

### Belastungen am Arbeitsplatz durch Hitze am Beispiel der TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen

Literaturrecherche und  
arbeitsmedizinische Stellungnahme

Priv. Doz. Dr. med. univ. Georg Wultsch



WIEN

# Belastungen am Arbeitsplatz durch Hitze am Beispiel der TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen

Literaturrecherche und arbeitsmedizinische Stellungnahme

Priv. Doz. Dr. med. univ. Georg Wultsch

Autor: Priv. Doz. Dr. med. univ. Georg Wultsch  
Gastprofessor für Arbeitsmedizin an der Medizinische Universität Graz  
Facharzt für Arbeitsmedizin und angewandte Physiologie  
Arzt für Allgemeinmedizin  
REFA Industrial Engineer  
Spezialisierung in fachspezifischer psychosomatischer Medizin  
Zertifikat für Zusammenhangsbegutachtung der DGAUM  
MELBA® und IDA® zertifiziert

Johann-Strauß-Gasse 4  
8010 Graz

E-Mail: office@georg-wultsch.at  
Internet: georg.wultsch@medunigraz.at

Bearbeitung,  
Layout: Krisztina Hubmann (AK Wien)

Zu beziehen bei: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien  
Abteilung Umwelt und Verkehr  
1040 Wien, Prinz Eugen-Straße 20-22  
Telefon: +43 1 / 501 65 DW 12422  
E-Mail: UVSek@akwien.at

Zitiervorschlag: *Wultsch*, (2019): Belastungen am Arbeitsplatz durch Hitze  
am Beispiel der TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen  
In: Verkehr und Infrastruktur, 63  
Wien: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien

*Stand: Dezember 2019 Überarbeitet: Juni 2021*  
*Medieninhaber: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien*  
*1040 Wien, Prinz Eugen-Straße 20-22*  
*Druck: Eigenvervielfältigung*  
*Verlags- und Herstellort: Wien*  
**ISBN: 978-3-7063-0882-3**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>VORWORT</b>	<b>9</b>
<b>1 Allgemeiner Teil und Auswirkungen von Hitzestress auf den menschlichen Körper</b>	<b>11</b>
1.1 Suchstrategie	11
1.1.1 Verwendete Datenbanken	11
1.1.2 Schlüsselwörter	11
1.2 Allgemeine Einleitung	11
1.2.1 Ausgangssituation	11
1.2.2 Körperwärmebilanz	12
1.2.3 Thermoregulation	14
1.2.4 Akklimatisation	15
1.2.5 Stadien der Hitzeerkrankung	18
1.2.6 Gesetzliche Grenzwerte und Vorgaben	20
1.2.7 Prävention und Schutzmaßnahmen	23
1.3 Darstellung der thermischen Umgebung	30
1.4 Herz-Kreislauf-Reaktionen bei passivem Hitzestress	32
1.5 Zerebrale Gefäßkontrolle und Stoffwechsel bei Hitzestress	34
1.6 Hitzestress und kognitive Reaktionen sowie psychische Gesundheit	34
1.7 Biochemische Reaktionen auf Hitzestress	38
1.8 Die Auswirkungen von Hitzestress auf die Nierenfunktion	39
1.9 Einfluss von Hitzestress auf die Fortpflanzungsfunktion beim Menschen	39
1.10 Der Einfluss von Geschlecht und Alter auf Hitzestress	40
1.11 Hitzestress und das Auftreten von Arbeitsunfällen und Todesfällen	41
1.12 Hitzestress und DNA-Schaden	42
1.13 Vorgaben zum Schutz vor Hitzestress	43
1.14 Methoden zum Schutz gegen Hitzestress	45
<b>2 Sonderteil Auswirkung von Hitzestress auf ProbandInnen in unterschiedlichen Berufsgruppen</b>	<b>47</b>
2.1 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf „Fahrpersonal“	47
2.2 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf Piloten	49
2.3 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf BauarbeiterInnen	51
2.4 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf LandarbeiterInnen	53
2.5 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf andere ArbeitnehmerInnen	54

<b>3</b>	<b>Hitze und Produktivität</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>Arbeitsmedizinische Stellungnahme</b>	<b>63</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>67</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>69</b>
	<b>VERKEHR UND INFRASTRUKTUR</b>	<b>77</b>

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b> Wärmebilanz des Körpers zwischen extremer Kälte- und Hitzebelastung (nach Grandjean 1967). _____	12
<b>Abbildung 2:</b> Verhalten einiger physiologischer Größen eines weitgehend unbedeckten, sitzenden Mannes in verschiedenen Raumtemperaturen (nach Wenzel 1970, Einfluss von Klimagrößen). _____	13
<b>Abbildung 3:</b> Verhalten von Rektaltemperatur und Pulsfrequenz der bekleideten Menschen vor und nach Akklimatisation (nach Robinson 1926). _____	15
<b>Abbildung 4:</b> Maximalwerte der Schweißproduktion in Abhängigkeit von der Dauer der Hitzeexposition (nach Wenzel et al. 1982). _____	16
<b>Abbildung 5:</b> Typisches Verhalten von Rektaltemperatur (schwarzer Punkt), Herzfrequenz (weißer Punkt) und Schweißproduktion (Dreieck), (nach Lind und Bass 1963). _____	16
<b>Abbildung 6:</b> Rückgang der Hitzeakklimatisation (nach Williams et. al.1967). _____	17
<b>Abbildung 7:</b> Die Auswirkungen der Abweichungen von einem behaglichen Raumklima (Grandjean 1991). _____	18
<b>Abbildung 8:</b> Letalität von Hitzeschlagerkrankungen in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur bei Einlieferung ins Krankenhaus (Morrison, Wyndhalm 1977). _____	19
<b>Abbildung 9:</b> Relative Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Hitzschlages in Abhängigkeit vom Übergewicht (Schikele 1982). _____	19
<b>Abbildung 10:</b> Empfohlene Klimagrenzen für mehrstündige Arbeit (nach Wenzel, Piekarski 1982). _____	24
<b>Abbildung 11:</b> Empfohlene Klimagrenzen für mehrstündige Arbeit mit der Basis – Effektivtemperatur als Klimasummenmaß (nach Wenzel, Piekarski 1982). _____	25
<b>Abbildung 12:</b> Toleranzzeiten bei extremen Klimabelastungen mit dem WBGT-Index als Klimasummenmaß (nach Dasler 1974). _____	26
<b>Abbildung 13:</b> Empfohlene Pausenanteile bei körperlicher Tätigkeit von HitzearbeiterInnen mit leichter Sommerbekleidung in verschieden warmem Klima (nach ACGIH 1978). _____	26
<b>Abbildung 14:</b> Zulässigkeitsbereich der Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur, um in einem Behaglichkeitsbereich zu bleiben (DIN 1946). _____	27
<b>Abbildung 15:</b> Klimabewertung (Effektivtemperatur NET) in Abhängigkeit vom Arbeitsenergieumsatz; Bereich der Wärmebelastung (nach Hettinger et al 1984b). _____	27
<b>Abbildung 16:</b> Einteilung des Arbeitsenergieumsatzes (AU) und Gesamtenergieumsatzes (EU) nach Tätigkeitsarten (in Anlehnung an DIN EN ISO 8996 (Januar 2005), fett gedruckt in Spalte 1 die Werte aus der BG-Information „Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge“. _____	28
<b>Abbildung 17:</b> Richtwerte der NET in °C in Abhängigkeit von der maximal zulässigen Expositionszeit für die Durchführung von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen nach dem BG-Grundsatz G 30 „Hitzearbeiten“. _____	29

<b>Abbildung 18:</b> Richtwerte für den WBGT-Index in Abhängigkeit vom Energieumsatz für Dauerexposition (Schicht) (nach DIN EN 272).	29
<b>Abbildung 19 (links):</b> Fehler von Morsecode-Operatoren. Alle elf Probanden waren geschulte Bediener. Gruppe A enthielt die besten Drei, B die nächsten Fünf und C die schlechtesten Drei (Mackworth 1946).	35
<b>Abbildung 20 (rechts):</b> Änderungen der Reaktionszeit im Verlauf eines Wachsamkeitstests unter drei Wärmebelastungen (Mackworth 1950).	35
<b>Abbildung 21:</b> Leistungstrend bei physischer und psychisch/psychologischer Tätigkeit in Abhängigkeit von der Raumtemperatur (nach Werten von Ehrismann u. Hasse, Lehmann u. Szakall, Mackworth, Vitales).	36
<b>Abbildung 22:</b> Abhängigkeit der relativen mittleren Leistung bei psychischen und psychophysischen Tätigkeiten bei unterschiedlich erhöhter Basis – Effektivtemperatur (nach Mackworth, Vitales und Smith 1950, 1952).	36
<b>Abbildung 23:</b> Arbeitszeit bei schwerer körperlicher Arbeit in Abhängigkeit von der Effektivtemperatur (nach Skiba 1973).	61
<b>Abbildung 24:</b> Vereinfachte Zusammenfassung Indoor Climate, Unfallhäufigkeit, Produktivität und Wohlbefinden (nach Wyon 1986).	61

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b> Empfohlene WBGT-Referenzwerte für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen für fünf unterschiedliche Belastungsstufen.	31
--	----

# VORWORT

Seit Jahren nehmen die Tage mit sehr hohen Temperaturen nachweislich zu. Die Folgen der Klimakrise werden für immer mehr Menschen am eigenen Körper spürbar. Hitze ist im Prioritätenranking der Klimafolgen eines der Tophemen. Der Temperaturanstieg macht auch vor den Arbeitsplätzen nicht halt, sondern wirkt sich auf die Arbeitsbedingungen und die Gesundheit der dort Beschäftigten aus. Denn bei hohen Temperaturen kommt es zu einer massiven Zunahme der gesundheitlichen Belastung für die ArbeitnehmerInnen bis hin zu akuten oder langfristigen Hitzeerkrankungen. Faktoren wie die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit sowie die Produktivität sinken stark ab. Fehler häufen sich und das Risiko für Unfälle steigt. Die Gefahr eines Sonnenstichs, Hitzekollapses oder Hitzeschlags ist, gerade bei schwerer körperlicher Arbeit im Freien, immer öfter gegeben. Überhitzte Arbeitsplätze, an denen ArbeitnehmerInnen regelmäßig oder über lange Zeit arbeiten werden immer mehr zu einer ernsthaften Bedrohung für die Gesundheit.

Konkrete gesetzliche, auf die jeweilige Tätigkeit bezogene Temperaturobergrenzen, gibt es derzeit nicht. Weder für Arbeitsstätten, Arbeiten im Freien noch für auswärtige Arbeitsstellen oder Baustellen. Die Hitzebelastung und die damit einhergehende Gefahren für Sicherheit und Gesundheit werden daher kaum thematisiert und oftmals ignoriert. Präventive Hitzeschutzmaßnahmen an Arbeitsplätzen, wie Wärmeisolierung, Lüftungen, Begrünungen, Außenrollos und Klimaanlage werden bisher kaum gesetzt. Hier ist eindeutig die Gesetzgebung gefordert für eine Klarstellung anhand von Temperaturgrenzen zu sorgen, um damit die Gesundheit der ArbeitnehmerInnen zu schützen. Die Rechtslage muss auf die tatsächlichen klimatischen Bedingungen und die daraus resultierenden Gesundheitsgefahren abstellen. Die dafür notwendigen Schutzmaßnahmen können auf betrieblicher Ebene zeitnah und praxistauglich umgesetzt werden.

Arbeit darf nicht krankmachen! Dieser Grundsatz gilt auch für neu auftretenden Gefahren in der Arbeitswelt. Klimafitte Arbeitsplätze, die vor Hitze schützen sind daher ein Gebot der Stunde. Dafür braucht es klare, allgemein gültige Grenzwerte. Die entsprechenden Maßnahmenpakete auf betrieblicher Ebene sollen allen ArbeitnehmerInnen sichere und gesunde Arbeitsbedingungen ermöglichen – sei es im Büro, am Bau, in Produktionshallen, im Lager oder wie in der Studie untersucht, in Lokomotiven und Baukranen.

Die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer verdienen Respekt und dazu gehört auch der Schutz ihrer Gesundheit vor Hitzebelastungen.

Harald Bruckner

Gregor Lahounik

AK Wien

# 1 ALLGEMEINER TEIL UND AUSWIRKUNGEN VON HITZESTRESS AUF DEN MENSCHLICHEN KÖRPER

## 1.1 Suchstrategie

### 1.1.1 Verwendete Datenbanken

Unter Verwendung der PubMed-Datenbank (National Library of Medicine, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed>), und SCOPUS (Elsevier, <http://www.scopus.com>) wurde eine umfangreiche Literaturrecherche mit Spracheinschränkung auf Englisch durchgeführt. Weitere bemühte Suchdatenbanken waren das Web of Science von Thomson ISI (Thomson Reuters Corporation, <http://apps.webofknowledge.com>), Google (<https://www.google.com>), Google Scholar (<http://www.google.scholar.com>), das US NIH ToxNet (<https://toxnet.nlm.nih.gov>), Google Research Gate (<https://www.researchgate.net>), die US NIH ToxLine (<https://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/toxline.htm>), das US-amerikanische NIH-HSDB (Hazardous Substances Database) (<https://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/hsdb.htm>) sowie Science Direct (Elsevier, <https://www.sciencedirect.com>). Hier wurde wieder auf Englisch und ohne zeitliche Einschränkung betreffend das Publikationsdatum recherchiert.

### 1.1.2 Schlüsselwörter

Für die Suche wurden folgende Begriffe verwendet: Hitzestress + folgende Wörter: gesundheitliche Auswirkungen, nachteilige Auswirkungen, DNA-Schaden, kognitive Funktion, Herz-Kreislauf, Blutgefäße, Beurteilung des Hitzestresses, physiologische Parameter, Arbeitsproduktivität, Verletzung, Fortpflanzung, Fruchtbarkeit, Schwangerschaft, Abtreibungen, Arbeiter, Buslenker, Straßenbahnfahrer, Zugführer, Triebfahrzeugführer, Bauarbeiter, Kranführer.

## 1.2 Allgemeine Einleitung

### 1.2.1 Ausgangssituation

Die globale Klimasituation und die Häufigkeit, Intensität und Dauer von Hitzewellen werden in den kommenden Jahrzehnten sehr, voraussichtlich in hohem Ausmaß, zunehmen (Meehl und Tebaldi 2004). Diese Hitzeexpositionen stellen eine immense Bedrohung für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Allgemeinbevölkerung ganz generell dar. Vor allem bei ArbeitnehmerInnen im Freien und bei schutzbedürftigen Bevölkerungsgruppen ist jedoch in einem noch viel kritischeren Ausmaß und in einer noch viel größeren Häufigkeit mit negativen Folgen zu rechnen (Lundgren et al. 2013).

## 1.2.2 Körperwärmebilanz

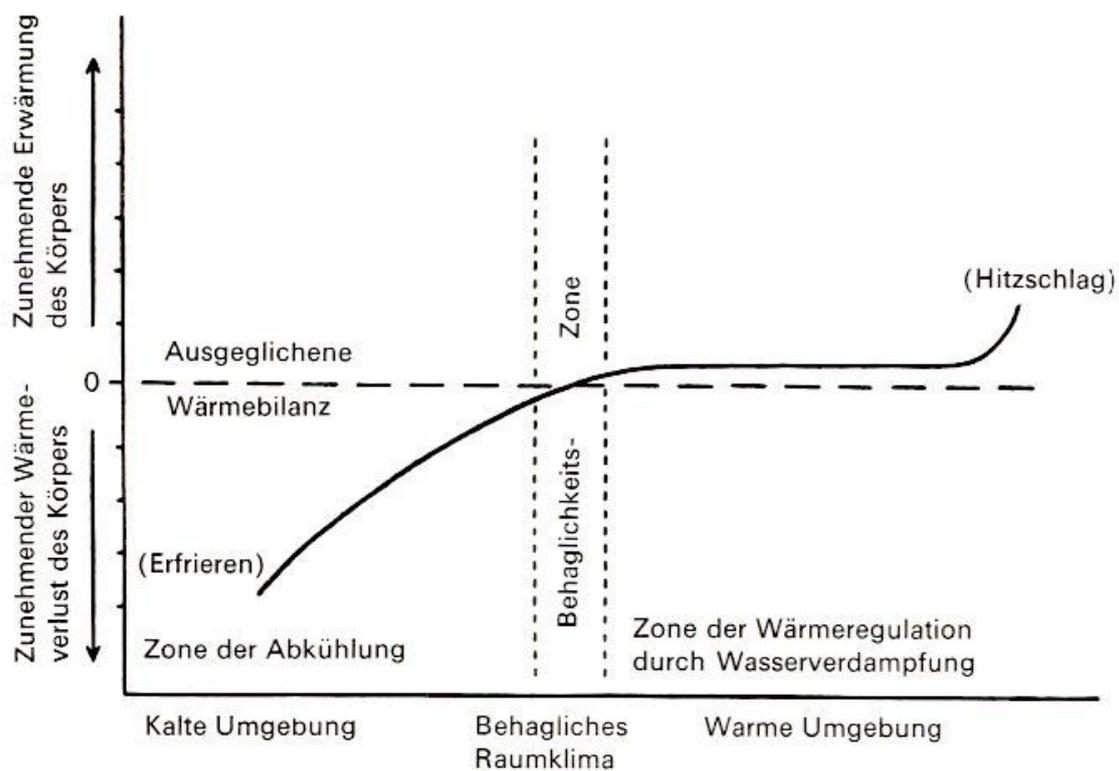
Die Körperwärmebilanz basiert auf sechs fundamentalen Faktoren (Lundgren et al. 2013):

### Klimatische Parameter

1. Lufttemperatur
2. Strahlungswärme
3. Feuchtigkeit
4. Luftbewegung

### Nichtklimatische Parameter

5. Kleidung
6. Die Stoffwechselwärme, die durch menschliche körperliche Aktivität erzeugt wird.

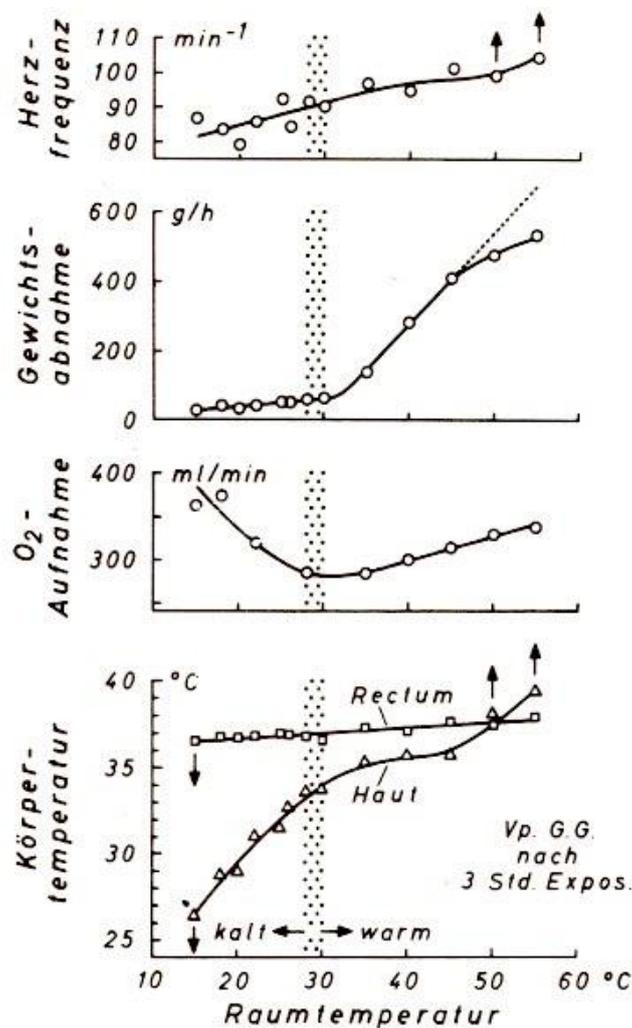


**Abbildung 1:** Wärmebilanz des Körpers zwischen extremer Kälte- und Hitzebelastung (nach Grandjean 1967).

Abweichend vom Bereich der Behaglichkeit bei einer ausgeglichenen Wärmebilanz kommt es bei Belastungen durch unterschiedliche Klimasituationen auf der einen Seite zu einer Abkühlung und schlussendlich zum Erfrieren und auf der anderen Seite zu einer schrittweisen Erwärmung des Körpers die über einem kritischen Punkt der Kompensation in einem Hitzeschlag münden kann.

Es kommt bei Hitzebelastungen in Ruhe nun schrittweise zu Erhöhung der Herzfrequenz, der Körperkern- und Hauttemperatur, zu einer Gewichtsabnahme durch Schweißverlust und zu einer verminderten Sauerstoffaufnahme; – Alle diese physiologischen Veränderungen sind jedoch limitiert und gehen mit Veränderungen des Gesundheitszustandes einher.

Hyperthermie (erhöhte Körperkerntemperatur) aufgrund von Hitzestress (definiert als eine Körperkerntemperatur von  $> 40,5^{\circ}\text{C}$ ) kann Schwitzen, Erröten, Tachykardie (erhöhter Pulsfrequenz - Herzrasen), Müdigkeit, Benommenheit, Kopfschmerzen und Parästhesie (Taubheit der Glieder), Schwäche, Muskelkrämpfe, Oligurie (stark verminderter Harnausscheidung), Übelkeit, Unruhe, Hypotonie (erniedrigtem Blutdruck), Synkopen (plötzlichem Bewusstseinsverlust), Verwirrung, Delirium, Anfälle und Koma verursachen. Änderungen des Bewusstseinszustandes und Körperkerntemperatur unterscheiden sich bei Hitzeerschöpfung und potenziell tödlichen Hitzschlag in der Ausprägung der Symptomentwicklung und in der zeitlichen Abfolge (Cheshire 2016).



**Abbildung 2:** Verhalten einiger physiologischer Größen eines weitgehend unbedeckten, sitzenden Mannes in verschiedenen Raumtemperaturen (nach Wenzel 1970, Einfluss von Klimagrößen).

### 1.2.3 Thermoregulation

Es ist bekannt, dass die Thermoregulation eine wichtige Funktion des autonomen Nervensystems in seiner Reaktion auf Kälte- und Hitzebelastungen darstellt (Cheshire 2016). Die thermoregulatorische Funktion des menschlichen Körpers erhält ein für die Gesundheit wichtiges Gleichgewicht aufrecht, indem sie die Körperkerntemperatur auf ein Niveau bei ein bis zwei Grad um die Körpertemperatur von 37°C reguliert, was schlussendlich eine normale Zellfunktion ermöglicht. Wärmeerzeugung und -ableitung hängen von einer koordinierten Reihe autonomer Reaktionen ab.

Bei Umgebungstemperaturen über 35°C liegt, aufgrund des fehlenden Wärmegradienten zwischen Haut und Umgebung, der einzige Weg einen Wärmeverlust zu erreichen in der Verdunstung von Wasser in Form von Schwitzen. Dieser Mechanismus erfolgt Großteils über die Haut (Miller und Bates 2007). Bei denselben Umgebungstemperaturen von über 35°C oder bei hoher Strahlungsbelastung ist die Haut aber leider eher ein Weg zur Wärmeaufnahme als zur Abgabe von Hitze. Unter solchen Bedingungen oder wenn die Effektivität des Schwitzens durch hohe Umgebungsfeuchtigkeit verringert wird, kann es sein, dass die metabolische Wärme nicht abgeführt werden kann. Wärmespeicherung führt nun zu einem Anstieg der Kerntemperatur und dem Risiko der Entwicklung einer sogenannten Hitzekrankheit.

Da der Hauptfaktor für die metabolische Wärmeerzeugung die Muskelaktivität ist, besteht für Personen, die unter diesen klimatisch heißen Bedingungen zusätzlich körperlich arbeiten müssen, das größte Risiko zu erkranken (Miller und Bates 2007).

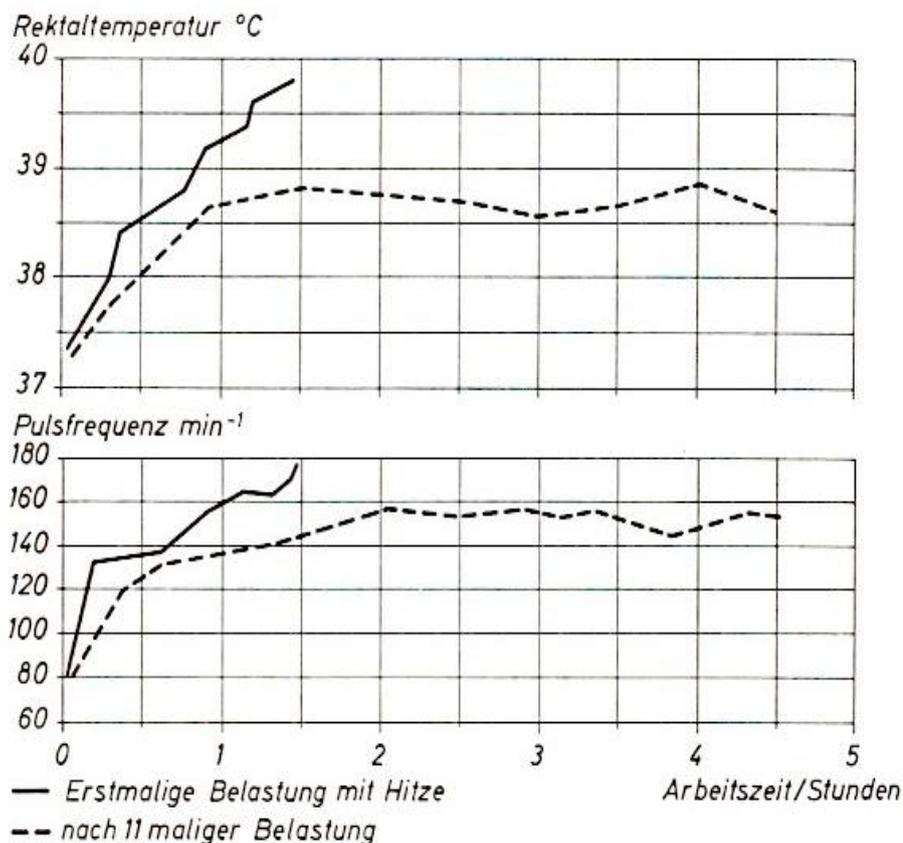
Basierend auf den Analysen der zu Verfügung stehenden Fachliteratur der letzten Jahre kristallisiert sich heraus, dass ArbeiterInnen, die extremer Hitze ausgesetzt sind oder in heißen Umgebungen arbeiten, einem erhöhten Hitzestressrisiko ausgesetzt sein können. Dies derzeit insbesondere in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen und in tropischen Regionen (Xiang, Bi, Pisaniello, und Hansen 2014).

Zu den gefährdetsten ArbeiterInnen zählen – weltweit – „Outdoor“ ArbeiterInnen wie LandwirtInnen, BauarbeiterInnen, Feuerwehrleute, Bergleute und SoldatInnen sowie FertigungsarbeiterInnen, die auf Grund der spezifischen Arbeitsprozesse an Hitzearbeitsplätzen ihre Tätigkeiten verrichten müssen. ArbeitnehmerInnen im Freien die durch ihre Tätigkeit hoher körperlicher Belastung ausgesetzt sind, sind nach den oben angeführten Faktoren am stärksten von erhöhten Hitzeexpositionen betroffen (Bernard 1999). Ein hohes Risiko besteht auch für ArbeitnehmerInnen, die semipermeable oder undurchlässige Schutzkleidung und/oder persönliche Schutzausrüstung tragen müssen, die den Wärmeaustausch durch Verdunstung erheblich behindert (Bernard 1999). Hitzeeinwirkung kann hier wieder zu Hyperthermie führen, die als Anstieg der Kerntemperatur über den normalen Ruhebereich ( $zB > 37,5^{\circ}C$ ) definiert ist. Hitze kann jedoch ebenso dazu führen, dass die ArbeiterInnen wegen Unbehagens die persönliche Schutzausrüstung ausziehen, was zu einem höheren Risiko bei Tätigkeiten mit erhöhter Unfallgefahr oder bei Expositionen gegenüber gesundheitsgefährlichen Arbeitsstoffen führt und die Verletzungsgefahr erhöht (Bernard 1999).

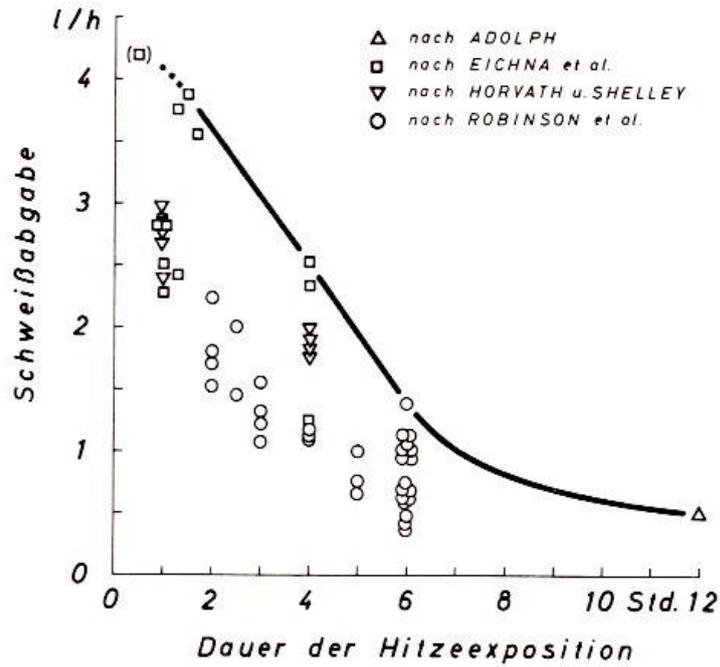
Gesichert ist jedoch auch, dass die potenziellen Auswirkungen der Hitzeexposition am Arbeitsplatz aufgrund der fehlenden Berichterstattung/Erfassung von Hitzeeerkrankungen sicherlich großzügig unterschätzt werden (Xiang, Bi, Pisaniello und Hansen 2014).

## 1.2.4 Akklimatisation

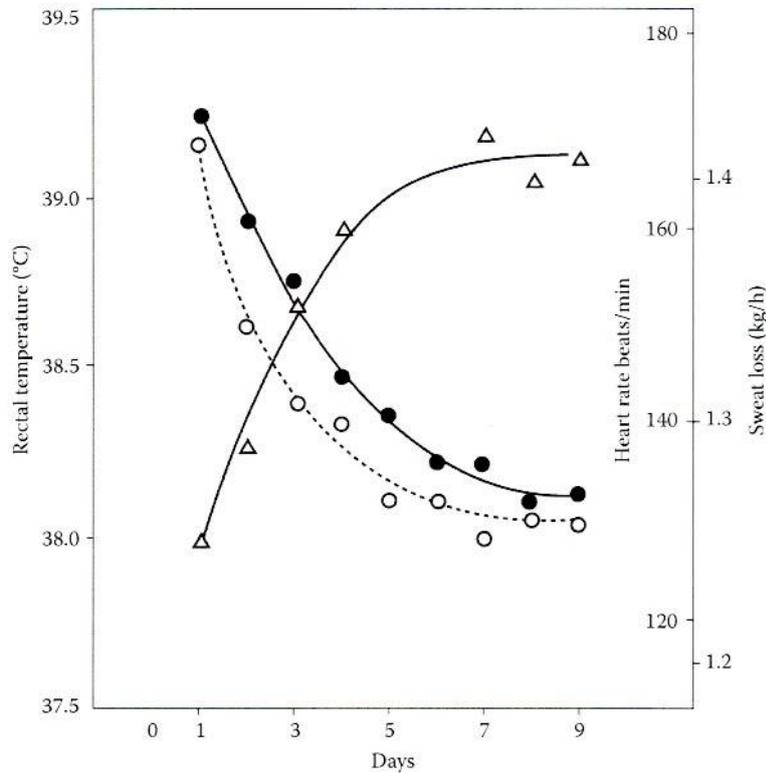
Der Mensch ist jedoch in der Lage sich an Hitzestress anzupassen und auch kurzfristig extremen Hitzebedingungen standzuhalten. Es ist bemerkenswert, dass ArbeitnehmerInnen, die lange Zeit in einer heißen Umgebung unter konstanten Bedingungen gearbeitet haben, sich aufgrund physiologischer Veränderungen, die sowohl vom Aktivitätsgrad als auch von der Dauer der Hitzeexposition abhängen, in der Regel nach einer Weile an die Hitze gewöhnen (Mohammadian, Abadi und Giahi 2019). Es wird geschätzt, dass sich die meisten Menschen innerhalb von 4 bis 14 Tagen allmählich an die Hitze adaptieren können. Eine verbesserte Hitzetoleranz ist auf die Fähigkeit zurückzuführen, die Schweißproduktion erhöhen zu können und die Herzfrequenz zu senken (**Abbildung 3**, **Abbildung 4**, **Abbildung 5**). Bei den längeren Perioden von Schweißproduktion wird die Menge an Salz im Schweiß verringert, was auf Dauer selbst zu einer erheblichen gesundheitlichen Gefährdung führen kann (Mohammadian, Abadi und Giahi 2019).



**Abbildung 3:** Verhalten von Rektaltemperatur und Pulsfrequenz der bekleideten Menschen vor und nach Akklimatisation (nach Robinson 1926).



**Abbildung 4:** Maximalwerte der Schweißproduktion in Abhängigkeit von der Dauer der Hitzeexposition (nach Wenzel et al. 1982).



**Abbildung 5:** Typisches Verhalten von Rektaltemperatur (schwarzer Punkt), Herzfrequenz (weißer Punkt) und Schweißproduktion (Dreieck), (nach Lind und Bass 1963).

Der erreichte Akklimatisationszustand ist allerdings nicht stabil. In

Abbildung 6 ist der Rückgang der Akklimation, anhand von Schweißabgabe und Herzfrequenz, zu sehen. Es kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb der ersten Woche ohne Hitzearbeit 50 % der Akklimation verlorengehen. Hier besteht insbesondere nach längerem Fernbleiben von Hitzebelastungen die fehlende Möglichkeit einer Reakklimation bei erneuter Exposition, da das Vermögen sich zu akklimatisieren überschätzt wird.

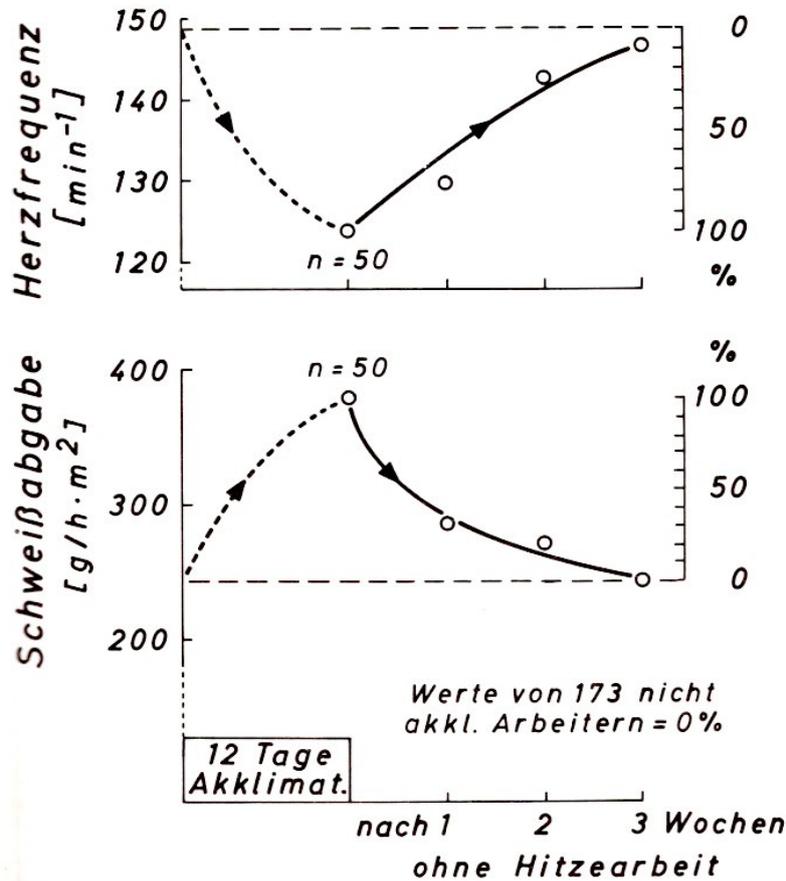


Abbildung 6: Rückgang der Hitzeakklimatisation (nach Williams et. al.1967).

Dennoch gibt es Grenzen für die Hitzebelastung, die ein Mensch tolerieren kann (Kenny et al. 2018). Längere Hitzeeinwirkung kann die homöostatischen Mechanismen überfordern, insbesondere, wenn sie mit hoher Luftfeuchtigkeit und körperlicher Belastung kombiniert werden. Wenn der Körper diese Zustände durch einen erhöhten Wärmeverlust nicht ausreichend ausgleichen kann, wird die Körpertemperatur unweigerlich ansteigen und dies führt zu hitzebedingten Erkrankungen.

## 1.2.5 Stadien der Hitzeerkrankung

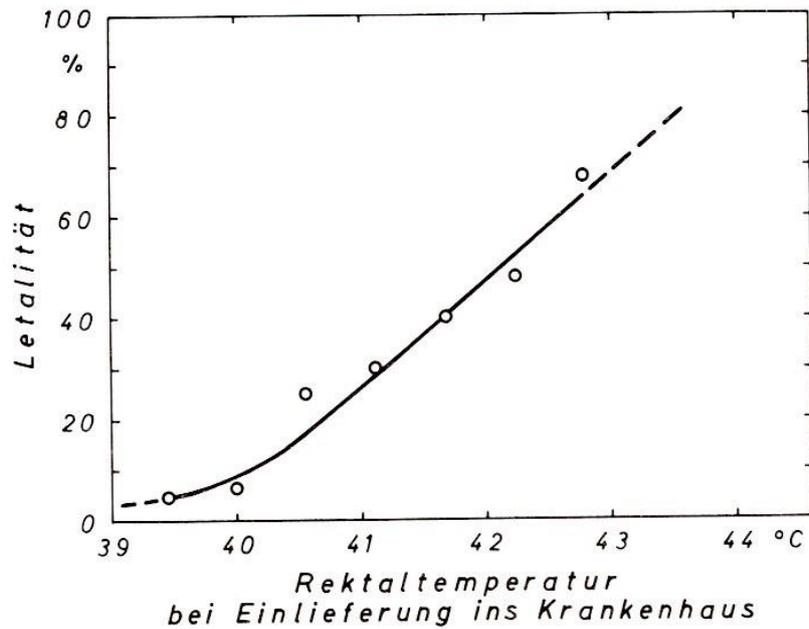
20 °C	1. <i>Behaglichkeitstemperatur</i>	voll leistungsfähig
	2. <i>Unbehaglichkeit</i> erhöhte Reizbarkeit Konzentrationsmangel Leistungsabfall für geistige Arbeit	psychische Störungen
	3. <i>Zunahme von Arbeitsfehlern</i> Leistungsabfall für Arbeiten, die Geschicklichkeit erfordern Zunahme von Unfällen	psycho-physiologische Störungen
	4. <i>Leistungsabfall für Schwerarbeit</i> Störung des Wasser- und Salzhaushaltes starke Belastung von Herz und Kreislauf starke Ermüdung und drohende Erschöpfung	physiologische Störungen
35–40 °C	5. <i>höchsterträgliche Temperaturgrenze</i>	

Abbildung 7: **Die Auswirkungen der Abweichungen von einem behaglichen Raumklima (Grandjean 1991).**

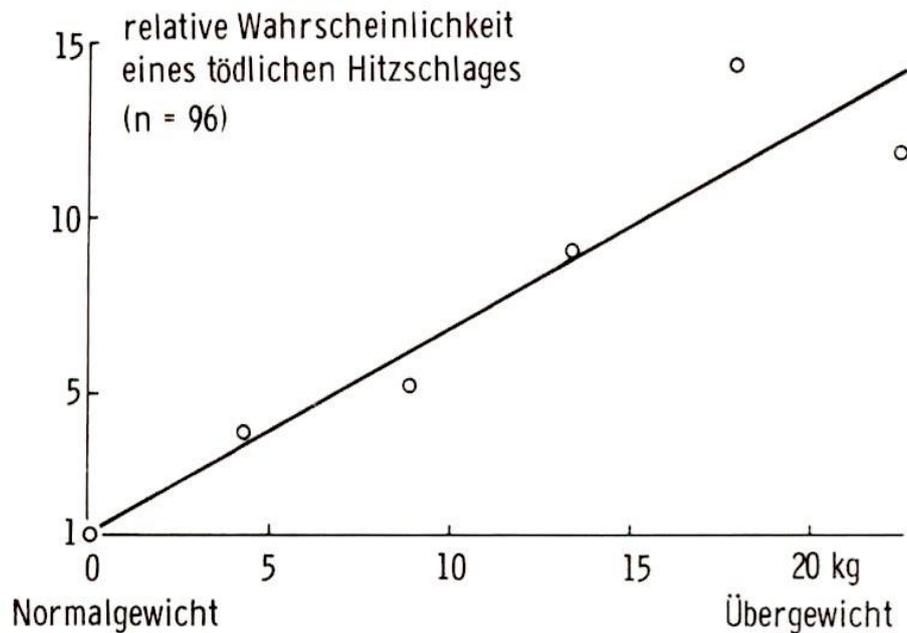
Während Hitzetode seltene und dramatische Ereignisse sind, kommt es jedoch weit häufiger zu Hitzeerkrankungen. In North Carolina, USA waren von 2008 bis 2010 arbeitsbedingte Hitzeerkrankungen die häufigste Ursache für arbeitsbedingte Notarztbesuche bei Personen im Alter von 19 bis 45 Jahren. In Maricopa County, Arizona, USA waren in den Jahren 2002 bis 2009 35 % der durch Hitze verursachten Todesfälle bei Männern auf Arbeiten im Freien in Bau und Landwirtschaft zu verzeichnen. Von 1992 bis 2006 starben in den Vereinigten Staaten 68 FeldarbeiterInnen an einem Hitzeschlag. Die jährlich durchschnittliche Sterblichkeitsrate von 0,39 Hitzetoten pro 100.000 ErntearbeiterInnen erreichte fast das 20-fache der hitzebedingten Sterblichkeitsrate aller ArbeiterInnen die in den USA im zivilen Bereich beschäftigt waren. Darüber hinaus wird wahrscheinlich insbesondere in der Landwirtschaft die Zahl der Fälle von Hitzeerkrankheiten stark unterschätzt, da in einigen Erhebungen keine ArbeitnehmerInnen auf kleinen Farmen erfasst sind, und vor allem viele WanderarbeiterInnen nicht registriert werden, bzw keine Sozialversicherung besitzen und so auch bei der Behandlung nicht registriert werden. (Arbury, Lindsley und Hodgson 2016).

Die akute Hitzeerkrankheit kann in ihrem Schweregrad leicht (zB Hitzeausschlag, Krämpfe und Müdigkeit), mäßig (zB Wärmesynkope und Hitzeerschöpfung) oder lebensbedrohlich (zB Hitzeschlag) ausgebildet sein. Während Hitzeschlag eine relativ hohe Sterblichkeitsrate aufweist (

**Abbildung 8**), kann eine mittelschwere Hitzeerkrankung, wie zB eine Hitzeerschöpfung, mit einer sofortigen Behandlung rückgängig gemacht werden (Kenny et al. 2018). In diesem Kontext sollte auch erwähnt werden, dass Todesfälle aufgrund von Hitzeeinwirkungen und versagender Thermoregulation etwa doppelt so häufig sind wie Todesfälle aufgrund von Unterkühlung. Körperliche Fitness spielt bei Hitzeerkrankungen unter Umständen eine nicht unbedeutende Rolle (**Abbildung 9**).



**Abbildung 8:** Letalität von Hitzeschlagerkrankungen in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur bei Einlieferung ins Krankenhaus (Morrison, Wyndhalm 1977).



**Abbildung 9:** Relative Wahrscheinlichkeit eines tödlichen Hitzschlages in Abhängigkeit vom Übergewicht (Schikela 1982).

Bei dem **Abbildung 8** und **Abbildung 9** handelt es sich um alte und in industrialisierter Produktion und bei guter Erstversorgung nur mehr bedingt anwendbare Korrelationen, die jedoch in den Ländern die in diesen Bereichen nicht entwickelt sind noch immer Gültigkeit besitzen können.

Nach Angaben von Manfredini et al. (Manfredini, Cappadona und Fabbian 2019) ist Hitzestress nun die Folge einer ungewöhnlich erhöhten Wärmespeicherung des Körpers, die auf das Ungleichgewicht zwischen Wärmegewinn und -verlust zurückzuführen ist und kann zu einer Reihe von Krankheitsbildern (siehe oben) führen, die häufig einfach als hitzebedingte Erkrankungen definiert und betitelt werden.

Hitzestress hängt wie bereits mehrfach oben angeführt von vielen Variablen – wie etwa Umgebung, Kleidung und körperlicher Aktivität – ab, sodass in der Vergangenheit viele unterschiedliche Charakterisierungen und Bewertungen angewendet wurden, um eine möglichst exakte und gute Definition der Umgebungsbedingungen zu beschreiben.

## 1.2.6 Gesetzliche Grenzwerte und Vorgaben

Obleich keine festen Grenzwerte festgelegt wurden, wurde übereingekommen, dass eine milde, eine moderate und eine schwere Wärmebelastung des menschlichen Körpers als ein Anstieg der Kerntemperatur von  $\leq 1,0^{\circ}\text{C}$ ;  $1,0^{\circ}$  bis  $1,5^{\circ}\text{C}$  bzw.  $\geq 1,5^{\circ}\text{C}$  definiert ist (Bain, Nybo und Ainslie 2015).

Das Nationale Institut für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (National Institute for Occupational Safety and Health – US NIOSH) meldete von 1992 bis 2006 423 Todesfälle durch Hitzeeinwirkung bei ArbeitnehmerInnen im Freien (Arbury, Lindsley und Hodgson 2016). Teilweise haben US-Behörden angesichts dieser Todesfälle mit behördlichen Bescheiden reagiert, um Hitzeerkrankungen vorzubeugen. In den Bundesstaaten Kalifornien und Washington gelten beispielsweise behördliche Auflagen die bei beruflichen Hitzestress bei „Outdoor“ Arbeiten einzuhalten sind; Versorgung mit Trinkwasser, Entwärmungspausen und Verschiebung von Tagesarbeitszeiten in die Morgen- oder Abendstunden. Die Arbeitsschutzbehörde (Occupational Safety and Health Administration – OSHA) hat hier jedoch hingegen keine spezifischen hitzebezogenen Vorschriften erlassen (Arbury, Lindsley und Hodgson 2016).

In **Österreich** existieren lediglich zwei gesetzliche Vorgaben die Arbeiten unter Hitzebelastungen regeln. Dies mehr oder weniger konkret in der Festlegung „was ist Hitze“ und mehr oder weniger konkret in der Frage „welche Maßnahmen vorzunehmen sind“.

Im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz § 66 AschG Sonstige Einwirkungen und Belastungen wird unter Absatz 2 und 3 Folgendes angeführt:

*„(2) Arbeitgeber haben die Arbeitsvorgänge und Arbeitsplätze entsprechend zu gestalten und alle geeigneten Maßnahmen zu treffen, damit die Arbeitnehmer keinen erheblichen Beeinträchtigungen durch blendendes Licht, Wärmestrahlung, Zugluft, üblen Geruch, **Hitze**, Kälte, Nässe, Feuchtigkeit oder vergleichbare Einwirkungen ausgesetzt sind oder diese Einwirkungen möglichst geringgehalten werden.*

*(3) Lassen sich gesundheitsgefährdende Erschütterungen oder sonstige besondere Belastungen nicht durch andere Maßnahmen vermeiden oder auf ein vertretbares Ausmaß verringern, so sind zur Verringerung der Belastungen oder zum Ausgleich geeignete organisatorische Maßnahmen zu treffen, wie eine Beschränkung der Beschäftigungsdauer, Arbeitsunterbrechungen oder die Einhaltung von Erholzeiten. Dies gilt für Druckluft- und Taucherarbeiten, für Arbeiten, die mit besonderen physischen Belastungen verbunden sind sowie für Arbeiten unter vergleichbaren Belastungen, wie **besonders belastenden klimatischen Bedingungen**, zB Arbeiten in Kühlräumen.“*

Die ASchG-Formulierung „Gestalten“ enthält jedoch noch keine konkret zu erfüllenden Vorgaben für die ArbeitgeberIn und die Maßnahmen wären genauso wie die Belastungen an sich zu evaluieren.

Im Nachtschwerarbeitsgesetz – NSchG Artikel 7 Absatz 2 wird unter Punkt 2 die für die ArbeitnehmerIn als besonders belastende Hitze wie folgt definiert:

*„(2) Nachtschwerarbeit leistet ein Arbeitnehmer im Sinne des Abs. 1, der unter einer der folgenden Bedingungen arbeitet:*

*2. bei dem Organismus besonders belastender Hitze. Eine solche liegt bei einem durch Arbeitsvorgänge bei durchschnittlicher Außentemperatur verursachten Klimazustand vor, der einer Belastung durch Arbeit während des überwiegenden Teils der Arbeitszeit bei 30° Celsius und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,1 m pro Sekunde wirkungsgleich oder ungünstiger ist;“*

Gemäß NSchG-Verordnung und ÖNORM A 8070 ergibt die Kombination mehrerer Klimafaktoren ein sogenanntes Klimasummenmaß. Liegt das errechnete Klimasummenmaß NET über 25,3 °C, handelt es sich um einen Hitzearbeitsplatz. Diese Definition gilt nicht für Arbeiten im Freien.

Im § 3. BSchEG – *Bauarbeiter-Schlechtwetterentschädigungsgesetz 1957* wird auch **Hitze** als Schlechtwetter aufgezählt. Die Kriterien für Hitze und Schlechtwetterentschädigung werden durch die BUAK (Bauarbeiter-Urlaubs- und Abfertigungskasse) festgelegt.

*„(1) Schlechtwetter im Sinne dieses Bundesgesetzes liegt vor, wenn:*

- a) *arbeitsbehindernde atmosphärische Einwirkungen (Regen, Schnee, Frost, Hitze und dergleichen) so stark oder so nachhaltig sind, dass die Arbeit nicht aufgenommen oder fortgesetzt oder die Aufnahme oder Fortsetzung der Arbeit den Arbeitnehmern nicht zugemutet werden kann oder*
- b) *die Folgewirkungen dieser arbeitsbehindernden atmosphärischen Einwirkungen die Arbeit so erschweren, dass die Aufnahme und Fortsetzung der Arbeit technisch unmöglich ist oder den Arbeitnehmern nicht zugemutet werden kann. Dies gilt nicht in Bezug auf Hitze.*

*(2) Die Bauarbeiter-Urlaubs- und Abfertigungskasse hat Kriterien festzulegen, die das Vorliegen von Schlechtwetter im Sinne des Abs.1 lit. a näher bestimmen (Schlechtwetterkriterien), und dies in geeigneter Weise kundzumachen.“*

### **Lufttemperatur – Hitze:**

Stunden in denen +32,5°C (Schattenmessung) überschritten werden, gelten als Schlechtwetterstunden.

Bis 30.04.2019 war die Temperaturgrenze mit mehr als 35°C festgelegt.

Grundsätzlich besteht zwar gem § 5 (2) BSchEG die Verpflichtung, eine Wartezeit von 3 Stunden auf der Baustelle einzuhalten (um abzuwarten, ob sich die Witterungsbedingungen ändern), dies ist aber bei Hitze nicht zielführend, da die Temperatur bis ca 21 Uhr eher ansteigt bzw gleichbleibt, als absinkt.

Klargestellt wird, dass nach dem BSchEG die Entscheidung darüber, ob bei Schlechtwetter gearbeitet wird oder nicht, der ArbeitgeberIn obliegt.

In **Deutschland** wurde durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin in der Bekanntmachung von Arbeitsmedizinischen Regeln hier: *AMR 13.1 Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können – Bek. d. BMAS v. 02.12.2013 – IIIb1-36628-1/34 – Ausschuss für Arbeitsmedizin* konkrete Vorgaben gemacht beziehungsweise Pflichtvorsorge eingeführt.

„4.1 Arbeitsverfahren/-bereiche, bei denen eine Belastung mit extremer Hitze vorliegt:

(1) Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen kann, können bereits vorliegen, wenn schon bei körperlicher Ruhe in der kühlen Jahreszeit über einen Zeitraum von circa zwei bis drei Stunden pro Schicht die Regulation der Körpertemperatur über Schwitzen erfolgt. Dies allein ist jedoch kein Kriterium für die Veranlassung von Pflichtvorsorge.

(2) Insbesondere bei folgenden Tätigkeiten liegt nach arbeitsmedizinischen und sicherheitstechnischen Erfahrungen eine extreme Hitzebelastung vor, die zu einer besonderen Gefährdung führen kann:

- Arbeiten an vorgewärmten Pfannen (zum Beispiel Pfannenplatz, Pfannenkipfstuhl) im Stahlwerk;
- Flämmen von warmen Brammen (thermisches Entfernen von Oberflächenverunreinigungen);
- Schweißarbeiten in und an größeren (Gewicht > 0,5 t) vorgewärmten (>80°C) Werkstücken;
- Befahren oder Besteigen von sowie Arbeiten in Behältern, Kesseln, Industrieöfen, Trocknungsanlagen, die noch nicht vollständig abgekühlt sind, einschließlich Reaktoren in der chemischen Industrie (NET > 25°C);
- Arbeiten auf der Ofendecke von Kokereien und Auswechseln von Steigrohren und Reparaturarbeiten an Koksofenbatterien;
- Anodenwechsel an Elektrolyseöfen;
- Arbeiten mit glühenden größeren Werkstücken (zum Beispiel Schmiede) >100 kg.“

„4.2 Anhaltspunkte zur Beurteilung weiterer Tätigkeiten

(1) Abgesehen von den unter Punkt 4.1 aufgeführten Tätigkeiten gibt es weitere Tätigkeiten mit extremer Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen können. Um diese zu ermitteln, ist zu prüfen, ob mindestens einer der folgenden Parameter vorliegt:

- Lufttemperatur über 45°C und Beschäftigungsdauer > 15 Min.;
- Lufttemperatur über 30°C mindestens vier Stunden pro Schicht und gleichzeitig hohe Luftfeuchte (gekennzeichnet beispielsweise durch feuchte oder nasse Haut);
- Flüssigkeitsaufnahme über vier Liter pro Schicht;
- Wärmestrahlung im Gesicht unerträglich.

(2) Bei Vorliegen eines Parameters ist bereits bei leichter bis mittelschwerer Tätigkeit eine Pflichtvorsorge zu veranlassen.“

„4.3 Beurteilungen über Klimasummenmaße

(1) Ist der zu begutachtende Arbeitsplatz nicht eindeutig einem der in 4.1 beschriebenen Arbeitsbereiche zuzuordnen oder herrschen abweichende Bedingungen von denen in 4.2 genannten vor, sind als Beurteilungskriterien die Normal-Effektivtemperatur oder die effektive Bestrahlungsstärke heranzuziehen.

(2) Extreme Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen kann, liegt an Arbeitsplätzen ohne deutlichen Wärmestrahlungsanteil vor,

- wenn eine Normal-Effektivtemperatur  $> 25^{\circ}\text{C}$  während einer Einsatzzeit von  $\geq 60$  Min. erreicht oder überschritten wird,
- wenn eine Normal-Effektivtemperatur von  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  während einer Einsatzzeit von  $\geq 15$  Min. erreicht wird,
- bei Tätigkeiten mit einem Arbeitsenergieumsatz  $> 300\text{W}$ , sobald eine Normal-Effektivtemperatur von  $35^{\circ}\text{C}$  überschritten wird.

(3) Extreme Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen kann, liegt an Arbeitsplätzen mit deutlichem Wärmestrahlungsanteil vor,

- wenn eine Normal-Effektivtemperatur  $> 23^{\circ}\text{C}$  während einer Einsatzzeit  $\geq 60$  Min. erreicht oder überschritten wird,
- wenn eine Normal-Effektivtemperatur  $\geq 28^{\circ}\text{C}$  während einer Einsatzzeit von  $\geq 15$  Min. erreicht wird,
- bei Tätigkeiten mit einem Arbeitsenergieumsatz  $> 300\text{W}$ , wenn eine Normal-Effektivtemperatur von  $33^{\circ}\text{C}$  überschritten wird.

(4) Extreme Hitzebelastung, die zu einer besonderen Gefährdung führen kann, liegt unabhängig von der Normal-Effektivtemperatur auch an Arbeitsplätzen vor, an denen in Abhängigkeit von der Arbeitsschwere die in der nachfolgenden Tabelle genannten Bestrahlungsstärken erreicht werden.“

Arbeitsenergieumsatz AU [W]	Expositionszeit * < 15Min.	Expositionszeit * 15 - 30 Min.	Expositionszeit * 31 - 60 Min.
Stufe 1: 100 W	1000 W/m <sup>2</sup>	500 W/m <sup>2</sup>	300 W/m <sup>2</sup>
Stufe 2: 200 W	750 W/m <sup>2</sup>	300 W/m <sup>2</sup>	200 W/m <sup>2</sup>
Stufe 3: 300 W	500 W/m <sup>2</sup>	200 W/m <sup>2</sup>	100 W/m <sup>2</sup>
Stufe 4: > 300 W	250 W/m <sup>2</sup>	100 W/m <sup>2</sup>	35W/m <sup>2</sup>

\*ununterbrochene Expositionszeit

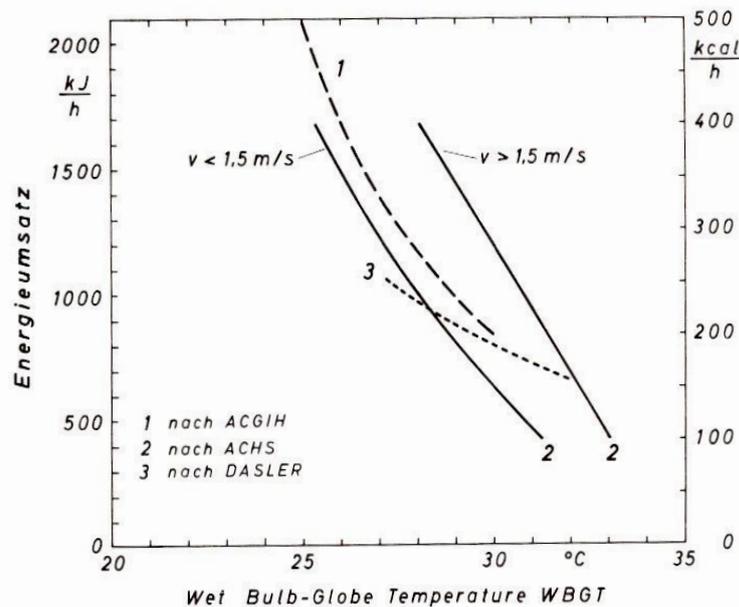
Abschließend gelten in den analysierten Ländern Österreich und Deutschland sowie in der internationalen wissenschaftlichen Literatur lediglich mehr oder weniger konkretisierte Empfehlungen und Handlungshilfen. Einerseits wird der Arbeitgeber aufgerufen zu evaluieren und Maßnahmen zu setzen, andererseits werden keine konkreten Maßnahmen eingefordert. Verpflichtende gesetzliche Grenzwerte existieren nicht.

## 1.2.7 Prävention und Schutzmaßnahmen

Durch eine Kombination von Verhaltensänderungen und physiologischen Reaktionen kann der Mensch innerhalb eines weiten Bereichs von Umgebungstemperaturen eine einigermaßen konstante Kernkörpertemperatur von  $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$  aufrechterhalten, wobei im Allgemeinen eine effiziente Wärmeregulierung in Bereichen von  $35^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$  Körperkerntemperatur erfolgt. Wenn dieses Gleichgewicht gestört ist, entstehen durch die thermische Belastung eine Vielzahl potenzieller Probleme, die die Produktivität verringern oder die akuten und chronischen Gesundheitsrisiken für die ArbeitnehmerInnen erhöhen können.

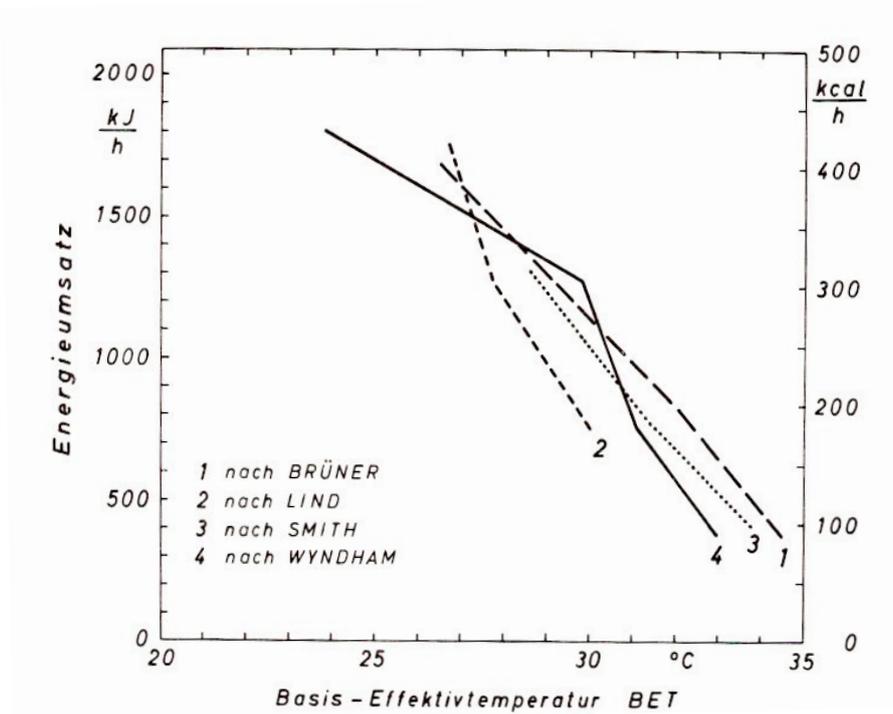
Körperliche Arbeit und hohe Umgebungstemperaturen führen zu Hyperthermie (Wärmestauung). Es handelt sich um einen anhaltenden Anstieg der Körpertemperatur und resultiert in einer Hitzekrankheit, die durch die Arbeit in heißen Umgebungen verursacht werden. Hyperthermie wird sowohl in hochentwickelten als auch in sich entwickelnden Volkswirtschaften als ein Hauptproblem im Bereich des Arbeitsschutzes erkannt (Cheung, Lee und Oksa 2016). Aus diesem Grund wurden eine Vielzahl von Handlungsanleitungen und arbeitswissenschaftlichen Vorschlägen gemacht.

Bei Verwendung internationaler Bewertungsindexe wie etwa der Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) wurden durch die amerikanische Advisory Committee on Heat Stress (ACHS) bereits 1972 Klimagrenzen für mehrstündige Arbeiten unterschiedlicher Schwere empfohlen (Siehe **Abbildung 10**).



**Abbildung 10:** Empfohlene Klimagrenzen für mehrstündige Arbeit (nach Wenzel, Piekarski 1982).

Ähnliche Vorgaben wurden für die in Europa mehrheitlich in Verwendung gewesenen Klimasummenmaße BET (Basis-Effektivtemperatur) und NET (Normal-Effektivtemperatur) gemacht (Siehe **Abbildung 11**).

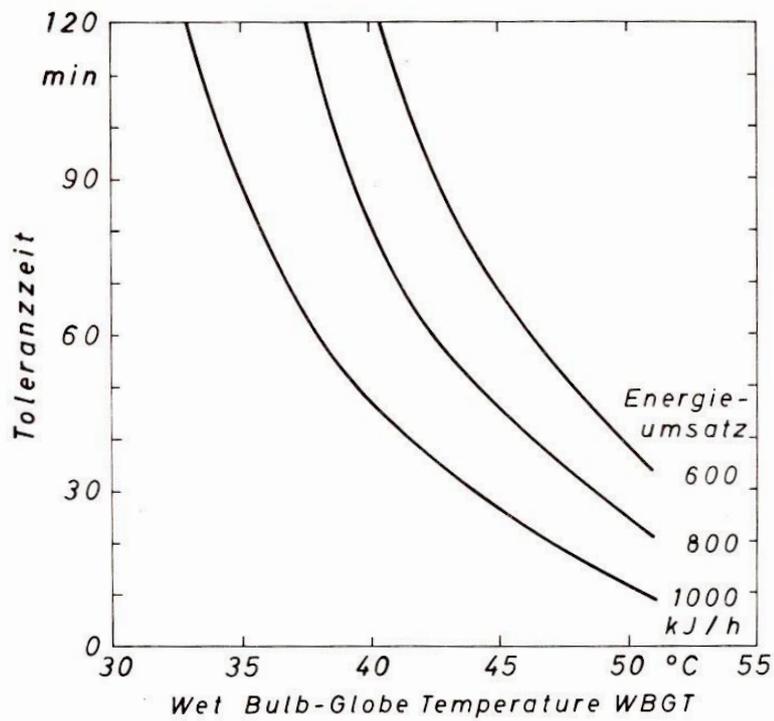


**Abbildung 11:** Empfohlene Klimagrenzen für mehrstündige Arbeit mit der Basis – Effektivtemperatur als Klimasummenmaß (nach Wenzel, Piekarski 1982).

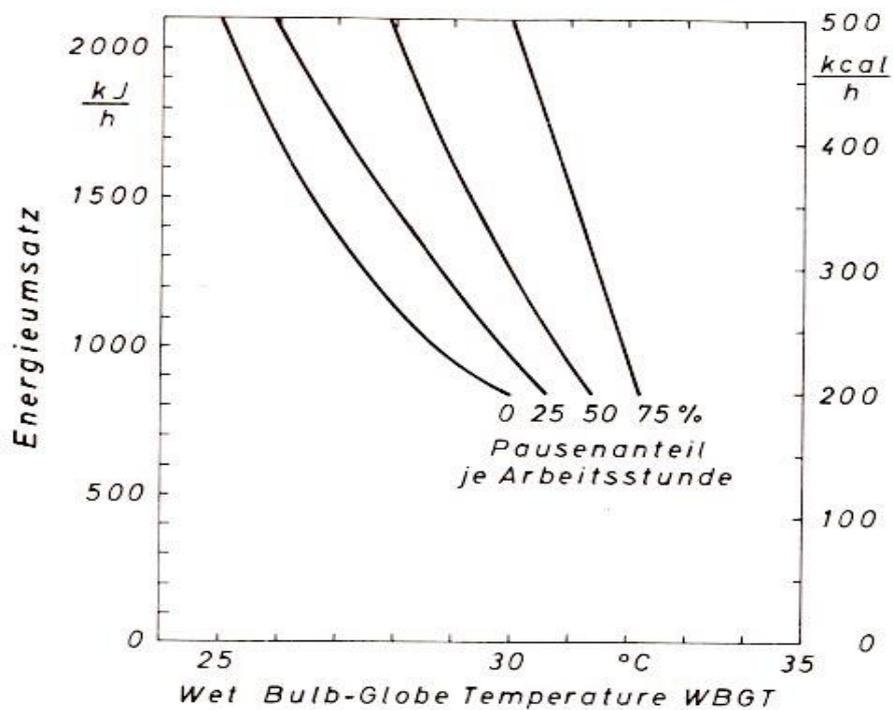
Bei längeren Expositionszeiten steht nicht die Bewertung der Klimasituation im Vordergrund, sondern die Verhinderung von negativen Folgen für Hitzeexponierte. Hierbei wird mit der Angabe einer Toleranzzeit eine zeitliche Begrenzung der Arbeit unter Wärmestrahlungsexposition gegeben (Siehe

**Abbildung 12).**

Der empfohlene Pausenanteil in der Schicht in Abhängigkeit von den klimatischen Umweltbedingungen und der Arbeitsschwere ist in **Abbildung 13** ersichtlich; Mit zunehmender Temperatur steigt der Anteil der erforderlichen Pause pro Stunde. Eine zusätzliche Abhängigkeit ergibt sich durch die Schwere der zu verrichtenden Arbeit. Umso schwerer die Arbeit umso höher ist der Prozentsatz der Pause an der Arbeitsstunde.

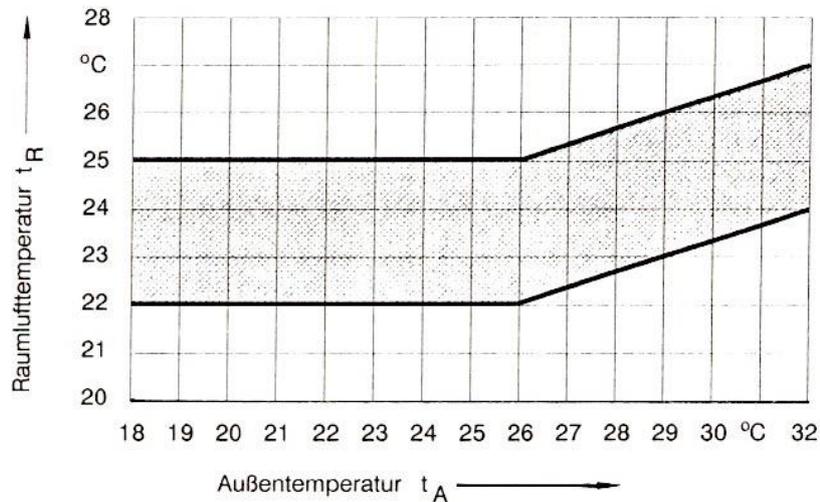


**Abbildung 12:** Toleranzzeiten bei extremen Klimabelastungen mit dem WBGT-Index als Klimasummenmaß (nach Dasler 1974).



**Abbildung 13:** Empfohlene Pausenanteile bei körperlicher Tätigkeit von HitzearbeiterInnen mit leichter Sommerbekleidung in verschieden warmem Klima (nach ACGIH 1978).

Nach DIN 1946-2:1994-01 werden für die Innenraumbereiche in Abhängigkeit zur Außentemperatur Grenzwerte vorgeschlagen (Siehe **Abbildung 14**).



**Abbildung 14:** Zulässigkeitsbereich der Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur, um in einem Behaglichkeitsbereich zu bleiben (DIN 1946).

Stufengrenzen °C NET							Bewertungs- stufe	Belastungsintensität
40	36	33	30	28	26	25		
37	33	29	26	23	21	19	wahrscheinlich	
33	31	27	23	19	15	11	möglich	
31	29	25	21	17	13	9	IV	Grenzbereich
25	22	19	16	14	11	8	III	belastend
19	17	15	13	11	9	7	II	gering belastend
							I	sehr gering belastend
I	II	III	IV	V	VI	VII	Arbeitsumsatzstufe	

**Abbildung 15:** Klimabewertung (Effektivtemperatur NET) in Abhängigkeit vom Arbeitsenergieumsatz; Bereich der Wärmebelastung (nach Hettinger et al 1984b).

Hettinger stellte 1984 ein differenziertes Bewertungsverfahren zur Klimabewertung vor (Siehe **Abbildung 15**). Ausgangspunkt ist die Normaleffektivtemperatur. In Abhängigkeit von Arbeitsenergieumsätzen werden Grenztemperaturen festgelegt. In die Bewertung nicht eingehend sind das Tragen von Schutzkleidung und Hitzestrahlung. Es werden hiermit auch für den Laien Grenzbereiche und Überbelastungen leicht ersichtlich.

In der BGI Information 579 Hitzearbeit erkennen – beurteilen – schützen der Berufsgenossenschaft Holz und Metall wird ein noch differenzierter Ansatz verfolgt, der die Expositionsszenarien leicht einstuft und Handlungsanleitungen für die Aufrechterhaltung der Gesundheit am Arbeitsplatz gibt. Werden die angegebenen Grenzen der Beschäftigungsdauer überschritten, sind Vorsorgeuntersuchungen durch die Arbeitsmedizin vorgesehen und die Arbeitgeber angehalten Maßnahmen zu setzen.

Energieumsatz	Beispiele für Tätigkeiten
<b>Stufe 0</b> <b>Ruhezustand</b> EU: 100 – 125 W AU: 20 – 45 W	Sitzen oder Stehen im Ruhezustand
<b>Stufe 1</b> <b>Leicht: AU ca. 100 W</b> EU: etwa 125 – 235 W AU: etwa 45 – 155 W	<b>Leichte Handarbeit:</b> Schreiben, Tippen, Zeichnen, Nähen, Buchführung <b>Hand- und Armarbeit:</b> kleine Handwerkzeuge, Inspektion, Zusammenbau oder Sortieren von leichten Gegenständen <b>Arm- und Beinarbeit:</b> Fahren von Fahrzeugen, Flurförderzeugen oder Kranen unter üblichen Bedingungen, Betätigen eines Fußschalters oder Pedals, Kontrollgänge, Tätigkeiten in Schaltwarten oder Steuer- und Regelanlagen
<b>Stufe 2</b> <b>Mittelschwer: AU ca. 200 W</b> EU: etwa 235 – 360 W AU: etwa 155 – 240 W	<b>Ununterbrochene Hand- und Armarbeit:</b> Einschlagen von Nägeln, Feilen <b>Arm- und Beinarbeit:</b> Fahren von Lkw, Traktoren oder Baufahrzeugen im Gelände <b>Arm- und Körperarbeit:</b> Arbeiten mit Presslufthammer, Zugmaschinen, Pflasterarbeiten, ununterbrochenes Handhaben von mittelschweren Materialien, Schieben und Ziehen von leichten Karren oder Schubkarren, Schmieden, Eisen gießen mit Hebezeug, Vulkanisieren
<b>Stufe 3</b> <b>Schwer: AU ca. 300 W</b> EU: etwa 360 W - 465 W AU: etwa 240 W - 385 W	<b>Intensive Arm- und Körperarbeit:</b> Tragen von schwerem Material, Schaufeln, Arbeiten mit Vorschlaghammer, Sägen, Bearbeiten von hartem Holz mit Hobel oder Stechbeitel, Graben, Schieben oder Ziehen schwer beladener Handwagen oder Schubkarren, Zerschlagen von Gussstücken, Legen von Betonplatten, Ein- und Aussetzen in der grobkeramischen Industrie, Ofenreparatur im heißen Ofen, Gemenge einlegen von Hand in Glashütten, Eisen gießen (Handguss), Handflämmen
<b>Stufe 4</b> <b>Sehr schwer: AU &gt; 300 W</b> EU: ab etwa 465 W AU: ab etwa 385 W	<b>Sehr intensive Arm- und Körperarbeit mit hohem Arbeitstempo:</b> Arbeiten mit der Axt, intensives Schaufeln oder Graben, Besteigen von Treppen, Rampen oder Leitern

**Abbildung 16:** Einteilung des Arbeitsenergieumsatzes (AU) und Gesamtenergieumsatzes (EU) nach Tätigkeitsarten (in Anlehnung an DIN EN ISO 8996 (Januar 2005), fett gedruckt in Spalte 1 die Werte aus der BG-Information „Handlungsanleitungen für die arbeitsmedizinische Vorsorge“.

Arbeitsenergieumsatz AU [W]	Expositionszeit *)			
	15 Min.	15 bis 30 Min.	31 bis 60 Min.	> 60 Min.
<b>Gruppe 1</b>	<b>akklimatisierte Beschäftigte</b>			
Stufe 1: 100W	–	> 36	36	34
Stufe 2: 200W	–	36	34	32
Stufe 3: 300W	–	34	32	30
Stufe 4: > 300W	35	32	30	–
<b>Gruppe 2</b>	<b>gelegentlich exponierte, nicht akklimatisierte Beschäftigte</b>			
Stufe 1: 100W	–	> 36	34	–
Stufe 2: 200W	–	34	32	–
Stufe 3: 300W	35	32	30	–
Stufe 4: > 300W	35	30	28	–

\*) ununterbrochene Expositionszeit; Beispiel siehe Anhang

**Abbildung 17:** Richtwerte der NET in °C in Abhängigkeit von der maximal zulässigen Expositionszeit für die Durchführung von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen nach dem BG-Grundsatz G 30 „Hitzearbeiten“.

Energieumsatzstufe	Richtwerte für den maximalen Wert des WBGT-Index in °C			
	für akklimatisierte Beschäftigte		für nicht akklimatisierte Beschäftigte	
0	33		32	
1	30		29	
2	28		26	
	Keine spürbare Luftbewegung	Spürbare Luftbewegung	Keine spürbare Luftbewegung	Spürbare Luftbewegung
3	–	34	32	–
4	35	32	30	–

**Abbildung 18:** Richtwerte für den WBGT-Index in Abhängigkeit vom Energieumsatz für Dauereexposition (Schicht) (nach DIN EN 272).

In Österreich geben die OENORM EN ISO 7243:2017-12-15 Ergonomie der thermischen Umgebung-Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (ISO 7243:2017) und die OENORM EN ISO 8996:2005-01-01 Ergonomie der thermischen Umgebung-Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO 8996:2004) einen guten Überblick über die anwendbare Methodik, um die gesetzlichen Vorgaben konkretisieren zu können.

### 1.3 Darstellung der thermischen Umgebung

Die bereits oben erwähnte WBGT ist ein direkter Wärmebelastungsindex, der einfach zu verwenden ist und der die thermische Umgebung die eine Person ausgesetzt ist gut darstellt. Sie wird als Screening-Methode zur Feststellung des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von Wärmebelastung angesehen. Die WBGT ist ein weit verbreiteter Index um im beruflichen Umfeld sowohl im Innen- als auch im Außenbereich Temperatur zu erfassen und umfasst Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Wärmestrahlung (ISO 2004). Der internationale Standard für die WBGT verwendet eine Formel, die auf Messungen von drei Temperaturvariablen basiert:  $T_a$ , die mit einem abgeschirmten Thermometer gemessene Lufttemperatur;  $T_g$ , die Kugeltemperatur, die die Temperatur innerhalb einer schwarzen Kugel misst und die die Hitzestrahlung simuliert; und  $T_{nw}$ , die natürliche Feuchtkugeltemperatur, die mit einem feuchten Strumpf über dem Hitzesensor gemessen wird und den Einfluss der Schweißverdunstung auf den Wärmeverlust und die Windgeschwindigkeit darstellt (Lundgren Kownacki et al. 2019).

Die WBGT-Gleichung für Innenräume ohne Sonneneinstrahlung lautet (Lundgren Kownacki et al. 2019):

$$\mathbf{WBGT = 0,7 T_{nw} + 0,2 T_g}$$

für Bereiche mit Sonnenbestrahlung:

$$\mathbf{WBGT = 0,7 T_{nw} + 0,2 T_g + 0,1 T_a}$$

Der Index kann angepasst werden, um der Kleidung Rechnung zu tragen, und die metabolische Wärmeerzeugung wird aus einem zeitgewichteten Mittelwert basierend auf einer Referenztabelle geschätzt (Lundgren Kownacki et al. 2019).

Metabolic Rate (Class)	Metabolic Rate (W)	WBGT Reference Limit for Person Acclimatized to Heat (°C)	WBGT Reference Limit for Person Unacclimatized to Heat (°C)
Class 0 Resting metabolic rate	115	33	32
Class 1 Low metabolic rate	180	30	29
Class 2 Moderate metabolic rate	300	28	26
Class 3 High metabolic rate	415	26	23
Class 4 Very high metabolic rate	520	25	20

**Tabelle 1:** Empfohlene WBGT-Referenzwerte für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen für fünf unterschiedliche Belastungsstufen.

Ein anderer Wert zur Beurteilung der Wärmebelastung ist der Wärmebelastungsindex (Heat Stress Index – HSI). Diese Methode wurde basierend auf der Gleichung des Wärmeaustauschs zwischen Haut und Umwelt vorgeschlagen (Ahmed et al. 2019).

Der Wärmebelastungsindex basiert auf einem Vergleich der zur Aufrechterhaltung des Wärmehaushalts erforderlichen Verdunstung ( $E_{req}$ ) mit der maximalen Verdunstung, ( $E_{max}$ ) die in der Umgebung erreicht werden kann.

$$HSI = \frac{E_{req}}{E_{max}} * 100 \%$$

Der Index kann von -20 bis > 130 variieren. HSI < 0 steht für milde Kältespannung; HSI = 0 keine thermische Belastung; HSI 10 – 30 zeigt eine leichte bis mäßige Wärmebelastung mit geringer Auswirkung auf körperliche Arbeit, jedoch ohne Auswirkung auf gehobene Facharbeit. HSI 40 – 60 bezeichnet eine schwere Hitzebelastung, die die Gesundheit gefährdet, es sei denn, die ArbeitnehmerInnen sind körperlich fit und konnten sich akklimatisieren. Ein HSI von mehr als 60 weist auf eine sehr starke Wärmebelastung hin (Ahmed et al. 2019).

Es gibt noch einige andere Ansätze zur Berechnung der Wärmebelastung z.B. den Wärmeindex (Hitzeindex – HI) und den Humidex-Index (HD) (Al-Bouwarthan et al. 2019). Diese haben sich jedoch im Europäischen Raum nicht durchgesetzt.

Die WBGT ist nun – von vielen unterschiedlichen Klimasummenmessgrößen – diejenige, die am häufigsten im beruflichen Umfeld verwendet wird, und sie berücksichtigt Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungswärme und Windgeschwindigkeit (Manfredini, Cappadona und Fabbian 2019).

## 1.4 Herz-Kreislauf-Reaktionen bei passivem Hitzestress

Passiver Hitzestress, der durch erhöhte sympathische Nervenaktivität, Herzfrequenz und linksventrikuläre Kontraktilität (die Fähigkeit der linken Herzkammer sich zusammenzuziehen) sowie durch eine Verringerung des zentralen Blutvolumens, des linksventrikulären Füllungsdrucks (des Füllungsdrucks im linken Herzventrikel) und der zerebralen Perfusion (Durchblutung des Großhirns) bedingt ist, kann zu einer starken Belastung des Herz-Kreislauf-Systems mit einem starken Anstieg des Herzzeitvolumens (das Volumen des Blutes welches pro Zeiteinheit vom Herz gepumpt werden kann) führen. Es hat sich herausgestellt, dass dieser Hitzestress auch ein umweltbedingter Auslöser von Herzinfarkten sein kann. Insbesondere in einem sich erwärmenden Klima (Flouris et al. 2018).

Nicht kompensierter passiver Hitzestress ist ausreichend, um die Hauttemperatur um bis zu 5°C und die Körperkerntemperatur (z.B. die Temperatur in den Lungenarterien) häufig über 2°C zu erhöhen. Die wichtigste physiologische Antwort auf diese Erwärmung ist das Potenzial des Herzzeitvolumens sich bei Bedarf im Umfang seines Ruhewertes zu verdoppeln. Diese Erhöhung des Herzzeitvolumens ist erforderlich, um den arteriellen Blutdruck aufrecht zu erhalten, der sich je nach Erwärmungsgrad um bis zu 10 mmHg (Millimeter Quecksilbersäule) ändert und, um die starke Abnahmen des systemischen Gefäßwiderstands auszugleichen. Als Folge einer Umverteilung von Blut in die Hautoberfläche nimmt die Durchblutung beider Nieren und des Magendarmtraktes ab. Der Nettoeffekt dieser kardiovaskulären (das Herz und die Gefäße betreffende) Reaktionen ist eine Erhöhung des Blutflusses zur Haut hin um 7 bis 8 l/min.

Die Autoren gaben zusätzlich an, dass Hitzestress im Vergleich zu normothermen Bedingungen die Morbidität (Häufigkeit einer spezifischen Erkrankung innerhalb einer Bevölkerungsgruppe) und Mortalität (Verhältnis der Zahl der Todesfälle zur Zahl der statistisch berücksichtigten Personen) des Menschen erhöht. Viele Berufe, Krankheitszustände und Lebensabschnitte sind besonders anfällig für die Belastung des Herz-Kreislauf-Systems durch heiße Umgebungsbedingungen. Die Übersichtsarbeit konzentriert sich insbesondere auf die kardiovaskulären Reaktionen die für die Wärmeableitung erforderlich sind. Um diese regulatorische Leistung zu erreichen, ist eine komplexe Steuerung des autonomen Nervensystems des Herzens und verschiedener Gefäßbetten erforderlich. Beispielsweise erhöht sich bei Hitzebelastung das Herzzeitvolumen um das Zweifache und zwar durch Erhöhung der Herzfrequenz und eine aktive Aufrechterhaltung des Schlagvolumens durch Erhöhung der Inotropie (Erhöhung der Kontraktilität sowohl der atrialen als auch der ventrikulären Myozyten - Herzmuskelzellen) bei Abnahme der Herzvorlast. Baroreflexe (Mechanismen die den Blutdruck aufrechterhalten) behalten die Fähigkeit bei, den Blutdruck, bei vielen aber nicht allen Hitzebelastungszuständen, zu regulieren. Eine zentrale Hypovolämie (ein Flüssigkeitsmangel im Körperkern) ist eine weitere kardiovaskuläre Herausforderung, die durch Hitzestress hervorgerufen wird. Wenn sie zu einer nachfolgenden zentralen volumetrischen Stresssituation wie etwa einer inneren (auch kleinen) Blutung hinzukommt, kann dies problematisch und potenziell lebensgefährlich sein, da Synkopen und kardiovaskuläre Kollaps-Situationen unmittelbar auftreten können. Diese kombinierten Belastungen können die Durchblutung und Sauerstoffversorgung wichtiger Gewebe, wie die des Gehirns, beeinträchtigen. Es ist wichtig zu verstehen, dass diese beeinträchtigenden Zustände bereits bei Herzzeitvolumina auftreten können, die zwar unter normothermen Bedingungen ausreichend sind, um eine funktionierende Leistungsfähigkeit aufrechtzuerhalten, aber aufgrund des erhöhten systemischen Gefäßleitwerts, der mit der kutanen Vasodilatation (Gefäßerweiterung in der Haut) verbunden ist, bei Hitzeeinwirkungen unzureichend sind (Crandall und Wilson 2015).

Hitzestress wirkt am schnellsten und unmittelbarsten auf die Herzfrequenz, die generell immer bei jeder Art von Stressreaktionen vorrangig beeinflusst wird. Bei mäßiger körperlicher Belastung in heißer thermischer Umgebung, wenn sich die Wärme im Körperinneren aufzustauen beginnt, steigt die

Herzfrequenz um durchschnittlich 33 Schläge pro Minute bei jeder Erhöhung der Körperkerntemperatur um 1°C (Dube et al. 2019).

Faerevik et al. konnten zeigen, dass bei Piloten, welche über einen Zeitraum von 3 Stunden gegenüber unterschiedlichen Klimaten (0°C, 23°C und 40°C) exponiert wurden, die größten Anstiege der Rektaltemperatur (Temperatur im After), der Hauttemperatur und Herzfrequenz sowie der größte Verlust von Körperwasser bei einer Wärmebelastung von 40°C gefolgt von 23°C im Vergleich von 0°C registriert werden konnten. Die Herzfrequenz bei 40°C war signifikant höher (ca. 120 Schläge/Minute) im Vergleich zu niedrigeren Umgebungstemperaturen (ca. 80 Schläge/Minute). Ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz wurde bereits nach 30-minütiger Exposition beobachtet. Der Wasserverlust bei 40°C betrug 1.200g, während er bei 0°C und 23°C 220g bzw 400g betrug. Die Probanden waren bei 40°C mit einem mittleren Gewichtsverlust von 1,2 kg, entsprechend 1,5 % ihres Gesamtkörpergewichts, signifikant dehydriert (ausgetrocknet) (Faerevik und Reinertsen 2003).

Die kardiovaskuläre Anpassung an Hitzestress wurde 2011 einem Review unterzogen. Die Autoren fanden heraus, dass die Exposition gegenüber einer heißen Umgebung eine Reihe von kardiovaskulären Anpassungen mit sich bringt, die mit einer erhöhten Durchblutung der Körperoberfläche beginnt. Diese kutane (zur Haut gehörende) Vasodilatation (Gefäßerweiterung) tritt bei einigen Spezies in einigen speziellen Körperbereichen und bei anderen, einschließlich des Menschen, auf der gesamten Körperoberfläche auf. Die Mechanismen, die diese kutane Vasodilatation hervorrufen, umfassen die Abnahme der sympathischen Vasokonstriktor-Aktivität (durch die sympathischen Nervenfasern bedingte Aktivität der Gefäßverengung), eine erhöhte aktive sympathische Vasodilatator-Aktivität und die direkten Auswirkungen von Wärme auf Blutgefäße. Geringe Erhöhungen des Hautblutflusses bei milder Erwärmung werden durch Vasokonstriktor-Entzug erreicht, wohingegen eine intensivere Hitzebelastung eine aktive kutane Vasodilatation erfordert. Der Nachweis, ob das aktive Vasodilatator-System mit der sudomotorischen (Sudomotorik = Schweißsekretion) Kontrolle verbunden ist konnte bis heute nicht schlüssig bewiesen werden. Die Mechanismen die für die direkten Auswirkungen erhöhter Hauttemperaturen verantwortlich sind, können veränderte adrenozeptor- und adrenerge Nervenfunktionen umfassen, sind jedoch zumindest teilweise unabhängig von der neuronalen Kontrolle. Die extrakutane Anpassung an die Anforderungen die die Hautdurchblutung mit sich bringt ist ebenfalls abhängig vom Grad der Wärmebelastung und der damit verbundenen Vasodilatation.

Bei höherem Hitzestress wird der Anstieg des Blutflusses einerseits durch eine Erhöhung des Herzzeitvolumens und andererseits durch eine Umverteilung des Blutflusses aus splanchnischen, renalen und möglicherweise skelettmuskulären Gefäßbetten bewirkt. Die adrenergische Vasokonstriktion und/oder die Sekretion von Renin sind hauptverantwortlich für die Blutflussumverteilung. Der Blutdruck wird gut aufrechterhalten, obwohl der zentralvenöse Druck typischerweise verringert ist. Diese grundlegenden Kontrollmuster unterliegen Veränderungen durch nicht-thermoregulatorische Mechanismen wie Dehydration, Barorezeptorreflexe und körperliche Betätigung, die alle die Durchblutung der Haut bei einer bestimmten Körperkerntemperatur verringern (Johnson und Proppe 2011).

Bei gesunden Probanden, die Temperaturen bis zu 40°C ausgesetzt waren, wurde eine sehr hohe physiologische Belastung festgestellt und die Noradrenalin- und Prolaktinkonzentrationen im Blut waren signifikant erhöht. Ganzkörpererwärmung (bei einer Rektaltemperatur von 39,5°C) führte zu einer signifikant erhöhten Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz und einem erhöhten Herzzeitvolumen. Eine Stunde nach der Hitzeexposition blieb die Herzfrequenz durchwegs erhöht, während das Herzzeitvolumen fast zum Ausgangswert zurückkehrte. Der mittlere arterielle Druck nahm nach Beendigung der Exposition signifikant ab und blieb mindestens eine Stunde lang verringert. Es gab keinen signifikanten Unterschied im mikrovaskulären Flussindex (Maß der Durchblutung der kleinen und kleinsten Gefäße) im Bereich der kleinen Gefäße und am Anteil der perfundierten Gefäße am Ende und 1 Stunde

nach der Exposition im Vergleich zu den Basisvariablen. Die AutorInnen schließen daraus, dass Hitzestress den Sauerstoffverbrauch und das Herzzeitvolumen erhöht (Pranskunas et al. 2015).

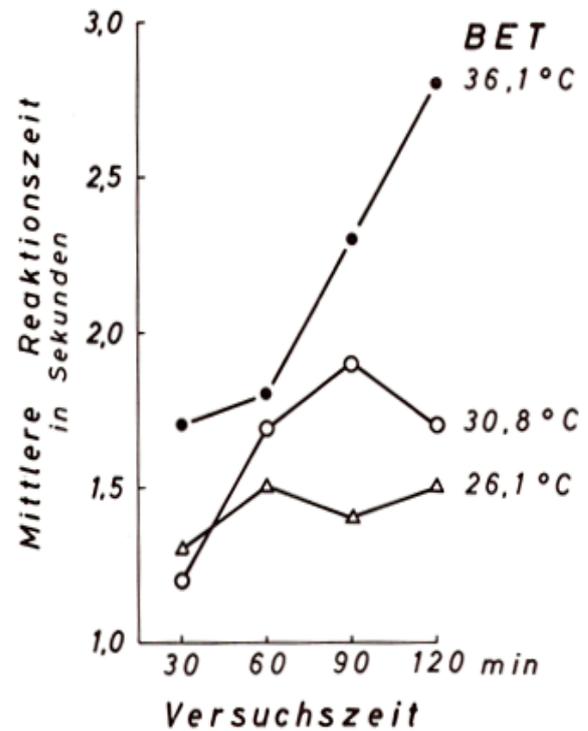
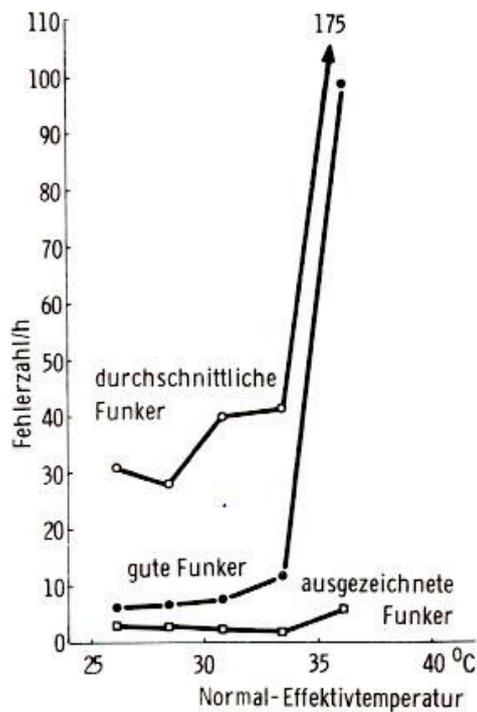
## 1.5 Zerebrale Gefäßkontrolle und Stoffwechsel bei Hitzestress

Bain et al. (Bain, Nybo und Ainslie 2015) verfassten ein Review zu Gehirnfunktionen bei Hyperthermie. Die Autoren fanden heraus, dass eine Verringerung des zerebralen Blutflusses (Cerebral Blood Flow – CBF), der hauptsächlich von einer durch die Atmung ausgelösten Alkalose (Basenüberschuss) bedingt wird, die zerebrovaskulären Veränderungen bei Hyperthermie wesentlich mit verursacht. Der arterielle Druck kann ebenso auch beeinträchtigt sein, da der periphere Widerstand im Gefäßsystem infolge der vergrößerten Hautdurchblutung prinzipiell verringert ist. Wenn daher Hyperthermie mit Zuständen kombiniert wird, die die kardiovaskuläre Belastung zusätzlich erhöhen, beispielsweise etwa Orthostase (aufrechte Körperhaltung) oder Dehydratation, verringert die so entstehende Unfähigkeit, den zerebralen Perfusionsdruck aufrechtzuerhalten, den CBF weiter. Ein verringerter zerebraler Perfusionsdruck ist wiederum der Hauptmechanismus für eine beeinträchtigte Toleranz gegenüber orthostatischen Herausforderungen. Jegliche Verringerung der CBF vermindert den konvektiven Wärmeverlust des Gehirns, während die durch Hyperthermie verursachte Erhöhung der Stoffwechselrate die zerebrale Wärmezunahme erhöht. Diese paradoxe Entkopplung von CBF vom Stoffwechsel erhöht die Gehirntemperatur und potenziert einen Zustand, bei dem die zerebrale Sauerstoffversorgung beeinträchtigt sein kann. Bei experimentell durchführbarer passiver Hyperthermie (bis zu 39,5 – 40,0°C Körperkerntemperatur) wird die damit verbundene Verringerung des CBF (~ 30 %) und die Zunahme des zerebralen Stoffwechselbedarfs (~ 10 %) wahrscheinlich durch eine Zunahme der zerebralen Sauerstoffextraktion kompensiert. Ein starker Anstieg der Ganzkörper- und Hirntemperatur kann jedoch die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke erhöhen und möglicherweise zu einem zerebralen vasogenen Ödem führen. Die mit Hyperthermie verbundenen zerebrovaskulären Herausforderungen sind von größter Bedeutung für Menschen mit eingeschränkter thermoregulatorischer Kontrolle, zB Menschen mit Rückenmarksverletzungen, Ältere und Menschen mit bereits bestehenden Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

## 1.6 Hitzestress und kognitive Reaktionen sowie psychische Gesundheit

Die Auswirkungen eines Umweltstressors auf die kognitiven (das Wahrnehmen, Denken, Erkennen betreffend) Leistungen hängen vom Kenntnisstand der Person ab, die an der Leistungsabfrage beteiligt ist. Mackworth (Mackworth 1950, 1952) demonstrierte mit Morsecode-Bedienern, dass die Wärmebelastung im Allgemeinen weniger Einfluss auf die Leistung hatte, je höher das Können des Bedieners war, selbst unter extremen Bedingungen.

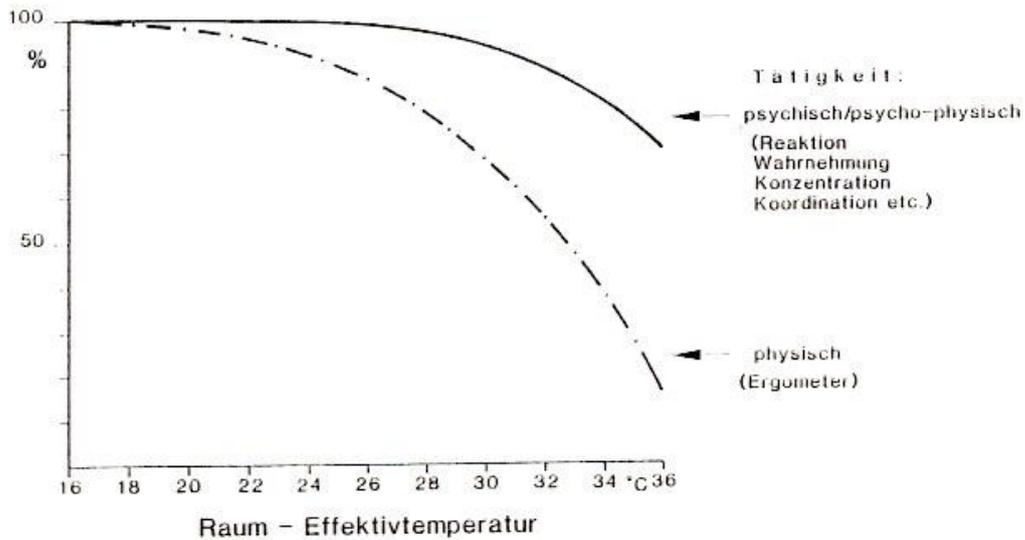
Dies wird durch ein einfaches menschliches Leistungsmodell erklärt, das auf der Arbeitsbelastung basiert. Die thermische Belastung überlastete den weniger erfahrenen Bediener, da er einen größeren Teil seiner maximalen Arbeitskapazität benötigt, um die Aufgabe auszuführen. Ein Facharbeiter war weniger betroffen, da er einen geringeren Anteil seiner maximalen Arbeitskapazität benötigte, um das gleiche Leistungsniveau zu erreichen und die durch die Belastung verursachte zusätzliche Arbeitsbelastung bewältigen zu können. Die Interaktionen zwischen dem Kenntnisstand, der Erfahrung und Übung und der thermischen Umgebung sind nicht unwesentlich und sollen bekannt sein um einen Leistungsabfall beurteilen zu können; Das Training in der Hitze kann von Vorteil sein, um diese Belastungen zu kompensieren.



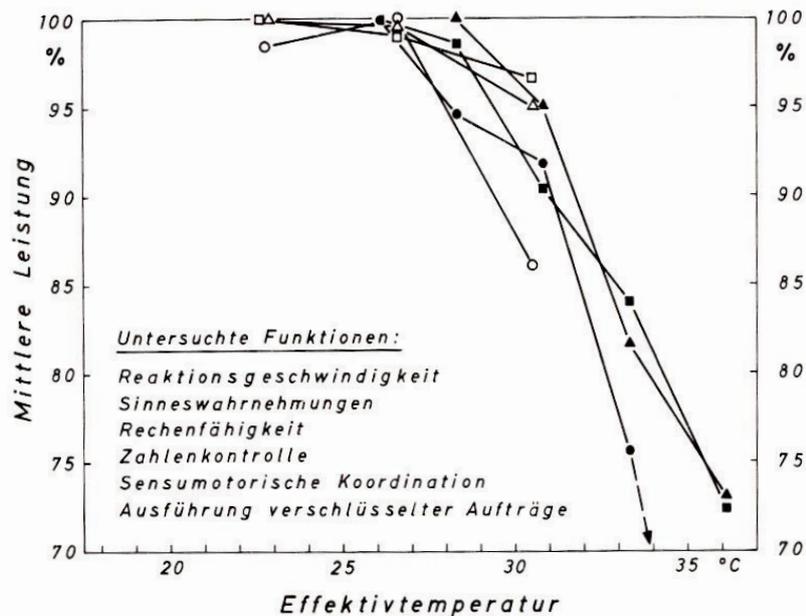
**Abbildung 19 (links):** Fehler von Morsecode-Operatoren. Alle elf Probanden waren geschulte Bediener. Gruppe A enthielt die besten Drei, B die nächsten Fünf und C die schlechtesten Drei (Mackworth 1946).

**Abbildung 20 (rechts):** Änderungen der Reaktionszeit im Verlauf eines Wachsamkeitstests unter drei Wärmebelastungen (Machworth 1950).

Andere Forschergruppen beschreiben als Konsequenz einer steigenden Effektivtemperatur oberhalb des Behaglichkeitsbereiches einen zunehmenden Leistungsverlust für physische sowie psychische Tätigkeiten (**Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22**) in deutlicher Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. So wird man bei einer Effektivtemperatur von ca. 33°C NET für physische Leistungen mit einem Leistungsverlust von ca. 50 % rechnen müssen. In derartigen Arbeitssituationen muss der Risikofaktor Mensch berücksichtigt werden. Entweder müssen die technischen Anlagen so ausgelegt werden, dass derartige Klimasituationen nicht auftreten können oder man wird zwischenzeitliche Entwärmungspausen im klimaneutralen Bereich in den Arbeitsablauf einschieben müssen.



**Abbildung 21:** Leistungstrend bei physischer und psychisch/psychologischer Tätigkeit in Abhängigkeit von der Raumtemperatur (nach Werten von Ehrismann u. Hasse, Lehmann u. Szakall, Mackworth, Viteles).



**Abbildung 22:** Abhängigkeit der relativen mittleren Leistung bei psychischen und psychophysischen Tätigkeiten bei unterschiedlich erhöhter Basis - Effektivtemperatur (nach Mackworth, Viteles und Smith 1950, 1952).

Die Auswirkungen von Hitzestress auf kognitive Reaktionen wurden in der letzten Zeit nur von einigen wenigen ForscherInnen untersucht. Diese Studien berichten durchwegs von einer kognitiven Funktionsminderung bei Hitzeexposition. Einer der ersten experimentellen Studien wurde am Nationalen Institut für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (NIOSH) an Freiwilligen durchgeführt. Hitzestress verringert die Fähigkeiten Aufgabenkategorien, die eine größere Reaktionskomplexität erfordern, zu lösen (Hancock 1982, 1981). Dies konnte auch bei australischen Elitesoldaten gezeigt werden, deren elektrische Gehirnaktivität während eine Reihe von kognitiven Testaufgaben gemessen wurde (Hocking et al. 2001). Zusätzlich wurde erstmalig eine neuartige radiologische Bildge-

bungstechnik eingesetzt, um die Änderungen der regionalen Hirnaktivität und der neuronalen Verarbeitungsgeschwindigkeit von Probanden unter thermischer Belastung graphisch zu überwachen. Die Ergebnisse der Testbatterie zeigten Defizite im Arbeitsgedächtnis, in der Informationsspeicherung und in der Informationsverarbeitung (Hocking et al. 2001). Einige Studien an israelischen MilitärpilotInnen zeigten ähnliche kognitive Funktionsminderung aufgrund von Hitzestress (Nunneley et al. 1979; Nunneley und Flick 1981; Nunneley, Reader und Maldonado 1982).

Faerevik et al. (Faerevik und Reinertsen 2003) zeigten, dass die kognitiven Reaktionen von Piloten – die mit der Anzahl der falschen Reaktionen im Vigilance-Test bewertet wurden – bei 40°C signifikant höher waren als bei 23°C ( $p = 0,006$ ) oder 0 °C ( $p = 0,03$ ).

Froom et al. (Froom et al. 1993) untersuchten den Zusammenhang zwischen Umgebungshitzestress und den aufgetretenen Flugfehlern bei militärischen Hubschrauberpiloten. Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen den Trockentemperaturverteilungen an den Tagen, an denen Fehler von Piloten auftraten im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $P < 0,0001$ ). Es wurde eine Dosis-Wirkungs-Beziehung mit einem signifikant geringeren Risiko bei Umgebungstemperaturen zwischen 25 und 29°C (Odds Ratio: 0,6; 95 % Konfidenzintervall: 0,5 bis 0,8,  $P < 0,0001$ ) und einem erhöhten Risiko zwischen 30 bis 34°C gefunden (Odds Ratio: 1,6; 95 % Konfidenzintervall: 1,3 bis 2,0,  $P < 0,0001$ ). Das höchste Risiko lag bei 35°C oder höher (6,2, 95 % Konfidenzintervall, 2,1 bis 21,8,  $P < 0,0002$ ). Bei israelischen Militärhubschrauberpiloten besteht daher bewiesenermaßen eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Umgebungshitzestress und Pilotenfehler (Froom et al. 1993).

Nunneley et al. (Nunneley, Reader und Maldonado 1982) untersuchten den Einfluss von Hitzestress auf kognitive Reaktionen bei Probanden, die einer Temperatur zwischen 30 und 43°C ausgesetzt waren. Herausgefunden wurde: Die Erwärmung des Körpers verkürzt tendenziell die Reaktionszeit und verringert die Leistungsgenauigkeit, während eine vorhandene Kopfkühlung diese Trends weitgehend umkehrte. Mögliche Mechanismen sind: 1) Änderung der Gesamtwärmebilanz; 2) Gegenstromaustausch im Nacken und 3) Veränderung der sensorischen Leistung. Laut StudienautorInnen verdient die Kopfkühlung ernsthafte Beachtung bei denjenigen Maschinenbedienern, bei denen eine Ganzkörper Thermo-Regulation nicht praktikabel ist.

In einer bulgarischen Studie wurde gezeigt, dass sowohl längere 12-Stunden-Schichten als auch hohe Umgebungstemperaturen zusätzliche körperliche und geistige Anforderungen sind und diese sich negativ auf die Leistung und Arbeitssicherheit der Bediener auswirken können (Vangelova und Deyanov 2000).

Dieselbe Studiengruppe verglich psychosoziale Faktoren zwischen zwei Gruppen von Arbeitnehmern in der Glasherstellung, wobei die eine bei hohen und die andere bei normalen Umgebungstemperaturen arbeiteten (Vangelova et al. 2002). Beide Gruppen hatten eine moderate Arbeitsbelastung. Die Autorinnen fanden keine signifikanten Unterschiede der psychosozialen Faktoren zwischen den beiden Gruppen, obwohl sowohl Stresshormonspiegel als auch Herzfrequenzen bei den HitzearbeiterInnen signifikant erhöht waren.

Einer der derzeit wichtigsten Artikel zum Einfluss von Wärmestress auf kognitive Reaktionen ist eine kürzlich veröffentlichte systematische Übersicht von Martin et al. 2019. In dieser Übersicht, die auf 124 Einzeluntersuchungen basiert, beschreiben die AutorInnen die Auswirkungen von thermischen Umweltbelastungen auf die kognitive und militärische Leistungsfähigkeit und heben ebenso einzelne Merkmale oder Interventionen hervor, die in der Lage sind negative Auswirkungen abzuschwächen. Unter den analysierten Studien untersuchten 31 den Einfluss von Hitzebelastung auf die Kognition. Die AutorInnen kamen zu dem Schluss, dass der Schweregrad und die Dauer der Exposition gegen-

über dem Umweltstressor Hitze den Grad der Beeinträchtigung der kognitiven Leistung negativ beeinflusst. Weitere Einflussfaktoren sind die Komplexität der kognitiven Aufgabe, das Vorhandensein der speziell benötigten Fähigkeiten bei der Testperson und das Vertrautsein mit der Testaufgabe.

Da Hitzebelastung zu Dehydration führt, wurde in einem anderen Ansatz die Häufigkeit von Dehydratationen im beruflichen Umfeld und deren Auswirkungen auf die Leistung bei kognitiv dominierten Aufgaben während mäßiger und hoher Hitzebelastung bewertet (Piil et al. 2018). An dieser Studie nahmen ProduktionsmitarbeiterInnen (Aluminium-Extrusion in Innenräumen), Land- und BauarbeiterInnen sowie PolizeibeamtInnen und FremdenführerInnen teil. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigten, dass Dehydration bereits in geringer Ausprägung, die häufig und bei unterschiedlichsten beruflichen Umgebungen beobachtet werden, einen enormen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben kann. Am augenscheinlichsten wurden diese Ergebnisse bei Tätigkeiten, die die Kombination von kognitiven Funktionen und motorischer Reaktionsgenauigkeit verlangen.

2018 wurde eine weitere systematische Übersichtsarbeit über Hitzestress und psychische Gesundheit veröffentlicht (Thompson et al. 2018). Insgesamt wurden 35 Studien in diese Überprüfung einbezogen, darunter 34 Beobachtungsstudien und eine Fall-Kontroll-Studie. Es wurden sechs Kategorien für allgemeine psychische Gesundheitsprobleme identifiziert: Selbstmord und Hitze; bipolare Störung, Manie und Depression und Hitze; Schizophrenie und Hitze; organische psychische Gesundheit und Hitze einschließlich Demenz; Alkohol- und Substanzmissbrauch und Hitze sowie Gesundheitsversorgung und Wärme. Fünfzehn Studien zeigten ein signifikant erhöhtes Suizidrisiko bei Hitze (relatives Risiko zwischen 1,014 und 1,37 pro 1°C). Ebenso wurde auch ein signifikant erhöhtes Risiko für psychisch bedingte Aufnahmen in Notaufnahmen bei höheren Temperaturen festgestellt. Die Belege für die Auswirkung von Hitze auf andere psychische Gesundheitsprobleme waren uneinheitlich. Die AutorInnen kamen zu dem Schluss, dass hohe Umgebungstemperaturen eine Reihe von Auswirkungen auf die psychische Gesundheit haben. Die stärksten Hinweise wurden beim erhöhten Suizidrisiko gefunden. Es wurden nur begrenzte Hinweise auf eine Zunahme der hitzebedingten Morbidität und Mortalität bei Menschen mit bekannten psychischen Problemen gefunden. Es bestehen daher weiterhin Wissenslücken über die Auswirkungen hoher Temperaturen auf eine große Anzahl der am häufigsten auftretenden psychischen Störungen.

In anderen Studien hatte Hitzestress jedoch eine viel bedeutendere Auswirkung auf die psychische Gesundheit – eingeschlossene Krankheitsbilder waren: Angstzustände, Stress und Depressionen, Verringerung der Hemmschwelle und Aggression sowie Identitätsverlust in der Gesellschaft. – diese Erkrankungen waren signifikant erhöht (Trombley, Chalupka und Anderko 2017; Palinkas und Wong 2019).

Ein weiterer ebenso 2018 veröffentlichter systematischer Review widmete sich dem Einfluss von Hitzestress auf kognitive Reaktionen (Yeganeh et al. 2018). Die AutorInnen analysierten Berichte von Laborexperimenten, die zwischen 1980 und 2018 veröffentlicht wurden. Sie gaben an, dass bei Studien mit einem gewichteten Mittelwert von 4,34°C, 10,04°C und 26,68°C Verringerungen der kognitiven Leistung um 0,40 %, 5,37 % bzw 7,97 % auftraten. Wärmebelastung verursacht den größten Rückgang bei denjenigen Aufmerksamkeitsleistungen bei denen die zu lösenden Aufgaben mit den höchsten Anforderungen verbunden waren. Die verallgemeinernden Ergebnisse lassen einen allgemeinen Rückgang der Geschwindigkeit und Genauigkeit bei den Testaufgaben unter Hitzeeinwirkung erkennen.

## 1.7 Biochemische Reaktionen auf Hitzestress

Bei Gießereiarbeitern wurden biochemische Parameter vor und nach Hitzestress untersucht (Arbeiten bei Lufttemperatur von 32°C – 51,1°C) (Norloei et al. 2017). Die Hormonspiegel (3,5,3 – Triiodthyronin

und 3,3,5,5 – Tetraiodthyronin) sowie einige wesentlichen hämatologischen Parameter waren nach Hitzestress signifikant erniedrigt. Zu den hämatologischen Parametern zählten die Plasmaosmolalität, die Anzahl der weißen Blutkörperchen inklusive Lymphozyten, die mittlere Konzentration des korpuskulären Hämoglobins und das mittlere korpuskuläre Volumen. Es konnte eine positive Korrelation zwischen der Variation einiger hämatologischer Parameter und der Schilddrüsenhormone mit der Lufttemperatur nachgewiesen werden (Norloei et al. 2017).

## 1.8 Die Auswirkungen von Hitzestress auf die Nierenfunktion

Eine Häufung chronischer Nierenerkrankungen mit vorerst unbekannter Ätiologie trat bei ArbeitnehmerInnen auf, die unter heißen Umgebungsbedingungen im Freien harte körperliche Arbeit verrichteten (Schlader et al. 2019; Lunyera et al. 2016). Diese Krankheit wurde erstmals im Jahr 2002 beschrieben, als bei einer überproportionalen Anzahl von jungen mittelamerikanischen Zuckerrohrschneider und anderen ArbeiterInnen eine besondere Art einer Nierenerkrankung festgestellt wurde (O' Donnell et al. 2011; Lunyera et al. 2016). Danach wurde sukzessive bei Arbeitnehmern in anderen Berufen und in anderen Regionen der Welt dieselbe Krankheit diagnostiziert, obwohl die klinischen Anzeichen, Symptome und die wahrscheinliche Ätiologie unterschiedlich waren (O' Donnell et al. 2011). Die Auswirkungen dieser chronischen Nierenerkrankung sind verheerend. Die Pan American Health Organization etwa schätzt, dass chronische Nierenerkrankungen von 1997 bis 2013 in Zentralamerika mehr als 60.000 Todesfälle verursachten, wobei 41 % dieser Todesfälle bei Menschen unter 60 Jahren auftraten. Darüber hinaus schätzt die Weltgesundheitsorganisation, dass ~ 15 % der ArbeitnehmerInnen in Endemiegebieten einem Risiko für die Entwicklung einer chronischen Nierenerkrankung ausgesetzt sind (Schlader et al. 2019).

Die wahrscheinlichsten Gründe für die Entwicklung dieser chronischen Nierenerkrankung wurden kürzlich untersucht (Schlader et al. 2019). Es wurde gezeigt, dass diese Krankheit besonders bei Personen auftreten kann, die im heißen Klima besonders hart arbeiten müssen und daher zwangsläufig unter Hitzestress stehen. Dies führt zu einem Anstieg der Körpertemperatur und einer chronischen Dehydration (hypovolämischer, hyperosmotischer Zustand) (Schlader et al. 2019).

Diese Hypothese konnte durch die bei Nagern erhobenen Daten gestützt und untermauert werden (Sanchez-Lozada et al. 2018). In diesen Experimenten entwickelten Ratten die über 4–5 Wochen einer wiederholten passiven Hitzeexposition ohne Zugang zu Flüssigkeiten ausgesetzt wurden eine Nephropathie (Nierenerkrankung) (Sanchez-Lozada et al. 2018).

## 1.9 Einfluss von Hitzestress auf die Fortpflanzungsfunktion beim Menschen

Das aktuelle Wissen über „genitalen“ Hitzestress und seine Folgen bei Männern wurde eingehend wissenschaftlich aufgearbeitet und öfters überprüft (Jung und Schuppe 2007). Die Sitzdauer während der Arbeit korreliert positiv mit den Skrotalhauttemperaturen (Haut im Bereich des Hodens), die am Tag erreicht werden und diese Skrotaltemperatur korreliert schließlich negativ mit der Samenqualität. Die bislang angenommene negative Korrelation zwischen Sitzdauer und Samenqualität konnte in den neueren vorliegenden Studien jedoch nicht gänzlich nachgewiesen werden. Fruchtbarkeitsparameter von Berufskraftfahrern mit langen Sitzzeiten in Fahrzeugen waren jedoch beeinträchtigt; Für die vorwiegend betroffenen Fahrer von Lieferwagen, Lastkraftwagen oder schweren Industriemaschinen mussten jedoch potenzielle Störfaktoren mitberücksichtigt werden. Viele Studien zur beruflichen Exposition gegenüber hohen Temperaturen lieferten widersprüchliche Ergebnisse in Bezug auf Fruchtbarkeitsparameter. Der postulierte negative Einfluss von Saunabesuchen auf die Samenqualität wird durch die verfügbaren Studien nicht ausreichend unterstrichen. Oligozoospermische Männer mit einer

Varikozele haben signifikant höhere Skrotaltemperaturen als normozoospermische Männer, jedoch normalisiert die Varikosektomie die Skrotaltemperaturen. Ein weiterer Zusammenhang zwischen Fieber und verminderter Samenqualität wurde aufgezeigt. Die Empfängnisverhütung über genitalen Hitzestress wurde bereits mit heißen Sitzbädern oder isolierenden Suspensoren nachgewiesen. Die Herunterregulierung der Spermatogenese ist jedoch inkonsistent und unsicher. Andererseits kann die Kühlung des Skrotums und der Hoden in Folge die Samenqualität verbessern (Jung und Schuppe 2007).

Studien mit Arbeitnehmern, die Hitzebelastungen ausgesetzt waren, belegen einen reversiblen Rückgang der Samenqualität (Durairajanayagam, Agarwal und Ong 2015). Personen, die direkt mit starken Hitzequellen arbeiten, wie zB Bäcker und Keramikofenbediener, haben eine längere Zeit bis zur Eintritt einer gewollten Schwangerschaft Ihrer Partnerinnen, was darauf hindeuten könnte, dass sich die berufliche Hitzeexposition negativ auf die Fruchtbarkeit auswirkt. Männer, die in der Nähe starker Wärmequellen arbeiten, zB am hinteren Ende eines U-Bootes (Position des Motors), scheinen ebenso mit Unfruchtbarkeitsproblemen konfrontiert zu sein. Berufskraftfahrer und Personen, die lange tägliche Wegstrecken sitzend zurücklegen, sind anfälliger für erhöhte Skrotaltemperaturen, schlechtere Spermienqualität und längere Zeit bis zum Erreichen einer gewollten Schwangerschaft Ihrer Partnerinnen. Der negative Effekt von langen Fahrstunden und sitzender Haltung etwa im Pendlerverkehr nimmt, mit der Anzahl der Jahre die derart verbracht wird, zu (Durairajanayagam, Agarwal und Ong 2015).

## 1.10 Der Einfluss von Geschlecht und Alter auf Hitzestress

Eine Untersuchung wurde in einer Industriegewäscherei mit 11 weiblichen Bedienerinnen durchgeführt, die während der Sommermonate mäßiger Hitzebelastung ausgesetzt waren und deren Arbeitstätigkeit auf der Grundlage des Energieverbrauchs als gering einzustufen sind (Brabant 1992). Physiologische und symptomatische Reaktionen, Arbeitsaktivität und Umgebungstemperatur wurden über 3 vollständige Arbeitstage im Sommer und im Winter bewertet. Aufgezeichnete und wahrgenommene Temperatur, Unwohlsein, Ermüdungsgefühle und Symptome von thermischem Stress waren im Sommer signifikant höher als im Winter. Symptome von Schläfrigkeit und Muskel-Skelett-Schmerzen wurden in beiden Jahreszeiten gleichermaßen berichtet. Die Herzfrequenz war in beiden Jahreszeiten hoch, ebenso wie die berechneten Herzbelastungsindizes. Die empfohlenen Grenzwerte für die Herzbelastung wurden im Sommer signifikant häufiger überschritten als im Winter. Es wurde empfohlen, die Schwellenwerte neu zu definieren, um eine aktive Vorbeugung von kardialen Stressreaktionen infolge der kumulativen Auswirkungen von Hitzestress und sitzender, sich wiederholender Aktivität, wie sie für viele Frauen bei niedrigem Energiebedarf typisch sind, möglich zu machen (Brabant 1992).

In Australien wurden Wärmebelastungen im Sinne von physiologischen Regulationsmechanismen bei unterschiedlichen Altersgruppen und Geschlechtern untersucht (Glass et al. 2015). Die AutorInnen zeigten erhöhte Risiken bei Kindern und älteren Menschen, insbesondere bei Frauen im Alter von/über 75 Jahren. Das Risiko einer tatsächlichen Hitzebelastung bei Männern steigt mit zunehmendem Alter nicht so schnell an wie gedacht, ist jedoch an heißen Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung am größten. Obwohl bewölkte Tage für die breite Bevölkerung weniger gefährlich sind, haben ältere Frauen an genau diesen heißen bewölkten Tagen oder, wenn sie sich bei großer Hitze in Innenräumen aufhalten, immer noch ein erhöhtes Risiko einer gesundheitsgefährdenden Wärmebelastung (Glass et al. 2015).

## 1.11 Hitzestress und das Auftreten von Arbeitsunfällen und Todesfällen

Wachsender Erkenntnisgewinn deutet darauf hin, dass die Exposition gegenüber hohen Temperaturen am Arbeitsplatz zu gesundheitlichen Problemen bei ArbeitnehmerInnen führt (Binazzi et al. 2019). Eine Metaanalyse wurde durchgeführt, um den epidemiologischen Nachweis der Auswirkungen der Hitzeexposition auf das Risiko von Arbeitsunfällen zusammenzufassen. Die Risikoschätzung betrug 1,005 (nicht signifikant;  $p > 0,05$ ). Subgruppenanalysen ergaben erhöhte Risiken (statistisch nicht signifikant) für männliches Geschlecht, Alter  $< 25$  Jahre und Arbeiten in der Landwirtschaft (Binazzi et al. 2019).

Eine systematische Überprüfung fasste die epidemiologischen Daten über die Auswirkungen von klimabedingten Wärmebelastung auf die Gesundheit von LandarbeiterInnen (traumatische Verletzungen) zusammen (Levi, Kjellstrom und Baldasseroni 2018). Sie fanden heraus, dass es eine umgekehrte U-förmige Beziehung zwischen der durchschnittlichen jährlichen Sommertemperatur und den täglichen Unfallmeldungen gibt (Levi, Kjellstrom und Baldasseroni 2018).

Eine Studie über die Beziehung zwischen Arbeitsunfällen und Umgebungstemperatur wurde in Adelaide, Australien, durchgeführt (Xiang, Bi, Pisaniello, Hansen, et al. 2014). Insgesamt wurde festgestellt, dass ein Anstieg der Maximaltemperatur zwischen  $14,2^{\circ}\text{C}$  und  $37,7^{\circ}\text{C}$  um  $1^{\circ}\text{C}$  mit einem Anstieg der täglichen Unfälle um 0,2 % einherging. Insbesondere waren die Inzidenzraten bei männlichen Arbeitnehmern und bei jungen ArbeitnehmerInnen im Alter von  $\leq 24$  Jahren höher. Ähnliche Assoziationen wurden auch für ArbeiterInnen in Industrieproduktionen, bei TransportarbeiterInnen und ArbeiterInnen im Handel gefunden. Weitere gefährdende Wirtschaftszweige waren Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei, Baugewerbe und Elektrizität, Gas und Wasser. Die AutorInnen kommen zu dem Schluss, dass für bestimmte Branchen und Berufe ein signifikanter Zusammenhang zwischen Unfallgeschehen und hohen Temperaturen besteht (Xiang, Bi, Pisaniello, Hansen, et al. 2014).

Eine weitere ebenso kürzlich durchgeführte Metaanalyse von Studien zum Zusammenhang zwischen Arbeitsunfällen und Umgebungstemperatur ergab einen deutlichen Zusammenhang zwischen zunehmenden Arbeitsunfällen und zunehmender Hitzeexposition mit erhöhten Effektschätzungen für männliches Geschlecht und Alter unter 25 Jahren. Dies obwohl bei den Expositionsmetriken und -quellen Heterogenität in unterschiedlichem Maße nachgewiesen wurde (Spector et al. 2019). In einer anschließenden Crossover-Fallstudie an BauarbeiterInnen im Freien wurde ein Anstieg der Wahrscheinlichkeit traumatischer Verletzungen um 0,5 % pro Anstieg des maximalen täglichen Humidex um  $1^{\circ}\text{C}$  gemeldet. Während einige Studien umgekehrte U-förmige Assoziationen zwischen Hitzeexposition und Arbeitsunfällen gezeigt haben, wurden weitere unterschiedliche Risikoprofile in verschiedenen Branchen und Arbeitsumgebungen gemeldet (Spector et al. 2019). Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die beobachtete Umkehrung der Effekte an den oberen Spitzen der Hitzeexposition nicht das Ergebnis einer echten Risikoreduzierung bei hohen Temperaturen ist, sondern vielmehr die Änderungen der Gesamtzeit widerspiegelt, in der unter Risiko gearbeitet wird. Oder aber, dass es bisher zu einer Überschätzung der Wirkung von Hitzeexpositionen an Verletzungstagen gekommen ist, da diese heißesten Tage in Wirklichkeit mit massiven Risikominderungspraktiken (wie etwa das frühzeitige Beenden von Schichtarbeit) verbunden wurden, um hitzebedingten Erkrankungen überhaupt vorzubeugen. Diese Praxis stößt insbesondere im Bauwesen an Grenzen, wenn beispielsweise Lärmschutzverordnungen Bautätigkeiten außerhalb der üblichen Geschäftszeiten verbieten (Spector et al. 2019).

Todesfälle aufgrund von beruflichem Hitzestress sind im Steigen begriffen, aber insgesamt nicht häufig. In den USA wurden für den Zeitraum 2012–2013 nur 13 solcher Todesfälle gemeldet (Arbury et al. 2014). In Australien hat das National Coronial Information System zwischen 2000 und 2015 nur 17

Fälle registriert, obwohl die meisten Beschäftigten in den Bereichen Bergbau, Landwirtschaft und Bauwesen in den heißeren Regionen Australiens im Freien arbeiten (Gun 2019). Die Seltenheit von Todesfällen aufgrund dieser Ursache kann auf die Eigenregulation des Menschen zurückgeführt werden. Dies ist die natürliche Verhaltensreaktion auf Hitze, wobei Beschwerden aufgrund einer Kombination aus Stoffwechsel- und Umgebungswärmebelastung zu einer Verlangsamung der Arbeitsgeschwindigkeit führen (Pistole 2019). Sieben Todesfälle bei Arbeitnehmern traten innerhalb einer Woche nach der Einstellung auf, was nicht nur die Bedeutung der Akklimatisierung, sondern auch die Wahrscheinlichkeit einer beeinträchtigten Selbsteinstufung bei kürzlich eingestellten Arbeitnehmern belegt. Zu den identifizierten persönlichen Risikofaktoren gehörten interkurrente Erkrankungen (hinzukommende Erkrankungen), Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Fettleibigkeit. Bei Arbeiten in Innenräumen traten vier Todesfälle auf, bei denen der wahrscheinliche kritische Risikoparameter eine niedrige Luftgeschwindigkeit war. In einigen Autopsieberichten wurde über zerebrale und pulmonale Ödeme berichtet, und in einem Fall wurde ein unkalischer Bruch (Abwärtsverschiebung des Uncus, eines vorderen Endes des Gyrus parahippocampus und benachbarter Strukturen in die Tentorialkerbe) festgestellt. Bei neu eingestellten Arbeitnehmern sollten abgeänderte Arbeitsquoten und eine genaue Überwachung der Gesundheit ein prioritäres Ziel sein. Das bestehende Risiko eines hitzebedingten Todesfalles durch erhöhten Hirndruck lässt die Empfehlung zu, dass bei hyperthermischen Personen ein gezieltes Angehen des zerebralen Ödems grundlegend erforderlich ist (Gun 2019).

## 1.12 Hitzestress und DNA-Schaden

Eine Gruppe aus Russland überprüfte die vorhandene Literatur zu DNA-Schäden, die durch Hitzestress in kultivierten Säugetierzellen verursacht wurden (Kantidze et al. 2016). Sie gaben an, dass Hitzestress DNA-Reparatursysteme hemmt und auch als DNA-schädigendes Agens wirken kann. Es ist bekannt, dass Hitzestress zur Akkumulation von 8-Oxoguanin, desaminiertem Cytosin und Apurin-DNA-Stellen in Zellen führen kann. Hitzestress induzierte sowohl Einzel- als auch Doppelstrang-DNA-Brüche. Doppelstrang-DNA-Brüche sind spezifisch für die S-Phase des Zellzyklus und treten in der Zelle nicht unmittelbar nach dem Hitzestress auf, sondern 3–6 Stunden später. Diese verzögerten Doppelstrangbrüche treten aufgrund der Kollision von Replikationsgabeln auf, die nach einem durch Hitzestress induzierten Stillstand mit Singlestrangbrüchen aufgrund der top1-Hemmung neu gestartet wurden (Kantidze et al. 2016).

Die gleiche Schlussfolgerung wurde vom US-Team um Purschke gezogen (Purschke et al. 2010).

Kürzlich untersuchte eine Gruppe aus Indien den Zusammenhang zwischen chronischer Hitzeexposition und der Häufigkeit von Mikrokernen (MN) (Kleinkernen) in Lymphozyten (Untergruppe von weißen Blutzellen) von 120 in der Stahlindustrie beschäftigten Arbeitnehmern (Venugopala et al. 2019). Es gab einen signifikanten Anstieg der MN-Häufigkeit bei exponierten Arbeitnehmern im Vergleich zu nicht exponierten Arbeitnehmern (24,7 % vs 4,6 %; bereinigt um Störfaktoren wie Alter, Rauchen, Alkohol;  $p < 0,0001$ ). Während exponierte Arbeiter im Vergleich zu nicht exponierten Arbeitern ein höheres Risiko für DNA-Schäden hatten, waren die Chancen für DNA-Schäden bei Arbeitern, die hohen Hitzelevels ausgesetzt waren – auch nach Anpassung an Störfaktoren – am höchsten (41,7°C vs 34,6°C). Bei exponierten Arbeitern war die jahrelange Exposition gegenüber Hitze auch ein Maß für die Wahrscheinlichkeit für eine höhere Induktion (Auslösung) von MN. Die Exposition gegenüber chronischem Hitzestress stellt für die ArbeitnehmerInnen daher ein erhebliches Risiko für die Gesundheit am Arbeitsplatz, einschließlich Schäden auf subzellulärer Ebene dar. Die AutorInnen kommen zu dem Schluss, dass die Entwicklung von Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Hitzeexposition im Szenario steigender Temperaturen zum Schutz von Millionen von ArbeitnehmerInnen auf der ganzen Welt unerlässlich ist (Venugopala et al. 2019).

Eine Studie zur Assoziation zwischen Hitzeschockprotein Hsp70 Spiegel und genotoxischen Schäden (Schäden der DNA) in Lymphozyten von Arbeitern, die einer Koksofenemission ausgesetzt waren, wurde unter Verwendung von Western-Dot-Blot und 2 DNA-Schadensassays, dem comet assay und dem Mikrokerntest, in China durchgeführt (Xiao et al., 2002). Die Daten zeigen, dass es einen signifikanten Anstieg der Hsp70-Spiegel, des DNA-Schadens-Scores (2,3-fach) und der Mikronukleusraten in Lymphozyten von Arbeitern (5,1 ‰ vs 2,1 ‰) gibt. Darüber hinaus gab es eine signifikante negative Korrelation der Hsp70-Spiegel mit den DNA-Schadenswerten im Kometentest und mit den Mikronukleusraten in der exponierten Gruppe. Die Ergebnisse zeigen, dass Personen mit hohen Hsp70-Spiegeln im Allgemeinen einen geringeren genotoxischen Schaden aufwiesen als andere. Diese Ergebnisse legen eine Rolle von Hsp70 beim Schutz der DNA vor genotoxischen Schäden nahe, die durch Hitzestress aufgrund von Koksofenemissionen verursacht werden (Xiao et al. 2002).

Ein Vergleich der Schädigung der Lymphozyten-DNA bei Hitzestress wurde bei Piloten mit negativen Antikörpern gegen Hitzestressproteine (HSPs) und solchen mit positiven Antikörpern im künstlichen Klimaraum mit „comet assay“ durchgeführt (Xiong et al. 1997). Die Ergebnisse zeigten, dass Lymphozyten-DNA-Schäden bei Piloten mit den positiven Antikörpern gegen HSPs geringfügig, aber signifikant höher waren als bei Piloten mit den negativen Antikörpern. Diese Ergebnisse zeigten, dass das Vorhandensein von Autoantikörpern im Plasma von Piloten eine Hitzeschädigung und eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Hitze widerspiegeln könnte (Xiong et al. 1997).

### 1.13 Vorgaben zum Schutz vor Hitzestress

Das US-Militär hat Arbeitsruhepläne für verschiedene Kombinationen von körperlichen Belastungen und Wetterbedingungen formuliert (Cheung, Lee und Oksa 2016). Diese Richtlinien für die notwendigen Arbeitspausen werden für eine durchschnittliche und wärmegewöhnte SoldatIn angegeben, die bei heißem Wetter die Kampfuniform trägt. Wenn zum Beispiel mäßige Arbeit (425 W) bei einer Umgebungstemperatur von 29,4° bis 31°C auszuführen ist, müssen die SoldatInnen nach einer Arbeitszeit von 40 Minuten, 20 Minuten Ruhezeit einhalten. Auf der anderen Seite wird Bergleuten in Südafrika generell geraten, jede Stunde 10 bis 15 Minuten Entwärmungspausen zu machen (Cheung, Lee und Oksa 2016).

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) gibt Grenzwerte für die Umgebungstemperatur von akklimatisierten ArbeitnehmerInnen an, die verschiedene körperliche Belastungen ausführen (ISO 2004). Eine Schwellentemperatur von 28°C gilt für mittlere Arbeitslasten (234–360 W), während eine Temperatur von 25°C für hohe Arbeitslasten (360–468 W) mit niedriger Luftgeschwindigkeit gilt. Die ISO geht davon aus, dass der/die ArbeitnehmerIn gesund ist, körperlich für das erforderliche Aktivitätsniveau fit ist und normale, sommergewichtige Arbeitskleidung mit Hitzeisolierung trägt (ISO 2004).

Das NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) schätzt die Expositionsgrenzwerte für nicht akklimatisierte und akklimatisierte ArbeitnehmerInnen (NIOSH 2013). Sie basieren auf der gesamten metabolischen Wärmeezeugung, ausgedrückt als Funktion des Energieverbrauchs und der Expositionsdauer. Zum Beispiel hat ein/e akklimatisierte/r ArbeiterIn, der 349 W für 45 Minuten Arbeit pro Stunde verbraucht, ein Temperaturlimit von 27,5°C. Wenn dieselbe Arbeitsbelastung 30 Minuten pro Stunde ausgeführt wird, beträgt das Temperaturlimit 28,5°C (NIOSH 2013).

Das OSHA (Occupational Safety and Health Administration) Standards Advisory Committee für Hitzestress hat Temperaturgrenzwerte von 30°C, 27,8°C und 26,1°C für leichte (<233 W), mittlere (234–349 W) und schwere (> 349 W) Arbeitslasten empfohlen. Diese Grenzwerte gelten für eine kontinuierliche Arbeitslast mit niedrigen Luftgeschwindigkeiten von nicht mehr als 300 Fuß/min.

Die amerikanische Konferenz der Regierung für Arbeitshygiene (ACGIH) hat Grenzwerte (Threshold Limit Values – TLV) entwickelt, die die maximal zulässigen Werte für die Hitzeexposition darstellen

(ACGIH 2005). Die TLVs reichen von 30°C für leichte Arbeiten (117–233 W), 26,7°C für mäßige Arbeiten (234–407 W) und 25°C für sehr schwere Arbeiten (407–581 W). Die TLV gehen davon aus, dass (i) die ArbeitnehmerInnen an die arbeitsbedingte Hitzebelastung am Arbeitsplatz gewöhnt sind; (ii) die ArbeitnehmerInnen tragen die übliche Arbeitskleidung; (iii) die ArbeiterInnen haben eine ausreichende Wasser- und Salzaufnahme; (iv) die ArbeitnehmerInnen sollten in der Lage sein, effektiv zu arbeiten; (v) die zeitgewichtete durchschnittliche Körperkerntemperatur überschreitet 38°C nicht; und (vi) die Ruheumgebung entspricht in etwa der Arbeitsumgebung (ACGIH 2005).

Es ist zu beachten, dass die oben genannten Wärmebelastungsrichtlinien und -standards allgemeiner Natur sind und auf der Grundlage des spezifischen Kontexts der beabsichtigten Anwendung geändert werden sollten. Dies würde sicherstellen, dass die Arbeit nicht unnötig eingeschränkt wird und gleichzeitig das Risiko von hitzebedingten Erkrankungen minimiert wird (Cheung, Lee und Oksa 2016).

ArbeitnehmerInnen in verschiedenen Ländern unterliegen unterschiedlichen Hitzestressbestimmungen. Zum Beispiel beträgt der Schwellengrenzwert (TLV) aufgrund direkter Hitzeexposition in Indien 27,5°C für ArbeitnehmerInnen mit hoher Arbeitsbelastung (Venugopala et al. 2019).

Ein neuer Schichtarbeitszeitplan wurde für Mitarbeiter von Bodendienstbetrieben empfohlen, die der Hitze von Jets (über TLV (27,5° C)) ausgesetzt waren, und ihre Hitzeexposition wurde erfolgreich auf ein akzeptables Maß reduziert (Noweir und Bafail 2008).

Kürzlich wurde eine Literaturübersicht veröffentlicht, aus der hervorgeht, dass die Gesundheitskosten einer Exposition gegenüber hohen Temperaturen eine erhebliche wirtschaftliche Belastung für die Gesundheitssysteme in den USA, Australien und Europa darstellen (Wondmagegn et al. 2019). Bei sich entwickelnder Evidenz deuten die meisten Studien darauf hin, dass Frauen, ältere Menschen ( $\geq 64$  Jahre), einkommensschwache Familien und einige ethnische Minderheiten zu den Untergruppen gehören, die höhere durch Hitze verursachte Kosten verursachen. Es ist offensichtlich, dass die künftigen Gesundheitskosten die durch extreme Hitze ohne wirksame Maßnahmen zur Wärmeanpassung verursacht werden, weltweit und insbesondere in wärmeempfindlicheren Gebieten dramatisch ansteigen werden. Die Überwachung der Gesundheitsstatistiken und der Gesundheitsausgaben in Bezug auf die Hitzeexposition könnte als Möglichkeit gesehen werden die notwendigen Forschungsbemühungen auf diesem Gebiet zu verstärken. Die AutorInnen sind der einhelligen Meinung, dass es an der Zeit ist, dass Regierungsbehörden und politische Entscheidungsträger der wahrscheinlichen Zunahme der durch Wärme verursachten Gesundheitsbelastung in einem sich erwärmenden Klima mehr Aufmerksamkeit schenken (Wondmagegn et al. 2019).

Für Europa wurde die mehrsprachige Plattform "HEAT-SHIELD Occupational Warning System" (<https://heatshield.zonalab.it/>) entwickelt (Morabito et al. 2019). Sie basiert auf probabilistischen Mittelbereichsprognosen, die an ungefähr 1800 meteorologischen Stationen in Europa kalibriert wurden, und liefert die Gesamtprognose der täglichen maximalen Wärmebelastung. Die Plattform bietet eine nichtkundenadaptierte Datenlage, die durch eine Karte dargestellt wird, die die wöchentliche Höchstwahrscheinlichkeit für das Überschreiten eines bestimmten Wärmebelastungszustands für jede der vier kommenden Wochen zeigt. Die kundenspezifische Ausgabe ermöglicht die Vorhersage des individuellen lokalen Hitzestressrisikos auf der Grundlage der individuellen physiologischen Eigenschaften, der Kleidung und des Verhaltens der ArbeitnehmerInnen im Sinne der Arbeitsschwere sowie des Arbeitsumfelds (im Freien in der Sonne oder im Schatten) unter Berücksichtigung der Wärmeakklimatisierung. Das persönliche tägliche Hitzestressrisiko und Verhaltensvorschläge (empfohlene Hydratation und Arbeitspausen), die kurzfristig (innerhalb von 5 Tage) zu berücksichtigen sind, werden zusammen mit langfristigen Hitzestressprognosen (bis zu 46 Tage) bereitgestellt. Sie alle sind zur Arbeitsplanung extrem nützlich (Morabito et al. 2019).

## 1.14 Methoden zum Schutz gegen Hitzestress

Sensortechnikanwendungen (Warnsignale bei Erreichen falscher Körperhaltungen oder physischer Grenzen) können ArbeitnehmerInnen bei körperlich anstrengenden Arbeiten unterstützen indem sie durch Messung und Überwachung die Arbeitsbelastung in Relation zu den Grenzwerten setzen (Spook et al. 2019). Potenzielle Hindernisse für die Implementierung, wie Datenschutzaspekte und Qualität, Komfort und wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit von Anwendungen der Sensortechnologie, müssen berücksichtigt werden, um eine erfolgreiche Implementierung am Arbeitsplatz sicherzustellen (Spook et al. 2019).

Die Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen wird aufgrund des Klimawandels und der sich bildenden städtischen „Wärmeinsel Effekte“ zunehmen und die negativen Auswirkungen der Hitzewellen und damit die Hitzebelastung verschlimmern (Hatvani-Kovacs et al. 2016). Es gibt zwei Ansätze zur Entwicklung einer erhöhten Belastbarkeit durch Hitze in der Bevölkerung. Erstens können die am stärksten gefährdeten sozialen Gruppen identifiziert und die öffentlichen Gesundheitsdienste auf die erhöhte Morbidität vorbereitet werden. Zweitens können der Anpassungsgrad der Bevölkerung und die Wärmebelastungsbeständigkeit der Gebäude erhöht werden. Die Bewertung dieser Maßnahmen und ihrer Effizienz ist über alle Forschungsdisziplinen hinweg fragmentiert. Die Studie von Hatvani-Kovacs untersuchte die Beziehungen zwischen den Elementen der Widerstandsfähigkeit gegen Wärmebelastung und ihren potenziellen demografischen und wohnraumbezogenen Treibern und Barrieren (Hatvani-Kovacs et al. 2016).

In einer in Hongkong durchgeführten Interventionsstudie (Chan, Yang und Li 2013) zogen drei Gruppen von ArbeitnehmerInnen (d.h. Beschäftigte in den Bereichen Bauwirtschaft, Gartenbau, Küche, Reinigung und Flughafenvorfeld), die Hitze ausgesetzt sind und unter Hitzestress leiden, Kühlwesten an. Die AutorInnen folgerten aus den Ergebnissen, dass diese PSA Anwendung einer der Faktoren sein kann, die Hitzestress verhindern können (Chan, Yang und Li 2013).

In mehreren weiteren Studien der taiwanesischen Forschergruppen wurde Hitzestress bei Bauarbeitern untersucht (Chan et al. 2016; Chan, Yang und Song 2018; Yi et al. 2017). Die AutorInnen fanden heraus, dass die derzeit im Sommer in Hongkong verwendete Bauarbeiteruniform nicht zufriedenstellend war, und schlugen eine neue Uniform für Arbeitnehmer mit hervorragenden Wärme- bzw Feuchtigkeitstransporteigenschaften und lockerem Design vor, die die Hitzebelastung der Arbeitnehmer verringern und ihren Komfort und die Arbeitsleistung verbessern könnte (Chan et al. 2016; Chan, Yang und Song 2018; Yi et al. 2017).

## 2 SONDERTEIL

# AUSWIRKUNG VON HITZESTRESS AUF PROBANDINNEN IN UNTERSCHIEDLICHEN BERUFSGRUPPEN

### 2.1 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf „Fahrpersonal“

#### **Carlson, Lawrence und Kenefick 2018**

Stock-Car-Fahrer sind bei Ihren Rennen hohen Umgebungstemperaturen ausgesetzt; Durch die Notwendigkeit Schutzkleidung tragen zu müssen, verschärft sich die klimatische Situation zudem. In der vorliegenden Arbeit wurde nun der Hydratationsstatus dieser Fahrer als Maß für die Hitzebelastung ermittelt. Es ist langläufig bekannt, dass Dehydration das zentrale Blutvolumen verringert, was eine Kaskade von kardiovaskulären Ereignissen (unter anderem erhöhte Herzfrequenz, verringertes Schlagvolumen usw.) auslöst. All diese Effekte erhöhen die kardiovaskuläre Belastung. Weiter führen diese Faktoren zu einer Verringerung der Hautdurchblutung, die jedoch für die Wärmeabfuhr entscheidend ist. Darüber hinaus wurde Dehydration mit einer langsameren Reaktionszeit und Entscheidungsfindung in Verbindung gebracht. Männliche Fahrer wurden nun während eines NASCAR-Rennens der Pro Series Division untersucht. Die Schweißrate (SR) und die Dehydration wurden durch das Körpergewicht bei nacktem Körper bestimmt. Das Körpergewicht vor dem Rennen nahm nach dem Rennen leicht, aber signifikant um  $0,77 \pm 0,3$  % ab ( $p = 0,001$ ) und die mittlere Schweißrate betrug  $0,63 \pm 0,4$  l/h. Die Rektaltemperatur stieg nach dem Rennen um  $0,5^{\circ}\text{C}$  an ( $p = 0,001$ ), die Hauttemperatur um  $1,1^{\circ}\text{C}$  ( $p = 0,001$ ). Die Herzfrequenz nach dem Rennen lag bei 89 % der für die Fahrer vorhergesagten maximalen Herzfrequenz. Flüssigkeitsverluste während eines Wettbewerbs können erheblich sein. Ohne eine Strategie zum Flüssigkeitsersatz können Flüssigkeitsverluste 3 % des Körpergewichts leicht überschreiten und dadurch die Fahrleistung und Sicherheit bei längeren Rennen negativ beeinflussen.

#### **Lenzuni et al. 2014**

Es ist bekannt, dass in den Sommermonaten die Temperaturen in der Sonne stehender Fahrzeuge extrem hohe Werte erreichen können, die häufig über  $65^{\circ}\text{C}$  liegen. Untersuchungen zu den thermischen Bedingungen in abgestellten PKWs, die nach einigen Stunden auf einem schattenlosen Parkplatz gestanden haben, und den damit verbundenen Auswirkungen auf das Fahrverhalten wurden in Italien durchgeführt. Wenn der Fahrer ein Auto bei solch extremen Bedingungen fährt, ist er zumindest anfangs einer klimatisch hohen thermischen Umgebung ausgesetzt, die durch sehr hohe Luft- und Strahlungstemperaturen gekennzeichnet ist. Obwohl der Hitzegrad im Fahrzeug durch einströmende Außenluft abnimmt, bleiben die Strahlungstemperaturen für einige Zeit erheblich höher als die Lufttemperaturen, da sich die Innenflächen nicht so schnell abkühlen wie die Luft selbst. Experimentelle

Untersuchungen wurden in vier verschiedenen Fahrzeugtypen durchgeführt. Jeder der 12 unterschiedlich durchgeführten Tests, wurde nach 60 Minuten mit der durch ein Wärmebelastungsmodell berechneten vorhergesagten Kerntemperatur ( $t_{\text{core}}$ ) des Fahrers abgeglichen. Der Grad des Leistungsverlusts bei der Fahrleistung wurde mit Büroaufgaben unter ähnlichen klimatischen Bedingungen verglichen. Basierend auf den gemessenen Temperatur- und Luftfeuchtedaten werden auch für relativ einfache Aufgaben, wie das Halten des Fahrzeugs auf einer geraden Strecke, Leistungsverluste von bis zu 50 % prognostiziert. Leistungsverluste von mehr als 75 % werden unter extremsten thermischen Bedingungen für anspruchsvolle Aufgaben z.B. das korrekte Erkennen eines Signals und das rechtzeitige Reagieren auf Umweltreize prognostiziert. Die AutorInnen kamen zu dem Schluss, dass die Umsetzung von zwei neuen Schwellenwerten in technischen Normen zur Beurteilung der Wärmebelastung angewandt werden müssten, um sicheres Fahren gewährleisten zu können. Die untere Schwelle sollte auf  $t_{\text{core}}$  von 37,1°C eingestellt werden, um sicherzustellen, dass die KraftfahrzeuglenkerIn in der Lage ist, anspruchsvolle mentale Aufgaben ohne nennenswerten Leistungsverlust auszuführen: Eine höhere Schwelle könnte für einfachere Aufgaben gelten.

**McCartt et al. 1996; Gonzalez Alonso et al., 1999; Salminen, Perttula und Merjama, 2005; Xianglong et al., 2018**

Mehrere Untersuchungen ergaben, dass AutofahrerInnen bei sommerlichen Umgebungstemperaturen über 35°C und bei relativer Luftfeuchtigkeit über 80 % leichter Müdigkeit, Depressionen oder Erschöpfungszustände entwickeln können. Diese Studien wurden in den USA (New York City), Dänemark, Finnland und China durchgeführt.

**DeWall und Bushman 2009; Wilkowski et al. 2009**

Es ist ausreichend erforscht, dass die Aggressivität von ProbandInnen mit der Temperatur zunimmt.

**Anderson 2001**

Anderson beschrieb diesen Zusammenhang bei AutofahrerInnen als ebenso häufig. Beispielsweise nahm das aggressive Hupen bei höheren Temperaturen zu. Dies galt jedoch nur für Fahrer ohne klimatisierte Autos.

**Xianglong et al. 2018; Wickens und Mann 2013**

Mit der Temperatur in der Fahrerkabine steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich Ärger und aggressives Fahrverhalten entwickeln.

**Xianglong et al. 2018**

Darüber hinaus wurde in der Arbeit von Xianglong festgestellt, dass hohe Temperaturen einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionsfähigkeit der Fahrer haben. Die Ergebnisse zeigen, dass Busfahrer bei unterschiedlichen Temperaturen außer Müdigkeit keine offensichtlichen negativen Emotionen (Anspannung, Depression, Wut und Verwirrung) zeigen. Junge Fahrer, Fahranfänger und Fahrer, die lange Zeit ohne Pausen fahren, hatten aber eher negative Stimmungen. Dieser Müdigkeitszustand nimmt jedoch mit der steigenden Temperatur zu. Die Fähigkeit zur Geschwindigkeitsschätzung, Reaktionszeit und Handlungsbeurteilung nimmt mit zunehmender Temperatur signifikant ab. Es gibt keinen signifikanten Unterschied in der Anzahl der Auswahlfehler bei unterschiedlichen Temperaturen. Vor dem 45. Lebensjahr nahm die Anzahl der Auswahlfehler mit dem Alter zu, nach dem 45. Lebensjahr wurden jedoch keine signifikanten Änderungen festgestellt. Fahrer zwischen 55 und 60 Jahren zeigten die schlechtesten Reaktionszeiten und die maximale Anzahl von Fehlern. Negative Stimmungen korrelierten negativ mit der Genauigkeit der Geschwindigkeitsschätzung und positiv mit der Anzahl der Auswahlmöglichkeiten oder Beurteilungsfehler.

Die Faktoren Alter (55 – 60 Jahre), Fahrpraxis (> 5 Jahre), ununterbrochene Arbeitszeit, Verwirrung, Anzahl der Reaktionsfehler, Anzahl der Beurteilungsfehler und Temperatur (> 35°C) sind signifikant miteinander und mit einer Unfallhäufigkeit korreliert.

#### **Zhou et al. 2014**

In China wurde eine Befragung zu Hitzestress-Effekten auf die Gesundheit von Busfahrern durchgeführt. Es wurde erwähnt, dass die Fahrer vermehrt über Nierenerkrankungen, Blendung durch direkte Sonneneinstrahlung und ständiges Abwischen des Gesichts aufgrund von starkem Schweiß berichteten. Die Fahrer beschrieben sich selbst als wütend, depressiv und geistesabwesend. Es wurde auch festgestellt, dass bei Hitzeeinwirkung Konflikte zwischen Fahrgästen und Fahrern deutlich häufiger auftreten. Ein weiterer Aspekt war hohen Sterblichkeitsraten aufgrund von Herzinfarkten.

#### **Wyon, Wyon und Norin 1996**

In dieser schwedischen Studie mit 81 FahrerInnen konnte gezeigt werden, dass Hitzestress zu einer erhöhten innerlichen Erregung geführt hat, und es gab Hinweise auf eine Umverteilung der Aufmerksamkeit im Hinblick auf das Erkennen von peripheren Signalen. Bei 27°C war der Gesamtanteil der übersehenen Signale um 50 % höher und die Reaktionszeiten um 22 % länger als bei 21°C. Diese Wärmeeffekte waren in der zweiten halben Stunde der Messdauer bei Probanden <40 Jahren und für Geschwindigkeiten unter 60 km/h (dh im Stadtverkehr) signifikant und proportional größer.

#### **Pimenta und Assuncao 2015**

In Brasilien wurde der Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung der Businnentemperatur und dem Bluthochdruck bei 1126 BusfahrerInnen untersucht. Das thermische Unbehagen wurde auf der Grundlage der Eigenwahrnehmung der Temperatursituation im Bus bestimmt. Hypertonie wurde festgehalten, wenn der Teilnehmer bereits eine medizinische Diagnose dieser Krankheit hatte. Die Wahrnehmung der Temperatur im Bus war tolerabel (26,5 %), stört ein wenig (28,6 %), stört viel (34,8 %) und unerträglich (10,2 %). Die Prävalenz (Häufigkeit) von Bluthochdruck unter den FahrerInnen betrug 14,3 %. Die Kategorien der thermischen Beschwerden von starken Störungen (PR = 1,41) und unerträglichen Beschwerden (PR = 1,75) standen unabhängig voneinander im Zusammenhang mit Bluthochdruck. Thermische Beschwerden waren mit einer höheren Prävalenz von Bluthochdruck verbunden. Basierend auf den erhaltenen Daten gaben die AutorInnen an, dass Hitzestress Bluthochdruck auslösen kann.

## **2.2 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf Piloten**

#### **Faerevik und Reinertsen 2003**

In einer israelischen Studie mit Piloten (gekleidet wie eben bei Flügen üblich), die 3 Stunden lang unterschiedlichen Temperaturen (0°, 23° und 40°C) ausgesetzt waren, konnte gezeigt werden, dass die Rektaltemperatur, die Hauttemperatur, die Herzfrequenz und der Körperwasserverlust bei 40°C Umgebungstemperatur im Vergleich zu 0°C und 23°C eine höhere Wärmebelastung widerspiegeln. Die Herzfrequenz war bei 40°C signifikant höher (ca. 120 Schläge/Minute) als bei niedrigeren Umgebungstemperaturen (ca. 80 Schläge/Minute). Ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz wurde bereits nach 30-minütiger Exposition beobachtet. Der Wasserverlust bei 40°C betrug 1.200 g, während der bei 0°C und 23°C 220 g bzw. 400 g betrug. Die Probanden waren bei 40°C mit einem mittleren Gewichtsverlust von 1,2 kg, entsprechend 1,5 % ihres Gesamtkörpergewichts, signifikant dehydriert.

**Froom et al. (Froom et al. 1993)** fanden bei israelischen Militärhubschrauber-PilotInnen eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Umgebungshitze und PilotInnenfehlern.

**Gribetz et al. 1980**

Bei landwirtschaftlichen Sprühpiloten aus Israel war ein täglicher Gewichtsverlust von 0,6 – 1,2 % des Gesamtkörpergewichts üblich (Dehydration), ebenso wie rektale Temperaturerhöhungen von 0,5° C aufgrund von Hitzestress. Die AutorInnen gaben an, dass Bedenken bestehen, dass die Hitzeexposition einer der Faktoren sein könnte, die kürzlich zu einem Anstieg sowohl der tödlichen als auch der nicht tödlichen Unfallrate unter israelischen Sprühpiloten geführt haben.

**Nunneley und Flick 1981, Nunneley et al. 1979; Nunneley und Flick 1981; Nunneley, Reader und Maldonado 1982**

Der Dehydrationsgrad aufgrund von Hitzestress betrug bei israelischen Piloten von F-4 und F-111-Flugzeugen während des Flugs über der Wüste 2,3 % des Körpergewichts. Dieselbe Gruppe stellte bei israelischen Militärpiloten eine kognitive Funktionsminderung aufgrund von Hitzestress fest.

**Li et al. 2015**

Die Leistungsfähigkeit chinesischer Piloten und die Hitzebelastungstoleranz wurden 2015 in einem simulierten Cockpit untersucht. Zehn Probanden meldeten sich freiwillig zur Teilnahme an den Tests, welche unter 40°C und 45°C in einem Hochtemperatursimulator durchgeführt wurden. Griffstärke, Wahrnehmung von Beschwerden, Geschicklichkeit, Sinnesreaktion und analytisches Denken wurden getestet. Die Ergebnisse wurden mit dem Combined Index of Heat Stress (CIHS) verglichen. CIHS überschritt die Sicherheitsgrenze für Hitzestress nach 45 Minuten bei 40°C, die Griffstärke nahm um 12 % ab und die Wahrnehmung von Beschwerden war schlussendlich 2,9-fach größer als der Ausgangswert. Bei 45°C überschritt der CIHS die Sicherheitsgrenze bereits nach 20 Minuten, während die Griffstärke nur um 3,2 % abnahm und die Wahrnehmung von Beschwerden auf das 4,36-fache des Ausgangswertes anstieg. Reaktion und Fingerfertigkeit unterschieden sich statistisch nicht von den Grundlinienmessungen, aber die Fehlerrate des analytischen Argumentationstests stieg merklich an. Die AutorInnen schließen daraus, dass die subjektive Wahrnehmung von Beschwerden der empfindlichste Index für hohe Temperaturen war, gefolgt von der Griffstärke. Die Ergebnisse dieser Studie könnten dazu beitragen, das Design für ein neues Cockpit bei den Jagdflugzeugen zu verbessern, sowie die Ausstattung an die Physiologie der Piloten anzupassen.

**Dikshit et al. 1986**

Systolische Blutdruckvariablen wurden an indischen Militärpiloten untersucht, die Hitzebelastungen ausgesetzt waren. Erfahrene Kampfpiloten wurden bei 70°C 20 Minuten lang einer Head-Up-Tilt-Untersuchung (eine weit verbreitete Methode bei der Beurteilung von PatientInnen mit ungeklärter Synkope) unterzogen. Die Reaktion von Herzfrequenz und Blutdruck auf Neigungsbelastung war in beiden Gruppen ähnlich wie die kontraktile Funktion des linken Ventrikels, gemessen in systolischen Zeitintervallen. Das höchste PEP/LVET-Verhältnis (Pre Ejection Period/Left Ventricular Ejection Time) von 0,402 am Ende des Tests lag erheblich unter den Werten, die in anderen Studien mit Amerikanern und Europäern ermittelt wurden. Dies legt nahe, dass sich die Kontraktionsfähigkeit des Myokards bei Indern besser an die Neigungsbelastung anpasst als bei westlichen Probanden, die nicht an Hitze angepasst sind.

**Xiong et al. 1997**

In China und Kanada wurden in Klimakammern Herzfrequenz und Oraltemperatur bei zwei Gruppen von Piloten überwacht; Eine Gruppe mit negativen Antikörpern gegen Hitzestressproteine, und eine weitere Gruppe mit positiven Antikörpern. Die PilotInnen wurden für 2 Stunden 39,1°C ausgesetzt. Die Ergebnisse zeigten, dass der Anstieg der Oraltemperatur und der Herzfrequenz während Hitzestress bei PilotInnen mit den positiven Antikörpern gegen Hitzestressproteine höher war als bei Piloten

mit den negativen Antikörpern. Das Vorhandensein von Autoantikörpern könnte eine Hitzeschädigung und eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Hitze widerspiegeln.

## 2.3 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf BauarbeiterInnen

### **Wesseling et al. 2016**

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzestress wurden in Nicaragua an männlichen Bauarbeitern untersucht. Eine verringerte glomeruläre Filtrationsrate trat bei 9,0 % der Arbeiter auf. Es wurden auch ein signifikant höherer Serum-Harnstoff-Stickstoff und ein hoher Serum-Kreatinin-Gehalt beobachtet. Die AutorInnen schließen daraus, dass Hitzestress und Dehydratation bei BauarbeiterInnen zu Nierenfunktionsstörungen führen können.

### **Ahmed et al. 2019**

Die Wärmebelastung wurde bei Bauarbeitern in den VAE anhand der HSI Berechnung bewertet. Es wurde festgestellt, dass dieser Index an drei Standorten > 100 %, 77,7 – 115,8 % bzw 70,5 – 87,6 % betrug. Dies zeigt an, dass die ArbeiterInnen einer sehr starken Hitzebelastung ausgesetzt sind. Die Autoren empfehlen eine frühere oder spätere Planung der Arbeiten (nach Sonnenuntergang) sowie Pausen zur Erholung auf kühlen, schattigen Flächen

### **Al-Bouwarthan et al. 2019**

Die gleichen Probleme (hoher HSI) haben Bauarbeiter im heißen Wüstenklima von Saudi-Arabien. Die Autoren gaben an, dass die Einhaltung eines Arbeitsverbots für die Mittagszeiten im Freien (12–15 Uhr) das Risiko von Hitzestress nicht wirksam verringert. Sie gaben an, dass die Ergebnisse ihrer Studie die Notwendigkeit einer sofortigen Verbesserung der derzeit erforderlichen Schutzmaßnahmen und die Entwicklung von Leitlinien für berufliche Hitzestressexposition in Saudi-Arabien unterstreichen.

### **Manfredini, Cappadona und Fabbian 2019**

Aus mehreren Studienergebnissen ist bekannt, dass BauarbeiterInnen aufgrund der anstrengenden Arbeit und der hohen Umgebungstemperaturen einem hohen Risiko für Hitzestress ausgesetzt sind. Nach Angaben des Bureau of Labour Statistics der Vereinigten Staaten gab es eine jährliche durchschnittliche Sterblichkeitsrate von 0,22 pro 1 Million ArbeiterInnen. BauarbeiterInnen starben 13-mal häufiger an einer durch Hitze verursachten Krankheit als ArbeiterInnen in anderen Branchen. Bei diesen ArbeitnehmerInnen meldeten verschiedenen Ländern den höchsten Prozentsatz von hitzebedingten Krankheitsfällen in der Altersgruppe der 26 bis 35-Jährigen.

### **Pradhan et al. 2019**

Saisonale Sterblichkeitsmuster für verschiedene Ursachen wurden unter jungen nepalesischen Wanderarbeitern (hauptsächlich BauarbeiterInnen) in Katar analysiert. Nepal ist ein Land, das einen großen Teil der WanderarbeitnehmerInnen in die Golfstaaten stellt. Die Autoren fanden eine erhöhte kardiovaskuläre Mortalität bei Arbeitnehmern, insbesondere im Alter von 25 bis 35 Jahren. Darüber hinaus wurde eine starke Korrelation zwischen der kardiovaskulären Mortalität und dem durchschnittlichen monatlichen Hitzepegel am Nachmittag insbesondere für diese Altersgruppe nachgewiesen. 58 % der Todesfälle fanden in der heißen Jahreszeit statt 22 % in der kühlen Jahreszeit.

### **Farshad et al. 2014**

In einer iranischen Studie wurde das Ausmaß der Hitzebelastung für Bauarbeitern in Teheran unter Verwendung der Indizes Thermal Work Limit (TWL) und WBGT sowie durch Messung des spezifischen Gewichts des Urine Specific Gravity (USG) bestimmt. 60 Teilnehmern wurden zufällig in zwei

Gruppen (sonnenexponiert und unexponiert) unter den BauarbeiterInnen eines Baucampus mit ähnlicher Arbeitsart, ähnlichem Klima und ähnlicher Ernährung ausgewählt. TWL und WBGT und USG wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen und zu Beginn, Mitte und Ende der Arbeitsschicht für beide Gruppen gemessen. Der mittlere WBGT-Index betrug 22,6°C für die Kontrollgruppe und 27,5°C für die exponierte Gruppe, der mittlere TWL-Index betrug 215,8 W/m<sup>2</sup> für die Kontrollgruppe und 144 W/m<sup>2</sup> für die exponierte Gruppe und der mittlere USG betrug 1,0213 in der Kontrollgruppe und 1,026 in der exponierten Gruppe. Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen TWL, WBGT und USG zwischen exponierter und nicht exponierter Gruppe (P < 0,01). Die AutorInnen kamen zu dem Schluss, dass die ArbeitnehmerInnen jedoch alle innerhalb eines zulässigen Wärmebelastungsgrades arbeiteten. TWL-, WBGT- und USG-Messungen waren signifikant untereinander korreliert; Die Einstufung auf TWL-Ebene hatte gegenüber dem WBGT-Index jedoch vor allem im Bereich der abzuleitenden Maßnahmen einige Vorteile.

### **Dong et al. 2019**

In den Volkszählungen der USA von 1992 bis 2016 wurden hitzebedingte Todesfälle als tödliche Arbeitsunfälle registriert. Zusätzlich wurden Zeit, geografische Region und Temperatur untersucht. Es wurde festgestellt, dass BauarbeiterInnen, die 6 % der Gesamtarbeitskräfte ausmachten, von 1992 bis 2016 in den USA 36 % (n = 285) aller berufsbedingten Todesfälle durch Hitze verursachten. Die Durchschnittstemperaturen von Juni bis August stiegen im Untersuchungszeitraum allmählich an. Steigende Sommertemperaturen von 1997 bis 2016 waren mit höheren hitzebedingten Todesraten verbunden (r = 0,649). Im Vergleich zu allen BauarbeiterInnen (Risikoindex = 1) wurde bei Hispanics (1,21), insbesondere in Mexiko geborenen ArbeiterInnen (1,91), ein statistisch signifikantes erhöhtes Risiko für hitzebedingte Todesfälle festgestellt. Zu den Berufen mit einem hohen Risikoindex gehörten ZementiererInnen (10,80), DachdeckerInnen (6,93), HelferInnen (6,87), MaurerInnen (3,33), BauarbeiterInnen (1,93) sowie Heizungs-, Klima- und KältemechanikerInnen (1,60). Das Fazit der Studie ist, dass in den USA BauarbeiterInnen einem hohen Risiko ausgesetzt sind, durch Hitze zu sterben, und dass dieses Risiko mit dem Klimawandel im Laufe der Zeit zugenommen hat.

### **Mathee, Oba und Rose 2010**

Bauarbeiter in Südafrika, die bei sehr heißem Wetter arbeiten, haben aufgrund von Hitzestress eine hohe Anzahl von Gesundheitsbeeinträchtigungen. Zu den in den Fokusgruppendifkussionen genannten gesundheitlichen Auswirkungen zählten vermehrter Durst, übermäßiges Schwitzen, juckende Haut, Müdigkeit, trockene Nase, Blasenbildung, Nasennebenhöhlenprobleme, tränende oder brennende Augen, Erschöpfung, Unwohlsein, Dehydration, Kopfschmerzen, Rückenschmerzen, Beinschmerzen und Nasenbluten, vorzeitige Haarverlust und Schwindel. Einige Arbeiter klagten über Schwierigkeiten, nachts einzuschlafen und dann müde und gereizt aufzuwachen.

### **Kulkarni und Srinivasan 2018**

Eine Studie mit Bauarbeitern, die mit einer Tunnelbohrmaschine arbeiten, um Schienen für die Metro in Chennai, Indien, vorzubereiten, ergab, dass sie Hitzebelastungen gut vertragen. Obwohl die Arbeiter unter extremen Bedingungen arbeiten (erhöhter atmosphärischer Druck zur Abwehr von Wassereintritt und sehr hohen Temperaturen – manchmal bis zu 52°C und normalerweise durchschnittlich 32 – 42°C), spielten die Motivation für erhöhte Entlohnung, reduzierte Arbeitszeiten und Nahrungsergänzungsmittel eine Hauptrolle in der Einstufung der Arbeitsbedingungen.

## 2.4 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf LandarbeiterInnen

### Culp und Tonelli 2019

Hitzebedingte Erkrankungen aufgrund von Hitzestress sind ein weitgehend undokumentiertes Phänomen bei spanischstämmigen MigrantInnen und SaisonarbeiterInnen in den Vereinigten Staaten. Häufig wird die physiologische Belastung bei LandarbeiterInnen übersehen. In Feldversuchen wurde eine Gruppe von Arbeitern unter Verwendung eines tragbaren Multiparameter-Überwachungssensors mit Brustgurt untersucht, der die Haut- und Körpertemperatur, die Herz- und Atemfrequenz, die pro Stunde verbrannten Kilokalorien und die physiologische Intensität (PI) ermittelte. Die Feldversuche wurden in drei Klassen von Klimabedingungen und drei PI-Bewertungskategorien durchgeführt. Es wurde herausgefunden, dass diejenigen in der Kategorie mit einer hohen körperlichen Beanspruchungsscore (PI-Score > 4,0) eine statistisch signifikant (F-Verhältnis = 16,41,  $p < 0,001$ ) höhere Körperkerntemperatur ( $M = 37,8^\circ \text{C}$ ) hatten als diejenigen mit einem milden PI (Bereich = 0– 5) Score  $\leq 2,5$  ( $M = 37,5^\circ \text{C}$ ) oder moderater PI-Score  $> 2,5 - 4$  ( $37,7^\circ \text{C}$ ). Die AutorInnen stellten ferner fest, dass Personen in der Kategorie mit unangenehmen Klimabedingungen eine höhere mittlere Herzfrequenz und Atemfrequenz aufwiesen als Personen, die unter milden und moderaten Feldversuchen arbeiteten.

### Levi, Kjellstrom und Baldasseroni 2018

Ein systematischer Review fasste die epidemiologischen Fakten für die Auswirkungen von globaler Wärmebelastung für die Gesundheit und Produktivität der LandarbeiterInnen zusammen. Die Autoren bewerteten i) hitzebedingte Erkrankungen (HRI), Herz-Kreislauf-, Atemwegs- und Nierenerkrankungen und ii) durch Vektoren übertragene Krankheiten. Ein erheblicher Teil der Studien berichtete über Erkenntnisse zur mesoamerikanischen Nephropathie. Dies ist eine Krankheit, die vor allem bei jungen und mittelalterlichen männlichen Zuckerrohrarbeitern ohne herkömmliche Risikofaktoren für chronische Nierenerkrankungen auftritt. Outdoor-Beschäftigte sind einem erhöhten Risiko für durch Vektoren übertragene Infektionskrankheiten ausgesetzt, da ein positiver Zusammenhang zwischen höheren Lufttemperaturen und der gegenwärtigen oder zukünftigen Ausdehnung des Lebensraums von Vektoren beobachtet wird. Was die Produktivität angeht, sind Landwirtschaft und Baugewerbe die am besten untersuchten Sektoren. Ein Tag mit Temperaturen über  $32^\circ \text{C}$  kann das tägliche Arbeitskräfteangebot in exponierten Sektoren um bis zu 14 % reduzieren.

### Jayasekara et al. 2019

Es wird vermutet, dass Hitzestress (und aufgrund dessen Dehydration) Risikofaktoren für chronische Nierenerkrankungen sind. Bei 261 LandarbeiterInnen in Sri Lanka konnte gezeigt werden, dass eine hohe Prävalenz chronischer Nierenerkrankungen mit einer Dehydrierung zusammenhängt (zB höhere Urinkonzentration (1.015 vs 1.012,  $p < 0.05$ ); dies jedoch nur bei Männern.

### Lash 2019

Für diese Krankheit wird der Spezialbegriff mesoamerikanische Nephropathie verwendet.

Es wurde angegeben, dass dies mittlerweile die häufigste Todesursache bei jungen Erwachsenen in Mittelamerika ist. Bei einer großen Anzahl ansonsten gesunder Erwachsener, die hauptsächlich in der Landwirtschaft arbeiten, ist die Nierenfunktion abrupt und deutlich massiv eingeschränkt. Ähnliche Daten wurden von Populationen in anderen Teilen der Welt mit einem ähnlich warmen und feuchten Klima wie Indien, Ägypten und Sri Lanka erhoben – die Identität mit der mesoamerikanischen Nephropathie konnte jedoch nicht bestätigt werden. Trotz der eindeutigen Korrelation der Inzidenz von mesoamerikanischer Nephropathie und dem Arbeiten bei hoher Hitze und Feuchtigkeit (dh Hitzestress)

ist eine genaue Ursache, insbesondere für chronische Nierenerkrankungen, nicht nachgewiesen worden.

#### **Wesseling et al. 2016**

Die gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzestress wurden in Nicaragua im Vergleich von Zuckerrohrschneidern und männlichen Landwirten (52 Kleinbauern) untersucht. Die Zuckerrohrschneider waren an Werktagen mehr Hitze ausgesetzt, verbrauchten mehr Flüssigkeit, waren weniger fettleibig, hatten geringere Blutzuckerwerte, einen niedrigeren Blutdruck und ein besseres Lipidprofil. Eine verringerte glomeruläre Filtrationsrate trat bei 16 % der Zuckerrohrschneider und 2 % der Landwirte auf. Ein signifikanter Trend wurde auch für Serumharnstoffgehalt und Kreatinin im Serum beobachtet. Zuckerrohrschneider hatten auch häufiger Proteinurie und Blut sowie Leukozyten im Urin. Für andere Faktoren wie metabolische Risikofaktoren, Pestizide, nichtsteroidale entzündungshemmende Medikamente oder Alkohol wurden keine Assoziationen beobachtet. Bei Rohrschneidern schien der Verbrauch von Elektrolythydratationslösung vorbeugend gegenüber Nierenfunktionsstörungen zu sein. Die AutorInnen schließen daraus, dass Hitzestress und Dehydration bei Zuckerrohrschneidern zu Nierenfunktionsstörungen führen können, bei Kleinbauern jedoch kaum.

#### **Peraza et al. 2012**

Eine ähnliche Studie mit ZuckerrohrschneiderInnen wurde in Salvador durchgeführt. Es ist bekannt, dass in El Salvador, die Sterblichkeitsrate bei chronischen Nierenerkrankungen, zwischen 1984 und 2005 um das Zehnfache angestiegen ist. In der Öffentlichkeit herrscht die Überzeugung, dass ZuckerrohrarbeiterInnen häufiger an Nierenversagen sterben als andere ArbeitnehmerInnen. Serumkreatinin und glomeruläre Filtrationsraten wurden in 286 Zuckerrohrschneidern untersucht. 30 % der Cutter hatten einen erhöhten Serumkreatinin-Spiegel und 18 % hatten eine verminderte glomeruläre Filtrationsrate. In einer anderen Gruppe von LandarbeiterInnen betrug diese Werte 4 % bzw 1 %. Diese Ergebnisse waren bei Männern und Frauen signifikant mit deutlich höheren Signifikanzniveaus bei Männern. Die AutorInnen schließen daraus, dass das Schneiden von Zuckerrohr mit einer verminderten Nierenfunktion bei Männern und Frauen aufgrund von Hitzestress verbunden ist.

#### **Nerbass et al. 2019**

An Gießereifabrikarbeitern in Südbrasilien wurden Marker für Hydratation und Nierenfunktion untersucht. Fabrikarbeiter, die Hitzebeanspruchungen ausgesetzt sind ( $\geq 28,9^\circ\text{C}$ ) und Arbeiter, die ähnliche körperlich anstrengende Arbeit verrichten, diese jedoch nicht in der Nähe von Öfen und Gießanlagen ausführen, nahmen an der Studie teil. Klinische und biochemische Marker für die Hydratation und Nierenfunktion wurden vor und nach einer einzelnen 8,5-stündigen Arbeitsschicht bewertet. Arbeiter, die Hitzestress ausgesetzt waren, zeigten im Vergleich zu den Kontrollen einen stärkeren Rückgang der geschätzten glomerulären Filtrationsrate während der Arbeitsschicht ( $-13$  vs  $-5,0$  ml/min;  $p < 0,01$ ). Es wurden die akuten negativen physiologischen Auswirkungen auf die Nierenfunktion bei Gießereiarbeiter aufgrund von Hitzestress bewiesen. Die AutorInnen vermuten, dass die Exposition gegenüber produktionsbedingter Wärmebelastung zu einer Verschlechterung der Nierenfunktion beiträgt.

## **2.5 Auswirkungen von Hitzebelastungen auf andere ArbeitnehmerInnen**

#### **Vangelova und Deyanov 2000**

In einer bulgarischen Studie wurde anhand der tageszeitlichen Schwankungen bestimmter circadianer Indikatoren und Stressindikatoren die Auswirkung hoher Umgebungstemperaturen auf die Anpassung an schnell rotierende 12-Stunden Schichten untersucht. Die AutorInnen untersuchten in einem thermischen Kraftwerk 12 männliche Arbeitnehmer in Hochtemperaturbereichen und 21 Personen, die bei

normaler Umgebungstemperatur arbeiteten. Das Schichtsystem beider Gruppen umfasste einen 8 Tage Zyklus von 2 Schichten pro Tag (Tagesschicht: 07:00 bis 19:00 Uhr; Nachtschicht: 19:00 bis 07:00 Uhr). 2 aufeinanderfolgenden Arbeitstagen folgten 2 freie Tage. Die AutorInnen verfolgten Variationen der oralen Temperatur, der 11-Oxycorticoid sowie der Adrenalin- und Noradrenalin-Ausscheidung in 4 Stunden Intervallen über 2 Tage und 2 Nächte. Die Daten zeigten circadiane Rhythmen sowohl bei Arbeitern in hohen Umgebungstemperaturbereichen als auch bei Arbeitern in normalen Umgebungstemperaturbereichen. In der zweiten Hälfte der verlängerten 12 stündigen Nachtschichten wurde eine verringerte allgemeine Aktivierung beobachtet, die bei Kraftwerksarbeitern mit hohen Umgebungstemperaturen ausgeprägter war. Die untersuchten Stressindikatoren zeigten zu Beginn der ersten Schicht bei Bedienern mit hohen Umgebungstemperaturen bereits eine auffällige Stressreaktion. Sowohl längere Schichten von 12 Stunden als auch hohe Umgebungstemperaturen stellen zusätzliche Anforderungen dar und können sich auf die Leistung und Arbeitssicherheit der Bediener auswirken.

### **Vangelova et al. 2002**

Dieselbe Gruppe untersuchte Arbeiter in der Glasherstellung, die bei hohen bzw normalen Temperaturen arbeiteten. Bei den hitzeexponierten Arbeitern wurden im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich höhere Cortisol-, Noradrenalin- und Adrenalinwerte gemessen. Selbst wenn die Herzfrequenz in den sicheren Grenzwerten lag, sind die Veränderungen im hormonalen Stresssystem beträchtlich und deuten eindeutig auf ablaufenden Hitzestress hin.

### **Gallo-Ruiz et al. 2019**

Der Einfluss von Hitzestress auf die Induktion einer chronischen Nierenerkrankung wurde in Nicaragua an ZiegelerbeiterInnen (n = 224) untersucht. Die Prävalenz chronischer Nierenerkrankungen betrug 12,1 % (n = 27) und 22 % bei ArbeiterInnen jünger als 35 Jahre. Die lineare Regressionsanalyse zeigte signifikante Prädiktoren für eine niedrigere Nierenfunktion bei Ofenarbeit, älterem Alter, mangelnder Bildung und einem unmittelbaren Familienmitglied mit chronischer Nierenerkrankung. Prädiktoren für chronische Nierenerkrankungen, die mithilfe einer logistischen Regressionsanalyse identifiziert wurden, waren unter anderem Ofenarbeit (Hitzestress) und mangelnde Schulbildung. Die Prävalenz der chronischen Nierenerkrankung ist bei dieser ZiegelerbeiterInnen-Population hoch, was darauf hindeutet, dass die Epidemie der chronischen Nierenerkrankung, die Mesoamerika betrifft, nicht auf LandarbeiterInnen beschränkt ist. Diese Ergebnisse stimmen mit der Hypothese überein, dass berufliche Hitzeexposition ein Risikofaktor für Nierenerkrankungen in dieser Region ist.

### **Gomes, Lloyd und Norman 2002**

Eine Querschnittsstudie wurde durchgeführt, um die Exposition gegenüber Lärm und Hitze zu bewerten und das Niveau der praktizierten Arbeitshygiene in einer Gießerei in Dubai, Vereinigte Arabische Emirate, zu untersuchen. Hörleistung, Muskelfunktion und Sehschärfe wurden bei ArbeiterInnen in einer Gießerei gemessen und mit den Ergebnissen von Arbeitern in einer Abfüllanlage für alkoholfreie Getränke verglichen. Thermische Beanspruchung, relative Luftfeuchtigkeit, Belüftung, Beleuchtung und Geräuschpegel wurden an verschiedenen Arbeitseinheiten in der Gießerei und in der Getränkeabfüllfabrik gemessen. Der Wärmebelastungsindex war hoch, während die relative Luftfeuchtigkeit und Belüftung in der Gießerei im Vergleich zur Abfüllanlage niedrig waren. Der Geräuschpegel in der Gießerei war ebenfalls hoch und lag bei fast allen Arbeitseinheiten mit Ausnahme der Fertigungswerkstatt über 90 dB(A). Bei 31 % der Arbeiter in der Gießerei wurden leichte oder mittelschwere Sehstörungen beobachtet, verglichen mit 19 % der Arbeiter in der Abfüllanlage. Muskelkrämpfe wurden von 30 % aller Arbeiter in der Gießerei gemeldet, verglichen mit 5 % in der Abfüllanlage. Eingeschränkte Sehleistungen waren unter den Ofenbetreibern am höchsten. Die durchschnittliche Hörbehinderung lag bei Gießereiarbeitern bei 8,7 %, verglichen mit 4,6 % bei Arbeitern in Abfüllbetrieben. Die hohe

thermische Belastung, der Geräuschpegel und die Exposition gegenüber nichtionisierenden Strahlen in der Gießerei haben möglicherweise zu einer höheren Häufigkeit von Muskelkrämpfen bzw zu einer stärkeren Hör- und Sehbehinderung bei diesen ArbeiterInnen beigetragen. Bei den Arbeitern der Gießerei wurde auch festgestellt, dass die Nichtverwendung von persönlicher Schutzausrüstung und unzureichende Arbeitsschutz- und Hygienemaßnahmen die Augen- und Ohrengesundheit beeinträchtigten.

#### **Norloei et al. 2017**

Bei iranischen Gießereiarbeitern wurde ein positiver Zusammenhang zwischen der Variation einiger hämatologischer Parameter und der Schilddrüsenhormone in Bezug auf die Lufttemperatur festgestellt. Es ist bemerkenswert, dass sich die Parameter der roten Blutkörperchen nicht geändert haben.

#### **Jay and Brotherhood 2016**

Kürzlich wurde der aktuelle Stand des Wissens über das Risiko von Hitzestress in typisch australischen Beschäftigungsverhältnissen zusammengefasst. Die AutorInnen bewerteten Berufe (Bergbau, Landwirtschaft, Rettungsdienste) in Bezug auf Wärmeerzeugung und Wärmeverlustpotenzial sowie die daraus resultierenden physiologischen Wärmebelastungen. Insgesamt wurden 29 Berichte identifiziert, in denen die tatsächlichen Arbeitsbedingungen in Northern Territory, Südaustralien, Westaustralien, Queensland, New South Wales und Victoria bewertet, physiologische Reaktionen gemessen und die thermische Umgebung charakterisiert wurden. Obwohl die ArbeitnehmerInnen in allen Branchen regelmäßig hohen Umgebungstemperaturen (32 – 42°C) – die häufig mit hoher Luftfeuchtigkeit einhergehen – ausgesetzt sind, ist die physiologische Belastung in Bezug auf die Körperkerntemperatur (< 38°C) und die Dehydration (geringer als 1 % Reduktion der Körpermasse) im Allgemeinen aufgrund des geringen Arbeitsenergie-Umsatzes vieler Aufgaben und auf Grund der in den meisten Berufen möglichen selbstregulierten Arbeitsgeschwindigkeit gering. Das Risiko von Hitzestress ist in bestimmten Berufen in der Landwirtschaft (z.B. Schafschur), im untertägigen Bergbau und in Notdiensten (zB Such-/Rettungsdiensten - und Buschfeuerbekämpfung) höher. Die größte Hitzebelastung war bei militärischen Aktivitäten zu verzeichnen, insbesondere beim Marschieren mit Lasten, was dazu führte, dass die Kerntemperaturen trotz kühlerer Umgebung häufig über 39,5°C lagen. Der Haupttreiber für die Erhöhung der Körperkerntemperatur in den meisten Berufen ist der benötigte Energieumsatz – die Arbeitsschwere. Fazit: Obwohl Australien ein klimatisch „heißes“ Land ist, ist das Risiko für berufliche Hitzestressbelastung in den meisten Branchen relativ gering, was auf die selbstregulierte Arbeitsgeschwindigkeit zurückzuführen ist, die in den meisten Berufen möglich ist.

#### **McEntire, Suyama und Hostler 2013**

Anfällig für Hitzebelastungen sind im Bereich der Blaulichtorganisationen insbesondere Feuerwehrleute. Die meisten Aufgaben, die von Feuerwehrleuten ausgeführt werden müssen, erfordern die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung, die die normale Wärmeregulierung während der Belastung hemmt und schließlich eine nicht kompensierbare Wärmebelastung erzeugt. Strukturierte Ruhezeiten (Notfall-Entwärmungspausen) sind erforderlich, um die Auswirkungen von nicht kompensierbarem Hitzestress zu korrigieren und sicherzustellen, dass die Sicherheit der Feuerwehrleute gewahrt bleibt und der Einsatz bis zu seinem Abschluss fortgesetzt werden kann. Obwohl erhebliche Anstrengungen unternommen wurden, um eine Abkühlung der Feuerwehrleute während des Einsatzes zu optimieren, besteht wenig Einigkeit darüber, wann oder wie die Abkühlung erfolgen soll. In Anbetracht der verfügbaren Literatur zur Abkühlung von Feuerwehrleuten und GefahrstofftechnikerInnen während einer Notfall-Entwärmung ist der weit verbreitete Einsatz von Kühlvorrichtungen nicht gerechtfertigt, wenn Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit etwa der Raumtemperatur entsprechen und Schutzkleidung entfernt werden kann. Wenn eine Notfall-Rehabilitation unter heißen oder feuchten Bedingungen durchgeführt werden muss, sind aktive Kühlvorgänge erforderlich. Das Eintauchen der

Hände/Unterarme in kaltes Wasser ist wahrscheinlich die beste Methode zum Kühlen während Abwärm-Pausen unter heißen, feuchten Bedingungen. Diese Therapie hat jedoch eine Reihe von Einschränkungen. Die Kühlung während der Arbeit war bisher hauptsächlich auf Kühlwesten und flüssigkeits- oder luftgekühlte Anzüge beschränkt. Im Allgemeinen scheinen flüssigkeitsgetränkte Anzüge luftgekühlten Kleidungsstücken überlegen zu sein, aber beide tragen zur Erhöhung des Gewichts der Feuerwehrleute bei, was diese Anwendungen weniger wünschenswert macht.

#### **Kassim et al. 2018**

Eine Querschnittsstudie wurde durchgeführt, um die Prävalenz hitzestressbedingter Erkrankungen bei ArbeiterInnen der Handschuhindustrie in Malaysia zu bewerten. Die Gesamtzahl der ArbeitnehmerInnen (n = 82) wurde anhand adaptierter Fragebögen befragt. Die häufigsten hitzebedingten Erkrankungen waren Dehydratation (82,2 %), gefolgt von Hitzeerschöpfung (81,1 %), Hitzekrämpfen (23,2 %), Hitzewallungen (22,2 %), Hitzeschlag (5,6 %) und Wärmesynkope (4,4 %). Die AutorInnen kommen zu dem Schluss, dass die Vermeidung von Hitzestress in dieser Branche sehr wichtig ist, und die Persönliche Schutzausrüstungen in Form von Kühlwesten zum Schutz vor der heißen Arbeitsumgebung ein möglicher Ansatz sei.

#### **Ahasan et al. 2018; Mohammadian, Abadi und Giahi 2019**

Zwei Forschungsgruppen, aus dem Iran und aus Saudi-Arabien, haben Produktionsarbeiter von Stahlwalzwerken untersucht. Die subjektive Wahrnehmung des Auftretens von Hitzestress, Schwitzen und Hitzeerschöpfung in extrem heißen Arbeitsumgebungen wurde anhand eines Fragebogens und einer ergonomischen Checkliste untersucht. Bei den Befunden gab es keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Alter, Größe, Gewicht und Ruhepause; Unterschiede gab es bei den Herzfrequenzen und dem Schweißverlust. Diese beiden Parameter waren bei denjenigen erhöht, die anstrengende Arbeitsaufgaben erledigten. Die maximale Arbeitsherzfrequenz wurde mit 140 – 190 Schlägen pro Minute gemessen. Der Anstieg der oralen Temperatur wurde bei den ArbeiterInnen, die in einer Umgebung mit hoher Hitze und Strahlung arbeiteten, mit 37,8° C festgestellt.

#### **Noweir und Bafail 2008**

Mitarbeiter des Flughafendienstes, die der Hitze von Jettriebwerken ausgesetzt waren, wurden in Saudi-Arabien untersucht. Die Temperatur in der Nähe von Flugzeugen ist erheblich höher als der für Bediener empfohlene TLV (27,5°C). Aufgrund dessen wurden bei den ArbeiterInnen erhöhte Körpertemperaturen und Herzfrequenzen beobachtet. Für diese Arbeitnehmer wurde ein neuer Schichtarbeitszeitplan empfohlen, der die Hitzebelastung erfolgreich auf ein akzeptables Maß reduzierte.

#### **Rabeiy 2018**

Die Reaktion von Bäckereiarbeiter auf Hitzestress wurde in Ägypten untersucht. Er wurde als physiologischer Belastungsindex (Physiological Strain Index – PSI) ausgedrückt, der durch Messen der Herzfrequenz und der Körperkerntemperatur geschätzt werden kann. Der Durchschnittswert der Wärmebelastung in Bäckereien lag bei 31,6°C und damit über dem von der American Conference of Government Industrial Hygienists empfohlenen Grenzwert (28°C) und der Einwirkungsgrenze (25°C). Den Daten des Fragebogens zufolge waren mehrere ArbeitnehmerInnen mit Hitze-Problemen konfrontiert, darunter Hitzeerschöpfung (23 Fälle), Hitzekrämpfe (17 Fälle) und Hitzeschlag (5 Fälle).

#### **Levi, Kjellstrom und Baldasseroni 2018**

Es wurde gezeigt, dass Elektrizitäts- und Pipelineversorger, die Hitzebelastungen ausgesetzt sind, in den USA ein erhöhtes Infektionsrisiko für die Lyme-Borreliose haben.

## 3 HITZE UND PRODUKTIVITÄT

### **Messeri et al. 2019**

Die Auswirkungen von Wärmebelastung auf die Arbeitsproduktivität wurden an ArbeitnehmerInnen von drei Unternehmen des Agrar- und Bausektors untersucht. Die Hälfte der in die Studie einbezogenen ArbeitnehmerInnen waren Migranten. Die Wahrnehmung des Produktivitätsrückgangs war in beiden Kategorien signifikant, bei MigrantInnen jedoch signifikant geringer als bei einheimischen ArbeitnehmerInnen.

### **Yi und Chan 2017**

Die Auswirkung von Hitzestress auf die Produktivität von Bauarbeitern wurde in Hongkong durchgeführt. Basierend auf den 378 Datensätzen, synchronisierter umweltbedingter, physiologischer, baulicher und persönlicher Variablen wurde ein Modell für die Produktivität von Bauarbeitern und Hitzestress erstellt. Es wurde festgestellt, dass Temperatur, Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz, Alter, Arbeitsdauer und Alkoholkonsumgewohnheiten bestimmende Faktoren für die Vorhersage der Produktivität der Bauarbeiter waren (angepasstes  $R^2 = 0,68$ ,  $p < 0,05$ ). Das Modell ergab, dass Wärmebelastung die Produktivität der Bauarbeiter verringert, wobei der Prozentsatz der direkten Arbeitszeit um 0,33 % abnimmt, wenn die Temperatur um 1°C steigt.

### **Dear 2018**

Vor kurzem hat Dear die Literaturdaten zum Einfluss der Wärmebelastung auf die Arbeitsproduktivität analysiert. Die Daten zeigen, dass bei Bauarbeiter die Arbeitsproduktivität mit der Temperatur erheblich abnahm, dh in einigen Fällen verringerte sich die angenommene 100 % Produktivität bei 26°C auf 20 % bei 36°C und Windgeschwindigkeit von 100 ft/min, auf 40 % bei Windgeschwindigkeit von 400 ft/min und 60 % bei Windgeschwindigkeit von 800 ft/min. Im kalten Untertagebau beträgt die Produktivität 100 % bei 26°C, 80 % bei 33°C, 44 % bei 35°C und 26 % bei 36°C. An Bidi-Walzen Arbeitsplätzen liegt die Produktivität bei 25°C nahe bei 100 % und sinkt auf 88 % bei 30°C, auf 70 % bei 35°C, 64 % bei 36°C und 57 % bei 37°C. Bei Reiserntemaschinen liegt die Produktivität bei 26°C nahe bei 100 %, bei 30°C bei 72 % und bei 33°C bei 58 %. Basierend auf den genannten Daten schlug der Autor einige Formeln zur Berechnung von Produktivitätsverlusten in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur vor.

### **Marate und Mate 2019**

Es ist bemerkenswert, dass sich bei Temperaturen zwischen 16°C und 23°C die Arbeitsproduktivität von BauarbeiterInnen in Moskau nicht ändert. BauarbeiterInnen in Indien zeigten einen 35 %igen Abfall der Leistungsfähigkeit, wenn die Temperatur von 25°C auf 40°C anstieg.

### **Sadiq, Hashim und Osman 2019**

Die gleichen Ergebnisse stammen aus der malaysischen Studie bei MaisbäuerInnen in tropischen Klimazonen. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Produktivität der LandwirtInnen während des Arbeitstages zwischen den Arbeitsblöcken von 6 bis 9 Uhr ( $p < 0,001$ ) und von 12 bis 15 Uhr

( $p < 0,001$ ) im Vergleich zu den Stunden von 9 bis 12 Uhr ( $p < 0,001$ ). Die Faktoren, die das Produktivitätsergebnis signifikant vorhersagen, umfassen die Temperatur ( $p < 0,001$ ), Geschlecht ( $p < 0,001$ ), Alter ( $p = 0,033$ ) und BMI ( $p = 0,008$ ). Das Fazit der AutorInnen ist, dass Hitzebelastung die Arbeitsproduktivität senkt.

#### **Levi, Kjellstrom und Baldasseroni 2018**

Schätzungen zufolge kann ein Tag mit Temperaturen über  $32^{\circ}\text{C}$  das tägliche Arbeitskräfteangebot von Bauarbeitern um bis zu 14 % verringern.

#### **Vega-Arroyo et al. 2019**

Das multivariate Regressionsmodell zeigte statistisch signifikante Zusammenhänge der Temperatur mit der Arbeitsrate ( $\beta = 0,006$ ) bei kalifornischen LandarbeiterInnen.

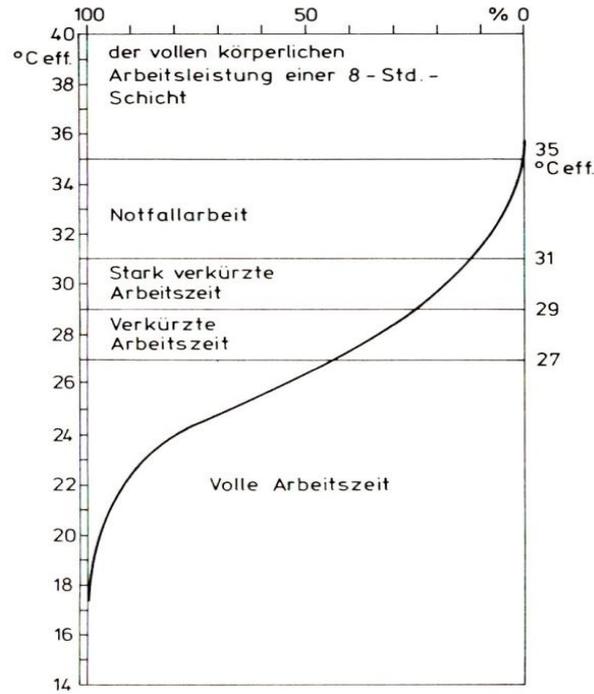
#### **Sett und Sahu 2014**

Ziel einer indischen Studie war es, die Auswirkung der Hitzeexposition am Arbeitsplatz auf das Wohlbefinden, die physiologische Belastung und die Produktivität von weiblichen Ziegeleiarbeiterinnen ( $n = 120$ ) zu bewerten. Manuelle Ziegelwerke in Indien beschäftigen eine große Anzahl weiblicher Arbeitnehmerinnen auf Tageslohnbasis für einen Zeitraum von 8 Monaten pro Jahr. Diese Ziegelarbeiterinnen sind extremen Bedingungen wie sehr hoher saisonaler Hitze ausgesetzt. Wöchentliche Arbeitsproduktivitätsanalysen wurden für 8 Monate ausgewertet. Die Herzbelastung und die Gehgeschwindigkeit wurden ebenfalls untersucht und in heißeren und kälteren Tagen unter den Arbeiterinnen auf dem Brickfield verglichen. Die ProbandInnen erleben etwa 5 Monate lang Sommer mit zusätzlicher Wärmebelastung, die vom Ziegelofen ausgeht. Die wöchentlichen Produktivitätsdaten zeigen einen linearen Produktivitätsrückgang bei einer erhöhten maximalen Lufttemperatur über  $34,9^{\circ}\text{C}$ . Die Herzparameter bei Ziegelformerinnen (maximale Herzfrequenz und Erholungsherzfrequenzen) waren an heißeren Tagen signifikant höher (Umgebungstemperatur zwischen  $26,9^{\circ}\text{C}$  und  $30,74^{\circ}\text{C}$ ) als an kühleren Tagen (Umgebungstemperatur zwischen  $16,12^{\circ}\text{C}$  bis  $19,37^{\circ}\text{C}$ ); Dies ist jedoch bei den Ziegelträgerinnen nicht der Fall. Wenn sich die Ziegelträgerinnen an heißere Tage anpassen, indem sie ihre Gehgeschwindigkeit verringern, sinkt ihre Produktivität. Die AutorInnen schlussfolgern, dass eine hohe Hitzeexposition in Ziegelfeldern im Sommer bei Ziegelfeldarbeiterinnen physiologische Belastungen verursachte. Der Produktivitätsverlust in den Brickfields beträgt bei jedem Grad Temperaturanstieg etwa 2 % (Sett und Sahu 2014).

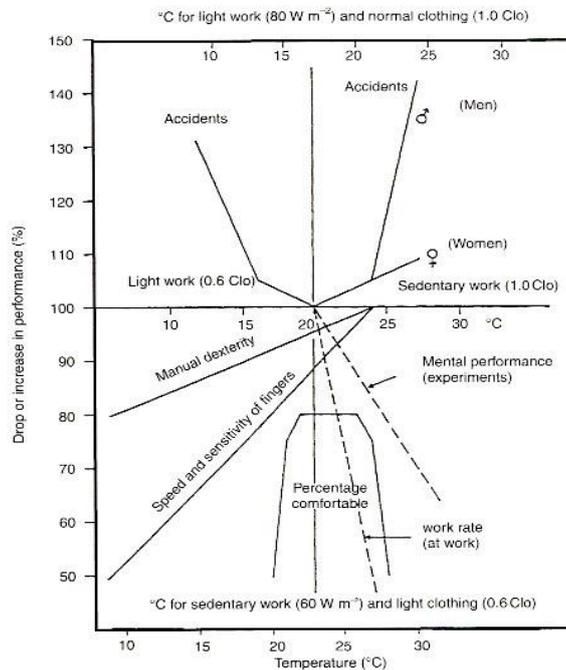
#### **Ma et al. 2019**

In Guangzhou, China, wurden arbeitsbedingte Verletzungen und wirtschaftliche Belastungen aufgrund von Hitzestress bewertet. Die AutorInnen versuchten, einen Zusammenhang zwischen der Temperatur am Arbeitsplatz und arbeitsbedingten Verletzungen (ArbeitnehmerInnen in kleinen Unternehmen, keine näheren Angaben) herzustellen. Die AutorInnen fanden heraus, dass das Risiko von Unfällen mit steigender Temperatur zunahm. 4,8 % der Arbeitsunfälle und 4,1 % der Zahlungen durch die Unfallversicherung wurden der Hitzeexposition bei Temperaturschwellen oberhalb der Hitzestressgrenze zugeschrieben. Männliche Arbeitskräfte, Beschäftigte in kleinen Unternehmen unter 35 Jahren und mit niedrigem Bildungsstand waren besonders empfindlich gegenüber den Auswirkungen der Hitzeexposition.

Wie in der **Abbildung 23** ersichtlich sind auch die neuesten Literaturstellen im Großen und Ganzen auf die alten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse, hier etwa Skiba 1973 rückführbar. Die Arbeitszeitreduktionen wurden zur Aufrechterhaltung der Produktivität in der geforderten Arbeitszeit eingeführt. Bei manueller Arbeit sind die Zeiten unter Hitze zeitlich deutlich verkürzt.



**Abbildung 23:** Arbeitszeit bei schwerer körperlicher Arbeit in Abhängigkeit von der Effektivtemperatur (nach Skiba 1973).



**Abbildung 24:** Vereinfachte Zusammenfassung Indoor Climate, Unfallhäufigkeit, Produktivität und Wohlbefinden (nach Wyon 1986).

In **Abbildung 24** noch einmal eine überblicksmäßige Aufstellung der Unfallhäufigkeit und der Produktivitätsentwicklung bei unterschiedlichen Temperaturbelastungen.

## 4 ARBEITSMEDIZINISCHE STELLUNGNAHME

Hitzestress beeinträchtigt sowohl das langläufige Wohlbefinden als auch langfristig die Gesundheit (Zander, Moss und Garnett 2017). Wenn die durchschnittlichen Jahrestemperaturen nun steigen, werden voraussichtlich mehr und mehr Menschen von den Auswirkungen des Hitzestresses betroffen sein. Während die meisten Forschungsarbeiten untersuchten wie sich Hitzeexposition auf die somatischen Funktionen des menschlichen Organismus auswirkt kann sich psychischer Stress durch Hitze bereits lange bevor sich körperlich sichtbar klinische Symptome manifestieren, mit tiefgreifenden Auswirkungen auf das Verhalten äußern. (Zander, Moss und Garnett 2017).

Im beruflichen Kontext werden nun ebenso vermehrt Situationen die mit beruflicher Hitzebelastung verbunden sind auftreten. Beruflich definiert sich Hitzebelastung als die Nettobelastung, der eine ArbeiterIn durch die kombinierten Beiträge von Stoffwechselwärme, Umweltfaktoren und getragener Kleidung ausgesetzt ist. Dies führt gleich wie in der Allgemeinbevölkerung zu einer Zunahme der Wärmespeicherung im Körper. (Spook et al. 2019).

Unter den ArbeitnehmerInnen sind einerseits diejenigen zu nennen, die im Freien ihre Tätigkeit verrichten wie etwa in der Landwirtschaft, Fischerei, Forstwirtschaft, und bei Bauarbeiten, und andererseits diejenigen die an Innenarbeitsplätze (insbesondere ohne Klimaanlage) beschäftigt sind und diejenigen die durch prozessbedingte Wärmequellen belastet sind (HochofenarbeiterIn, Zinkdruckguss etc.) (Lundgren et al. 2013).

Hohe Temperaturen und Hitzestress können hier durch eine Kombination der Umgebungsbedingungen (zB landwirtschaftliche Arbeiten im Freien im Sommer, Tiefbau), mit metabolischer Wärmeerzeugung aus körperlicher Arbeit (zB Bauarbeiten, Waldbrandbekämpfung) oder durch die Isolierung von Schutzkleidung entstehen (zB städtische Brandbekämpfung, Hochofenarbeit und Entsorgung gefährlicher Abfälle) (Cheung, Lee und Oksa 2016).

Wenn die Umgebungstemperatur bei über 38 – 39°C liegt, besteht erstmals ein erhöhtes Risiko einen Erschöpfungszustand durch die Hitzebelastung zu generieren; Jenseits dieser Temperaturen kann es in weiterer Folge zu einem Hitzschlag kommen, bei dem das zentrale Nervensystem versagt. Die anfänglichen gesundheitlichen Folgen reichen von Dehydration, hitzebedingten Unfällen, und Ermüdung bis hin zu einer höheren Belastung bei Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen, und bewirken schließlich langfristigen Folgeschäden wie etwa Kataraktbildung, und chronisches Nierenversagen, sowie Abnahme der Wirksamkeit des Immunsystems und erhöhte Sterblichkeit (Lundgren et al. 2013).

Personen mit beeinträchtigten Wärmeableitungsmechanismen, einschließlich Personen mit beeinträchtigten thermoregulatorischen und/oder kardiovaskulären Reaktionen auf Hitzestress (zB ältere Menschen und ArbeitnehmerInnen, Menschen mit verschiedenen Systemerkrankungen und bei Einnahme bestimmter Medikamente), haben ein höheres Risiko für hitzebedingte Morbidität und Mortalität (Crandall und Wilson 2015).

Es ist erschütternd, dass auf Grund dieser medizinischen und allgemein bekannten Fakten im Zeitraum Juni und Juli 2019 in Frankreich 1435 Menschen starben (<https://www.bbc.com/russian/news->

49633436). Ähnliche Fallzahlen werden global erhoben. Die jährliche Zahl der durch Hitze einwirkung verursachten Todesfälle hat sich zum Beispiel 2019 im Bundesstaat Arizona (USA) gegenüber 2014 verdreifacht und im Bundesstaat Nevada (USA) verfünffacht.

(<https://www.nytimes.com/2019/08/26/climate/heat-deaths-southwest.html>).

Zusammenfassend kann bezogen auf die allgemeine Hitzebelastung am Arbeitsplatz geschlussfolgert werden:

- Hitzestress hat ausgeprägte Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System. Ein starker Anstieg des Herzzeitvolumens, der Herzfrequenz und der linksventrikulären Kontraktionsfähigkeit, eine Verringerung des zentralen Blutvolumens, der linksventrikulären Füllungsdrücke und der zerebralen Perfusion können induziert werden. Hitzestress hat sich zudem auch als umweltbedingter Auslöser von Herzinfarkten erwiesen.
- Hitzestress hat Einfluss auf kognitive Reaktionen und die psychische Gesundheit. Hitzestress verkürzt tendenziell die Reaktionszeit und verringert die Leistungsgenauigkeit, während eine angemessene Kühlung diese Trends weitgehend umkehren kann. Hitzestress wirkt sich auch negativ auf die Leistung und Arbeitssicherheit der ArbeitnehmerInnen aus.
- Hitzestress beeinflusst die Nierenfunktion negativ. Langzeitbelastung durch Hitze führt zu Nierenversagen. Dieser Einfluss ist in tropischen Gebieten stärker ausgeprägt.
- Männliche Arbeitnehmer, die lange Zeit Hitze ausgesetzt waren, haben mit erhöhtem Auftreten von Unfruchtbarkeit zu rechnen.
- Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen Arbeitsunfällen und Hitzestress.
- Hitzestress kann die biochemischen Parameter des Blutes negativ beeinflussen und DNA-Schäden hervorrufen.
- Die amerikanische Regierungskonferenz für Arbeitshygiene (ACGIH) hat Grenzwerte (Threshold Limit Values, TLVs) entwickelt, die die maximal zulässigen Grenzwerte für Hitzeexpositionen festlegen, dh Temperaturgrenzwerte von 30°C für leichte Arbeiten (117 – 233 W) und 26,7°C für mäßig schwere Arbeiten (234 – 407 W) sowie 25°C für sehr schwere Arbeiten (407 – 581 W).
- Wärmebelastung verringert die Arbeitsproduktivität signifikant.

### **Betreffend die Belastungen und die Beanspruchung von TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen kann wie folgt ausgeführt werden:**

Es gibt derzeit keine wissenschaftlich publizierte Literatur zu den beiden Berufsgruppen TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen im Hinblick auf Hitze/Klima am Arbeitsplatz. Es sind ebenso keine arbeitshygienischen Angaben über mögliche bestehende Arbeitsplatzbedingungen im Bereich Klima in den Datenbanken eruiert gewesen, die es erlaubt hätten hier aus bereits publizierten Daten arbeitsmedizinische Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Nichts desto trotz kann dennoch aus den oben angeführten Literaturstellen zu einzelnen verwandten Arbeitsplätzen und den publizierten Übersichtsarbeiten abgeleitet werden, dass sich bei steigenden Temperaturen und veränderten Umgebungsbedingungen ähnliche Belastungsszenarien und psychische/physiologische Antworten auch bei diesen Berufsgruppen einstellen werden.

Da es sich aus arbeitswissenschaftlicher und arbeitsmedizinischer Sicht um zwei sehr heterogene Tätigkeitsfelder und Grundbelastungen handelt, ist eine gänzliche verallgemeinernde Übernahme der oben geschilderten Aspekte die für die Allgemeinbevölkerung und für teilverwandte Berufsgruppen wie etwa BuslenkerInnen oder BauarbeiterInnen gelten mögen jedoch nicht gänzlich möglich, auch wenn die Beanspruchungsfolgen mit Sicherheit bei ähnlichen Temperaturen nicht unwesentlich anders in Erscheinung treten werden.

#### **Beantwortung der gutachterlichen Aufgabenstellungen:**

- a) **Es soll eine Literatursuche zum Thema TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen im Kontext von Hitzebelastungen und/oder sich verändernder klimatischer Bedingungen am Arbeitsplatz erfolgen.**

*Es wurde in den gängigen internationalen wissenschaftlichen Datenbanken und in den Standardwerken keine Literatur zu Klimabelastungen bei TriebfahrzeugführerInnen und/oder BaukranführerInnen gefunden.*

*Ähnliche Arbeitsplätze bzw Tätigkeiten konnten jedoch ausreichend gefunden werden und wurden zusammenfassend dargestellt. Als Vergleichsarbeitsplätze konnten BuslenkerInnen, PilotInnen, LandarbeiterInnen und Bauarbeiter angeführt werden.*

*Alle zitierten Arbeiten beschreiben einheitlich eine sich stark verändernde Arbeitsumgebung die deutlich mit gesundheitsrelevanten Einbußen einhergeht. Die wesentlichen Übersichtsarbeiten kommen in weiterer Folge dahingehend einhellig zum Schluss, dass die zu erwartenden Auswirkungen auf die Gesundheit und die Sicherheit der ArbeitnehmerInnen wesentlich sein werden, sowie dass im Bereich der Produktivität ebenso in weiten Bereichen und in einem größeren Ausmaß mit Rückgängen gerechnet werden muss, wenn keine adäquaten Maßnahmen zur Reduktion der Belastungen gesetzt werden.*

- b) **Der Gutachter möge im Rahmen der stattgefundenen Literatursuche aus arbeitsmedizinisch fachärztlicher Sicht klären welchen Belastungen TriebfahrzeugführerInnen und KranführerInnen durch die sich veränderten Klimabedingungen – und die bestehende Hitzebelastung ausgesetzt sind und welche Normen einzuhalten wären, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten und um Gesundheitsschäden von den ArbeitnehmerInnen abzuwenden. Es soll eine Bewertung und Zusammenfassung der Daten mit den tatsächlichen angenommenen Belastungssituationen erfolgen.**

*Unter dem Aspekt der sich verändernden klimatischen Bedingungen ist mit einer Vielzahl an psychischen/physiologischen Antworten zu rechnen, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei den gutachterlich zu behandelnden Berufen – in ähnlicher Ausprägung wie bei den beschriebenen Berufen/Tätigkeiten - auftreten werden. Diese physischen und psychischen Reaktionen können in ihren Ausprägungen, je nach körperlicher und geistiger Konstitution der betroffenen ArbeitnehmerIn, und den bereits gesetzten technischen und / oder organisatorischen Maßnahmen unterschiedlich ausgeprägt sein.*

*Bei erhöhten Temperaturen am Arbeitsplatz – wenn diese sich in einem ähnlichen Bereich, wie sie bei den angeführten Vergleichsarbeitsplätzen beschrieben wurden, bewegen - ist bei den zu beurteilenden Berufsgruppen/Tätigkeiten mit einer hohen Wahrscheinlichkeit mit hitzebedingten Erkrankungen aller Art und Fehlleistungen bzw sinkender Produktivität und Sicherheit zu rechnen. Es wird erwartet, dass abhängig von Dauer und von Ausmaß der jeweiligen Klimabelastung und der bestehenden körperlichen Konstitution der betroffenen ArbeitnehmerIn mit der gesamten Bandbreite der angeführten Gesundheitseinschränkungen/Erkrankungen zu rechnen ist.*

*Aus arbeitsmedizinischen und arbeitswissenschaftlichen Überlegungen heraus wäre das Anstreben einer möglichst geringen Hitzebelastung bis hin zur Normaltemperatur von 19 bis 25°C für geringe körperliche Belastung für einen achtstündigen Arbeitstag vorzuschlagen. Wenn diese Temperaturen mit technischen Maßnahmen nicht eingehalten werden können, wird empfohlen den arbeitsphysiologischen Gesetzmäßigkeiten zu folgen und etwa Entwärmungspausen einzuführen.*

*Es wird auf jeden Fall angeregt auf Grund der fehlenden spezifischen Belastungs- Beanspruchungsdaten hier aktiv Forschung zu betreiben, um den Sicherheitsaspekt und die gesundheitlichen Auswirkungen besser beschreiben und verstehen zu können, sowie notwendige regulative und präventive Maßnahmen festlegen zu können.*

Dr. Georg Wultsch

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ACHS	Advisory Committee on Heat Stress
AschG	ArbeitnehmerInnenschutzgesetz
BET	Basis-Effektivtemperatur
BSchG	Beschäftigtenschutzgesetz
CBF	Cerebral Blood Flow
CIHS	Combined Index of Heat Stress
DNA	Deoxyribonucleic Acid
HD	Humidex Index
HI	Hitzeindex
HSI	Heat Stress Index
HSP	Hitzestressprotein
ISO	International Organization for Standardization
ÖNORM	Nationale österreichische Norm nach Austrian Standards International
PEP/LVET	Pre Ejection Period/Left Ventricular Ejection Time
NAIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NASCAR	National Association for Stock Car Auto Racing
NET	Normal-Effektivtemperatur
NSchG	Nachtschwerarbeitsgesetz
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PSI	Physiological Strain Index
SR	Schweißrate
TLV	Threshold Limit Value
TWL	Thermal Work Limit
USG	Urine Specific Gravity
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature

# LITERATURVERZEICHNIS

- ACGIH. 2005. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices, heat stress and heat strain. Washington, DC: ACGIH.
- ACGIH. 1978 Heat Stress National Safety News p.62
- Ahasan, R., A. Basahel, W. Haque, and E. Islam. 2018. Monitoring Thermal Stress of Steel Re-Rolling Mill Workers. *Ergonomics Int J* 2:000132.
- Ahmed, H. O., J. A. Bindekhain, M. I. Alshuweih, M. A. Yunis, and N. R. Matar. 2019. Assessment of thermal exposure level among construction workers in the United Arab Emirates using Wet Bulb Globe Temperature index, heat stress index and thermal work limit indices. *Ind Health*.
- Al-Bouwarthan, M., M. M. Quinn, D. Kriebel, and D. H. Wegman. 2019. Assessment of Heat Stress Exposure among Construction Workers in the Hot Desert Climate of Saudi Arabia. *Ann Work Expo Health* 63 (5):505-520.
- Anderson, C. A. 2001. Heat and Violence. *Current Directions Physiological Science* 10.
- Arbury, S., B. Jacklitsch, O. Farquah, M. Hodgson, G. Lamson, H. Martin, A. Profitt, Occupational Safety Office of Occupational Health Nursing, and Administration Health. 2014. Heat illness and death among workers - United States, 2012-2013. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 63 (31):661-5.
- Arbury, S., M. Lindsley, and M. Hodgson. 2016. A Critical Review of OSHA Heat Enforcement Cases: Lessons Learned. *J Occup Environ Med* 58 (4):359-63.
- Bain, A. R., L. Nybo, and P. N. Ainslie. 2015. Cerebral Vascular Control and Metabolism in Heat Stress. *Compr Physiol* 5 (3):1345-80.
- Bernard, T. E. 1999. Heat stress and protective clothing: an emerging approach from the United States. *Ann Occup Hyg* 43 (5):321-7.
- Binazzi, A., M. Levi, M. Bonafede, M. Bugani, A. Messeri, M. Morabito, A. Marinaccio, and A. Bal-das-seroni. 2019. Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies. *Am J Ind Med* 62 (3):233-243.
- Brabant, C. 1992. Heat exposure standards and women's work: equitable or debatable? *Women Health* 18 (3):119-30.
- Carlson, L. A., M. A. Lawrence, and R. W. Kenefick. 2018. Hydration Status and Thermoregulatory Responses in Drivers during Competitive Racing. *J Strength Cond Res* 32 (7):2061-2065.
- Chan, A. P., Y. P. Guo, F. K. Wong, Y. Li, S. Sun, and X. Han. 2016. The development of anti-heat stress clothing for construction workers in hot and humid weather. *Ergonomics* 59 (4):479-95.
- Chan, A. P., Y. Yang, and W. F. Song. 2018. Evaluating the usability of a commercial cooling vest in the Hong Kong industries. *Int J Occup Saf Ergon* 24 (1):73-81.

- Chan, A.P.C., Y. Yang, and Y. Li. 2013. Factors affecting horticultural and cleaning workers' preference on cooling vests. *Build Environ* 66:181-189.
- Cheshire, W. P., Jr. 2016. Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. *Auton Neurosci* 196:91-104.
- Cheung, S. S., J. K. Lee, and J. Oksa. 2016. Thermal stress, human performance, and physical employment standards. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 41 (6 Suppl 2):S148-64.
- Crandall, C. G., and T. E. Wilson. 2015. Human cardiovascular responses to passive heat stress. *Compr Physiol* 5 (1):17-43.
- Culp, K., and S. Tonelli. 2019. Heat-Related Illness in Midwestern Hispanic Farmworkers: A Descriptive Analysis of Hydration Status and Reported Symptoms. *Workplace Health Saf* 67 (4):168-178.
- Dasler, A.R. 1974 Ventilation and thermal stress ashore and afloat Chapter 3. *Manual of Naval Preventative Medicine*
- Dear, K. 2018. Modelling Productivity Loss from Heat Stress. *Atmosphere* 9:286.
- DeWall, C. N., and B. J. Bushman. 2009. Hot under the collar in a lukewarm environment: Words associated with hot temperature increase aggressive thoughts and hostile perceptions. *J Ex-perim Soc Psychol* 45:1045–1047.
- Dikshit, M. B., P. K. Banerjee, P. L. Rao, and E. M. Iyer. 1986. Systolic time intervals in pilots and non-pilots during 70 degree head-up tilt. *Aviat Space Environ Med* 57 (4):332-5.
- Dong, X. S., G. H. West, A. Holloway-Beth, X. Wang, and R. K. Sokas. 2019. Heat-related deaths among construction workers in the United States. *Am J Ind Med*.
- Dube, P. A., D. Imbeau, D. Dubeau, and I. Auger. 2019. Worker heat stress prevention and work metabolism estimation: comparing two assessment methods of the heart rate thermal component. *Ergonomics* 62 (8):1066-1085.
- Durairajanayagam, D., A. Agarwal, and C. Ong. 2015. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reprod Biomed Online* 30 (1):14-27.
- Faerevik, H., and R. E. Reinertsen. 2003. Effects of wearing aircrew protective clothing on physiological and cognitive responses under various ambient conditions. *Ergonomics* 46 (8):780-99.
- Farshad, A., S. Montazer, M. R. Monazzam, M. Eyvazlou, and R. Mirkazemi. 2014. Heat Stress Level among Construction Workers. *Iran J Public Health* 43 (4):492-8.
- Flouris, A. D., P. C. Dinas, L. G. Ioannou, L. Nybo, G. Havenith, G. P. Kenny, and T. Kjellstrom. 2018. Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health* 2 (12):e521-e531.
- Froom, P., Y. Caine, I. Shochat, and J. Ribak. 1993. Heat stress and helicopter pilot errors. *J Occup Med* 35 (7):720-4.
- Gallo-Ruiz, L., C. M. Sennett, M. Sanchez-Delgado, A. Garcia-Urbina, T. Gamez-Altamirano, K. Basra, R. L. Laws, J. J. Amador, D. Lopez-Pilarte, Y. Tripodis, D. R. Brooks, M. D. McClean, J. Kupferman, D. Friedman, A. Aragon, M. Gonzalez-Quiroz, and M. K. Scammell. 2019. Prevalence and Risk Factors for CKD among Brickmaking Workers in La Paz Centro, Nicaragua. *Am J Kidney Dis* 74 (2):239-247.

- Glass, K., P. W. Tait, E. G. Hanna, and K. Dear. 2015. Estimating risks of heat strain by age and sex: a population-level simulation model. *Int J Environ Res Public Health* 12 (5):5241-55.
- Gomes, J., O. Lloyd, and N. Norman. 2002. The health of the workers in a rapidly developing country: effects of occupational exposure to noise and heat. *Occup Med (Lond)* 52 (3):121-8.
- Gonzalez-Alonso, J., C. Teller, S. L. Andersen, F. B. Jensen, T. Hyldig, and B. Nielsen. 1999. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol* (1985) 86 (3):1032-9.
- Grandjean, E. 1991 *Physiologische Arbeitsgestaltung – Leitfaden der Ergonomie*
- Gribetz, B., E. D. Richter, M. Krasna, and M. Gordon. 1980. Heat stress exposure of aerial spray pilots. *Aviat Space Environ Med* 51 (1):56-60.
- Gun, R. 2019. Deaths in Australia from Work-Related Heat Stress, 2000-2015. *Int J Environ Res Public Health* 16 (19).
- Hancock, P. A. 1981. Heat stress impairment of mental performance: a revision of tolerance limits. *Aviat Space Environ Med* 52 (3):177-80.
- . 1982. Task categorization and the limits of human performance in extreme heat. *Aviat Space Environ Med* 53 (8):778-84.
- Hatvani-Kovacs, G., M. Belusko, N. Skinner, J. Pockett, and J. Boland. 2016. Drivers and barriers to heat stress resilience. *Sci Total Environ* 571:603-14.
- Hettinger R., Hettinger T., Eissing G 1984 Einfluss von Schutzkleidung auf die Beanspruchung des Menschen bei Arbeit unter Wärmestrahlungsexposition *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin* 19/1: 9 - 14
- Hocking, C., R. B. Silberstein, W. M. Lau, C. Stough, and W. Roberts. 2001. Evaluation of cognitive performance in the heat by functional brain imaging and psychometric testing. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 128 (4):719-34.
- ISO. 2004. *Ergonomics of the Thermal Environment—Determination of Metabolic Rate*. Geneva: The International Organization for Standardization
- Jay, O., and J. R. Brotherhood. 2016. Occupational heat stress in Australian workplaces. *Temperature (Austin)* 3 (3):394-411.
- Jayasekara, K. B., P. N. Kulasoorya, K. N. Wijayasiri, E. D. Rajapakse, D. S. Dulshika, P. Bandara, L. F. Fried, A. De Silva, and S. M. Albert. 2019. Relevance of heat stress and dehydration to chronic kidney disease (CKDu) in Sri Lanka. *Prev Med Rep* 15:100928.
- Johnson, J. M., and D. W. Proppe. 2011. Cardiovascular Adjustments to Heat Stress. In *Handbook of Physiology, Environmental Physiology*. Berlin: Wiley.
- Jung, A., and H. C. Schuppe. 2007. Influence of genital heat stress on semen quality in humans. *Andrologia* 39 (6):203-15.
- Kantidze, O. L., A. K. Velichko, A. V. Luzhin, and S. V. Razin. 2016. Heat Stress-Induced DNA Damage. *Acta Naturae* 8 (2):75-8.
- Kassim, N, K. Karmegam Karuppiah, E. Z. Emilia Zainal Abidin, and S. B. M. Tamrin. 2018. Latex glove industry: Prevalence of heat-related illness among Malaysian workers. *Hum Factors Man* 1-5.

- Kenny, G. P., T. E. Wilson, A. D. Flouris, and N. Fujii. 2018. Heat Exhaustion. *Hand Clin Neurol* 157:505-529.
- Kulkarni, A. C., and K. Srinivasan. 2018. Evaluation of Heat Stress in Construction Site of Metro Rail in Chennai. *Indian J Occup Environ Med* 22 (2):101-105.
- Lash, L. H. 2019. Environmental and Genetic Factors Influencing Kidney Toxicity. *Semin Nephrol* 39 (2):132-140.
- Lenzuni, P., P. Capone, D. Freda, and M. Del Gaudio. 2014. Is driving in a hot vehicle safe? *Int J Hyperthermia* 30 (4):250-7.
- Levi, M., T. Kjellstrom, and A. Baldasseroni. 2018. Impact of climate change on occupational health and productivity: a systematic literature review focusing on workplace heat. *Med Law* 109 (3):163-79.
- Li, J., Y. Tian, L. Ding, H. Zou, Z. Ren, L. Shi, D. Feathers, and N. Wang. 2015. Simulating extreme environments: Ergonomic evaluation of Chinese pilot performance and heat stress tolerance. *Work* 51 (2):215-22.
- Lind, A.R., Bass, D.E. 1963 The optimal exposure time for the development of acclimatisation to heat, *Federal Proceedings*, 22, 704 - 708
- Lundgren, K., K. Kuklane, C. Gao, and I. Holmer. 2013. Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Ind Health* 51 (1):3-15.
- Lundgren Kownacki, K., C. Gao, K. Kuklane, and A. Wierzbicka. 2019. Heat Stress in Indoor Environments of Scandinavian Urban Areas: A Literature Review. *Int J Environ Res Public Health* 16 (4).
- Lunyera, J., D. Mohottige, M. Von Isenburg, M. Jeuland, U. D. Patel, and J. W. Stanifer. 2016. CKD of Uncertain Etiology: A Systematic Review. *Clin J Am Soc Nephrol* 11 (3):379-85.
- Ma, R., S. Zhong, M. Morabito, S. Hajat, Z. Xu, Y. He, J. Bao, R. Sheng, C. Li, C. Fu, and C. Huang. 2019. Estimation of work-related injury and economic burden attributable to heat stress in Guangzhou, China. *Sci Total Environ* 666:147-154.
- Mackworth, N.H. 1946 Effects of heat on wireless telegraphy operators hearing and recording Morse messages *Brit. J. Industry. Med.* 3, 143
- Mackworth, N.H., 1950 Researches on the measurement of human performance, *Medical Research Council Special Report. No. 268*, London: HMSO
- Mackworth, N.H., 1952 Some recent studies of human stress from a marine and naval viewpoint *Journal of Institute of Marine Engineers*, 64, 123 - 138
- Manfredini, R., R. Cappadona, and F. Fabbian. 2019. Heat Stress and Cardiovascular Mortality in Immigrant Workers: Can We Do Something More? *Cardiology* 143 (1):49-51.
- Marate, V., and A. Mate. 2019. THE EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE ON HUMAN STRENGTH. *Int J Mechan Prod Engineer Res Develop (IJMPERD)* 9:1123-1132.
- Martin, K., E. McLeod, J. Periard, B. Rattray, R. Keegan, and D. B. Pyne. 2019. The Impact of Environmental Stress on Cognitive Performance: A Systematic Review. *Hum Factors*: 18720819839817.

- Mathee, A., J. Oba, and A. Rose. 2010. Climate change impacts on working people (the HOTHAPS initiative): findings of the South African pilot study. *Glob Health Action* 3.
- McCartt, A. T., S. A. Ribner, A. I. Pack, and M. C. Hammer. 1996. The scope and nature of the drowsy driving problem in New York State. *Accid Anal Prev* 28 (4):511-17.
- McEntire, S. J., J. Suyama, and D. Hostler. 2013. Mitigation and prevention of exertional heat stress in firefighters: a review of cooling strategies for structural firefighting and hazardous materials responders. *Prehosp Emerg Care* 17 (2):241-60.
- Meehl, G. A., and C. Tebaldi. 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305 (5686):994-7.
- Messeri, A., M. Morabito, M. Bonafede, M. Bugani, M. Levi, A. Baldasseroni, A. Binazzi, B. Gozzini, S. Orlandini, L. Nybo, and A. Marinaccio. 2019. Heat Stress Perception among Native and Migrant Workers in Italian Industries-Case Studies from the Construction and Agricultural Sectors. *Int J Environ Res Public Health* 16 (7).
- Miller, V. S., and G. P. Bates. 2007. The thermal work limit is a simple reliable heat index for the protection of workers in thermally stressful environments. *Ann Occup Hyg* 51 (6):553-61.
- Mohammadian, F., A. S. S. Abadi, and S. Giasi. 2019. Evaluation of Occupational Exposure to Heat Stress and Physiological Responses of Workers in the Rolling Industry. *Open Publ Health J* 12:114-120.
- Morabito, M., A. Messeri, P. Noti, A. Casanueva, A. Crisci, S. Kotlarski, S. Orlandini, C. Schwierz, C. Spirig, B. R. M. Kingma, A. D. Flouris, and L. Nybo. 2019. An Occupational Heat-Health Warning System for Europe: The HEAT-SHIELD Platform. *Int J Environ Res Public Health* 16 (16).
- Morrison, J.F., Wyndham, C.H. 1961 Report on some clinical features of the heat – stroke cases occurring in the 3-year period June 1956 to July 1959. Transvaal and Orange Free State, Chamber of Mines, APL Report No. 6 Johannesburg
- Nerbass, F. B., L. Moist, W. F. Clark, M. A. Vieira, and R. Pecoits-Filho. 2019. Hydration Status and Kidney Health of Factory Workers Exposed to Heat Stress: A Pilot Feasibility Study. *Ann Nutr Metab* 74 Suppl 3:30-37.
- NIOSH. 2013. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments. Cincinnati, Ohio, USA: NIOSH.
- Norloei, S., M. J. Jafari, L. Omid, S. Khodakarim, D. Bashash, M. B. Abdollahi, and M. Jafari. 2017. The effects of heat stress on a number of haematological parameters and levels of thyroid hormones in foundry workers. *Int J Occup Saf Ergon* 23 (4):481-490.
- Noweir, M. H., and A. O. Bafail. 2008. Study of summer heat exposure at the ground services operations of a main international airport in Saudi Arabia. *Environ Monit Assess* 145 (1-3):103-11.
- Nunneley, S. A., P. J. Dowd, L. G. Myhre, R. F. Stribley, and R. C. McNee. 1979. Tracking-task performance during heat stress simulating cockpit conditions in high-performance aircraft. *Ergonomics* 22 (5):549-55.
- Nunneley, S. A., and C. F. Flick. 1981. Heat stress in the A-10 cockpit: flights over desert. *Aviat Space Environ Med* 52 (9):513-6.
- Nunneley, S. A., D. C. Reader, and R. J. Maldonado. 1982. Head-temperature effects on physiology, comfort, and performance during hyperthermia. *Aviat Space Environ Med* 53 (7):623-8.

- O'Donnell, J. K., M. Tobey, D. E. Weiner, L. A. Stevens, S. Johnson, P. Stringham, B. Cohen, and D. R. Brooks. 2011. Prevalence of and risk factors for chronic kidney disease in rural Nicaragua. *Nephrol Dial Transplant* 26 (9):2798-805.
- Palinkas, L. A., and M. Wong. 2019. Global climate change and mental health. *Curr Opin Psychol* 32:12-16.
- Peraza, S., C. Wesseling, A. Aragon, R. Leiva, R. A. Garcia-Trabanino, C. Torres, K. Jakobsson, C. G. Elinder, and C. Hogstedt. 2012. Decreased kidney function among agricultural workers in El Salvador. *Am J Kidney Dis* 59 (4):531-40.
- Piil, J. F., J. Lundbye-Jensen, L. Christiansen, L. Ioannou, L. Tsoutsoubi, C. N. Dallas, K. Mantzios, A. D. Flouris, and L. Nybo. 2018. High prevalence of hypo hydration in occupations with Heat Stress-Perspectives for performance in combined cognitive and motor tasks. *PLoS One* 13 (10):e0205321.
- Pimenta, A. M., and A. A. Assuncao. 2015. Thermal discomfort and hypertension in bus drivers and chargers in the metropolitan region of Belo Horizonte, Brazil. *Appl Ergon* 47:236-41.
- Pradhan, B., T. Kjellstrom, D. Atar, P. Sharma, B. Kayastha, G. Bhandari, and P. K. Pradhan. 2019. Heat Stress Impacts on Cardiac Mortality in Nepali Migrant Workers in Qatar. *Cardiology* 143 (1):37-48.
- Pranskunas, A., Z. Pranskuniene, E. Milieskaite, L. Daniuseviciute, A. Kudreviciene, A. Vitkauskiene, A. Skurvydas, and M. Brazaitis. 2015. Effects of whole body heat stress on sublingual microcirculation in healthy humans. *Eur J Appl Physiol* 115 (1):157-65.
- Purschke, M., H. J. Laubach, R. R. Anderson, and D. Manstein. 2010. Thermal injury causes DNA damage and lethality in unheated surrounding cells: active thermal bystander effect. *J Invest Dermatol* 130 (1):86-92.
- Rabeiy, R. E., 2018. Evaluation of indoor heat stress on workers of bakeries at Assiut City, Egypt. *Int J Environ Sci Technol*.
- Robinson, E.S., Bills, A.G. 1926 Two factors in decrement *J. Exp. Psychol.* 9/415
- Sadiq, L. S., Z. Hashim, and M. Osman. 2019. The Impact of Heat on Health and Productivity among Maize Farmers in a Tropical Climate Area. *J Environ Public Health* 2019:9896410.
- Salminen, S., P. Perttula, and J. Merjama. 2005. Use of rest breaks and accidents by professional drivers. *Percept Mot Skills* 101 (2):665-8.
- Sanchez-Lozada, L. G., F. E. Garcia-Arroyo, G. Gonzaga, O. Silverio, M. G. Blas-Marron, I. Munoz-Jimenez, E. Tapia, H. Osorio-Alonso, M. Madero, C. A. Roncal-Jimenez, I. Weiss, J. Glaser, and R. J. Johnson. 2018. Kidney Injury from Recurrent Heat Stress and Rhabdomyolysis: Protective Role of Allopurinol and Sodium Bicarbonate. *Am J Nephrol* 48 (5):339-348.
- Schikele, E. 1947 Environmental and fatal heat stroke. An analysis of 157 cases occurring in the army in the U.S. during World War II *Mil. Surgeon* 100, 235
- Schlader, Z. J., D. Hostler, M. D. Parker, R. R. Pryor, J. W. Lohr, B. D. Johnson, and C. L. Chapman. 2019. The Potential for Renal Injury Elicited by Physical Work in the Heat. *Nutrients* 11 (9).
- Sett, M., and S. Sahu. 2014. Effects of occupational heat exposure on female brick workers in West Bengal, India. *Glob Health Action* 7:21923.

- Spector, J. T., Y. J. Masuda, N. H. Wolff, M. Calkins, and N. Seixas. 2019. Heat Exposure and Occupational Injuries: Review of the Literature and Implications. *Curr Environ Health Rep*.
- Spook, S. M., W. Koolhaas, U. Bultmann, and S. Brouwer. 2019. Implementing sensor technology applications for workplace health promotion: a needs assessment among workers with physically demanding work. *BMC Public Health* 19 (1):1100.
- Thompson, R., R. Hornigold, L. Page, and T. Waite. 2018. Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. *Public Health* 161:171-191.
- Trombly, J., S. Chalupka, and L. Anderko. 2017. Climate Change and Mental Health. *Am J Nurs* 117 (4):44-52.
- Vangelova, K., Ch Deyanov, D. Velkova, M. Ivanova, and V. Stanchev. 2002. The effect of heat exposure on cortisol and catecholamine excretion rates in workers in glass manufacturing unit. *Cent Eur J Public Health* 10 (4):149-52.
- Vangelova, K. K., and C. E. Deyanov. 2000. The effect of high ambient temperature on the adjustment of operators to fast rotating 12-hour shift work. *Rev Environ Health* 15 (4):373-9.
- Vega-Arroyo, A. J., D. C. Mitchell, J. R. Castro, T. L. Armitage, D. J. Tancredi, D. H. Bennett, and M. B. Schenker. 2019. Impacts of weather, work rate, hydration, and clothing in heat-related illness in California farmworkers. *Am J Ind Med*.
- Venugopala, V., M. Krishnamoorthy, V. Venkatesanb, Jaganathanb, R. Shanmugama, K. Kanagaraj, and S. F. D. Paul. 2019. Association between occupational heat stress and DNA damage in lymphocytes of workers exposed to hot working environments in a steel industry in Southern India. *Temperature (Austin)*:in press.
- Wenzel, H.G., 1964 Möglichkeiten und Probleme der Beurteilung von Hitzebelastungen des Menschen. *Arbeitswissenschaft* 3, 73-83
- Wenzel, H.G., Tentrup. F.J. 1970 Thermal equilibrium limits and subjective tolerance limits of man at various muscular work in cold and hot environment. *Internat. Ergonomics Association, 4th Congress, Strasbourg*
- Wesseling, C., A. Aragon, M. Gonzalez, I. Weiss, J. Glaser, C. J. Rivard, C. Roncal-Jimenez, R. Correa-Rotter, and R. J. Johnson. 2016. Heat stress, hydration and uric acid: a cross-sectional study in workers of three occupations in a hotspot of Mesoamerican nephropathy in Nicaragua. *BMJ Open* 6 (12): e011034.
- Wickens, C. M., and R. E. Mann. 2013. Addressing Driver Aggression: Contributions From Psychological Science. *Curr Direct Psychol Sci* 22:386–391.
- Wilkowski, B. M., B. P. Meier, M. D. Robinson, M. S. Carter, and R. Feltman. 2009. Hot-headed is more than an expression: the embodied representation of anger in terms of heat. *Emotion* 9 (4):464-77.
- Williams, C.G., Wyndham, C.H., Morrison, J.F. 1967 Rate of loss of acclimatization in summer and winter *J Appl. Physiol.* 22, 21
- Wondmagegn, B. Y., J. Xiang, S. Williams, D. Pisaniello, and P. Bi. 2019. What do we know about the healthcare costs of extreme heat exposure? A comprehensive literature review. *Sci Total Environ* 657:608-618.

- Wyon, D. P., I. Wyon, and F. Norin. 1996. Effects of moderate heat stress on driver vigilance in a moving vehicle. *Ergonomics* 39 (1):61-75.
- Xiang, J., P. Bi, D. Pisaniello, and A. Hansen. 2014. Health impacts of workplace heat exposure: an epidemiological review. *Ind Health* 52 (2):91-101.
- Xiang, J., P. Bi, D. Pisaniello, A. Hansen, and T. Sullivan. 2014. Association between high temperature and work-related injuries in Adelaide, South Australia, 2001-2010. *Occup Environ Med* 71 (4):246-52.
- Xianglong, S., Z. Hub, F. Shumi, and L. Zhenning. 2018. Bus drivers' mood states and reaction abilities at high temperatures. *Transport Res Part F* 59:436–444.
- Xiao, C., S. Chen, J. Li, T. Hai, Q. Lu, E. Sun, R. Wang, R. M. Tanguay, and T. Wu. 2002. Association of HSP70 and genotoxic damage in lymphocytes of workers exposed to coke-oven emission. *Cell Stress Chaperones* 7 (4):396-402.
- Xiong, Y., T. Wu, Y. Zhang, R. M. Tanguay, L. Nicole, Y. Yuan, and G. Zhang. 1997. Preliminary studies on the relationship between autoantibodies to heat stress proteins and heat injury of pilots during acute heat stress. *J Tongji Med Univ* 17 (2):83-5.
- Yeganeh, A. J., G. Reichard, A. P. McCoy, and T. Bulbul. 2018. Correlation of ambient air temperature and cognitive performance: A systematic review and meta-analysis. *Build Environ*.
- Yi, W., and A. P. C. Chan. 2017. Effects of Heat Stress on Construction Labor Productivity in Hong Kong: A Case Study of Rebar Workers. *Int J Environ Res Public Health* 14 (9).
- Yi, W., A. P. C. Chan, F. K. W. Wong, and D. P. Wong. 2017. Effectiveness of a newly designed construction uniform for heat strain attenuation in a hot and humid environment. *Appl Ergon* 58:555-565.
- Zander, K. K., S. A. Moss, and S. T. Garnett. 2017. Drivers of self-reported heat stress in the Australian labour force. *Environ Res* 152:272-279.
- Zhou, L., Z. Xin, L. Bai, F. Wan, Y. Wang, S. Sang, S. Liu, J. Zhang, and Q. Liu. 2014. Perceptions of heat risk to health: a qualitative study of professional bus drivers and their managers in Ji-nan, China. *Int J Environ Res Public Health* 11 (2):1520-35

# VERKEHR UND INFRASTRUKTUR

"Verkehr und Infrastruktur" sind unregelmäßig erscheinende Hefte, in denen aktuelle Fragen der Verkehrspolitik behandelt werden. Sie sollen in erster Linie Informationsmaterial und Diskussionsgrundlage für an diesen Fragen Interessierte darstellen.

- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 20 | <i>Werbung für Bus, Bahn und Bim</i><br>soft Policies für eine Veränderung der Verkehrsmittelwahl zugunsten des umweltfreundlichen Öffentlichen Personennahverkehrs, 2004 | 31 | <i>Legal – Illegal – Egal?</i><br>Probleme und Kontrollen im Straßengüterverkehr und auf der Donau<br>Tagungsband, 2007   |
| 21 | <i>Speiseplan und Transportaufkommen</i><br>Was haben unsere Ernährungsgewohnheiten mit dem Lkw-Verkehr zu tun? 2004  | 32 | <i>Aktuelle Verkehrsentwicklung im grenzüberschreitenden Güterverkehr</i><br>Analyse Verkehrsmarkt 2005; 2007   |
| 22 | <i>Die unterschlagene Arbeitszeit</i><br>Pflichten von Lkw- und Buslenkern vor Fahrtantritt, 2004   | 33 | <i>Neue Herausforderungen in der europäischen Luftfahrt</i><br>Tagungsband, 2007  |
| 23 | <i>Arbeitsbedingungen im Straßengütertransport, 2004</i>  | 34 | <i>Neue Aus- und Weiterbildungsstandards für Bus- und Lkw-LenkerInnen</i><br>Was kommt auf LenkerInnen, UnternehmerInnen, AusbilderInnen und PrüferInnen zu?, Tagungsband, 2008   |
| 24 | <i>Ostverkehr nach der EU-Erweiterung, 2005</i>   | 35 | <i>Lkw-Maut für die Umwelt?</i><br>Handlungsspielräume und Strategien im EU-Kontext auf dem Prüfstand, Tagungsband, Franz Greil (Hrsg), 2009                                      |
| 25 | <i>Überfordert durch den Arbeitsweg?</i><br>Was Stress und Ärger am Weg zur Arbeit bewirken können, 2006  | 36 | <i>Regionale Arbeitsweg-Barrieren in der Ostregion</i><br>Auswertung der Online-Umfrage „Pendler/in am Wort“<br>Thomas Hader, 2009  |
| 26 | <i>Arbeiten im Tourismus: Chance oder Falle für Frauen? 2006</i>  | 37 | <i>Privatisierung der Verkehrsinfrastruktur</i><br>Erfahrungen mit Public Private Partnership (PPP) in Österreich und Europa<br>Tagungsband, 2009                                 |
| 27 | <i>Personennahverkehr zwischen Liberalisierung und Daseinsvorsorge</i><br>2. Ergänzungsband zur Materialiensammlung, 2006   | 38 | <i>Leitfaden für Ausschreibungen im öffentlichen Verkehr</i><br>Qualitäts- und Sozialkriterien, 2009  |
| 28 | <i>Weichenstellung für Europas Bahnen</i><br>Wem nützt der Wettbewerb?<br>Tagungsband, 2006   | 39 | <i>Arbeitsweg-Barrieren in der Ostregion: geschlechtsspezifische und soziale Hindernisse</i><br>Auswertung der Online-Umfrage „Pendler/in am Wort“ – Teil 2<br>Thomas Hader, 2009 |
| 29 | <i>Lkw-Roadpricing abseits der Autobahn</i><br>Machbarkeit und Auswirkungen einer Lkw-Maut am unterrangigen Straßennetz<br>Tagungsband, 2006                              |    |   |
| 30 | <i>Lkw-Roadpricing – Trends und Ausbaumöglichkeiten, 2006</i>   |    |   |

- 40 *Lkw-Stellplatzbedarf im hochrangigen österreichischen Straßennetz*  
Österreichisches Institut für Raumplanung, 2010
- 41 *PendlerInnen und Infrastruktur-Ausbau in der Ostregion*  
Ergebnisse der AK-Befragung 2009/2010  
Thomas Hader, 2010
- 42 *Mangelware Lkw-Parkplatz*  
Perspektiven und Lösungen für den Arbeitsplatz Autobahn  
Tagungsband, 2010
- 43 *Tourismus in Österreich 2011*  
mit einer Sonderauswertung des Österreichischen Arbeitsklimaindex  
Kai Biehl, Rudolf Kaske (Hrsg), 2011
- 44 *Lkw-Geschwindigkeitsverhalten auf Autobahnen*  
Erhebung und Analyse der Lkw-Geschwindigkeiten auf ausgewählten Streckenabschnitten österreichischer Autobahnen  
Kuratorium für Verkehrssicherheit, 2011
- 45 *Die Lkw-Maut als Öko-Steuer*  
Verursachergerechte Lösungen gegen Lärm und Abgase. Tagungsband, 2012
- 46 *BerufslenkerInnen am Wort*  
Befragung von Lkw- und BuslenkerInnen zu Lenkzeitüberschreitungen, Sicherheit und Qualität von Rastanlagen und Erfahrungen mit der verpflichtenden Aus- und Weiterbildung  
Greil, Hader, Ruziczka, 2012
- 47 *Aktiv und selbstbestimmt zur Arbeit*  
Warum der Arbeitsweg zu Fuß und mit dem Rad die gesündere Alternative ist, was am Arbeitsweg besonders Stress macht und wie subjektive Aspekte die Verkehrsmittelwahl beeinflussen  
Johanna Schaupp, 2012
- 48 *Problem Solidarhaftung im Bundesstraßenmautsystem*  
Verfassungsrechtliche Analyse  
Nicolas Raschauer, 2012
- 49 *Öffentlicher Verkehr hat Zukunft!*  
Herausforderungen und Gefahren für den Öffentlichen Nahverkehr in Österreich  
Tagungsband, 2013
- 50 *Volkswirtschaftliche Aspekte der Liberalisierung des Eisenbahnpersonenverkehrs in Österreich*  
Fjodor Gütermann, 2013
- 51 *Wettbewerb im österreichischen Güterverkehrsmarkt*
- 52 *Modal-Split im Güterverkehr*  
Maßnahmen zur Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene  
Max Herry, Norbert Sedlacek, 2014
- 53 *Analyse der Erfahrungen mit dem Verbandsverantwortlichkeitsgesetz im Eisenbahnwesen*  
Edwin Mächler, 2014
- 54 *Unterwegs zwischen Erwerbs- und Familienarbeit*  
Eine Analyse in den niederösterreichischen Regionen Triestingtal und Schneebergland  
Wiebke Unbehaun et.al., 2014
- 55 *Flächendeckende Lkw-Maut und Nahversorgung*  
Auswirkungen einer flächendeckenden Lkw-Maut auf Lebensmittelpreise und den ländlichen Raum  
Josef Baum, Reinhold Deußner, Sebastian Beiglböck, Johannes Hofinger, 2015
- 56 *Pendeln in der Ostregion – Potenziale für die Bahn*  
Auswirkungen einer flächendeckenden Lkw-Maut auf Lebensmittelpreise und den ländlichen Raum  
Josef Baum, Reinhold Deußner, Sebastian Beiglböck, Johannes Hofinger, 2015
- 57 *Pendelanalyse Wien und Ostregion 2014*  
Zahlen und Fakten auf Basis der Vollerhebung 2014  
Odilo Seisser
- 58 *Zukunftsfähige Straßeninfrastruktur*  
Kosten und Lösungen für auffällige Landes- und Gemeindestraßen 2016  
Josef Baum, Johann Litzka, Alfred Weninger-Vycudil
- 59 *Rechtssetzung durch Private im Eisenbahnrecht*  
Rechtswissenschaftliche Studie 2016  
Konrad Lachmayer
- 60 *Gewerkschaften und nachhaltige Mobilität*  
Astrid Segert, 2017
- 61 *Arbeitswege und Arbeitszeit – Zeit für mein Leben?*  
Eine Analyse von Mobilitätsdaten von Erwerbstätigen in Österreich  
Susanne Wolf-Eberl, Patrick Posch, 2018
- 62 *Monetarisierung von „Sozialdumping“ im Straßenverkehr*  
Norbert Sedlacek, Irene Steinacher, 2019

- 63 *Belastungen am Arbeitsplatz durch Hitze am Beispiel der TriebfahrzeugführerInnen und BaukranführerInnen*  
Veröffentlichung 2021 Literaturrecherche und Arbeitsmedizinische Stellungnahme  
Georg Wultsch, 2019; überarbeitet 2021
- 64 *active2work – Arbeits- und Mobilitätszeit neu gedacht*  
Machbarkeitsuntersuchung  
Marlene Doiber, Sandra Wegener, Roland Hackl, Maria Juschten, Clemes Raffler, Michael Meschik, Julia Schmid, 2020
- 65 *Gesundheitliche Belastungen des fliegenden Personals – Endbericht*  
ÄrztInnen für eine gesunde Umwelt  
Hans Peter Hutter, Florian Heger, Kathrin Lemmerer, Hanns Moshhammer, Michael Poteser, Peter Wallner, 2021
- 66 *Pendlerverflechtungen in der Ostregion*  
Andrea Weninger, Jonas Krombach, Benedikt Hahn, Andreas Friedwagner, 2021