisen zur Gestaltung des Raumklimas in Arbeitsstätten sind in Bux (2015) und Bux und Kampmann (2014) enthalten.

7.1. Gestaltung der Arbeit bei „Trockener Raumluft“ in der kalten Jahreszeit (Gesundheit)

Konkrete Vorgaben sind in der Regelsetzung nicht enthalten. Aus der betrieblichen Erfahrung gibt es verschiedene Handlungsempfehlungen für die Praxis. Um Handlungssicherheit für den betrieblichen Arbeitsschutz zu geben, wurde von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) ein Positionspapier erstellt, das die Erkenntnisse der Literaturstudie (von Hahn, 2007) als Orientierungshilfe für die Akteure im Arbeitsschutz zusammenfasst (DGUV, 2008). Hier wird festgestellt, dass üblicherweise eine Befeuchtung der Raumluft nicht erforderlich ist und die Effekte einer Luftbefeuchtung auf die Gesundheit eher gering sind. Aus weiteren betrieblichen Handlungshilfen lassen sich zusätzliche Erkenntnisse zur Arbeitsgestaltung ableiten (z. B. BGI 7004 (2010), DGUV (2013b), RatgeberBüro (2009)). Wenn Beschäftigte über trockene Luft klagen, kann dies verschiedene Ursachen haben. Eine objektive Einschätzung des Raumluftzustandes ist wegen der subjektiven Wahrnehmung (es gibt kein Sinnesorgan für Luftfeuchte) und der oft fehlerbehafteten Messung (über zehn Prozent relative Luftfeuchte Abweichung insbesondere bei niedriger Feuchte!) oft nicht gegeben. Deswegen muss geprüft werden, ob neben der Luftfeuchte selbst weitere Faktoren eine Rolle spielen, wie die Art der Lüftung (möglichst turbulenzarme Quelllüftung), geänderte Bekleidung und Lichtmangel im Winter, Motivation und Zufriedenheit mit der Arbeit, mangelhafte Arbeitsorganisation (z. B. Nichteinbeziehung der Beschäftigten bei Umzügen in größere Büros), ein schlechtes Betriebsklima oder Mängel bei der Arbeitsplatzergonomie (insbesondere bei Bildschirmarbeit). Vonseiten des Arbeitsschutzes wird aus gesundheitlichen Gründen eine Raumluftbefeuchtung für Büros und ähnliche Bereiche nicht empfohlen. Werden Luftbefeuchter eingesetzt, so können sie zu einer Verbesserung des subjektiven Wohlbefindens der Beschäftigten beitragen, wie Befragungen nach solchen technischen Maßnahmen in Betrieben ergaben (RatgeberBüro, 2009). Dies resultiert mitunter allein aus der Tatsache, dass Befeuchter installiert wurden und betrieben werden. Dabei müssen die damit verbundenen Anschaffungs-, Betriebskosten und der Wartungsaufwand beachtet werden sowie mögliche Hygieneprobleme (Keimwachstum) in schlecht gewarteten Anlagen. Werden dezentrale Luftbefeuchtungsanlagen oder mobile Luftbefeuchter eingesetzt, sollen diese das DGUV-Test-Zeichen „Optimierte Luftbefeuchtung“ besitzen. Zudem ist eine regelmäßige Reinigung der Luftbefeuchter nach Herstellerangaben sicherzustellen.

7.2. Gestaltung der Arbeit im thermisch neutralen Raumklima (Befinden)

Die Gestaltung des Raumklimas zur Vermeidung von „Unzufriedenheit“ erfolgt auf der Basis des PMV-/PPD-Modells nach Fanger (1970) und ist als Stand der Technik in DIN EN ISO 7730:2006-05 (2005) hinterlegt. In Anwendernormen werden auf dieser Basis Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage für Gebäude gegeben (DIN EN ISO 13779:2009-07, 2009; DIN EN ISO 15251:2012-12, 2012). Mit diesem Modell lassen sich optimale Wertekombinationen aus Raumklima (Temperatur, Geschwindigkeit und Feuchte der Luft, Strahlungstemperatur) sowie Aktivität und Bekleidung der Nutzer bestimmen. Hinweise für Messung und Berechnung der Klimagrößen sind zu finden im DIN-Fachbericht 128 (2003). Es kann abgeschätzt werden, mit welchem Prozentsatz unzufriedener Raumnutzer bei gegebenen Randbedingungen zu rechnen ist. Wenn sich z. B. in einem Großraumbüro mit 100 Beschäftigten davon 10 darüber beschweren, dass es zu kühl ist, und eine fachkundige Überprüfung (auf Basis der DIN EN ISO 7730:2006-05 (2005)) einen PMV-Wert von -0,5 ergibt, so liegt das im theoretisch zu erwartenden Be-

reich. Durch Veränderung der mittleren Klimagrößen lässt sich hier die Klimazufriedenheit nicht weiter verbessern, aber die betroffenen Personen können z. B. ihre Bekleidung individuell verändern, wenn das möglich ist (Schutzkleidung, „dress code“). Das PMV-Modell ist nur für gesunde Personen anwendbar, Erkrankungen (niedrige Stoffwechselrate, Störungen der Thermoregulation) können zu einem abweichenden Empfinden führen. Es gibt Abweichungen zwischen den Geschlechtern sowie ethnische und geografische Besonderheiten. Auch wird eine gezielte Einflussnahme auf das Raumklima vorausgesetzt (Heizung im Winter bzw. in der kühlen Jahreszeit, Klimatisierung im Sommer). Zudem sind die Faktoren der lokalen thermischen Behaglichkeit (z. B. Zugluft, Strahlungsasymmetrie) zu berücksichtigen, wofür z. B. Richter (2003), Richter (2007) und Normen (z. B. DIN EN ISO 7730:2006-05, 2005) Gestaltungshinweise geben.

7.3. Gestaltung „Wahrgenommene Kontrollmöglichkeit“ (Motivation/Arbeitszufriedenheit)

In der Arbeit von Hellwig (2015a) wird gezeigt, dass eine hohe wahrgenommene Kontrolle die Bewertung des Raumklimas positiv beeinflusst und positive Auswirkungen auf die psychische Befindlichkeit haben kann. Zufriedenheit mit dem Raumklima entsteht nach dieser Analyse nicht nur im Zustand der Behaglichkeit, sondern auch, wenn eine Kontrollmöglichkeit erfolgreich vom Gebäudenutzer angewendet wurde und die Veränderung des Raumklimas in Richtung des gewünschten Zustandes bereits eingesetzt hat. Erfolgreiche Verhaltensweisen führen nach Ergebnissen aus der Verhaltenspsychologie zu einem positiven inneren Feedback bzw. Zufriedenheit. Das erfolgreiche „Bedienen“ eines Gebäudes beeinflusst die individuelle Selbstwirksamkeit positiv. Gerade in Bezug auf zukünftige „smarte“ Gebäude, die mehr und mehr Automation enthalten, sind rechtzeitig Hilfestellungen für Planer und Ausführende zu geben, wie z. B. eine ergonomisch geeignete Ausführung und Implementierung solch neuer Technologien erfolgen kann. Usability (Benutzerfreundlichkeit) – im Bereich der Informationstechnik schon längst diskutiert – ist auch für Gebäude notwendig. Dies erscheint als eine besonders herausfordernde Aufgabe, da der Mensch grundsätzlich viele Auswahlmöglichkeiten schätzt, jedoch es bei zu großer Auswahl zu Stress bei der Entscheidung für die beste Variante kommen kann. Verhaltensregeln in neuen smarten Gebäuden können von den Gebäudenutzern leicht als Einschränkung ihrer Handlungsfreiheit empfunden werden und damit die wahrgenommene Kontrolle verringern. Hier ist es besser, auf Information der Nutzer zu setzen, womit objektiv die Funktionsweise eines solchen Gebäudes erklärt wird. Dabei ist eine Herausforderung, die Information so neutral wie möglich zu halten. Zu hohe Erwartungen an eine technische Anlage können ebenfalls zu der Wahrnehmung des Nutzers führen, dass eine technische Anlage „nicht richtig funktioniert“ und damit außerhalb der Kontrolle des Nutzers betrieben wird.

Um ein hohes Maß an wahrgenommener Kontrolle zu erreichen, bedeutet es nicht, dass viele Kontrollmöglichkeiten vorzusehen sind. Besser ist es, wenige, aber eindeutig zugeordnete Stellglieder vorzusehen. Damit wird weniger Stress bei der Auswahl erzeugt und es stärkt die Selbstwirksamkeit der Nutzer. Der Nutzer sollte seine Möglichkeiten zur Änderung intuitiv erkennen und klar zuordnen können. Die Raumklimasysteme sollten auf die veränderte Einstellung prompt reagieren, um dem Nutzer eine Positiv-Rückmeldung zu seinem Eingriff zu geben. Einfachheit, Klarheit und eine begrenzte Auswahl sind zweckdienlicher als eine zu große und komplizierte Vielfalt. Dies führt zu mehr Zufriedenheit als die eine Vielzahl von Steuermöglichkeiten, die möglicherweise zu einer größeren Verwirrung führt (Hellwig, 2015a; 2015b). Erste Ansätze, wie eine hohe wahrgenommene Kontrollmöglichkeit praktisch erreicht werden kann, sind im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB, 2011) enthalten, das auf einem „Kriteriensteckbrief“ von Hellwig (2011) be-

ruht. In der heute üblichen Planungspraxis wird dieser Bereich bisher jedoch noch nicht betrachtet, sondern nur aus dem technischen Blickwinkel, meist vor dem Hintergrund der Energieeffizienz.

7.4. Gestaltung der Arbeit zur Minderung der Auswirkung überhitzter Arbeitsräume ohne technologische Belastung im Sommer (Leistung)

Durch Sommerhitze überwärmte Arbeitsräume ohne technologisch bedingte Belastungen liegen klimatisch im Warm- bzw. Erträglichkeitsbereich. Gesundheitliche Gefahren bestehen nur, wenn zusätzliche Faktoren auftreten (z. B. gesundheitliche Vorbelastung, hohe Arbeitsschwere, Tragen schwerer persönlicher Schutzausrüstung - PSA). Für nicht belastende Tätigkeiten (z. B. Büroarbeit) und normal situierte Personen erfolgt die Bewertung der Klimaparameter und Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen auf Basis der Arbeitsstättenregel (ASR A3.5, 2010). Hier werden im Punkt 4.4 mit einem Stufenmodell zulässige Lufttemperaturen geregelt (Hellwig, Bux & Pangert, 2012). Generell sollen +26 °C nicht überschritten werden (ganzjährig alle Arbeitsstätten). Wenn die Außenlufttemperatur über +26 °C steigt, sind in Arbeitsräumen für diese Zeit höhere Werte erlaubt. Im Bereich bis +30 °C werden Maßnahmen empfohlen, darüber bis +35 °C muss der Arbeitgeber Maßnahmen ausführen, die die Beanspruchung der Beschäftigten reduzieren. Steigen die Lufttemperaturen in Arbeitsräumen über +35 °C, ist der Raum für die Zeit der Überschreitung ohne Maßnahmen wie bei Hitzearbeit als Arbeitsraum ungeeignet. Da in einem Büro insbesondere technische Maßnahmen (z. B. Luftduschen) oder persönliche Schutzausrüstung (z. B. Hitzeschutzkleidung) nicht anwendbar sind, bleiben nur organisatorische Maßnahmen wie die Regulierung der Arbeitszeit. Zur Orientierung können hier Regelungen aus dem Bereich der Hitzearbeit genutzt werden. Bei Hitzearbeit sind „Entwärmungsphasen“ einzulegen, wofür in der DGUV (2013a) im Abschnitt 6.2.2 die Empfehlung gegeben wird, sich ca. 15 Minuten pro Stunde in einem weniger belastenden Klimabereich aufzuhalten. In einem bei Sommerhitze insgesamt überwärmten Gebäude dürfte es schwierig sein, einen solchen Bereich für alle Beschäftigten einzurichten, was in der Regel dann nur mit einer Klimatisierung möglich ist.

In der Tabelle 4 der ASR A3.5 (2010) wird eine Reihe von einfachen Maßnahmen genannt, die dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten, aber auch zum Erhalt bzw. Förderung ihrer Leistungsfähigkeit bei Sommerhitze dienen. Zum einen sind es Maßnahmen, die der Überwärmung der Räume entgegenwirken (Außenjalousien, Nachtauskühlung, effektive Steuerung von Lüftung/Sonnenschutz, Reduzierung der inneren thermischen Lasten). Allerdings ist deren Wirkung in nicht klimatisierten Gebäuden beschränkt, da die Raumtemperatur bei einer anhaltenden Hitzeperiode sich der Außentemperatur angleicht. Der Einsatz mobiler Klimageräte ist auf kleinere Räume beschränkt und damit verbundene Geräuschbelästigungen, Anschaffungs-/Betriebskosten, Zugluft und Einhaltung der Hygiene (Keimwachstum im Gerät) sind zu beachten.

Sehr wirkungsvoll sind alle Maßnahmen zur Organisation der Arbeitszeit, wie Gleitzeitregelungen mit Aufhebung der Kernarbeitszeit, zusätzliche kurze Pausen, früher Arbeitsbeginn oder zeitliche Verlegung schwerer Arbeiten. Die Ergänzung mit personenbezogenen Maßnahmen findet hohe Akzeptanz bei den Beschäftigten. Das sind z. B. kostenlose Bereitstellung von geeigneten Getränken (Trink- und Mineralwasser, Kräuter-/Früchtetee, ca. ein Liter mehr an einem Acht-Stunden-Büroarbeitstag), Aufhebung von Bekleidungsregelungen („Krawattenzwang“ aussetzen) oder Wasseranwendung zur partiellen Kühlung (Handgelenke und Unterarme). Weitere Informationen sind u. a. auf der Homepage der

BAuA www.baua.de/arbeitsstaetten, in der Quartbroschüre (Gesundes Klima und Wohlbefinden am Arbeitsplatz, 2012) oder dem Faltblatt (BAuA, 2012) zu finden.

7.5. Gestaltung Hitze-/Kältearbeit (Gesundheit)

Praxisorientiertes Wissen zur Gestaltung der Arbeit im Warm-/Hitzebereich und bei Kälte ist bereits länger und umfassend u. a. in der Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV, 2013), in den zugehörigen Arbeitsmedizinischen Regeln (AMR Nr. 13.1, 2014), in Handlungshilfen der Länder und des Bundes (LV 16, 2011; Technik 32, 2003), in den Schriften der Unfallversicherungsträger (BGI/GUV-I 504-30, 2010; BGI 579, 2013; BGI 7002, 2011; BGI 7003, 2010; BGI 504-21, 1998), in Normen (DIN 33403-2, 2008; DIN 33403-3, 2011; DIN 33403-5, 1997; DIN EN ISO 11079, 2008; DIN EN ISO 15743, 2008; DIN EN ISO 9920, 2009; DIN EN ISO 7726, 2002; DIN EN ISO 8996, 2005; DIN EN 27243, 1993; DIN EN ISO 7933, 2004) sowie in wissenschaftlichen Abhandlungen, z. B. Kampmann (2000), verankert. Gemäß den Vorgaben des Arbeitsschutzgesetzes werden, sofern sich technologisch bedingt das Raumklima nicht weiter verbessern lässt, technische, organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen durchgeführt, um die Belastung bzw. Beanspruchung der Beschäftigten im extremen Klima zu reduzieren und damit deren Sicherheit und Gesundheit zu gewährleisten.

Maßnahmen im **Warm-/Hitzebereich** sind z. B. Zuführung kühler Luft, erhöhte Luftgeschwindigkeit am Arbeitsplatz, Abschirmung vor Wärmestrahlung, Verringerung der Arbeitsschwere (z. B. durch Mechanisierung), Begrenzung der Arbeitszeit, ausreichende Entwärmungsphasen, geeignete persönliche Schutzausrüstung (glanzverspiegelte Hitzeschutzkleidung, Kühlwesten), Untersuchung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge, Flüssigkeitsausgleich durch ausreichendes Trinken, Akklimatisation, Unterweisung der Beschäftigten (z. B. Erkennen von Anzeichen einer Hitzeerkrankung) sowie Notfallvorsorge (z. B. Bereithaltung von Kühlmöglichkeiten). Eine praxisorientierte Handlungshilfe zur Erhebung und Bewertung der Hitzebelastung und zur Ableitung medizinisch orientierter Präventionsmaßnahmen enthält DGAUM (2012b). Zudem werden hier die Krankheitsbilder nicht kompensierbarer Hitzebelastungen zusammengefasst. Neben der Ätiologie werden die klinischen Symptome und mögliche Therapien gezeigt.

Maßnahmen im **Kältebereich** sind z. B. lokale Beheizung von Arbeitsplätzen (Strahlungsheizung), beheizbare Werkzeuge/Bedienelemente, Begrenzung der Aufenthaltsdauer und daran angepasste Aufwärmzeiten in entsprechend eingerichteten Räumen (z. B. Warmluftgeräte, Warmgetränke, Kleiderablagen zum Trocknen/Erwärmen), Überwachung einzeln arbeitender Personen (z. B. in Kühlräumen), Untersuchung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge, Kälteadaptation, Kälteschutzkleidung mit für den jeweiligen Kältebereich erforderlicher Wärmeisolation sowie lokale Unterkühlung mit heizbarer Kleidung vermeiden (z. B. Handschuhe, Einlegesohlen). Eine praxisbezogene Zusammenfassung dieser und weiterer medizinisch orientierter Präventionsmaßnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen von Kälte auf den menschlichen Körper wurde von der Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM) veröffentlicht (DGAUM, 2012a). Hier wird auch ein zusätzlicher Energie- und Flüssigkeitsbedarf angezeigt. Der vermehrte Energiebedarf ist u. a. durch den körperlichen Aufwand zum Tragen von schwerer Kälteschutzkleidung und dem erhöhten Stoffwechsel zur Wärmeerzeugung begründet. Der Flüssigkeitsverlust wird durch die gesteigerte Atmung bei schwerer körperlicher Arbeit in Verbindung mit der trockenen Luft und somit erhöhtem Wasserverlust verstärkt. Ein adäquater Ersatz dieser Defizite ist erforderlich.

8. Suchstrings zum Arbeitsbedingungsfaktor „Klima“

Die Suchstrings für die Recherche zur UV *Klima* sind wie folgt aufgebaut:

UV(... OR...) AND KV (... OR...) AND AV(...OR...) NOT NV (...OR...)

Grundsätzlich wird in der Recherche jede mögliche Kombination erfasst. Praktisch lassen sich die Klimabereiche nur bedingt mit verschiedenen Thermen getrennt erfassen. Auch wurden abhängige Variablen zusammengefasst, da sie sich begrifflich nur schwer trennen lassen.

Unabhängige Variable (UV) – Suchstring

Behaglichkeit (behagliches und moderat warmes Klima – erweiterter Komfortbereich)	UV1a	(„indoor climate“ OR „indoor environment“ OR „room climate“ OR Raumklima*) OR (“indoor air temperatur*” OR “indoor temperatur*” OR Raumlufttemperatur* OR “operative temperatur*” OR “air velocity*” OR “indoor air velocity*” OR Raumluftgeschwindigkeit* OR humidity* OR Luftfeuchtigkeit*) OR (“trockene Luft“ OR „dry air“ OR “moisture skin*” OR “eye blink* frequency*” OR “office eye syndrom*”) OR („thermischer Raumkomfort“ OR „thermal comfort“ OR „thermal comfort* room*” OR Behaglichkeit* OR „comfortable climate*” OR Zugluft* OR “störender Luftzug*” OR “draught risk” OR Zugluftrisiko* OR turbulence* OR Turbulenz* OR surface temperature” OR Oberflächentemperatur* OR “radiant temperature asymmetry” OR Strahlungsasymmetrie* OR “radiant temperature” OR “Temperature Perception*”) OR (“natural ventilation*” OR “air-condition*” OR “aircondition*” OR “air condition*” OR cooling* OR ventilation* OR Klimatechnik* OR HVAC)
---	------	--

Kälte/Hitze (physisch belastendes Klima)	UV2a	(heat* OR “heat stress” OR “heat strain*” OR “heat radiation*” OR Wärmestrahlung* OR Kälte* OR cold* OR “cold* stress” OR Akklimatisation* OR acclimatization*)
--	------	---

Kontextvariable (KV) – Suchstring

Arbeit	KV1a	(“work*” OR “works*” OR “work*” OR “worka*” OR “worke*” OR “workg*” OR “worki*” OR “workl*” OR “workp*” OR “occupation*” OR occupat*)
	KV1b	(“work*” OR “works*” OR “work*” OR “worka*” OR “worke*” OR “workg*” OR “worki*” OR “workl*” OR “workp*” OR “occupation*” OR occupat* OR job*)

Ausschlussvariable (NV) – Suchstring

Tiere, Kinder	NV1a	(child* OR Kind* OR animal* OR Tier)
	NV1b	(child* OR Kind* OR animal* OR Tier OR student* OR school*)
anderes „Klima“	NV2a	(Klimawandel* OR „climate change*“ OR „chang* climate*“ OR Betriebsklima* OR „working environment*“ OR Klimakterium OR menopause OR Sicherheitsklima* OR „tropic* climat*“ OR classroom* OR „Psychosocial safety climate*“ OR „organizational * climate“ OR „climat* work*“ OR „team climate“ OR „safety climate*“ OR „social climate*“ OR „ethical climate“ OR „school climate“ OR „service climate“ OR „motivational climate“ OR „racial climate“)

Abhängige Variablen (AV) – Suchstring

Gesundheit beinhaltet zudem: mentale Gesundheit, psychische Störung (AV6), Motivation (AV7) und Arbeitszufriedenheit AV(8)	AV1.1a Negative Aspekte	(Depression OR “major depression*“ OR burnout OR “anxiety disorders“ OR “somatoform disorders“ OR “adjustment disorders“ OR “stress disorders“ OR “stress-related disorders“ OR “stressor-related disorder“ OR “sleep disorders“ OR “depressive disorder“ OR “depressive symptom*“ OR depressiveness OR “dysthymic disorder*“ OR “depressive episode“ OR “affective disorder*“ OR “affective symptom*“ OR “mood disorder*“ OR “mental disorder*“ OR “mental illness“ OR “psychiatric disorder*“ OR “mental health“ OR distress OR “substance-related disorder*“ OR monotony OR “mental fatigue“ OR exhaustion OR satiation OR “mental satiation“)
	AV1.2a Positive Aspekte	(“mental health*“ OR (“well-being“ or “wellbeing*“) OR eudaimonia OR workability* OR “work ability*“ OR happiness* OR (“psychological functioning“ OR “positive functioning“ OR “social functioning“ OR “human functioning“) OR “affect balance“ OR (“positive affect“ and “negative affect*“) OR “positive affect*“ OR “positive emotion*“ OR flourishing* OR “satisfaction with life“ OR “life satisfaction*“ OR “work satisfaction*“ OR “job satisfaction*“ OR “quality of life“)

AV1.3a Be- schwer- den für PubMed	(gastrointestinal diseases[MeSH Terms] OR "gastrointestinal diseases" OR irritable bowel syndrome[MeSH Terms] OR "irritable bowel syndrome" OR abdominal pain[MeSH Terms] OR "abdominal pain" OR gastritis[MeSH Terms] OR gastritis OR "limb pain" OR arthralgia[MeSH Terms] OR arthralgia OR "joint pain" OR muscle tonus[MeSH Terms] OR "muscle tonus" OR "muscle tension" OR psychophysiologic disorders [MeSH Terms] OR "psychosomatic disorder" OR "psychosomatic complaints" OR somatoform disorders[MeSH Terms] OR "somatoform disorders" OR sick building syndrome[MeSH Terms] OR "sick building syndrome" OR headache[MeSH Terms] OR headache OR sleep disorders[MeSH Terms] OR "sleep disorders" OR asthenia[MeSH Terms] OR asthenia OR eye pain[MeSH Terms] OR "eye pain" OR "skin symptoms" OR tinnitus[MeSH Terms] OR tinnitus OR hearing loss[MeSH Terms] OR "hearing loss" OR "unspecific symptoms" OR "nonspecific symptoms" OR "unexplained symptoms" OR "unspecific pain" OR "nonspecific pain" OR "unexplained pain" OR "unspecific complaints" OR "nonspecific complaints" OR "unexplained complaints" OR discomfort OR chronic pain[MeSH Terms] OR "chronic pain" OR "chronic complaints" OR dyspnea[MeSH Terms] OR dyspnea OR breathlessness OR respiration disorders[MeSH Terms] OR "respiration disorders" OR "respiratory diseases")	
AV1.4a Be- schwer- den für EBSKO	(((SU(headache OR "sleep disorders" OR asthenia OR tinnitus OR "irritable bowel syndrome" OR "somatoform disorders")))) OR ((„irritable bowel syndrome“ OR „abdominal pain“ OR gastritis OR „gastrointestinal disorders“ OR arthralgia OR „joint pain“ OR „muscle tension“ OR „muscle tonus“ OR „limb pain“ OR headache OR „sleep disorders“ OR asthenia OR „psychosomatic disorders“ OR „psychosomatic complaints“ OR „somatoform disorders“ OR „sick building syndrome“ OR „eye pain“ OR „skin symptoms“ OR tinnitus OR „hearing loss“ OR breathlessness OR dyspnea OR „respiratory diseases“ OR „respiration disorders“ OR „unspecific symptoms“ OR „nonspecific symptoms“ OR „unexplained symptoms“ OR „unspecific pain“ OR „nonspecific pain“ OR „unexplained pain“ OR „unspecific complaints“ OR „nonspecific complaints“ OR „unexplained complaints“ OR „chronic pain“ OR „chronic complaints“ OR discomfort)))	
Befinden	AV2a	(„allgemeine Müdigkeit“ OR „general fatigue“ OR „allgemeine Mattigkeit“ OR „general lassitude“ OR „körperliche Erschöpfung“ OR „physical exhaustion“ OR „emotionale Erschöpfung“ OR „emotional exhaustion“ OR Reizbarkeit OR irritability OR „mentale Ermüdung“ OR „psychische Ermüdung“ OR „mental fatigue“ OR Monotonie OR monotony* OR Wachsamkeit OR Vigilanz OR Alertness OR vigilance OR Erholung OR recovery* OR Erholungsfähigkeit* OR buoyancy OR recuperativeness OR Anspannung OR strain OR Erregung OR excitation OR Frustration OR Aktivierung OR vitalization OR activation OR „positive Gestimmtheit“ OR „positive mood“ OR Ausgeglichenheit OR evenness OR Anstrengung OR effort OR Unzufriedenheit* OR discontent OR dissatisfaction* OR disaffection)

Leistung	AV3.1a Kognitive Leis- tungsfä- higkeit	(cognition OR „cognitive function“ OR “cognitive efficiency” OR „cognitive impairment“ OR memor* OR „neuropsychological memor*“ OR alzheimer* OR dementia[MeSH] OR forget* OR „cognitive failure“ OR „cognitive decline“ OR „cognitive performance“ OR „cognitive deterioration“ OR intelligence OR reasoning* OR learning* OR „problem solving“ OR inhibition OR planning* OR attention* OR „executive function“ OR conscious* OR „processing speed“ OR language OR “decision making” OR alertness*)
	AV3.2a Allgemein	(Arbeitsleistung* OR performance* OR efficiency OR „work performance“ OR Effizienz OR efficiency OR Produktivität OR productivity* OR Leistungssteigerung* OR „increased efficiency“ OR „improvement of performance“ OR Leistungsschwankung* OR „performance“ OR Leistungsgeschwindigkeit* OR „performance speed“ OR Leistungsqualität* OR „performance quality“ OR Normalleistung OR „normal performance“ OR Fehler OR mistake OR Unfälle OR Unfall* OR accident*)
Muskel- Skelett- System	AV4a	(((pain OR pain[MeSH Terms]) OR complaint) AND ("lower extremity"[MeSH Terms] or lower extremit* or "lower limb" or knee[MeSH Terms] or “knee joint”[MeSH Terms] or “knee” or “pelvis”[MeSH terms] or pelvic or neck[MeSH Terms] or “neck” or “neck muscles”[MeSH Terms] or “shoulder”[MeSH Terms] or “shoulder joint”[MeSH Terms] or shoulder or “back”[MeSH Terms] or “back” or “low back” or “hip”[MeSH Terms] or hip or “elbow”[MeSH Terms] or “elbow joint”[MeSH Terms] or elbow or "upper extremity"[MeSH terms] or upper extremit* or "upper limb" or "arm"[MeSH Terms] or arm or “musculoskeletal system”[MeSH Terms] or “trigger points”[MeSH terms]) OR "neck pain"[MeSH Terms] or "neck pain" or "shoulder pain"[MeSH Terms] or "shoulder pain" or "low back pain"[MeSH Terms] or "low back pain" or "back pain"[MeSH Terms] or "low back pain" or “musculoskeletal disorder” or "musculoskeletal pain" or musculoskeletal pain[MeSH Terms] or "muscular pain" or "muscular disease" or “muscular diseases”[MeSH Terms] or “musculoskeletal system”[MeSH Terms] or musculoskeletal system or cumulative trauma disorder or cumulative trauma disorders[MeSH Terms] or “tennis elbow”[MeSH Terms] or “tennis elbow” or "patellofemoral pain" or "myofascial pain" or “Myofascial Pain Syndromes”[MeSH Terms] or “fibromyalgia”[MeSH Terms] or “patellofemoral pain syndrome” or “patellofemoral pain syndrome”[MeSH Terms])
Herz- Kreislauf- System	AV5a	(„Cardiovascular diseases“ OR „blood pressure“ OR hypertension OR“ coronary heart disease“ OR „coronary disease“ OR „cerebrovascular disorders“ OR „angina pectoris“ OR „cardiovascular death“ OR „heart failure“ OR atheroscler*)

Tab. 3 Suchkombinationen für UV1

Behaglichkeit UV1 (behagliches und moderat warmes Klima – erweiterter Komfortbereich)		
Gesundheit, mentale Gesundheit, psychische Störung (AV6), Motivation (AV7), Arbeitszufriedenheit (AV8)	AV1.1a Negative Aspekte	1
	AV1.2a Positive Aspekte	2
	AV1.3a Beschwerden PubMed	3
	AV1.4a Beschwerden EBSCO	4
Befinden	AV2a	5
Leistung	AV3.1a Kognitive Leistungsfähigkeit	6
	AV3.2a Allgemein	7
Muskel-Skelett-System	AV4a	8
Herz-Kreislauf-System	AV5a	9

Tab 4 Suchkombinationen für UV2

Kälte/Hitze UV2 (physisch belastendes Klima)		
Gesundheit, mentale Gesundheit, psychische Störung (AV6), Motivation (AV7), Arbeitszufriedenheit (AV8)	AV1.1a Negative Aspekte	1
	AV1.2a Positive Aspekte	2
	AV1.3a Beschwerden PubMed	3
	AV1.4a Beschwerden EBSCO	4
Befinden	AV2a	5
Leistung	AV3.1a Kognitive Leistungsfähigkeit	6
	AV3.2a Allgemein	7
Muskel-Skelett-System	AV4a	8
Herz-Kreislauf-System	AV5a	9

Beispiel 1: UV1 AND KV1 AND AV1.1a NOT NV1

9. Literatur

- Akimoto, T., Tanabe, S.-i., Yanai, T. & Sasaki, M. (2010). Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. *Building and Environment*, 45(1), 45-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.022>
- AMR Nr. 13.1. Arbeitsmedizinische Regel (2014), Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können, GMBI 2014, GMBI S. 97.
- Arbeitsstättenrichtlinie 89/654/EWG (2007).
- ArbMedVV (2013). Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV).
- ArbSchG (2013). Arbeitsschutzgesetz - vom 7. August 1996, BGBl. I S. 1246 (19.10.2013).
- ArbStättV (2010). Arbeitstättenverordnung - vom 12. August 2004, BGBl. I Nr. 44, S. 2179 (19.07.2010).
- ASR A1.5/1,2 Fußböden (2013), Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2013, S. 348, geändert und ergänzt GMBI 2013, S. 931, BAuA 22.
- ASR A3.5 Raumtemperatur (2010), Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2010, S. 751, zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287, BAuA 7.
- ASR A3.6 Lüftung (2012). Technische Regel für Arbeitsstätten, GMBI 2012, S. 92, geändert GMBI 2013, S. 359, BAuA 15.
- Barrow, M. W. & Clark, K. A. (1998). Heat-related illnesses. *Am Fam Physician*, 58(3), 749-756, 759.
- BAuA (2012). Sommerhitze im Büro - Hinweise und Tipps für die heißen Tage. Faltblatt der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund: BAuA.
- Belding, H. S., Givoni, B., Gupta, M. N., Hamar, N., Lavenne, F., Lind, A. R., Wenzel, H. G. (1969). Health Factors Involved in Working under Conditions of Heat Stress. *Technical Report Series 412* (pp. 32). Geneva: World Health Organization.
- BGI 504-21 (1998), Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 21 "Kältearbeiten".
- BGI 579 (2013), Hitzearbeit: erkennen – beurteilen – schützen. BGHM.
- BGI 7004: Klima im Büro - Antworten auf die häufigsten Fragen. BGI (2007 01/2007).
- BGI/GUV-I 504-30 (2010), Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 30 „Hitze“. DGUV.
- BGI/GUV-I 7002 (2011), Beurteilung von Hitzearbeit - Tipps für Wirtschaft, Verwaltung, Dienstleistung. DGUV.
- BGI/GUV-I 7003 (2010), Beurteilung des Raumklimas. DGUV.
- Bischof, W., Bullinger-Naber, M., Kruppa, B., Müller, B. H. & Schwab, R. (2003). *Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden. Ergebnisse des ProKlimA-Projektes*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag
- Bischof, W., Hellwig, R. T. & Brasche, S. (2007). Thermischer Komfort – die extraphysikalischen Aspekte. *Bauphysik*, 29(3), 208-212.
- BNB (2011, 2013). Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Kriterien - BNB Büro- und Verwaltungsgebäude - Neubau, Version 2011_1. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Retrieved 12-11-2014, 2014, from https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/no_cache/bewertungssystem/bnb-bueroegebaeude/bnb-bn-2011-1/kriterien-bnb-buero-und-verwaltungsgebaeude-neubau.html
- Brager, G., Zhang, H. & Arens, E. (2015). Evolving opportunities for providing thermal comfort. *Building Research & Information*, 43(3), 274-287. doi: 10.1080/09613218.2015.993536

- Brasche, S., Bullinger, M., Petrovitch, A., Mayer, E., Gebhardt, H., Herzog, V. & Bischof, W. (2005). Self-reported eye symptoms and related diagnostic findings - comparison of risk factor profiles. *Indoor Air*, 15(10), 56-64. doi: 10.1111/j.1600-0668.2005.00358.x
- Brasche, S., Bullinger, M., Schwab, R., Gebhardt, H., Herzog, V. & Bischof, W. (2004). Comparison of risk factor profiles concerning self-reported skin complaints and objectively determined skin symptoms in German office workers. *Indoor Air*, 14(2), 137-143.
- Bröde, P., Rinkenauer, G., Jaschinski, W. & Schütte, M. (2013). *Effectiveness in cognitive task performance under time pressure and elevated ambient temperature*. Paper presented at the 15th International Conference on Environmental Ergonomics 2013, Queenstown, New Zealand.
http://www.lboro.ac.uk/microsites/lds/EEC/ICEE/textsearch/13proceedings/Environmental%20Ergonomics%20XV_Proceedings%20for%20Webpage.pdf
- Bux, K. (2015). Klima. In A. Seidler, U. Euler, S. Letzel & D. Nowak (Eds.), *Gesunde Gestaltung von Büroarbeitsplätzen - Arbeitsmedizinische Aspekte, Physikalische Einflussfaktoren, Gefahrstoffexposition, Organisationsformen*. (pp. 34-51). Landsberg am Lech: ecomed MEDIZIN.
- Bux, K. & Kampmann, B. (2014). B III Physikalische Grundlagen - B III-1 Raumklima. In S. Letzel & D. Nowak (Eds.), *Handbuch der Arbeitsmedizin - Arbeitspsychologie, Klinische Arbeitsmedizin, Prävention und Gesundheitsförderung*. (Vol. 35. Erg. Lfg. 12/14, pp. 1-35). Heidelberg: ecomed MEDIZIN.
- Cheung, S. S., Westwood, D. A. & Knox, M. K. (2007). Mild body cooling impairs attention via distraction from skin cooling. *Ergonomics*, 50(2), 275-288. doi: 10.1080/00140130601068683
- Daanen, H. A., Koedam, J. & Cheung, S. S. (2012). Trainability of cold induced vasodilatation in fingers and toes. *Eur J Appl Physiol*, 112(7), 2595-2601. doi: 10.1007/s00421-011-2233-4
- DGAUM (2012a). S1-Leitlinie 002/041 - Arbeit unter klimatischer Belastung: Kälte, Stand: 07/2012. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-041I_S1_Arbeit_unter_klimatischer_Belastung_Kaelte_2012-07.pdf
- DGAUM (2012b). S1-Leitlinie 002/039 - Arbeit unter klimatischer Belastung: Hitze, Stand 07/2012. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-039I_S1_Arbeit_unter_klimatischer_Belastung_Hitze_2012-07.pdf
- DGUV (2008). Positionspapier Trockene Luft 2008. Trockene Luft im Büro – ein Problem?. Position des Arbeitskreis „Klima“ im „Fachausschuss Einwirkungen und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren (FA WIRK): DGUV.
- DGUV (2013a). DGUV Information 213-002 (ehemals BGI 579) - Hitzearbeit (pp. 32). Mainz: DGUV.
- DGUV (2013b). Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften, der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). (3rd ed., pp. 234). Berlin: DGUV.
- DIN-Fachbericht 128 (2003), Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Grundlagen zur Klimaermittlung. Deutsches Institut für Normung.
- DIN 33403-2:2000-08, Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 2: Einfluß des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen (DIN 33403-2:2000-08).
- DIN 33403-3:2011-07, Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße (DIN 33403-3:2011-07).
- DIN 33403-5:1997-01, Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (DIN 33403-5:1997-01).

- DIN EN 27243:1993, Warmes Umgebungsklima; Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (ISO 7243:1989); Deutsche Fassung EN 27243:1993.
- DIN EN ISO 7726:2002-04, Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen (ISO 7726:1998); Deutsche Fassung EN ISO 7726:2001.
- DIN EN ISO 7730:2006-05, Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.
- DIN EN ISO 7933:2004, Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (DIN ISO 7933:2004).
- DIN EN ISO 8996:2005-01, Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO 8996:2004); Deutsche Fassung EN ISO 8996:2004.
- DIN EN ISO 9920:2009-10, Ergonomie der thermischen Umgebung - Abschätzung der Wärmeisolation und des Verdunstungswiderstandes einer Bekleidungskombination (ISO 9920:2007, Korrigierte Fassung 2008-11-01); Deutsche Fassung EN ISO 9920:2009-10.
- DIN EN ISO 11079:2008-04, Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen (ISO 11079:2007); Deutsche Fassung EN ISO 11079:2007.
- DIN EN ISO 13779:2009-07, Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007. 9).
- DIN EN ISO 15251:2012-12, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007.
- DIN EN ISO 15743:2008, Ergonomie der thermischen Umgebung - Arbeitsplätze in der Kälte - Risikobewertung und Management (ISO 15743:2008); Deutsche Fassung EN ISO 15743:2008.
- Epstein, Y. & Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health*, 44(3), 388-398.
- Erlandson, T., Cena, K., Dear, R. D. & Havenith, G. (2003). Environmental and human factors influencing thermal comfort of office occupants in hot-humid and hot-arid climates. *Ergonomics*, 46(6), 616-628.
- Fang, L., Wyon, D. P., Clausen, G. & Fanger, P. O. (2004). Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air*, 14(7), 74-81. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00276.x
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Forsthoff, A. (1983). *Arbeit in minus 28 Grad Celsius: arbeitsphysiologische Untersuchungen zur klimatischen Belastung bei Körperarbeit in extrem tiefen Umgebungstemperaturen unter besonderer Berücksichtigung der Kühlhausarbeit*. Köln: Schmidt Verlag.
- BAuA. (2012) *Gesundes Klima und Wohlbefinden am Arbeitsplatz*. (Vol. 2, pp. 32). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Hellwig, R. T. (2011). Die Bedeutung des Raumklimas in der Nachhaltigkeitsbewertung. *HLH Lüftung/Klima - Heizung/Sanitär - Gebäudetechnik*, 62(3), 38-45.
- Hellwig, R. T. (2014). *User friendliness and building automation - A conceptual approach to understanding perceived control*. Paper presented at the 8th Windsor Conference 2014: Counting the Cost of Comfort in a changing world, Cumberland Lodge, Windsor, UK.

- Hellwig, R. T. (2015a). Perceived control in indoor environments: a conceptual approach. *Building Research and Information*, 43(3), 302-315.
- Hellwig, R. T. (2015b). *Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt, hier: Wahrgenommene Kontrollmöglichkeit als Mediator oder Moderator für Zufriedenheit mit dem Raumklima*. Stellungnahme Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Hellwig, R. T., Bux, K. & Pangert, R. (2012). Zur Neufassung der Arbeitsstättenregel ASR A3.5 Raumtemperatur. *Bauphysik*, 34(6), 268-274. doi: 10.1002/bapi.201200036
- Hellwig, R. T., Nöske, I., Brasche, S., Gebhardt, H., Levchuk, I. & Bischof, W. (2012). *Hitzebeanspruchung und Leistungsfähigkeit in Büroräumen bei erhöhten Außentemperaturen - HESO*. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Huizenga, C., Abbaszadeh, S., Zagreus, L. & Arens, E. A. (2006). *Air quality and thermal comfort in office buildings: Results of a large indoor environmental quality survey*. Paper presented at the Proceedings of Healthy Buildings 2006, Lisbon.
- Hygge, S. & Knez, I. (2001). Effects of noise, heat and indoor lighting on cognitive performance and self-reported affect. *Journal of Environmental Psychology*, 21(3), 291-299.
- Kampmann, B. (2000). *Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima. Ergebnisse aus Laboruntersuchungen und aus Feldstudien im Steinkohlenbergbau. Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendi im Fach Arbeitsphysiologie des Fachbereiches Sicherheitstechnik an der Bergischen Universität*. Bergische Universität – Gesamthochschule Wuppertal, Wuppertal.
- Katz, D. K. (1988). Das Raumklima beeinflusst die Arbeitszufriedenheit: Klimatische Bedingungen am Arbeitsplatz. [The interior climate influences job satisfaction. Climatic conditions of workplaces]. *Humane Produktion Humane Arbeitsplätze*, 10(2), 56-59.
- Klimaerlass (2008). Richtlinie zu baulichen und planerischen Vorgaben für Baumaßnahmen des Bundes zur Gewährleistung der thermischen Behaglichkeit im Sommer (Erlass B12–8132.1/0 vom 05.12.2008 des BMVBS) 11
- Kozak, W., Stein, D., Felsmann, C., Hensel, B., Kabitzsch, K., Rieckho, F. & Rösler, M. (2014). Möglichkeiten und Grenzen einer Aml-basierten Regelung raumluftechnischer Anlagen und beispielhafte Anwendung auf das Phänomen „Trockene Luft“. Zusammenfassung zum Forschungsprojekt F2299. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
- Kuchen, E. & Fisch, M. N. (2009). Spot Monitoring: Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. *Building and Environment*, 44(4), 839-847. doi: 10.1016/j.buildenv.2008.06.023
- Lan, L., Lian, Z. & Pan, L. (2010). The effects of air temperature on office workers' well-being, workload and productivity-evaluated with subjective ratings. *Applied Ergonomics*, 42(1), 29-36. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2010.04.003>
- Lan, L., Wargocki, P. & Lian, Z. (2011). Quantitative measurement of productivity loss due to thermal discomfort. *Energy and Buildings*, 43(5), 1057-1062. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.09.001>
- Lan, L., Wargocki, P. & Lian, Z. (2014). Thermal effects on human performance in office environment measured by integrating task speed and accuracy. *Applied Ergonomics*, 45(3), 490-495.
- Lan, L., Wargocki, P., Wyon, D. P. & Lian, Z. (2011). Effects of thermal discomfort in an office on perceived air quality, SBS symptoms, physiological responses, and human performance. *Indoor Air*, 21(5), 376-390. doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00714.x
- Long, Y., He, J., Wang, W., Zhan, C. & Li, C. (2000). Psychological state of female workers in air-conditioned workshop. *Homeostasis in Health and Disease*, 40(6), 213-216.

- LV 16 Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter (2011), Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) 42 S.
- Makinen, T. M. & Hassi, J. (2009). Health problems in cold work. *Ind Health*, 47(3), 207-220.
- Müller-Arnecke, H. W. & Hold, U. (1999). *Ergonomische Gestaltung von Kältearbeit im Bereich 0° C*. (Vol. 1). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.
- Newsham, G. R., Veitch, J. A. & Charles, K. E. (2008). Risk factors for dissatisfaction with the indoor environment in open-plan offices: an analysis of COPE field study data. *Indoor Air*, 18(4), 271-282. doi: 10.1111/j.1600-0668.2008.00525.x
- O'Neal, E. K. & Bishop, P. (2010). Effects of work in a hot environment on repeated performances of multiple types of simple mental tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(1), 77-81. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2009.07.002>
- Parkinson, T. & de Dear, R. (2014). Thermal pleasure in built environments: physiology of alliesthesia. *Building Research & Information*, 43(3), 288-301. doi: 10.1080/09613218.2015.989662
- Parsons, K. C. (2000). Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models. *Applied Ergonomics*, 31(6), 581-594.
- Parsons, K. C. (2003). *Human thermal environments. The effects of hot, moderate and cold Environments on human health, comfort and performance*. (Vol. 2). London: Taylor & Francis
- Peters, T. (1976). *Arbeitswissenschaften für die Büropraxis - Ein Handbuch der Büro-Medizin und -Ergonomie*. (Vol. 2). Ludwigshafen: Friedrich Kiehl Verlag.
- Radl, G. W. (1983). *Bestimmt das Raumklima das Betriebsklima?* Seeshaupt (Starnberger See) Akzente, Studiengemeinschaft Akzeptanz neuer Bürotechnologien.
- RatgeberBüro (2009). Ratgeber Büro - Zu trockene Luft im Büro! - Welchen Einfluss hat die Luftfeuchte auf die Gesundheit am Arbeitsplatz? 2014(01), 1-7. Retrieved from "Zu trockene Luft im Büro": Erster Büro-Ratgeber des Deutschen Netzwerk Büro ist erschienen website: <http://www.deutsches-netzwerk-buero.de/zu-trockene-luft-im-buro-erster-buro-ratgeber-des-deutschen-netzwerk-buro-ist-erschieden/>
- Reinikainen, L. M., Jaakkola, J. J. & Seppanen, O. (1992). The effect of air humidification on symptoms and perception of indoor air quality in office workers: a six-period cross-over trial. *Arch Environ Health*, 47(1), 8-15. doi: 10.1080/00039896.1992.9935938
- Richter, W. (2003). *Handbuch der thermischen Behaglichkeit - Heizperiode* - (Vol. 1). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.
- Richter, W. (2007). *Handbuch der thermischen Behaglichkeit - Sommerlicher Kühlbetrieb* - (A. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Ed. Vol. 1). Dortmund Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Roaf, S., Brotas, L. & Nicol, F. (2015). Counting the costs of comfort. *Building Research & Information*, 43(3), 269-273. doi: 10.1080/09613218.2014.998948
- Scharlau, K. (1941). Schwüle und Behaglichkeit als Klimagrößen. *Medical Microbiology and Immunology*, 123(4), 511-530.
- Schellen, L., Loomans, M. G. L. C., de Wit, M. H., Olesen, B. W. & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2012). The influence of local effects on thermal sensation under non-uniform environmental conditions – Gender differences in thermophysiology, thermal comfort and productivity during convective and radiant cooling. *Physiology & Behavior*, 107(2), 252-261.
- Schmidt, F. R., Thews, G. & Lang, F. (2010). *Physiologie des Menschen*. (Vol. 31). Berlin: Springer Verlag

- Scholl, C. (1987). *Der Einfluß künstlichen Raumklimas auf das psychische Wohlbefinden*. (Dissertation), Universität Wien, Wien. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=pdx&AN=0033071&site=ehost-live> Available from EBSCOHost pdx database.
- Seppänen, O. & Fisk, W. J. (2004). *Effect of Ventilation on Health and other Human Responses in Office Environment*. Paper presented at the Roomvent Sept. 2004, Coimbra, Portugal.
- Seppänen, O., Fisk, W. J. & Faulkner, D. (2004). Control of Temperature for Health and Productivity in Offices. *Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-55448*, 8.
- Seppänen, O., Fisk, W. J. & Lei, Q. H. (2006). *Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment*. Paper presented at the Cold Climate HVAC, Moscow. <http://indoor.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-60946.pdf>
- Steel, J., Palese, P. & Lowen, A. C. (2011). Transmission of a 2009 Pandemic Influenza Virus Shows a Sensitivity to Temperature and Humidity Similar to That of an H3N2 Seasonal Strain. *The Journal of Virology*, 85(3), 1400-1402.
- Stössel, U. & Matzarakis, A. (2008). Soziale und psychische Folgen des Klimawandels sowie ihre Wahrnehmung und Bewertung durch den Menschen. In J. L. Lozán (Ed.), *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken: Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen; wissenschaftliche Fakten; mit 37 Tabellen* (pp. 383). Hamburg: Wiss. Auswertungen [u. a.].
- Technik 32: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen (2003). BAuA § 19.
- Tham, K. W. & Willem, H. C. (2010). Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness. *Building and Environment*, 45(1), 40-44. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.04.002>
- Urlaub, S., Werth, L., Steidle, A., van Treeck, C. & Sedlbauer, K. (2012). *Methodik zur Quantifizierung der Auswirkung von moderater Wärmebelastung auf die menschliche Leistungsfähigkeit*. Paper presented at the Fourth German-Austrian IBPSA Conference BauSim 2012, Berlin University of the Arts.
- van der Linden, A. C., Boerstra, A. C. & Kurvers, S. R. (2002). *Thermal Indoor Climates as a Building Performance. Proposal for new criteria, design aids and assessment methods in The Netherlands*. Paper presented at the Advances in Building Technology.
- Veitch, J. A., Charles, K. E., Farley, K. M. J. & Newsham, G. R. (2007). A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. *Journal of Environmental Psychology*, 27(3), 177-189. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.04.002>
- von Hahn, N. (2007). „Trockene Luft“ und ihre Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 67(3), 103-107.
- Wargocki, P., Dalewski, M. & Haneda, M. (2009). *Physiological effects of thermal environment on office work*. Paper presented at the Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, USA.
- Wargocki, P., Wyon, D. P. & Fanger, P. O. (2004). The performance and subjective responses of call-center operators with new and used supply air filters at two outdoor air supply rates. *Indoor Air*, 14 Suppl 8, 7-16. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00304.x
- Wexler, R. K. (2002). Evaluation and treatment of heat-related illnesses. *Am Fam Physician*, 65(11), 2307-2314.
- Witterseh, T., Wyon, D. P. & Clausen, G. (2004). The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. *Indoor Air*, 14 Suppl 8, 30-40. doi: 10.1111/j.1600-0668.2004.00305.x
- Zhang, H., Arens, E., Kim, D., Buchberger, E., Bauman, F. & Huizenga, C. (2010). Comfort, perceived air quality, and work performance in a low-power task-ambient conditioning system. *Building and Environment*, 45(1), 29-39. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.02.016>

10. Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal A und den Outcomes	16
Tab. 2	Übersicht über die Studien zum Zusammenhang zwischen dem Merkmal B und den Outcomes	28
Tab. 3	Suchkombinationen für UV1	47
Tab. 4	Suchkombinationen für UV2	47

11. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Flussdiagramm – Übersicht zur Recherchearbeit, Trefferlage und Studienein-/ausschluss.....	13
Abb. 2	Wechselwirkungen der abhängigen Variablen (AV1 bis AV4), Modelle/Literatur (Beispiele) sowie Hauptproblemfelder zum Merkmal A des Arbeitsbedingungsfaktors Raumklima	15