



Technische
Universität
Braunschweig

IBB INSTITUT FÜR
BAUWIRTSCHAFT UND
BAUBETRIEB



Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gewerke der Baubranche unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch

Abschlussbericht zum interdisziplinären
Forschungsvorhaben KlimaBau

Schriftenreihe Heft 66
Braunschweig • Januar 2022

Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Heft 66

**AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF AUSGEWÄHLTE
GEWERKE DER BAUBRANCHE UNTER BESONDERER BERÜCK-
SICHTIGUNG DES FAKTORS MENSCH**

Abschlussbericht des interdisziplinären Forschungsprojektes „KlimaBau“
Projektlaufzeit: 01. März 2020 bis 28. Februar 2021

DOI 10.24355/dbbs.084-202201141111-0

ISBN 978-3-936214-34-5

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Vorgeschlagene Zitierweise:

Schwerdtner, Patrick; Kynast, Luisa; Pohrt, Ute; Walter, Andreas; Kumlehn, Frank; Werner, Frank; Müller, Susanne: Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gewerke der Baubranche unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben KlimaBau. Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, Heft 66. Braunschweig : Technische Universität Braunschweig, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2022

DOI 10.24355/dbbs.084-202201141111-0

ISBN 978-3-936214-34-5

Projektbeteiligte

Projektleitung

Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb (IBB)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Patrick Schwerdtner

Akad. Oberrat Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Frank Kumlehn

Luisa Kynast, M. Sc.

Schleinitzstr. 23A | 38106 Braunschweig

Tel +49 531 391-3174 | Fax +49 531 391- 5953

ibb@tu-braunschweig.de | www.tu-braunschweig.de/ibb

Projektpartner

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU)

Prof. Dipl.-Ing. Frank Werner

Dr. med. Ute Pohrt

Hildegardstraße 29/30 | 10715 Berlin

www.bgbau.de

Deutscher Wetterdienst (DWD) [Kooperationspartner]

Dipl.-Met. Johann-Dirk Hessel

Dr. Andreas Walter

Susanne Müller

Frankfurter Straße 135 | 63067 Offenbach am Main

www.dwd.de

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

[Projektbegleitgruppe]

Dipl.-Ing. Architekt Stefan Haas, M.Sc.

Dipl.-Biol. Christian Ahrens

Deichmanns Aue 31 – 37 | 53179 Bonn

www.bbsr.bund.de

Vorwort des Herausgebers

Die Bedeutung der Witterung für die Bauproduktion wurde in der Vergangenheit sehr unterschiedlich eingeschätzt. Vor einigen Jahrzehnten belegte die Witterung noch den ersten Platz bei einer Umfrage zu den wesentlichen Risiken der Bauausführung. Aktuellere Untersuchungen sehen witterungsbedingte Einflüsse eher als untergeordnete Herausforderung. Eine besondere Aufmerksamkeit erfährt diese Thematik hingegen regelmäßig nach besonders gravierenden Wetterereignissen. Beispielsweise rufen schneereiche Winter den Projektbeteiligten der Bauwirtschaft die Vulnerabilität einer Baustelle schmerzlich in Erinnerung. In der Folge steigt dann (für einen sehr überschaubaren Zeitraum) die Sensibilität im Zuge der Projektvorbereitung – und führt insbesondere zu einer großen Vorsicht bei vertraglichen Vereinbarungen. Dabei wird deutlich, dass bestehende rechtliche Regelungen und technische Grenzwerte einen großen Interpretationsspielraum aufweisen. Hinzu kommt beim Versuch einer Begründung etwaiger Produktivitätsminderungen mit Hilfe von Wetterdaten die Erkenntnis, dass die im Bauvertrag verwendeten Begriffe mit der meteorologischen Begriffswelt nur schwer in Einklang zu bringen sind.

Allerdings beschränkt sich das Vorgehen bei der Beurteilung witterungsbedingter Risiken und Einflüssen in der Praxis mehrheitlich auf „traditionelle“ Aspekte, d. h. winterliche Einschränkungen und diesbezügliche normative technische Grenzwerte. Erhöhte Temperaturen, die sowohl in technischer Hinsicht problematisch sind und darüber hinaus gesundheitliche Risiken für die Arbeitskräfte darstellen können, finden hingegen derzeit wenig bis keine Berücksichtigung. Dabei können erhöhte Temperaturen v. a. in Verbindung mit körperlicher Belastung sogar lebensgefährliche Folgen nach sich ziehen.

Diese Situation stellt den Ausgangspunkt für das Forschungsprojekt „KlimaBau“ dar. Durch die Beteiligung baubetrieblicher, meteorologischer und arbeitsmedizinischer Expertise ist es gelungen, die Witterung als relevanten Einflussfaktor für die Bauproduktion sehr umfassend und interdisziplinär zu untersuchen. Auf der Grundlage von Recherchen zu normativen Regelungen einerseits und Daten des Klimamonitorings und der Klimaprojektionen andererseits konnten bestehende Zusammenhänge und offene Fragen verdeutlicht werden. Im Ergebnis werden konkrete Handlungsfelder identifiziert, die für die rechtzeitige Einleitung geeigneter Anpassungsmaßnahmen erste Ansatzpunkte darstellen.

Der Forschungsbericht setzt die Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb der Technischen Universität Braunschweig als Band 66 fort. Die wissenschaftliche Untersuchung des Einflusses der Witterung auf die Bauproduktion integriert durch den interdisziplinären Ansatz die Sichtweisen verschiedener Fachgebiete und vermittelt neue Perspektiven im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen.

Disclaimer: Männliche, weibliche und diverse Bezeichnungen sind jeweils für die anderen Geschlechter zu verstehen und werden im Sinne der besseren Lesbarkeit unterschiedlich verwendet. Alle Geschlechter werden jedoch ausdrücklich gleichgestellt.

Hinweis: Die Projektleitung für das Forschungsprojekt „KlimaBau“ wurde von Frau Luisa Kynast übernommen. Aufbauend auf den Ergebnissen und Erkenntnissen des Forschungsprojekts wurde durch Frau Kynast eine Dissertation verfasst. Die Dissertation wird im Rahmen der Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb der Technischen Universität Braunschweig veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | VI |
| Abkürzungsverzeichnis | VII |
| | |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Witterungsabhängigkeit der Bauunternehmen | 4 |
| 2.1 Allgemeine Erläuterungen | 4 |
| 2.2 Zusammenstellung technischer Grenzwerte | 7 |
| 2.3 Einsatzgrenzen des Faktors Mensch | 11 |
| 2.3.1 Hitze – Gesundheitsgefahren, Beurteilungskriterien, Grenzwerte | 11 |
| 2.3.2 Kälte – Gesundheitsgefahren, Beurteilungskriterien, Grenzwerte | 14 |
| 2.3.3 Solare UV-Strahlung – Gesundheitsgefahren, Beurteilungskriterien, Grenzwerte..... | 15 |
| 2.3.4 Zusammenstellung der Grenzwerte für den „Faktor Mensch“ | 16 |
| 2.4 Zusammenfassende Grenzwertdarstellung und Bewertung der Ergebnisse | 17 |
| 2.5 Grenzen des Modells..... | 19 |
| 3 Betroffenheit und Bedarfe aus der Sicht von Bauunternehmen | 21 |
| 3.1 Validierung der Literaturrecherche | 22 |
| 3.1.1 Bewertung der Grenzwertbestimmung..... | 22 |
| 3.1.2 Bewertung der Witterungsabhängigkeit | 24 |
| 3.1.3 Bedarf an anzupassenden Regelungen | 27 |
| 3.2 Regelungsnotwendigkeit – Bauunternehmer im Spannungsfeld | 29 |
| 3.2.1 Bauunternehmer als Arbeitgeber („Faktor Mensch“)..... | 30 |
| 3.2.2 Bauunternehmer als Auftragnehmer und Fachunternehmen | 34 |
| 3.2.3 Zusammenfassung des Bedarfs an Schwellenwerten und anzupassenden Regelungen | 35 |
| 3.3 Mögliche Anpassungen von Regelungs- und Datengrundlagen | 36 |
| 3.3.1 Anforderungen an und Umgang mit Schwellenwerten | 37 |
| 3.3.1.1 Spezifische Anforderungen an Schwellenwerte | 37 |
| 3.3.1.2 Umgang mit Schwellenwerten und weiterführende Überlegungen..... | 38 |
| 3.3.2 Mögliche Anforderungen an Klimadaten | 40 |

| | |
|--|------------|
| 4 Klimamonitoring und -projektion | 43 |
| 4.1 Grundlagen zur begrifflichen Differenzierung | 43 |
| 4.2 Machbarkeitsanalyse zur Bereitstellung von Daten | 48 |
| 4.3 Klimamonitoring ausgewählter meteorologischer Elemente und Grenzwerte..... | 50 |
| 4.4 Klimaprojektionen ausgewählter meteorologischer Elemente und Grenzwerte | 68 |
| 4.5 Zusammenstellung der durch den Klimawandel beobachteten und zukünftig zu erwartenden Veränderungen..... | 76 |
| 4.6 Möglichkeiten und Grenzen der Datenbereitstellung..... | 78 |
| 5 Auswirkungen des Klimawandels | 80 |
| 5.1 Literaturrecherche zu Klimawandelauswirkungen | 80 |
| 5.1.1 Klimawandelauswirkungen auf bauausführende Unternehmen | 80 |
| 5.1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf den „Faktor Mensch“ | 86 |
| 5.1.2.1 Klimawandel und gesundheitliche Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung | 86 |
| 5.1.2.2 Klimawandel und Auswirkungen auf die Bauwirtschaft über den „Faktor Mensch“ | 88 |
| 5.2 Bewertung der Klimawandelauswirkungen durch die Bauunternehmen | 92 |
| 5.3 Zwischenfazit | 97 |
| 6 Anwendungsfelder, Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf | 99 |
| 6.1 Anwendungsfelder und Handlungsempfehlungen | 99 |
| 6.1.1 Schwellenwerte | 100 |
| 6.1.2 Klimadaten | 103 |
| 6.1.3 Staatlicher „Schutzschild“..... | 107 |
| 6.1.4 Zusammenfassende Darstellung | 108 |
| 6.2 Weiterer Forschungsbedarf | 109 |
| 6.2.1 Schwellenwerte | 109 |
| 6.2.2 Klimadaten | 112 |
| 6.2.3 Staatlicher „Schutzschild“..... | 113 |
| 6.3 Quo vadis – Baubranche?..... | 114 |
| 7 Zusammenfassung | 115 |
| Literaturverzeichnis | 118 |
| Gesetztestexte / Normen | 131 |
| Anlagenverzeichnis | 133 |
| Glossar | 144 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Auswertung der Handwerkszählung 2017 für das zulassungspflichtige Handwerk..... | 5 |
| Abbildung 2: Berufe mit der höchsten UV-Strahlenbelastung als Ergebnis der GENESIS-Studie | 6 |
| Abbildung 3: Methodik zur Grenzwertrecherche | 7 |
| Abbildung 4: Gewerkespezifische Grenzwertdarstellung mit Interpretationsebenen (Verarbeitung von Materialien) | 10 |
| Abbildung 5: Bereiche kalter Klimabedingungen und Gefährdung des Menschen..... | 15 |
| Abbildung 6: UV-Index-Bereiche und Gefährdung/notwendige Schutzmaßnahmen für den Menschen | 16 |
| Abbildung 7: Zusammenstellung an Grenzwerten („Faktor Mensch“) | 17 |
| Abbildung 8: Zusammenstellung der Grenzwerte (Endergebnis)..... | 18 |
| Abbildung 9: Gang der Untersuchung zur Entwicklung von Bedarfen und Anforderungen im Umgang mit witterungsbedingten Grenzen | 21 |
| Abbildung 10: Befragungsergebnisse zur Grenzwertbestimmung/-festlegung | 23 |
| Abbildung 11: Befragungsergebnisse zur Beeinflussung durch Witterung (Material)..... | 25 |
| Abbildung 12: Befragungsergebnisse zur Beeinflussung durch Witterung („Faktor Mensch“)..... | 27 |
| Abbildung 13: Bauunternehmer im Spannungsfeld..... | 30 |
| Abbildung 14: Schritte der betrieblichen Gefährdungsbeurteilung | 30 |
| Abbildung 15: Klimaprojektionen zu Grunde liegende Szenarien der Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre. Dargestellt ist der durch die Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre zusätzliche Strahlungsantrieb in W/m^2 | 45 |
| Abbildung 16: Messnetzkarte des DWD. Hauptamtliche Stationen und GeoInfoDB, Stand: 03.06.2020 | 47 |
| Abbildung 17: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl heißer Tage ($T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019..... | 56 |
| Abbildung 18: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Sommertage ($T_{max} \geq 25 \text{ °C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019. | 57 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 19: Darstellung der mittleren Lufttemperatur für das Jahr 2018. Links absolute Werte, rechts Abweichungen vom klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990. | 58 |
| Abbildung 20: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Eistage ($T_{\max} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019..... | 59 |
| Abbildung 21: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Frosttage ($T_{\min} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019..... | 60 |
| Abbildung 22: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Tage mit einer Schneedecke pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 61 |
| Abbildung 23: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Tage mit einer Minimumtemperatur von unter $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 62 |
| Abbildung 24: Unterschreitung einer Temperatur von kleiner gleich $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ zwischen 6 und 18 Uhr für April. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 63 |
| Abbildung 25: Unterschreitung einer Temperatur von kleiner gleich $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ zwischen 6 und 18 Uhr für September. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 64 |
| Abbildung 26: Überschreitung einer Temperatur von mindestens $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ zwischen 8 und 16 Uhr für April. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 65 |
| Abbildung 27: Überschreitung einer Temperatur von mindestens $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ zwischen 8 und 16 Uhr für Juli. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 66 |
| Abbildung 28: Überschreitung einer Temperatur von mindestens $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ zwischen 8 und 16 Uhr für September. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). | 67 |
| Abbildung 29: Projizierter Verlauf der Mitteltemperatur in Deutschland..... | 71 |
| Abbildung 30: Veränderung der Anzahl der Sommertage in Deutschland | 72 |
| Abbildung 31: Veränderung der Anzahl der heißen Tage in Deutschland | 73 |
| Abbildung 32: Änderung der Anzahl der heißen Tage unter der Voraussetzung des Emissionsszenarios RCP8.5 | 73 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 33: Prozentuale Abweichung der mittleren Niederschlagssumme für die Zeiträume 2031-2060 (oben) und 2071-2100 (unten) vom Referenzzeitraum 1971-2000. Dargestellt ist die Spannbreite zwischen 15. Perzentil (links) und 85. Perzentil (rechts) sowie der Median der Ensemblemitglieder (Mitte)..... | 74 |
| Abbildung 34: Zusammenfassende Darstellung an historischen und zukünftig zu erwartenden Klimaänderungen | 77 |
| Abbildung 35: Beispielhafte Darstellung einer Monatsvorhersage (Durchschnittstemperatur). Hier für den Februar 2021 mit Modellstart im Januar 2021 | 79 |
| Abbildung 36: Gewinner- und Verliererbranchen des Klimawandels | 82 |
| Abbildung 37: Übersicht der wesentlichen Chancen und Risiken sowie Strategien der Fallstudie..... | 85 |
| Abbildung 38: Durch Hitzestress verlorene Arbeitsstunden nach Sektor, 1995 und Schätzung für 2030 (in Prozent) | 89 |
| Abbildung 39: Befragungsergebnisse zu Auswirkungen von Extremwetterereignissen (Starkniederschlag) | 92 |
| Abbildung 40: Befragungsergebnisse zu Auswirkungen von Extremwetterereignissen (Sturm) | 93 |
| Abbildung 41: Tendenziell zukünftige KW-Betroffenheit der untersuchten Gewerke während der Bauausführung (Fokus Materialien) | 96 |
| Abbildung 42: Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen | 101 |
| Abbildung 43: Vorschlag zur Novellierung der bisher gültigen SWT | 103 |
| Abbildung 44: Klimaatlas des DWD am Beispiel des Handlungsfeldes „Energiewirtschaft“ | 106 |
| Abbildung 45: Zusammenfassende Darstellung von Anwendungsfeldern, Handlungsempfehlungen und potenziellen Initiatoren | 109 |
| Abbildung 46: Bei der Hitzerrisiko-Prognose von HEAT-SHIELD berücksichtigte Faktoren | 112 |
| Abbildung 47: Quo vadis – Baubranche? | 114 |
| Abbildung 48: Anzahl der Unternehmen, die an der Befragung teilgenommen haben (nach Gewerken)..... | 141 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|---|----|
| Tabelle 1: | Auswahl an „übersetzten“ Grenzwerten..... | 9 |
| Tabelle 2: | WBGT _{eff} -Richtwerte für fünf Klassen von Energieumsatzniveaus für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen | 13 |
| Tabelle 3: | Befragungsergebnisse zum Bedarf an witterungsbedingten Grenzwerten (Gewerke allgemein n=244, ausgewählte Gewerke n=107; Antwort freiwillig) | 28 |
| Tabelle 4: | Beschreibung der hier verwendeten RCP Szenarien | 45 |
| Tabelle 5: | Machbarkeitsanalyse der für die Baubranche als relevant bestimmten Grenzwerte..... | 50 |
| Tabelle 6: | Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen..... | 71 |
| Tabelle 7: | Befragungsergebnisse zu Bedarf an Förderungen im Umgang mit dem Klimawandel (ausgewählte Gewerke n=107; Antwort freiwillig) | 97 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|---|
| AG | Auftraggeber |
| BIP | Brutto-Inlandsprodukt |
| DAS | Deutsche Anpassungsstrategie |
| EWE | Extremwetterereignisse |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change |
| ISB | Internationale Gesellschaft für Biometeorologie |
| K | Kelvin |
| KW | Klimawandel |
| NS | Niederschlag |
| PSA | Persönliche Schutzausrüstung |
| RCP | Representative Concentration Pathways |
| S-KUG | Saison-Kurzarbeitergeld |
| SWT | Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen |
| T | Temperatur |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UVI | UV-Index |
| WBGT | Wet Bulb Globe Temperature |

Kurzzusammenfassung

Wesentliche Teile der Bauproduktion finden unter „freiem Himmel“ statt. Bauunternehmen sind dabei in unterschiedlicher Weise von den verschiedenen Witterungsereignissen (z. B. hohen und niedrigen Lufttemperaturen, Niederschlag, Wind) abhängig. Trotz der Tatsache, dass Bauunternehmen seit jeher von Witterungseinflüssen abhängig sind, sind die vorhandenen Regelungen unvollständig und teilweise unkonkret (z. B. Grenzwert „starker Wind“). Im Zuge des Klimawandels ist damit zu rechnen, dass zukünftig und entgegen dem bisherigen Verständnis von ungünstiger Jahreszeit die heißeren und trockeneren Sommer eine die Bauausführung zunehmend limitierende Jahreszeit darstellen. Die zukünftig milderen und feuchteren Winter hingegen könnten eine kontinuierlichere Bautätigkeit begünstigen. Es verwundert daher nicht, dass vereinzelt Forderungen lauter werden, auch sommerliche Bedingungen während der Bauausführung stärker zu berücksichtigen. Insbesondere zum Schutz der am Bau Beteiligten mangelt es allerdings an praktikablen und verbindliche(re)n Regelungen.

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „KlimaBau“ wird der Status quo im Umgang mit Witterungseinflüssen erörtert und notwendige Maßnahmen vor dem Hintergrund des Klimawandels skizziert. Dabei nimmt die Betrachtung des „Faktors Mensch“ einen wesentlichen Schwerpunkt ein.

Der Forschungsbericht untersucht verschiedene Regelungslücken in Bezug auf Witterungsereignisse. Dabei wird das unternehmerische Spannungsfeld beschrieben und der Konflikt zwischen Regelungsnotwendigkeit und möglichen Einschränkungen herausgestellt. Es wird aufgezeigt, dass sich die Notwendigkeit zur Anpassung von Regelungen insbesondere aus dem Schutz der vor Ort tätigen Arbeitskräfte ergibt. Zudem stellt der Forschungsbericht Handlungsempfehlungen wie beispielsweise die Novellierung der Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen und die Erweiterung des Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes vor. Ebenso werden staatliche Hilfen (z. B. die Erweiterung des Saison-Kurzarbeitergeldes) diskutiert.

Abstract

Significant parts of construction production take place outdoors. Construction companies are dependent in different ways on various weather events (e. g. high and low air temperatures, precipitation, wind). Despite the fact that construction companies have always been dependent on weather events, the existing regulations are incomplete and sometimes unspecific. Due to climate change, it is to be expected that in the future hotter and drier summers will be an increasingly limiting season for construction. On the other hand, winters might become milder and wetter, and therefore could favor continuous construction activity. It is not surprising that demands are becoming louder to take greater account of summer conditions during construction. In particular, there is a lack of practicable and binding regulations to protect those involved in construction.

The interdisciplinary research project “KlimaBau” discusses the status quo in dealing with weather influences and outlines necessary measures concerning climate change. The consideration of the "human factor" takes a major focus within the research project.

The research report examines various regulatory gaps in relation to weather events. In doing so, the entrepreneurial field of tension is described and the conflict between the need for regulation and the resulting possible restrictions is highlighted. It is shown that the need to adapt regulations arises in particular from the protection of the outdoor workers. In addition, the research report presents recommendations for action, such as the amendment of the “Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen” and the expansion of the “Klimaatlas” of the German Weather Service. State aid (e. g., the extension of the seasonal short-time allowance) is also discussed.

„Der Weise äußert sich vorsichtig, der Narr mit Bestimmtheit über das kommende Wetter.“

[Wilhelm Busch (1832 – 1908)]

1 Einleitung

Ausgangssituation

Wesentliche Teile der Bauproduktion finden unter „freiem Himmel“ statt. Bauunternehmen sind dabei in unterschiedlichster Weise von Witterungsereignissen abhängig. Maßgeblich wird die Witterungsabhängigkeit durch das Gewerk und die hiermit einhergehenden Anforderungen bestimmt. In diesem Zusammenhang prägen üblicherweise die projektspezifischen Randbedingungen für die Verarbeitung von jeweils typischen Materialien die Ausführung der Bauleistung. Allerdings sind für die Art der Witterungsabhängigkeit nicht nur die physikalischen Grenzen der Materialien bestimmend, sondern insbesondere die Belastungs- und Einsatzgrenzen der gewerblichen ArbeitnehmerInnen (im Folgenden auch „Faktor Mensch“ oder „Outdoorworker“).

Im Zuge des Klimawandels ist mit milderen, feuchteren Wintern und heißeren, trockeneren Sommern zu rechnen. Die vergangenen Jahre, insbesondere die Hitzesommer 2018 und 2019, haben bereits erste Eindrücke vermitteln können, mit welchen Arbeitsbedingungen durch hohe Außentemperaturen zukünftig zu rechnen ist.

Bisherige technische und vertragliche Regelungen zu "Schlechtwetter" beziehen sich jedoch vornehmlich auf die Wintermonate. Erhöhte Temperaturen, die eine offensichtliche Einsatzgrenze für den Menschen darstellen, finden hingegen wenig bis keine Berücksichtigung. Dabei können erhöhte Temperaturen v. a. in Verbindung mit körperlicher Belastung sogar lebensgefährliche Folgen nach sich ziehen.

Das ausführende Bauunternehmen ist als Auftragnehmer vertraglich verpflichtet, seine Leistung zu den vereinbarten Terminen zu erbringen. Etwaige witterungsbedingte Verzögerungen, mit denen gemäß VOB/B „normalerweise“ gerechnet werden musste, sind vom Bauunternehmen einzuplanen und zu kompensieren. Da – auch in der aktuellen Rechtsprechung – Uneinigkeit über die „Normalität“ von Witterungsereignissen besteht, wird angesichts drohender Vertragsstrafen oder Schadensersatzansprüche oft weitergebaut – mitunter ohne ausreichende Würdigung der Einsatzgrenzen des ausführenden Fachpersonals.

Zielsetzung und Motivation der Forschungspartner

Das **Ziel** des Forschungsprojekts „KlimaBau“ ist es, den Status quo im Umgang mit Witterungseinflüssen zu erörtern und notwendige Maßnahmen vor dem Hintergrund des Klimawandels zu skizzieren. Dabei soll die Berücksichtigung des „Faktors Mensch“ eine wesentliche Rolle spielen.

Durch das interdisziplinäre Zusammenwirken aus sicherheitstechnischer Expertise (BG BAU), meteorologischer Expertise (DWD) und baubetrieblicher Expertise (IBB) war es möglich, den Forschungsansatz aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten und die jeweiligen Beiträge gemeinsam zu diskutieren.

Sicheres Arbeiten, d. h. die Vermeidung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren steht im Interessensfokus der **BG BAU**. Auch in Deutschland gibt es aufgrund der für große Teile der Bauwirtschaft typischen Tätigkeit im Außenbereich oft wetterbedingte Herausforderungen, denen mit (besonderen) Schutzmaßnahmen begegnet werden muss. Insofern ist es im Interesse des Arbeitsschutzes, diese Faktoren besser zu beschreiben, handhabbarer und transparenter zu machen und damit die Grundlage für ein allgemein akzeptiertes Verständnis für die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für die Beschäftigten zu schaffen. Dieses sollte zukünftig noch mehr als bisher seinen Niederschlag in den Bauverträgen finden.

Als Bundesoberbehörde und teilrechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts erbringt der **DWD** meteorologische Dienstleistungen (z. B. die Wettervorhersage) für die Allgemeinheit oder einzelne Nutzer mit Möglichkeiten zur Aufbereitung von witterungsbezogenen Daten mit statistischer Relevanz. Zusammen mit der Bauindustrie entwickelte der DWD die Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen (SWT). Die SWT, die sich auf die nicht mehr geltenden Schlechtwettergeldregelungen beziehen, sind veraltet und bedürfen einer Novellierung.

Im Rahmen von baubetrieblichen Begutachtungen wird das **IBB** häufig mit Streitgegenständen konfrontiert, bei denen die Witterung die Ursache für Verzögerungen und hierauf basierende Ansprüche darstellt. Dabei ist auffällig, dass die rechtliche Grundlage bzw. individualvertragliche Vereinbarungen regelmäßig uneindeutig sind und eine Auslegung bzw. Werkzeuge zur Bewertung des individuell Gewollten erfordern.

Aufbau des Forschungsberichts

Nachfolgend werden in **Kapitel 2** witterungsbedingte Grenzen bei der Materialverarbeitung und Einsatzgrenzen des „Faktors Mensch“ (nachfolgend zusammenfassend als Grenzwerte bzw. Schwellenwerte bezeichnet) recherchiert und zusammengetragen.

Die Ergebnisse des zweiten Kapitels werden als Ausgangssituation für das **Kapitel 3** verwendet, in dem den theoretisch abgeleiteten Ergebnissen Befragungsergebnisse gegenübergestellt werden. Zudem wird der Unterschied zwischen Regelungsbedarf und Regelungsnotwendigkeit am „unternehmerischen Spannungsfeld“ aufgezeigt. Abschließend werden Anforderungen an und der Umgang mit Schwellenwerten vorgestellt sowie Anforderungen an Klimadaten formuliert.

Sowohl die Zusammenstellung von Schwellenwerten als auch die formulierten Anforderungen bilden die Basis für das **Kapitel 4**. Zunächst werden die Grundzüge des Klimamonitorings und von Klimaprojektionen erläutert. Anschließend werden anhand ausgewählter und für die Baubranche als relevant identifizierter Elemente und Schwellenwerte meteorologische Entwicklun-

gen für Gesamtdeutschland und ausgewählte Örtlichkeiten vorgestellt und Besonderheiten herausgearbeitet.

Kapitel 5 leitet aus den Ergebnissen der Literaturrecherchen und der Befragung die Betroffenheit von Bauunternehmen durch den Klimawandel ab. Dabei sind die Aussagen zu den zukünftig erwartbaren Auswirkungen des Klimawandels in Kapitel 4 wesentlich für die abschließende Bewertung der Betroffenheit.

In **Kapitel 6** werden Anwendungsfelder aus den Erkenntnissen der vorherigen Kapitel definiert und konkrete Handlungsansätze vorgestellt. Ebenso wird der weitere Forschungsbedarf sowohl aus den Anwendungsfeldern als auch weiteren Überlegungen abgeleitet. Das 6. Kapitel schließt mit der Fragestellung, ob die Baubranche im Umgang mit dem Klimawandel „weiter-wie-bisher“ agieren kann oder ob die Auswirkungen des Klimawandels anerkannt werden müssen. Bei einer Anerkennung der Auswirkungen des Klimawandels sollten dann konkrete Schritte sowohl in Bezug auf Anpassungsmaßnahmen für die Bauausführung (Schwerpunkt dieses Forschungsprojektes) als auch in Bezug auf Klimaschutzmaßnahmen eingeleitet werden.

Im abschließenden **Kapitel 7** werden die Ergebnisse zusammenfassend zusammengetragen.

2 Witterungsabhängigkeit der Bauunternehmen

2.1 Allgemeine Erläuterungen

Aus Sicht der Bauausführenden ist die Kenntnis über Witterungsbedingungen für verschiedene Betrachtungshorizonte von Bedeutung: Für die Planung und Durchführung von Bauvorhaben sind für den Auftragnehmer zum einen während des Vergabeprozesses die *kalkulatorische, verfahrenstechnische und vertragliche* Berücksichtigung von wahrscheinlich auftretenden Witterungsereignissen (A) und zum anderen die *tatsächlich auftretenden Witterungsbedingungen* während der Bauausführung (B) von Interesse. Langfristig ist die *zukünftige Entwicklung von Witterungsbedingungen* bzw. des Klimawandels für die strategische Ausrichtung des Unternehmens (C) relevant und dient als wichtige Stellgröße für den vorgelagerten Planungsprozess von Bauwerken.

Daher sind für Bauausführende Wetterdaten und Klimavorhersagen und -prognosen als Informations- und Beurteilungsgrundlage für

- (A) die Kalkulation und individualvertragliche Gestaltung,
- (B) die Geltendmachung von Ansprüchen und
- (C) strategische Entscheidungen

von Bedeutung.

Eine Klimavorhersage ist für die zukünftig „kurzfristige“ Klimaentwicklung unter (A) als Prognose der Witterungsbedingungen für die Dauer einer Baumaßnahme (z. B. für die nächsten 1 – 5 Jahre) relativ unsicher. Daher muss unter (A) auf Beobachtungswerte (historische Daten) zurückgegriffen werden. Diese Datenbasis ist gleichfalls für den Nachweis zur Geltendmachung von Ansprüchen unter (B) heranzuziehen. Da sich beide Perspektiven auf dieselbe Datenbasis beziehen, sollen die gesonderten Aspekte der anspruchsbegründenden Datengrundlage unter (B) im Folgenden unberücksichtigt bleiben.

Für die zukünftig langfristige Klimaentwicklung (C) werden Klimadaten modelliert (Klimaprojektion).

Für die Recherche konkreter Grenzwerte wird der Fokus auf einzelne Gewerke als zielführend erachtet, da verschiedene Gewerke in unterschiedlichem Maße – insbesondere in Abhängigkeit von den verwendeten Materialien und den Einsatzgrenzen des bauausführenden Personals – witterungssensibel sind.

Dennoch ist es das Ziel dieses Kapitels, Grenzwerte für einen möglichst großen Interessenkreis zusammenzutragen. Daher werden in einem ersten Schritt anhand der aktuellsten verfügbaren Handwerkszählung Gewerke mit einer hohen Anzahl von tätigen Unternehmen bzw. hoher Anzahl von insgesamt tätigen Personen innerhalb des Bauhauptgewerbes und des Ausbaugewerbes identifiziert (vgl. Abbildung 1).

| Nr. der Klassifikation ¹ | Gewerbegruppe ----- Gewerbezug | Zulassungspflichtige Handwerksunternehmen* | Tätige Personen im Jahresdurchschnitt 2017 | | | | Umsatz ³ 2017 | | |
|---|--|--|--|---|------------------------------------|----------------|--------------------------|--------------------|----------------|
| | | | insgesamt ² | darunter | | je Unternehmen | insgesamt | je tätige Person | |
| | | | | sozialversicherungspflichtig Beschäftigte | geringfügig entlohnte Beschäftigte | | | | |
| | | | Anzahl | | | 1 000 EUR | EUR | | |
| Zulassungspflichtiges Handwerk insgesamt | | | 439 911 | 4 157 600 | 3 269 136 | 430 404 | 9 | 522 477 517 | 125 668 |
| I Bauhauptgewerbe | | | 70 512 | 724 541 | 605 842 | 45 618 | 10 | 100 321 933 | 138 463 |
| A 01 | Maurer und Betonbauer | | 32 866 | 372 028 | 315 682 | 22 295 | 11 | 57 843 046 | 155 480 |
| A 03 | Zimmerer | | 13 719 | 89 038 | 67 924 | 6 861 | 6 | 10 791 109 | 121 197 |
| A 04 | Dachdecker | | 13 623 | 94 631 | 73 891 | 6 649 | 7 | 9 487 338 | 100 256 |
| A 05 | Straßenbauer | | 5 838 | 123 020 | 110 765 | 6 258 | 21 | 17 421 272 | 141 613 |
| A 06 | Wärme-, Kälte- und Schallschutzisolierer | | 1 266 | 13 105 | 10 842 | 939 | 10 | 1 675 158 | 127 826 |
| A 07 | Brunnenbauer | | 447 | 4 953 | 4 094 | 396 | 11 | 696 219 | 140 565 |
| A 11 | Gerüstbauer | | 2 753 | 27 766 | 22 644 | 2 220 | 10 | 2 407 791 | 86 717 |
| II Ausbaugewerbe | | | 164 826 | 1 267 067 | 991 357 | 104 922 | 8 | 137 022 551 | 108 142 |
| A 02 | Ofen- und Luftheizungsbauer | | 1 892 | 7 722 | 4 889 | 878 | 4 | 894 618 | 115 853 |
| A 09 | Stuckateure | | 4 700 | 30 886 | 23 488 | 2 479 | 7 | 2 999 302 | 97 109 |
| A 10 | Maler und Lackierer | | 34 153 | 207 575 | 155 110 | 16 936 | 6 | 15 970 240 | 76 937 |
| A 23 | Klempner | | 3 688 | 23 999 | 18 076 | 2 140 | 7 | 2 528 159 | 105 344 |
| A 24 | Installateur und Heizungsbauer | | 42 646 | 327 340 | 256 582 | 26 698 | 8 | 38 179 157 | 116 635 |
| A 25 | Elektrotechniker | | 44 292 | 445 803 | 364 761 | 35 382 | 10 | 51 328 227 | 115 137 |
| A 27 | Tischler | | 30 083 | 200 352 | 151 018 | 17 979 | 7 | 22 607 023 | 112 837 |
| A 39 | Glaser | | 3 372 | 23 390 | 17 433 | 2 430 | 7 | 2 515 825 | 107 560 |

Abbildung 1: Auswertung der Handwerkszählung 2017 für das zulassungspflichtige Handwerk¹

In einem zweiten Schritt wird anhand der Ergebnisse der GENESIS-Studie² der DGUV analysiert, welche Gewerke in hohem Maß der Witterung ausgesetzt sind. Die UV-Strahlenbelastung wird dabei als Bezugsgröße zur Bestimmung von „unter freiem Himmel“ arbeitenden Gewerke definiert und damit als Proxy für die Abhängigkeit von direkten Witterungseinflüssen angewendet. In Abbildung 2 sind die durch die GENESIS-Studie identifizierten Berufsgruppen mit der höchsten gemessenen UV-Strahlenbelastung dargestellt. Dem Ausbau zugehörige Gewerke werden in der zu den durch UV-Strahlenbelastung betroffenen Berufsgruppen der GENESIS-Studie nicht aufgeführt. Dieses Ergebnis ist schlüssig, da Ausbaugewerke größtenteils im Gebäudeinneren ihre Tätigkeit ausführen. Somit besteht eine geringere UV-Strahlenbelastung und damit Betroffenheit durch Witterungsereignisse als bei im Bauhauptgewerbe tätigen Unternehmen. Daher ist das Ausbaugewerbe für die weitere Betrachtung als nicht relevant einzuordnen.

¹ Vgl. Statistisches Bundesamt (2019), o. S.

² Vgl. DGUV (o. J.), o. S.



Abbildung 2: Berufe mit der höchsten UV-Strahlenbelastung als Ergebnis der GENESIS-Studie³

Im Ergebnis dieser beiden vorüberlegenden Schritte können folgende Gewerke als besonders untersuchungsrelevant identifiziert werden:

- Betonbauer,
- Maurer,
- Dachdecker,
- Zimmerer und
- Straßenbauer.

³ Wittlich (2017), S. 70.

2.2 Zusammenstellung technischer Grenzwerte

Die Ausführung von Bauarbeiten ist grundsätzlich bei (fast) allen Witterungsbedingungen möglich. Es kommt allerdings darauf an, welche Vorkehrungen für die Durchführung von Bauarbeiten bei „ungünstigen Witterungsbedingungen“ getroffen werden und ob die zu treffenden Vorkehrungen wirtschaftlich sind.

Generell existieren bestimmte Bereiche für Witterungsbedingungen, in denen die Bauausführung ohne besondere Vorkehrungen durchführbar ist. Diese Bereiche unterliegen physikalischen Gesetzmäßigkeiten und sollten im Idealfall über konkrete Grenzwerte beschrieben sein.

Es ist Ziel der nachfolgenden Untersuchung, *meteorologische Elemente mit Grenzwerten zu identifizieren, ab deren Über- bzw. Unterschreitung zusätzliche Maßnahmen durch die Bauausführenden notwendig sind*. Diese Maßnahmen schließen sowohl organisatorische, technische als persönliche („Faktor Mensch“) Handlungsnotwendigkeiten ein.

Für das Vorgehen zur Grenzwertrecherche wurde die in Abbildung 3 dargestellte Systematik erarbeitet. Dabei bildet die VOB/C den Ausgangspunkt der Untersuchung. Darauf aufbauend werden weitere ausgewählte Normen für die Recherche hinzugezogen. Die Ergebnisse werden anschließend um gewerkespezifische Regelwerke und um herstellerepezifische Vorgaben sowie um baustoffbezogene Fachliteratur ergänzt. Forschungsprojekte bzw. -veröffentlichungen zur Witterungsabhängigkeit von Baustoffen finden im Rahmen der vorliegenden Recherche keine Beachtung.

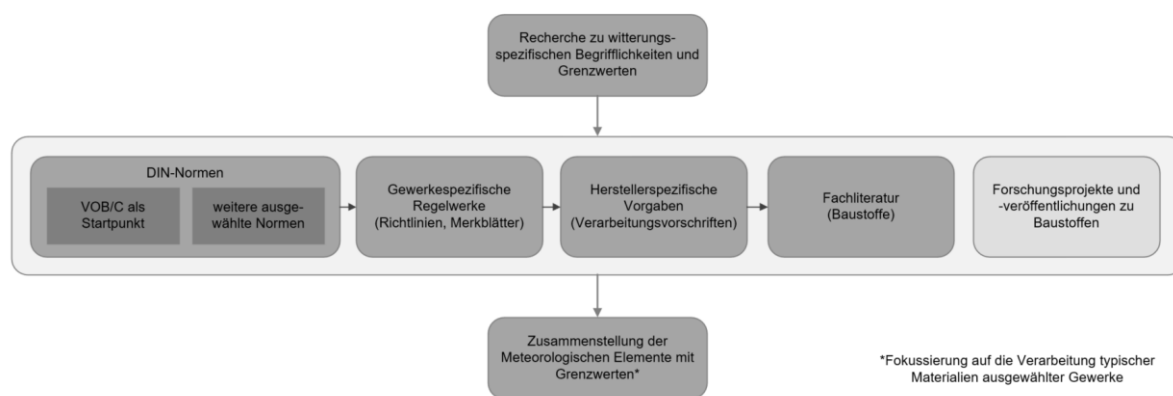


Abbildung 3: Methodik zur Grenzwertrecherche

Während der Recherche wurde deutlich, dass die ausgewählten Gewerke auf einzelne, witterungssensible Prozessschritte und Materialien zu reduzieren sind, um weiterführend konkrete Grenzwerte recherchieren zu können. Folgende witterungssensible Prozessschritte einschließlich Materialien sind Gegenstand der nachfolgenden Untersuchung:

- Betonbauer: Betonage und Nachbehandlung von Beton
- Maurer: Herstellen von Mauerwerk und Aushärten des Mauerwerks

- Dachdecker: Herstellen von Dachabdichtungen mit Bitumenschweißbahnen und Flüssigkunststoff einschließlich Aushärten des Flüssigkunststoffs
- Zimmerer: (mechanisches) Fügen von Holzbindern
- Straßenbauer: Einbringen und Verdichten von Straßenschichten einschließlich der Asphaltsschichten

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass lediglich ein kleiner Ausschnitt des Tätigkeitsprofils der ausgewählten Gewerke betrachtet wird. Beispielsweise ist es auch für den Zimmerer üblich, Dämmmaterialien einzubauen (mit entsprechenden Anforderungen an die Witterungsbedingungen zum Zeitpunkt der Ausführung). Diese „gewerkeübergreifenden“ Leistungen bleiben im Rahmen dieses Forschungsprojekts unberücksichtigt.

Die gemäß der Systematik in Abbildung 3 als relevant identifizierte Literatur ist der Anlage [A1] zu entnehmen.

Zunächst wurde die Literatur hinsichtlich konkreter Grenzwerte und sämtlicher witterungsbezogener Hinweise gesichtet. Es wurde schnell deutlich, dass konkrete Grenzwerte nur vereinzelt benannt wurden und somit der Literatur direkt zu entnehmen waren. Häufig wurden hingegen allgemeine witterungsbezogene Hinweise und Begrifflichkeiten in der technischen Literatur verwendet (z. B. Nässe oder starker Wind), sodass eine Interpretation von witterungsbezogenen Hinweisen erforderlich wurde. In Tabelle 1 sind beispielhafte Interpretationen aus witterungsbezogenen Hinweisen und jeweils anhand eines konkreten Gewerks dargestellt. Eine Zusammenstellung der Definitionen für Klimakenntage bzw. die vorgenommenen meteorologischen Übersetzungen sind dem Glossar zu entnehmen.

| Meteorologisches Element | Zitat | Gewerk (exemplarisch) | Klimakenntag/meteorologische Übersetzung |
|--------------------------|---|-----------------------|--|
| Temperatur | „Die frische aufgebraute Abdichtungsschicht ist vor extremer Wärmebelastung, direkter Sonneneinstrahlung, Frost und Regen und anderen nachteiligen Einwirkungen zu schützen.“ ⁴ | Dachdecker | Frosttag: $T_{\min} < 0 \text{ °C}$ |
| Niederschlag | „Gussasphalt und Offener Asphalt dürfen bei Regen nicht eingebaut werden.“ ⁵ | Straßenbauer | Regentag: $NS \geq 0,1 \text{ mm/m}^2$ |

⁴ DIN 18531-3 (2017), Nr. 5.7.3.3, S. 19.

⁵ ZTV Asphalt-StB (2013), S. 20.

| Meteorologisches Element | Zitat | Gewerk (exemplarisch) | Klimakenntag/meteorologische Übersetzung |
|--------------------------|--|-----------------------|---|
| | „Bildet sich bei Niederschlägen auf der Unterlage ein geschlossener Wasserfilm , darf Asphaltmischgut nicht eingebaut werden.“ ⁶ | Straßenbauer | NS $\geq 1,0 \text{ mm/m}^2$ ⁷ |
| | „Frisch verfügtes Mauerwerk sollte vor starken Regenschauern geschützt werden.“ ⁸ | Maurer | Starkregen: NS ≥ 15 bis 25 mm/m^2 in 1 Std. oder NS ≥ 20 bis 35 mm/m^2 in 6 Std. |
| Wind | „Abdichtungen dürfen bei Witterungsverhältnissen, die sich nachteilig auf die Funktionsschichten der zu erbringenden Leistung auswirken können, nur ausgeführt werden, wenn durch besondere Maßnahmen nachteilige Auswirkungen verhindert werden. Solche Witterungsverhältnisse sind z. B. Temperaturen unter $+5 \text{ }^\circ\text{C}$, Nässe, Schnee und Eis oder starker Wind .“ ⁹ | Dachdecker | Starker Wind: Beaufort 6 |
| Schnee | „Der Beton ist während des Einbaus und Verdichtens gegen schädigende Sonneneinstrahlung, starken Wind, Frost, Wasser, Regen und Schnee zu schützen.“ ¹⁰ | Betonbauer | Schnee $\geq 0,1 \text{ cm}$ ¹¹ |

Tabelle 1: Auswahl an „übersetzten“ Grenzwerten

Im Ergebnis der zuvor vorgestellten Methodik lassen sich die nachfolgend nochmals in Abbildung 4 dargestellten Grenzwerte ableiten, die in die meteorologischen Elemente

- hohe und niedrige Temperatur,
- Niederschlag,
- Wind und
- Schnee

⁶ ZTV Asphalt-StB (2013), S. 20.

⁷ Angenommener Grenzwert zur Interpretation des „geschlossenen Wasserfilms“.

⁸ DIN EN 1996-2 (2010), Nr. 3.6.2 (4).

⁹ Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (2017), Nr. 1.4.

¹⁰ DIN EN 13670 (2011), Nr. 8.4.1 (6), S. 32.

¹¹ Angenommener Grenzwert zur Beschreibung, wann Schnee „liegen bleibt“.

zu unterteilen waren. Zusätzlich zur inhaltlichen Interpretation wurde eine ergänzende baubetriebliche Interpretation vorgenommen, die eine zeitliche Begrenzung von Tätigkeiten berücksichtigt. Dadurch sind die Bedingungen während der üblicherweise tagsüber stattfindenden Bautätigkeit von den nächtlichen Witterungsbedingungen abgrenzbar.

Die verschiedenen Interpretationsebenen sind farblich gekennzeichnet. Grüne Punkte markieren Grenzwerte, die direkt aus der Literatur entnommen werden konnten („vorhandener Grenzwert“). Sofern Begrifflichkeiten zu übersetzen waren (vgl. Tabelle 1), ist dies durch gelbe Punkte gekennzeichnet („Übersetzung von Begrifflichkeiten“). Orange Punkte weisen darauf hin, dass neben der Übersetzung von Begrifflichkeiten weitere sachlogische Aspekte (z. B. zeitliche Begrenzungen) berücksichtigt wurden („sachlogische Herleitung“). Graue Punkte machen deutlich, dass es sich um Annahmen handelt („Annahme“). Beispielsweise wurden für das meteorologische Element „Wind“ überwiegend Annahmen getroffen: Für die in diesem Forschungsbericht betrachteten Tätigkeiten der Gewerke können beim Betonbauer, Maurer, Dachdecker und Zimmerer Krantätigkeiten notwendig werden. Daher bezieht sich der Grenzwert von Windgeschwindigkeiten größer/gleich 12 m/s insbesondere auf Krantätigkeiten.

| | Grenzwert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Technische Grenzwerte | | | | |
|------|---|----------------------------|-----------------------|---------|-------------|-----------|---------------|
| | | | Betonbauer* | Maurer* | Dachdecker* | Zimmerer* | Straßenbauer* |
| ☹️ | $T_{\text{min}} < -3 \text{ °C}$ | ☀️ | ● | | | | ● |
| | $T_{\text{min}} < 0 \text{ °C}$ Eistag | ☀️☾ | ● | | ● | | ● |
| | $T_{\text{min}} < 0 \text{ °C}$ Frosttag | ☀️☾ | ● | ● | ● | | ● |
| | $T_{\text{min}} < 0 \text{ °C}$ Nachtfrosttag | ☾ | ● | ● | | | ● |
| | $T_{\text{min}} < 5 \text{ °C}$ | ☀️☾ | ● | ● | | | ● |
| | $T_{\text{min}} < 5 \text{ °C}$ | ☀️ | ● | ● | ● | | ● |
| | $T_{\text{min}} < 10 \text{ °C}$ | ☀️ | | | | | ● |
| ☹️☀️ | $T_{\text{max}} \geq 25 \text{ °C}$ | ☀️☀️ | ● | | | | |
| | $T_{\text{max}} \geq 25 \text{ °C}$ Sommertag | ☀️☾ | ● | | | | |
| | $T_{\text{max}} \geq 30 \text{ °C}$ heißer Tag | ☀️☾ | ● | ● | ● | | |
| | $T_{\text{G}} \geq 30 \text{ °C}$ | 2 x ☀️☾ | ● | | | | |
| ☁️☔ | $NS \geq 0,1 \text{ mm/m}^2$ Regentag | ☀️ | | | ● | | ● |
| | $NS \geq 1,0 \text{ mm/m}^2$ | ☀️ | ● | ● | | ● | ● |
| | NS: 15 - 25 mm/m ² in 1 Std 20 - 35 mm/m ² in 6 Std Starkregen | ☀️☾ | ● | ● | ● | ● | ● |
| ☁️🌀 | $V_{\text{max}} \geq 12 \text{ m/s}$ | ☀️ | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Beaufort ($V_{\text{G}10(\text{min})} \geq 6$) | ☀️ | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Beaufort ($V_{\text{G}10(\text{max})} \geq 8$) Sturmtag | ☀️ | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Schneehöhe $\geq 0,1 \text{ cm}$ | ☀️☾ | ● | ● | ● | | ● |

| | | | |
|----------|--|--|--|
| Legende: | ☀️ 6:00 bis 18:00 Uhr Annahme: Zeitraum der Bauausführung | ● Vorhandener Grenzwert | * Die Grenzwertangaben beziehen sich auf ausgewählte Prozessschritte der aufgeführten Gewerke. |
| | ☀️☀️ 8:00 bis 16:00 Uhr | ● Übersetzung von Begrifflichkeiten | |
| | ☀️☾ 18:00 bis 8:00 Uhr | ● Übersetzung von Begrifflichkeiten in Verbindung mit sachlogischer Herleitung | |
| | ☀️☾☀️ 24 Stunden | ● Annahme | |

Abbildung 4: Gewerkespezifische Grenzwertdarstellung mit Interpretationsebenen (Verarbeitung von Materialien)

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Zusammenstellung von Grenzwerten ausschließlich theoriegeleitet erfolgte und – zur Generierung konkreter Ergebnisse von witterungsbedingten Einschränkungen – Tätigkeitsausschnitte betrachtet wurden. Eine zusätzliche empirische Auswertung wird in Kapitel 3.1 vorgenommen.

Da die Leistungserbringung nicht nur von physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Materialien abhängt, sondern insbesondere von der Arbeits- und Leistungsfähigkeit der Outdoorworker, werden nachfolgend die Besonderheiten des „Faktors Mensch“ sowie diesbezüglich in der Literatur (teilweise) vorgegebene Einsatzgrenzen vorgestellt.

2.3 Einsatzgrenzen des Faktors Mensch

Unternehmer und Unternehmerinnen sind durch das Arbeitssicherheitsgesetz dazu verpflichtet, ganz allgemein für gesundheitlich zuträgliche Arbeitsbedingungen für ihre Beschäftigten zu sorgen. Das Instrument dafür ist die Gefährdungsbeurteilung, bei der die Gefährdungen am Arbeitsplatz bewertet und ggf. entsprechende Schutzmaßnahmen getroffen werden müssen. Konkrete Grenzwerte im Zusammenhang mit Klimamessgrößen gibt es im Arbeitsschutz jedoch nur für

- die Wärmebelastung (Wet-bulb-globe-temperature-Index – siehe DIN EN ISO „Ergonomie der Thermischen Umgebung – Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index“),
- die Kältebelastung (Index der Erforderlichen Bekleidungsisolation – siehe DIN 33403 Teil 5 „Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen“, Anwendung für Außenarbeitsplätze entsprechend DIN EN ISO 15743 „Ergonomie der thermischen Umgebung – Arbeitsplätze in der Kälte – Risikobewertung und Management) und
- den UV-Index (International Commission for Nonionizing Radiation Protection 2007).

Die in Klammern aufgeführten Quellen stellen keine allgemein verfügbare Trivalliteratur dar. Unabhängig davon ist diese in Bezug auf maßgebliche Grenzwerte unvollständig. So ist offensichtlich und bekannt, dass auch andere (Extrem-)Wetterereignisse wie z. B. Gewitter, Nebel oder Starkregen zu erhöhter Unfall- und Gesundheitsgefährdung führen. Dennoch fehlen hier Untersuchungen zu den Orientierungswerte.

2.3.1 Hitze – Gesundheitsgefahren, Beurteilungskriterien, Grenzwerte

Steigen die Umgebungstemperaturen über 26 °C an,¹² ist generell mit Leistungs- und Konzentrationsabfall, Zunahme von Arbeitsfehlern, Erschöpfung, Ermüdung und Zunahme von Unfällen zu rechnen. Hochgradige Wärmeeinwirkung kann auch zur Belastung des Herz-Kreislauf-Systems, der Atemwege und des Wasser- und Elektrolythaushalts führen, wodurch es – insbe-

¹² Vgl. Kittelmann et al. (2021a), S. 6.

sondere bei schwerer Arbeit, direkter Sonneneinstrahlung und ungenügender Flüssigkeitszufuhr zu Hitzeerkrankungen wie Hitzeerkrämpfen, Hitzekollaps und Hitzschlag kommen kann.¹³

Einflussgrößen der thermischen Belastung sind:

- Lufttemperatur,
- Luftfeuchtigkeit,
- Luftgeschwindigkeit,
- Wärmestrahlung,
- energetische Arbeitsbelastung,
- Wärmeisolation der Bekleidung und
- Expositionszeit.

Verschiedene Klimasummenmaße¹⁴ dienen in der Arbeitswissenschaft dazu, die daraus resultierende komplexe thermische Beanspruchung des Menschen über einem Zahlenwert handhabbar zu machen. Der **WBGT-Index (Wet Bulb Globe Temperature)** kann auch außerhalb von Gebäuden und bei direkter Sonneneinstrahlung angewendet werden und ist die mehrheitlich akzeptierte und am häufigsten verwendete Methode zur Messung von Umweltvariablen bei der beruflichen Wärmebelastung im Freien.¹⁵

Der WBGT-Index berechnet sich aus¹⁶

t_{nw} = Temperatur eines natürlich belüfteten, befeuchteten Thermometers in °C

t_g = Globetemperatur in °C

t_a = Lufttemperatur in °C

wie folgt:

- a) innerhalb und außerhalb von Gebäuden und ohne direkte Einwirkung von Sonnenstrahlung

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{nw} + 0,3 t_g$$

- b) außerhalb von Gebäuden und bei direkter Einwirkung von Sonnenstrahlung

$$\text{WBGT} = 0,7 t_{nw} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

Der WBGT-Index ist strenggenommen nur für die Bewertung zeitlich konstanter Klimabedingungen geeignet.

¹³ Vgl. Kittelmann et al. (2021a), S. 2.

¹⁴ Vgl. DIN 33403-3 (2011), S. 6-12.

¹⁵ Vgl. Glitz et al. (2012), S. 11.

¹⁶ Vgl. DIN EN ISO 7243 (2017), S. 8.

Als Orientierung für die Erträglichkeitsgrenze von Hitzebelastungen für eine 8-Stunden-Schicht gelten nachfolgende Werte (vgl. Tabelle 2), wofür der Arbeitsenergieumsatz klassifiziert werden muss¹⁷.

| Energieumsatz (Klasse) | Energieumsatz [W] | WBGT-Richtwert für akklimatisierte Personen [°C] | WBGT-Richtwert für nicht akklimatisierte Personen [°C] |
|---------------------------|----------------------|--|--|
| Klasse 0 Ruhezustand | 115 | 33 | 32 |
| Klasse 1 niedrig | 180 | 30 | 29 |
| Klasse 2 mittel | 300 | 28 | 26 |
| Klasse 3 hoch | 415 | 26 | 23 |
| Klasse 4 sehr hoch | 520 | 25 | 20 |

Tabelle 2: WBGT_{eff}-Richtwerte für fünf Klassen von Energieumsatzniveaus für akklimatisierte und nicht akklimatisierte Personen¹⁸

Im Erträglichkeitsbereich kann der Körper eine Hitzebelastung noch kompensieren (u. a. durch eine erhöhte Schweißabgabe) und während eines achtstündigen Arbeitstages einen Gleichgewichtszustand aufrechterhalten. Im Ausführbarkeitsbereich ist das nicht mehr möglich.

Der Übergang vom Erträglichkeits- zum Ausführbarkeitsbereich kennzeichnet demnach die Grenze zwischen den Orientierungszonen für Dauorexposition und für Kurzzeitexposition, in der die klimatische Belastung nur mit entsprechenden Entwärmungsphasen für kurze Zeiträume vom Körper toleriert werden kann.

Bei einem Arbeitsenergieumsatz von ≤ 200 W und einer Bekleidungsisolation von ≈ 1 clo lässt sich diese Grenze auf der Basis arbeitsmedizinischer Erkenntnisse für mittlere Luftfeuchte und bei niedrigen Windgeschwindigkeiten näherungsweise mit 27 °C WBGT angeben.¹⁹

¹⁷ Vgl. DIN EN ISO 8996 (2005), S. 21.

¹⁸ Vgl. DIN EN ISO 7243 (2017), S. 13.

¹⁹ Vgl. Glitz et al. (2012), S. 14 (derzeit in Überarbeitung).

Zu beachten ist jedoch, dass für viele bautypische Tätigkeiten sowohl der Energieumsatz als die Bekleidungsisolation in höheren Bereichen liegen und damit eher noch ein niedrigerer WBGT-Orientierungswert anzusetzen ist.

Für die WBGT wurde eine hohe Validität für die Prognose berufsbedingter Wärmebelastung in der Bauindustrie gezeigt.²⁰

Ein Verfahren zur WBGT-Berechnung aus Klimadaten findet sich bei Lemke/Kjellstrom (2012), ein Online-Rechner dazu bei climatechip.org.²¹

Auch außerhalb der Arbeitswissenschaft gibt es Lösungsansätze für das Problem, die verschiedenen Klimagrößen zu einem Zahlenwert für die thermische Belastung zusammenzufassen. Hier ist insbesondere auf den Universellen Thermischen Klimaindex UTCI zu verweisen, der von der Internationalen Gesellschaft für Biometeorologie (ISB) entwickelt wurde, für Hitze- und Kältebelastungen angewendet werden kann und dessen Berechnung online frei zur Verfügung steht.²² Der Deutsche Wetterdienst (DWD) verwendet die auf ähnlichen physikalischen Grundlagen basierende "Gefühlte Temperatur", die in den gemäßigten Breiten Mitteleuropas realistischer sein soll.

Sowohl beim UTCI als auch bei der gefühlten Temperatur fehlt bisher jedoch noch die Möglichkeit, Energieumsatz und Bekleidung als Variablen mit ins Modell einzubringen.

2.3.2 Kälte – Gesundheitsgefahren, Beurteilungskriterien, Grenzwerte

Bereits leichte Abweichungen vom Behaglichkeitsbereich mindern das Wohlbefinden. Auch bei Kälte verringern sich Leistungsfähigkeit, Aufmerksamkeit und das Reaktionsvermögen. Die Unfallgefahr erhöht sich. Beweglichkeit, Sensibilität und Geschicklichkeit sind eingeschränkt. Bei starker Abkühlung kann es zu Gewebeschäden (Erfrierungen) v. a. an den Extremitäten kommen, im Extremfall zu einer Abkühlung des Gesamtorganismus mit Absinken der Körperkerntemperatur sowie zu einem Bewusstseinsverlust.

Die Einflussgrößen für thermische Belastungen bei Kälteexposition sind – Luftfeuchtigkeit ausgenommen – mit denen bei Hitze identisch.

Die Bekleidungsisolation ist bei Kälte der wichtigste Faktor zur Aufrechterhaltung einer ausgeglichenen Wärmebilanz und ein Kernelement des Beurteilungsverfahrens,²³ dessen Anwendung für Kältebelastungen in Innenräumen und auch im Freien empfohlen wird.²⁴

Der Index der erforderlichen Bekleidungsisolation (IREQ) ist ein international genormter Maßstab für die Kältebelastung. Er ist definiert als die resultierende Isolation der Bekleidung, die unter den tatsächlichen Umgebungsbedingungen erforderlich ist, um den menschlichen Körper

²⁰ Vgl. Yi/Chan (2015), S. 1.

²¹ Vgl. ClimateCHIP (2020).

²² Vgl. ClimateCHIP (2020) ; Wojtach (o. J.).

²³ Vgl. DIN EN ISO 11079 (2008).

²⁴ Vgl. Glitz et al. (2012), (wird derzeit überprüft).

bei zulässigen Werten für Körper- und Hauttemperatur im Zustand des thermischen Gleichgewichts zu halten.²⁵

Die detaillierte Beurteilung einer Kältebelastung nach dieser Methode sowie die Berechnung der notwendigen Aufwärmzeiten ist über einen Online-Rechner des Thermal Environment Laboratory der Universität Lund, Schweden möglich.²⁶

Die BAuA verweist zur Beurteilung von Arbeiten im Freien (z. B. Baustellen) auf die DIN EN ISO 15743, für eine orientierende Einschätzung der Gesundheitsrisiken auch auf folgendes vereinfachtes Verfahren nach Krastel (1988), bei dem neben der Lufttemperatur insbesondere die Windverhältnisse berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 5).²⁷

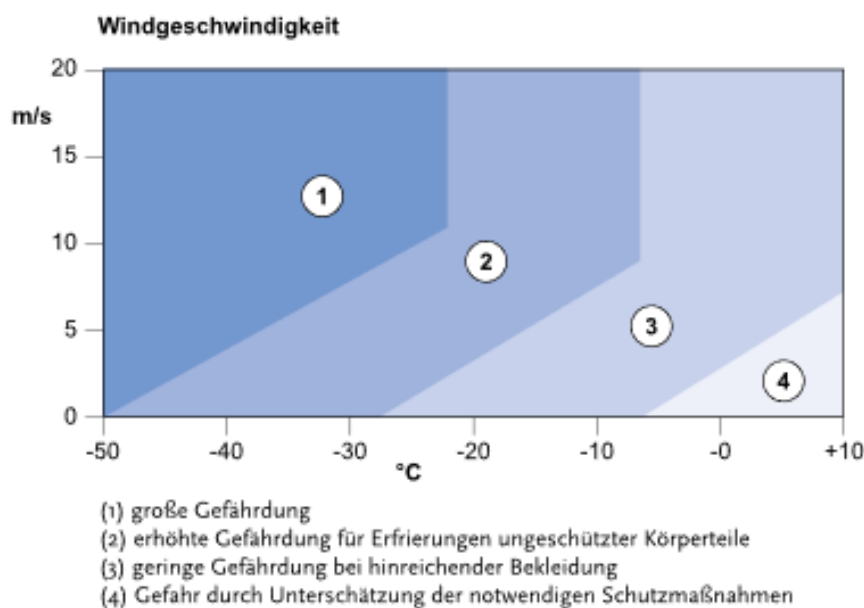


Abbildung 5: Bereiche kalter Klimabedingungen und Gefährdung des Menschen²⁸

Die Graphik in Abbildung 5 zeigt grob, dass etwa ab -5 °C mit erhöhter Gesundheitsgefährdung gerechnet werden muss. Das ist die Temperaturgrenze, ab der auch vermehrte/verlängerte Aufwärmepausen notwendig werden.²⁹

2.3.3 Solare UV-Strahlung – Gesundheitsgefahren, Beurteilungskriterien, Grenzwerte

Die UV-Strahlung der Sonne wird in den Zellen von Haut und Auge absorbiert. Sie kann dort Alterungsprozesse beschleunigen und – bereits auch schon bei geringer Dosis – über eine DNA-Schädigung Hautkrebs auslösen. Daher wurde die UV-Strahlung der Sonne (und künstliche

²⁵ Vgl. Gebhardt/Müller (2000), S. 18.

²⁶ Vgl. Nilsson/Holmér (2008), Online-Rechner.

²⁷ Vgl. Kittelmann et al. (2021b), S. 344.

²⁸ Kittelmann et al. (2021b), S. 344.

²⁹ Vgl. DIN 33403-5 (1997), S. 8.

UV-Strahlung in Solarien) 2012 durch die Internationale Agentur für Krebsforschung IARC in die höchste Risikogruppe 1 "krebserregend für den Menschen" eingestuft.³⁰ Beschäftigte, die im Freien arbeiten (Outdoorworker), gelten danach als besonders gefährdet.

Als Maß für die biologisch wirksame (erythemgewichtete) UV-Strahlung der Sonne wird der UV-Index verwendet. Die Höhe des UV-Index hängt vor allem vom Sonnenstand (wiederum abhängig von der geografischen Breite, Jahres- und Tageszeit) ab. Weitere Einflussfaktoren sind die Gesamtozonkonzentration in der Atmosphäre, die Bewölkung und die Höhenlage des Ortes.

In Deutschland werden im Sommer Werte von 8 bis 9, in den Hochlagen der süddeutschen Gebirgsregionen sogar bis 11 erreicht.³¹

Schutzmaßnahmen sind ab UVI 3 empfohlen, ab UVI = 8 sollte der Aufenthalt im Freien um die Mittagszeit vermieden werden (vgl. Abbildung 6).³²

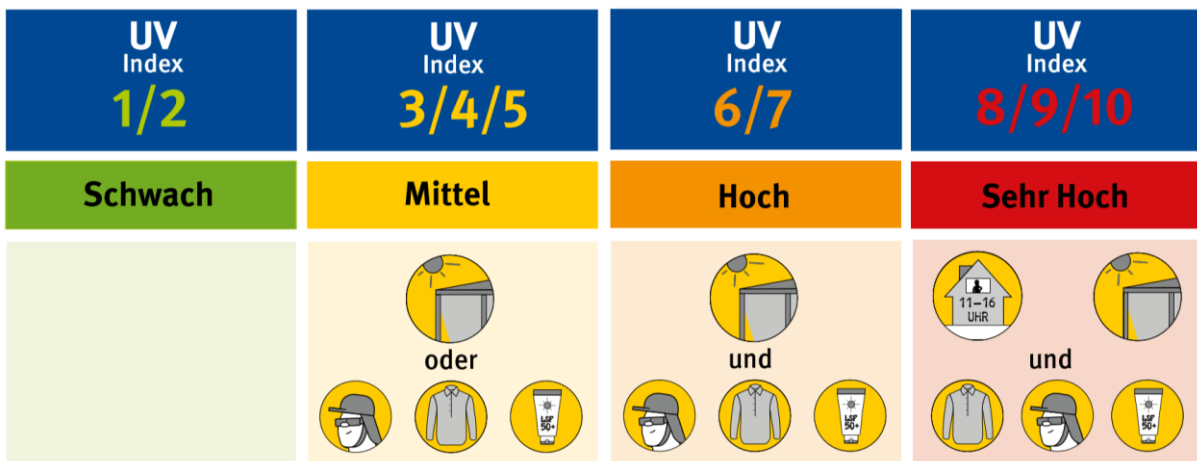


Abbildung 6: UV-Index-Bereiche und Gefährdung/notwendige Schutzmaßnahmen für den Menschen

2.3.4 Zusammenstellung der Grenzwerte für den „Faktor Mensch“

Die existierenden Grenzwerte für den „Faktor Mensch“ sind zunächst grundsätzlich gewerkeunabhängig (vgl. Abbildung 7), wobei die konkreten Tätigkeiten bzw. Arbeitsumstände dennoch einen Einfluss haben können, wie insbesondere bei der Wärmebelastung (hier über Arbeitsenergieumsatz und Kleidung bzw. PSA) dargestellt wurde.

Der Begriff „Faktor Mensch“ darf zudem nicht ganz in den Hintergrund treten, da es sich hier um Individuen handelt, die nicht gleich sind, sondern die sich aufgrund von Alter, Geschlecht,

³⁰ Vgl. International Agency for Research on Cancer (2012), S. 90.

³¹ Vgl. Bundesamt für Strahlenschutz (2019).

³² Vgl. World Health Organization (2002), S. 8; Vecchia (2007), S. 19.

Vorerkrankungen usw. in ihren Leistungsvoraussetzungen und Toleranzgrenzen stark unterscheiden können. Das kann hier zwar nicht explizit betrachtet werden, trägt aber auch dazu bei, dass es sich eigentlich nie um starre Absolutwerte handeln kann.

Bestimmte Belastungen können kurzzeitig toleriert werden. Längerfristig stellen sie jedoch ein Gesundheitsrisiko dar, sodass auch die Expositionsdauer (der Zeitfaktor) relevant ist.

Die in der arbeitswissenschaftlichen Literatur gefundenen Werte stellen sich im Außenbereich – wo sich die Wetterverhältnisse auch schnell ändern können – nicht nur vor diesem Hintergrund zum Teil als Herausforderung für den Anwender dar. Die zugrundeliegenden Sachverhalte mögen komplex und die messtechnischen Grundlagen diffizil sein – solange sie nicht verständlich und handhabbar sind, ist kaum zu erwarten, dass sie in den Unternehmen Anwendung finden.

Weiterhin fehlen Hinweise auf diese Werte in entsprechenden Arbeitsschutzregelwerken. Zwar ist es möglich, Normen als „Regeln der Technik“ in diesem Zusammenhang heranzuziehen, die Zugänglichkeit zu diesen ist jedoch für die Allgemeinheit beschränkt.

Für die Bewertung der solaren UV-Strahlung wurden hier (und derzeit in Deutschland allgemein) der UV-Index und dessen Grenzwerte des INRCP zugrunde gelegt. Insbesondere wäre hierfür eine Übernahme als offizielle Messgröße (mit entsprechenden Werten) hilfreich, um die Verbindlichkeit zu erhöhen.

Valide Werte für Unwettererscheinungen konnten nicht identifiziert werden.




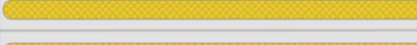

| Legende: | | Grenzwert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Faktor Mensch |
|----------|---|--|----------------------------|---|
| ☀️ | 6:00 bis 18:00 Uhr Annahme: Zeitraum der Bauausführung |  $T_{min} < -5\text{ °C}$ (IREQ) | ☀️ |  |
| ● | Vorhandener Grenzwert, eingeschränkte Handhabbarkeit | $UVI \geq 3$ | ☀️ |  |
| UVI | UV-Index | $UVI \geq 8$ | ☀️ |  |
| WBGT | Wet Bulb Globe Temperature | $WBGT \geq 27\text{ °C}$ | ☀️ |  |
| IREQ | Index der Erforderlichen Bekleidungsisolations | | | |

Abbildung 7: Zusammenstellung an Grenzwerten („Faktor Mensch“)

2.4 Zusammenfassende Grenzwertdarstellung und Bewertung der Ergebnisse

Das Ergebnis der Literaturrecherche zu technischen Grenzwerten bei der Materialverarbeitung und den Einsatzgrenzen des Faktors Mensch ist in Abbildung 8 nochmals zusammenfassend dargestellt. Es zeigen sich für die spezifische Materialverarbeitung gewerkespezifische Unterschiede bei den technischen Grenzwerten. Während für den Betonbauer, Maurer, Dachdecker und Straßenbauer vereinzelt konkrete Grenzwerte der Literatur zu entnehmen waren, konnte für den Zimmerer kein Grenzwert identifiziert werden. Lediglich für Niederschlag und Wind

wurden für den Zimmerer in der Literatur verwendete Begriffe „übersetzt“ bzw. hierzu Annahmen getroffen.

Beim „Faktor Mensch“ gibt es zunächst grundsätzlich keine gewerkespezifischen Unterschiede, wie bereits im Kapitel 2.3.4 dargestellt wurde. Auf Grund individueller Einsatzgrenzen gestaltet sich die Angabe starrer Grenzwerte als problematisch.

| | Grenzwert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Technische Grenzwerte | | | | |
|--|---|----------------------------|-----------------------|---------|-------------|-----------|---------------|
| | | | Betonbauer* | Maurer* | Dachdecker* | Zimmerer* | Straßenbauer* |
| | $T_{min} < -3 \text{ °C}$ | | ● | | | | ● |
| | $T_{min} < 0 \text{ °C}$ Eistag | | ● | | ● | | ● |
| | $T_{min} < 0 \text{ °C}$ Frosttag | | ● | ● | ● | | ● |
| | $T_{min} < 0 \text{ °C}$ Nachtfrosttag | | ● | ● | | | ● |
| | $T_{min} < 5 \text{ °C}$ | | ● | ● | | | ● |
| | $T_{min} < 5 \text{ °C}$ | | ● | ● | ● | | ● |
| | $T_{min} < 10 \text{ °C}$ | | | | | | ● |
| | $T_{min} \geq 25 \text{ °C}$ | | ● | | | | |
| | $T_{min} \geq 25 \text{ °C}$ Sommertag | | ● | | | | |
| | $T_{min} \geq 30 \text{ °C}$ heißer Tag | | ● | ● | ● | | |
| | $T_{\text{G}} \geq 30 \text{ °C}$ | 2 x | ● | | | | |
| | $NS \geq 0,1 \text{ mm/m}^2$ Regentag | | | | ● | | ● |
| | $NS \geq 1,0 \text{ mm/m}^2$ | | ● | ● | | ● | ● |
| | NS: 15 - 25 mm/m ² in 1 Std 20 - 35 mm/m ² in 6 Std Starkregen | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | $v_{max} \geq 12 \text{ m/s}$ | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Beaufort ($v_{\text{akt,Beauf}}$) ≥ 6 | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Beaufort ($v_{\text{akt,Beauf}}$) ≥ 8 Sturmtag | | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Schneehöhe $\geq 0,1 \text{ cm}$ | | ● | ● | ● | | ● |

| | Grenzwert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Faktor Mensch |
|--|----------------------------------|----------------------------|---------------|
| | | | |
| | $T_{min} < -5 \text{ °C}$ (IREQ) | | |
| | $UVI \geq 3$ | | |
| | $UVI \geq 8$ | | |
| | WBGT $\geq 27 \text{ °C}$ | | |

Legende:

- 0:00 bis 18:00 Uhr Annahme: Zeitraum der Bauausführung
- 8:00 bis 16:00 Uhr
- 18:00 bis 8:00 Uhr
- 24 Stunden
- Vorhandener Grenzwert
- Übersetzung von Begrifflichkeiten
- Übersetzung von Begrifflichkeiten in Verbindung mit sachlogischer Herleitung
- Annahme
- Vorhandener Grenzwert, eingeschränkte Handhabbarkeit
- UVI UV-Index
- WBGT Wet Bulb Globe Temperature
- IREQ Index der Erforderlichen Bekleidungsisolierung

* Die Grenzwertangaben beziehen sich auf ausgewählte Prozessschritte der aufgeführten Gewerke.

Abbildung 8: Zusammenstellung der Grenzwerte (Endergebnis)

Es ist abschließend festzuhalten, dass bislang keine Zusammenstellung von witterungsbedingten Grenzwerten existierte. Konkrete Grenzen bei der Materialverarbeitung waren lediglich für niedrige und vereinzelt für hohe Lufttemperaturen der Literatur zu entnehmen. Für Niederschlag, Wind und Schnee wurden in der Literatur zahlreiche unbestimmte Begriffe verwendet. Für die Zusammenstellung der technischen Grenzen wurde daher der Versuch einer Interpretation unternommen, um die Angaben der Normen und Richtlinien anwendbar zu machen. Aus Sicht der AutorInnen kann dies jedoch nicht allein Aufgabe der Unternehmen sein, mögliche Grenzen durch eine „Übersetzung“ unklarer Regelungen zu definieren. Auch wenn für den „Faktor Mensch“ zum Teil Grenzwerte identifiziert werden konnten, fehlt es diesen jedoch an

Handhabbarkeit und – insbesondere angesichts möglicher hoher Gesundheitsrisiken – an Verbindlichkeit, sodass die Anwendung dieser Grenzen in der Praxis als äußerst eingeschränkt zu bewerten ist.

2.5 Grenzen des Modells

Im Rahmen der Literaturrecherche zu meteorologischen Elementen bzw. Witterungsereignissen wurden noch weitere meteorologische Elemente bzw. Erscheinungen identifiziert, die für die Bauausführung relevant sind. Diese sind unter anderem:

- Relative Luftfeuchtigkeit
- Sonneneinstrahlung
- Bodenfeuchte [Trockenheit/Staub]
- Nebel
- Frost/Eis³³/Glätte
- Hagel
- Gewitter

Da entweder keine konkreten Grenzwerte in der Literatur vorhanden bzw. abzuleiten waren oder durch Vorgespräche mit dem DWD festzustellen war, dass ein ausreichender Datensatz im Rahmen des Projekts nicht unmittelbar zur Verfügung gestellt werden konnte, wurden diese meteorologischen Elemente bzw. Erscheinungen für die Untersuchung ausgeschlossen.

Um die Ergebnisse – zumindest für die Materialverarbeitung – anwendbar(er) zu machen, wurde die Makroebene fokussiert, was eine Reihe von Vereinfachungen zur Folge hatte. So treten im Außenbereich stets Kombinationen von meteorologischen Elementen auf, die zu möglichen Beeinträchtigungen führen. Beispielsweise ist das Austrocknungsverhalten von nicht geschalteten Betonoberflächen das Ergebnis des Zusammenspiels aus der relativen Luftfeuchte, der Betontemperatur und der Windgeschwindigkeit.³⁴

Zudem wurde die Untersuchung bei den ausgewählten Gewerken auf einzelne Prozessschritte und Materialien konzentriert, um im Projektrahmen gezielt recherchieren zu können. Die ausgewählten Prozessschritte und Materialien zeigen zwar die wesentlichen und typischen Tätigkeiten auf, jedoch ist das Leistungsspektrum von Unternehmen vielfältig und kann sich auch innerhalb von Gewerken unterscheiden. In Kapitel 3 wird diese enge Betrachtung mit Hilfe empirischer Daten in Form von Umfrageergebnissen aufgebrochen und ausgeweitet.

Zudem bleiben Untergrund- und Materialtemperaturen, mögliche Wetterabfolgen sowie weitere Umgebungsbedingungen wie etwa wetterzu- und wetterabgewandte Seiten der Baustelle

³³ Wobei Frost und Eis mit den meteorologischen Kenntagen „Frosttag“ und „Eistag“ übersetzt wurden.

³⁴ Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 (2004), S. 1.

oder mögliche projektspezifische Besonderheiten (z. B. ein möglicher Wetterschutz durch benachbarte Gebäude, Windschneisen) aufgrund der umfangreichen Komplexität unberücksichtigt.

Wie bereits zuvor erläutert, konnten in der Literatur nur vereinzelt Grenzwerte identifiziert werden, sodass eine „Übersetzung“ in meteorologische Begriffe und Grenzwerte notwendig wurde. Beispielsweise wurden „Eis“ und „Frost“ mit den meteorologischen Kenntagen „Eistag“ und „Frosttag“ übersetzt. Ebenso wurden aufgrund des Mangels an konkreten Grenzwerten Annahmen getroffen. Dies führt zu Unschärfen bzw. Vereinfachungen. Das methodische Vorgehen ist in der Übersicht an Grenzwerten in Abbildung 8 farblich³⁵ gekennzeichnet.

Im nachfolgenden Kapitel 3 werden die theoretisch hergeleiteten Ergebnisse mit Befragungsergebnissen gegenübergestellt, ergänzt und diskutiert. Außerdem werden die Notwendigkeit zur Anpassung von Regelungen aufgezeigt sowie Anforderungen an Daten- und Informationsgrundlagen formuliert.

³⁵ Die Zuordnung der Farben entspricht derjenigen aus Abbildung 4, sodass hier auf die dortigen textlichen Erläuterungen zu verweisen ist.

3 Betroffenheit und Bedarfe aus der Sicht von Bauunternehmen

Die Ergebnisse der Literaturrecherche im vorherigen Kapitel lassen die begründete Vermutung zu, dass vorhandene Normen und sonstige gewerkespezifische Regelungen keine ausreichende Grundlage für einen bewussten Umgang mit Witterungseinflüssen und eine einfache Vertragsgestaltung bieten. Diese Vermutung gilt es nun einerseits zu validieren. Andererseits lässt sich aus dieser Erkenntnis kein unmittelbarer Regelungsbedarf ableiten. Daher werden in diesem Kapitel gemäß Darstellung in Abbildung 9 zunächst die Ergebnisse der Literaturrecherche mit den empirischen Ergebnissen einer durch das IBB durchgeführten Handwerksbefragung (Abschnitte 3.1.1 bis 3.1.3 [orange Felder]) gegenübergestellt und mit zusätzlichen Informationen angereichert. In Abschnitt 3.2 werden Notwendigkeiten zur transparenten Regelung von Witterungsabhängigkeiten beschrieben, die gleichfalls das Spannungsfeld des Bauunternehmers und damit die teilweise unterschiedlichen (und kontroversen) Bedürfnisse des Bauunternehmers aufzeigen. Aus dieser „Rollenbetrachtung“ heraus wird im Folgenden der Begriff „Grenzwert“, der mit starren und verbindlichen Regelungen konnotiert ist, überwiegend durch den Begriff des „Schwellenwertes“ ersetzt.

Anschließend werden in Abschnitt 3.3 Anforderungen an Daten- und Informationsgrundlagen aus Unternehmenssicht formuliert und Möglichkeiten zum Umgang mit Schwellenwerten vorgestellt.

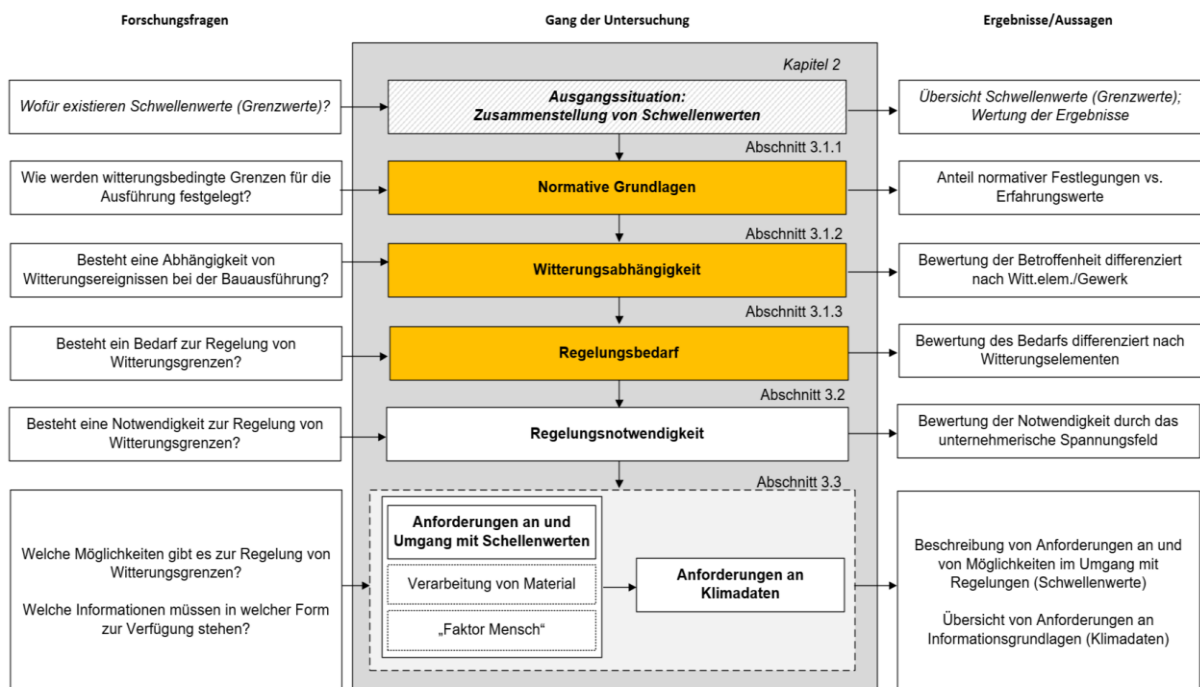


Abbildung 9: Gang der Untersuchung zur Entwicklung von Bedarfen und Anforderungen im Umgang mit witterungsbedingten Grenzen

3.1 Validierung der Literaturrecherche

Im vorhergehenden Kapitel 2 wurden Gewerke identifiziert, die einen Großteil bzw. ihre gesamte Leistungserbringung „unter freiem Himmel“ verrichten. Für die Recherche von relevanten Grenzwerten war es zudem erforderlich, den Tätigkeitsbereich auf einzelne Prozessschritte und ausgewählte Materialien zu reduzieren. In der Praxis ist das Tätigkeitsfeld der Gewerke sehr viel breiter gefasst und kann innerhalb eines Gewerkes auch von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich sein.

Um die Praxis besser abbilden zu können, werden nachfolgend ausgewählte Befragungsergebnisse der

- Handwerkskammer Braunschweig – Lüneburg – Stade,
- Handwerkskammer Südthüringen,
- Handwerkskammer der Schwaben

zur Validierung der theoretischen Ergebnisse hinzugezogen.

Ziel ist es, die theoretischen Grundlagen, um die empirischen Aussagen der Ausführungspraxis zu ergänzen und zu diskutieren. Weiterführend wären ggf. Experteninterviews durchzuführen, um etwaige Abweichungen zu interpretieren.

Anfang des Jahres 2020 wurden insgesamt 5.522 Unternehmen befragt, von denen sich 1.783 dem Bauhauptgewerbe und 3.729 dem Ausbaugewerbes zuordnen lassen. Die in diesem Forschungsprojekt untersuchten Gewerke sind dem Bauhauptgewerbe zuzuordnen und liegen mit einer Rücklaufquote von 6,2 % deutlich über der Rücklaufquote des Ausbaugewerbes mit 3,6 %. Die gewerkespezifische Zusammensetzung der Unternehmen, die an der Befragung teilgenommen haben, ist der Abbildung 48 in Anlage [A 2] zu entnehmen. Insgesamt ist die Rücklaufquote als gering zu bewerten. Jedoch sind nach Aussagen der befragten Handwerkskammern diese Rücklaufquoten für Handwerksbetriebe üblich. Gemäß der Klassifizierung des Statistischen Bundesamtes werden Betonbauer und Maurer in einer Kategorie zusammengefasst.³⁶ Die in Kapitel 2.2 recherchierten Ergebnisse ließen eine ähnliche Witterungsabhängigkeit für den Betonbauer und Maurer bei der Verarbeitbarkeit von Materialien erkennen. Daher können diese Gewerke im Folgenden durchaus – analog zur Klassifizierung des Statistischen Bundesamtes – zusammengefasst betrachtet werden.

3.1.1 Bewertung der Grenzwertbestimmung

Zunächst soll die Frage beantwortet werden, wie Unternehmen unter den aktuellen Voraussetzungen Witterungsbedingungen Grenzen für das Einleiten von Maßnahmen oder gar das Einstellen von Tätigkeiten festlegen. In Abbildung 10 sind die Verteilungen der Befragungser-

³⁶ Vgl. Statistisches Bundesamt (2019), o. S.

gebnisse visualisiert. Die Unternehmen konnten dabei mehrere Antworten wählen. Daraus lässt sich die Bandbreite der Entscheidungsfindung besser abbilden.

Die grauen Balken bilden die Ergebnisse aller Gewerke ab (vgl. Abbildung 48 in Anlage [A 2]). Die farbigen Balken zeigen die Ergebnisse der ausgewählten Gewerke.

Wie in Abbildung 10 dargestellt ist, greifen Unternehmen zur Festlegung von „Grenzen“ überwiegend auf eigene Erfahrungswerte zurück. Die Grenzwertentnahme aus Verarbeitungsrichtlinien und insbesondere aus Normen scheint hingegen eine untergeordnete Rolle zu spielen.

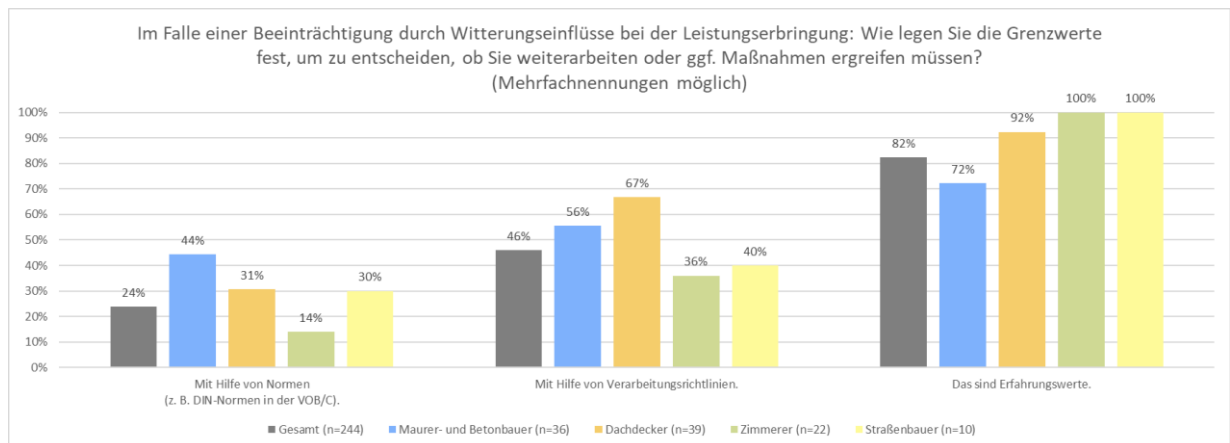


Abbildung 10: Befragungsergebnisse zur Grenzwertbestimmung/-festlegung

Augenfällig ist zunächst, dass alle Unternehmen der **Zimmerer** und **Straßenbauer** angaben, Erfahrungswerte anzuwenden. Insbesondere für die Zimmerer lieferte die Recherche tatsächlich nur wenig konkrete Ergebnisse an Grenzwerten. Insofern erscheint das Ergebnis der Umfrage schlüssig. Lediglich 14 % bzw. 36 % der Zimmerer wenden zusätzlich Normen bzw. Verarbeitungsrichtlinien an. Normative und fachspezifische Regelungen spielen hinsichtlich der Witterungseinflüsse im Vergleich zu den anderen Gewerken die geringste Rolle. Diese Aussagen könnten auf die Verwendung weiterer Materialien als Holz, das ausschließlich bei der Grenzwertrecherche betrachtet wurde, zurückzuführen sein.

Die Straßenbauer gaben ebenfalls einstimmig an, Erfahrungswerte für die Entscheidungsfindung zu Grunde zu legen. Zwar konnten im Rahmen der Recherche für die Straßenbauer Grenzwerte im Bereich der niedrigen Temperaturen identifiziert werden. Konkrete Regelungen für hohe Temperaturen, Niederschlag, Wind und Schnee fehlen jedoch, sodass davon auszugehen ist, dass die Unternehmer hierfür Entscheidungen auf Basis von eigenen Erfahrungswerten herbeiführen.

Auch bei den **Dachdeckern** greifen 92 % auf Erfahrungswerte zurück. 67 % der Dachdecker verwenden Verarbeitungsrichtlinien. Damit sind die Dachdecker im Vergleich zu den übrigen betrachteten Gewerken die Gruppe, für die die Entnahme von Grenzwerten aus Verarbeitungsrichtlinien die größte Rolle spielt. Dieser Eindruck lässt sich durch die Grenzwertrecherche – jedenfalls für hohe Temperaturen – bestätigen, da zahlreiche Hersteller Angaben bei der Verarbeitung von Flüssigkunststoff machten.

Aus den Rohdaten geht hervor, dass insgesamt nur zwei Unternehmen der ausgewählten Gewerke ausschließlich auf Normen zurückgreifen. Diese Unternehmen gehören dem Gewerk der Maurer- und Betonbauer an. Die Grenzwertrecherche in Kapitel 2.2 konnte für die **Maurer- und Betonbauer** eine Vielzahl von Normen identifizieren, in denen vorwiegend auf die 5 °C und 30 °C Grenzen referenziert wird. Dennoch greifen 72 % der befragten Maurer- und Betonbauer auf ihre eigenen Erfahrungswerte zurück. Die Ergebnisse der Grenzwertrecherche (vgl. Abbildung 4) zeigen, dass für Niederschlag und Wind mögliche Grenzwerte abgeleitet bzw. angenommen worden sind. Die unkonkreten Angaben in der Literatur für Niederschlag und Wind könnten die dennoch hohe Anzahl an Antworten der Maurer- und Betonbauer an Erfahrungswerten erklären.

Trotz der Verwendung von Normen und Verarbeitungsrichtlinien greift die Mehrheit der Maurer- und Betonbauer und Dachdecker sowie aller Zimmerer und Straßenbauer, die an der Umfrage teilgenommen haben, auf eigene Erfahrungswerte zur Witterung zurück. Das spiegelt die fachliche Expertise dieser Unternehmen wider, ist jedoch – soweit es nicht durch festgelegte Grenzwerte untermauert ist – ggf. kritisch in Hinblick auf die Vertragsgestaltung und die Nachvollziehbarkeit für andere (insbesondere bezüglich eventueller Bauzeitverlängerung, notwendiger Zusatz-Schutzmaßnahmen und damit verbundener Kostensteigerungen).

Die Erkenntnisse aus den Recherchen im Rahmen dieses Projekts zeigen, dass hier tatsächlich Defizite bestehen, d. h. zumindest für bestimmte meteorologische Elemente **keine konkreten Grenzwerte** existieren und die Entscheidung zur Einleitung von Maßnahmen mehr oder weniger im Ermessen des Unternehmens liegt.

Nachfolgend wird die Witterungsabhängigkeit differenziert nach der Verarbeitbarkeit von Materialien und nach dem „Faktor Mensch“ weiter untersucht.

3.1.2 Bewertung der Witterungsabhängigkeit

Beeinflussung durch Witterung (Material)

Die Recherche zu technischen Grenzwerten (Verarbeitbarkeit von Materialien) in Kapitel 2.2 ergab Unterschiede bei den betrachteten Gewerken. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der befragten Unternehmen auf die Frage, ob und von welchen Witterungsparametern (meteorologischen Elementen) die Leistungserbringung bei der Verarbeitung von Materialien abhängt bzw. beeinflusst wird. Da Mehrfachnennungen zulässig waren, ist die Bandbreite der eingeschätzten Betroffenheit zu erkennen. Hinsichtlich der Interpretation dieser Ergebnisse ist jedoch darauf hinzuweisen, dass keine Aussage über den Grad der Beeinflussung für einzelne meteorologische Elemente getroffen werden kann. Dennoch erlaubt die Häufigkeit der Nennungen einen Rückschluss auf die Bedeutung der jeweiligen Witterungselemente für die ausgewählten Gewerke.

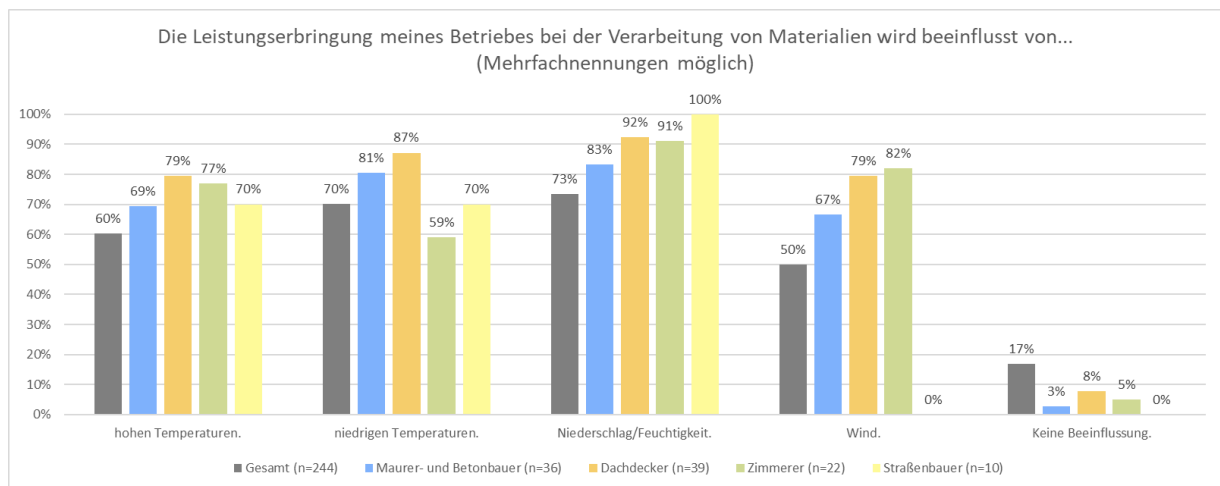


Abbildung 11: Befragungsergebnisse zur Beeinflussung durch Witterung (Material)

Die Darstellung zeigt zunächst (wenig überraschend), dass die Mehrheit der befragten Unternehmen von der Witterung bei der Materialverarbeitung abhängig ist. Zur Orientierung sind die Antworten aller Unternehmen (grauer Balken) angegeben, die an der Befragung teilgenommen haben. Daraus ist erkennbar, dass die in diesem Projekt genauer betrachteten Gewerke im Vergleich zur durchschnittlichen Einschätzung der befragten Branchen (gilt analog auch für die nachfolgenden Ergebnisse) zumeist witterungssensibler sind. Zusätzlich konnten in einem Freitextfeld weitere Witterungsparameter aufgeführt werden. Diese Funktion wurde allerdings selten genutzt.

Übereinstimmend zu den theoretischen Ergebnissen in Kapitel 2.2 sind **Maurer und Betonbauer und Dachdecker** von hohen und niedrigen Temperaturen, Niederschlag und Wind bei der Verarbeitung ihrer Materialien betroffen. Als weitere Witterungsparameter werden Frost, Eis und Schnee benannt, die ebenso mit den Ergebnissen der Grenzwertrecherche übereinstimmen. Zusätzlich wird die Luftfeuchtigkeit als weiteres meteorologisches Element aufgeführt. Da für die relative Luftfeuchtigkeit in der Literatur kein Grenzwert abgeleitet werden konnte, wurde auf die Aufnahme dieses Elementes in der Grenzwerttabelle verzichtet.³⁷

Die in Kapitel 2.2 vorgenommene Grenzwertrecherche konnte für die **Zimmerer** keinerlei Einschränkungen durch sommerliche oder winterliche Temperaturen feststellen. Anders gestalten sich die Ergebnisse der Befragung. Während niedrige Temperaturen für den Zimmerer eine an den gesamten Antworten bemessene unterdurchschnittliche Rolle spielen, werden hohe Temperaturen von fast 80 % der Zimmererunternehmen als die Verarbeitung von Materialien beeinflussend eingeschätzt. Dies kann damit erklärt werden, dass die betrachteten Prozesse und Materialien anders als in Kapitel 2.2 bei der Befragung nicht eingeschränkt wurden. Daher ist es wahrscheinlich, dass weitere Produkte, die bei hohen aber auch niedrigen Temperaturen nicht oder nur erschwert verarbeitbar sind, durch die befragten Unternehmen in Betracht gezogen

³⁷ Ein Unternehmen hat die Stickstoffbelastung angegeben, bei der es sich nicht um ein meteorologisches Element handelt und daher der Ausschluss für eine etwaige weitere Betrachtung erfolgte.

wurden. Niederschlag und Feuchtigkeit wurden von 90 % der Zimmerer als relevant erachtet. Hinsichtlich der Interpretation der Ergebnisse ist darauf hinzuweisen, dass die Bandbreite der verarbeiteten Materialien durchaus beträchtlich sein kann. Neben Holz und Holzwerkstoffen können beispielsweise Dämmstoffe eine hohe Sensibilität gegenüber Feuchte (bzw. Niederschlag) erklären.

Weitere Abweichungen zu den Ergebnissen in Kapitel 2.2 lassen sich bei den **Straßenbauern** feststellen. Konnten in der theoretischen Herleitung keinerlei Anhaltspunkte für die Beeinflussung durch hohe Temperaturen ausgemacht werden, liegen die Antworten der Straßenbauunternehmen mit 70 % über dem Durchschnitt. Wind wurde hingegen von keinem der befragten Unternehmen als relevant eingeschätzt. In der Literatur wurde „starker Wind“ als Kriterium beschrieben, bei dem offener Asphalt (OPA) nicht eingebaut werden darf. Es ist anzumerken, dass die Anzahl von an der Studie teilgenommenen Straßenbauern mit zehn Unternehmen – absolut betrachtet – sehr gering ist, sodass die Ergebnisse nicht allgemeingültig ausgelegt werden können. Gegebenenfalls könnten Experteninterviews an dieser Stelle die Ergebnisse besser interpretierbar machen.

Beeinflussung durch Witterung („Faktor Mensch“)

Obwohl die persönliche Leistungsfähigkeit eines Beschäftigten (Faktor „Mensch“) nicht ursächlich durch das Gewerk bestimmt ist, zeigen die Umfrageergebnisse deutliche Unterschiede zwischen den Unternehmensgruppen bei der Frage nach der Abhängigkeit der Leistungserbringung von verschiedenen Wetterfaktoren.

Begründet werden kann das durch die unterschiedlichen Ausführungsbedingungen, wobei hier insbesondere die Effekte von hohen Umgebungstemperaturen (Material) im Straßenbau bei der Temperatur und die Bodennähe bzw. -ferne der Arbeitsplätze (Dachdecker, Zimmerer, Maurer versus Straßenbau) im Hinblick auf den Wind sichtbar werden.

Der auffälligste – und mit der Literatur (und auch den entsprechenden Prognosen) durchaus in Einklang stehende – Befund wird jedoch beim Vergleich der Abbildung 11 und Abbildung 12 sichtbar: Während die Gesamtwerte der Einschränkungen in den Faktoren niedrige Temperaturen, Niederschlag/Feuchtigkeit bezüglich der Verarbeitbarkeit von Material und Leistungserbringung der Beschäftigten ziemlich übereinstimmen, gibt es bezüglich der hohen Temperaturen einen deutlichen Unterschied. Erheblich mehr Unternehmer (ca. 80 %) sehen hier den „Faktor Mensch“ kritisch, beim Material gaben dies nur 60 % an. Die Hitze erreicht auch unter den Wetterfaktoren hier den höchsten Gesamtwert, während es bei der Materialverarbeitbarkeit der Faktor Niederschlag/Feuchtigkeit (und ggf. niedrige Temperaturen) ist.

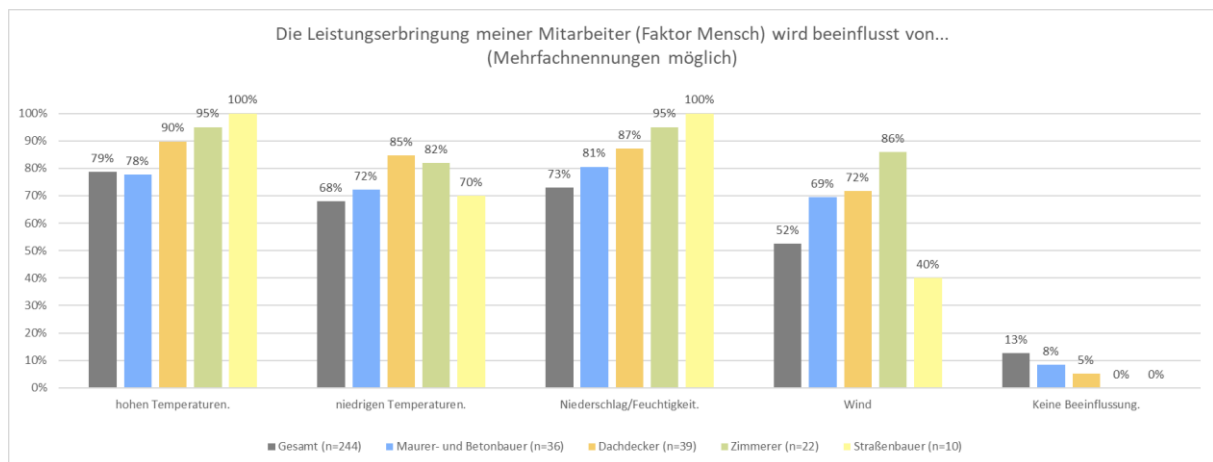


Abbildung 12: Befragungsergebnisse zur Beeinflussung durch Witterung („Faktor Mensch“)

Im Zentrum des nachfolgenden Abschnitts steht die Bedarfsermittlung der ausführenden Unternehmen an Grenzwerten und möglicherweise anzupassenden Regelungen.

3.1.3 Bedarf an anzupassenden Regelungen

Nachdem festgestellt wurde, dass Unternehmen der ausgewählten Gewerke überwiegend auf Erfahrungswerte im Umgang mit Witterungseinflüssen zurückgreifen und eine Abhängigkeit von Witterungseinflüssen abzuleiten ist, soll nachfolgend die Frage nach dem **Bedarf** an Regelungen beantwortet werden.

Den Unternehmen wurde daher im Rahmen der Handwerksbefragung die Frage gestellt, für welche Tätigkeiten witterungsbedingte Grenzwerte fehlen. In Tabelle 3 sind die Antworthäufigkeiten der ausgewählten Gewerke (rechte Spalte) als auch aller befragten Unternehmen (2. Spalte von rechts) aufgeführt. Insgesamt wurden 64 Antworten gegeben, wovon 35 auf die ausgewählten Gewerke zurückzuführen sind. Die Unternehmen konnten „freiwillig“ und ohne weitere Vorgaben auf diese Frage antworten. Dies könnte die maßgebliche Ursache darstellen, weswegen die Antworthäufigkeit als gering zu bewerten ist. Eine Auswahl an Antworten ist in Anlage [A 3] dargestellt.

Die textlichen Antworten der befragten Unternehmen zum Bedarf an Grenzwerten lässt sich zusammenfassend in folgende Kategorien unterteilen:

- *allgemeiner* Bedarf an Grenzwerten,
- Bedarf an Grenzwerten bei der Verarbeitung von Materialien,
- Bedarf an Grenzwerten für die auf den Baustellen tätigen Mitarbeitenden sowie
- *kein Bedarf* an Grenzwerten.

| Für welche Tätigkeiten Ihres Betriebes fehlen Ihrer Meinung nach witterungsbedingten Grenzwerten bei der Ausführung? | | | | |
|--|---|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Aussage | Bereich (allgemein/Material/MitarbeiterInnen) | | # (Gewerke allgemein) | # (ausgewählte Gewerke) |
| Allgemein | | | 6 | 2 |
| Sämtliche der Witterung ausgesetzte Arbeiten | | | 6 | 2 |
| | <i>allgemein</i> | | 2 | 1 |
| | <i>allgemein</i> | <i>Material</i> | 2 | 0 |
| | <i>allgemein</i> | <i>MitarbeiterInnen</i> | 2 | 1 |
| Meteorologisches Element | | | 41 | 25 |
| Lufttemperatur | | | 28 | 20 |
| | <i>allgemein</i> | | 1 | 0 |
| | <i>hohe Lufttemperaturen</i> | <i>allgemein</i> | 11 | 6 |
| | | <i>Material</i> | 4 | 4 |
| | | <i>MitarbeiterInnen</i> | 9 | 8 |
| | <i>niedrige Lufttemperaturen</i> | <i>allgemein</i> | 2 | 1 |
| | | <i>Material</i> | 0 | 0 |
| | | <i>MitarbeiterInnen</i> | 1 | 1 |
| Regen/Niederschlag | | | 3 | 1 |
| Schnee | | | 2 | 2 |
| Wind | | | 3 | 0 |
| Unwetter (Gewitter, Hagel, Schlagregen, Sturm etc.) | | | 3 | 1 |
| UV-Strahlung/Sonnenstrahlung | | | 2 | 1 |
| keine | | | 17* | 8* |

* davon 4 Antworten durch Straßenbauer

Tabelle 3: Befragungsergebnisse zum Bedarf an witterungsbedingten Grenzwerten (Gewerke allgemein n=244, ausgewählte Gewerke n=107; Antwort freiwillig)

Augenfällig ist zunächst, dass die Mehrheit der Unternehmen, die die Frage „freiwillig“ beantworteten, ein Defizit bei den bestehenden Grenzwertregelungen sieht, woraus sich ein Regelungsbedarf ableiten lässt. Ein konkreter Regelungsbedarf zeichnet sich insbesondere für hohe Lufttemperaturen ab (vgl. eine Auswahl an Antworten in Anlage [A3]).

Dennoch lehnen auch 17 (Gewerke allgemein) bzw. acht (ausgewählte Gewerke) Unternehmen weitere Grenzwertregelungen ab. Textliche Begründungen hierfür sind beispielsweise, dass die Entscheidungsfreiheit bei den Unternehmen liegen soll und die Bedingungen baustellenabhängig zu bewerten seien. Auffällig ist, dass vier der acht bzw. 17 Antworten den Straßenbauern zuzuordnen sind. Somit gaben vier von insgesamt zehn Straßenbauern an, keine weiteren Grenzwertregelungen zu benötigen.

Dabei ist zu beachten, dass die Frage nicht nach der Art und Weise der Grenzwertregelungen gestellt wurde. Die Möglichkeiten Grenzwerte anzugeben sind vielfältig. Grenzwerte könnten ebenso als *Empfehlungen* oder als *Richtwerte mit Korridoren* angegeben werden. Hierauf wird in Kapitel 3.3.1 vertiefend eingegangen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der Handwerksbefragung ist zu berücksichtigen, dass lediglich eine Tendenz zum Bedarf an Grenzwerten abgeleitet werden kann. Diese Tendenz ist jedoch durch weitere Untersuchungen zu verifizieren. Zudem ist die Frage mit Vertretern der Gewerke zu diskutieren, welche konkreten Argumente gegen die Regelung von Grenzwerten sprechen.

Das Ziel bei der Erarbeitung von witterungsspezifischen Konzepten sollte es daher sein, die Bedürfnisse der Anwender und der Betroffenen in Einklang zu bringen.

Der Bauunternehmer nimmt hierbei eine besondere (hybride) Rolle ein. Nachfolgend soll das allgemeine Spannungsfeld des Bauunternehmens als Anwender und Betroffener aufgezeigt und auf mögliche Grenzwertregelungen angewendet werden.

3.2 Regelungsnotwendigkeit – Bauunternehmer im Spannungsfeld

Das Bauunternehmen kann

- als **Arbeitgeber** gegenüber seinen ArbeitnehmerInnen,
- als **Fachunternehmen** sowie
- als **Auftragnehmer** gegenüber seinem AuftraggeberInnen auftreten,

wodurch ein Spannungsfeld aus Sicht des Bauunternehmers entsteht (vgl. Abbildung 13). Der Unternehmer ist als Arbeitgeber für die Arbeitssicherheit und die Gesundheit (auch) bei Witterungseinflüssen seiner Mitarbeitenden verantwortlich. Ebenso ist der Unternehmer als Fachunternehmen für eine sach- und fachgerechte Materialverarbeitung (auch) unter der Berücksichtigung von physikalischen Grenzen (z. B. Anomalie des Wassers, Gefrierpunkt) infolge von Witterungseinflüssen verantwortlich. Dabei können die Grenzen für den „Faktor Mensch“ andere sein als beim Verarbeiten bestimmter Materialien. Gleichzeitig muss er als Auftragnehmer die individualvertraglichen Anforderungen der Auftraggeberseite erfüllen. Witterungseinflüsse können dabei leistungsmindernd bis hin zu gesundheitlich gefährdend auf die MitarbeiterInnen wirken.

Generell kann zwar bei „Wind und Wetter“ gebaut werden, jedoch kann diese Frage nur unter Berücksichtigung

- der eingeleiteten technischen und organisatorischen Maßnahmen und
- der damit verbundenen monetären und terminlichen Auswirkungen

beantwortet werden. In diesem Zusammenhang sind auch (bau)vertragliche Fragen mit dem Auftraggeber zu klären. Im Sinne einer transparenten Vertragsgestaltung wird zumindest aus Sicht der AutorInnen empfohlen, diese Aspekte im Vorfeld mit der AuftraggeberIn zu klären. Die zuvor identifizierten aktuellen Regelungsdefizite lassen eine konsequente Umsetzung dieser Vorgehensweise kaum zu.

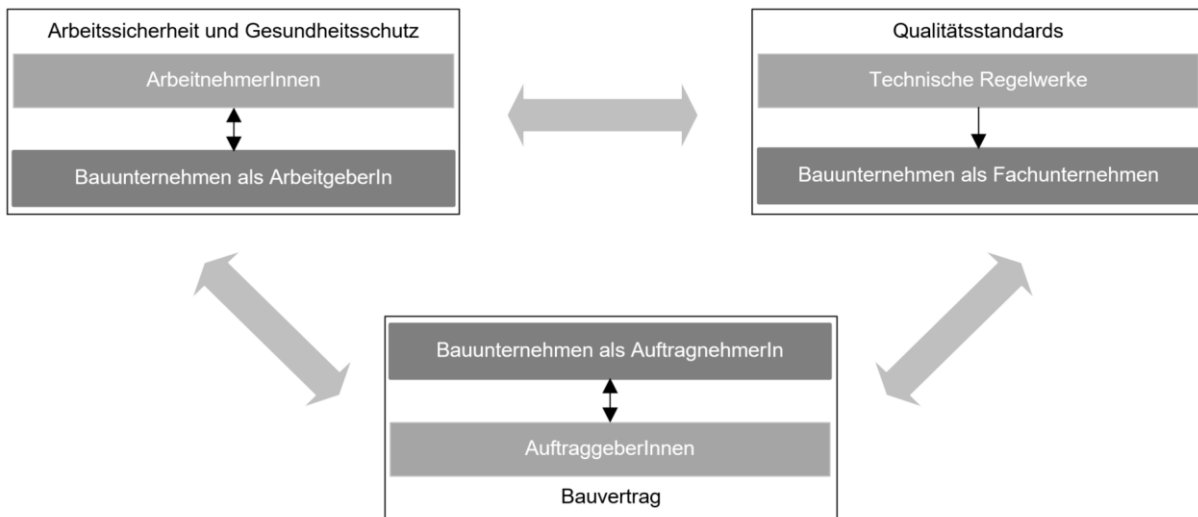


Abbildung 13: Bauunternehmer im Spannungsfeld

Insgesamt sind bei der generellen Berücksichtigung von Witterungsgrenzen und entsprechenden -vereinbarungen mehrere Hürden zu nehmen bzw. Anforderungen zu berücksichtigen. Relevante Grundlagen hierzu werden in den folgenden Abschnitten auszugsweise vorgestellt.

3.2.1 Bauunternehmer als Arbeitgeber („Faktor Mensch“)

Der Arbeitgeber ist hinsichtlich der Arbeitsplatzgestaltung und Arbeitszeitregelung dazu verpflichtet, den Arbeitnehmer nach Möglichkeit vor Gefahren für Leben und Gesundheit zu schützen.³⁸ Diese Fürsorgepflicht ist unabdingbar, das heißt, dass sie arbeitsvertraglich nicht einschränkbar ist.³⁹

Um diesen Schutz zu gewährleisten, muss der Arbeitgeber eine Gefährdungsbeurteilung seiner Arbeitsplätze durchführen,⁴⁰ in der er alle dort möglicherweise auftretenden – das heißt auch durch Witterungseinflüsse bedingte – Gesundheitsrisiken betrachtet und ggf. notwendige Schutzmaßnahmen festlegt. Dazu sind die in Abbildung 14 aufgeführten Schritte erforderlich:

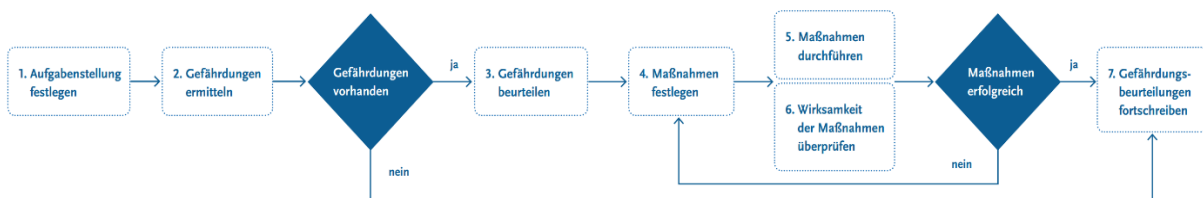


Abbildung 14: Schritte der betrieblichen Gefährdungsbeurteilung⁴¹

³⁸ § 618 BGB.

³⁹ § 619 BGB.

⁴⁰ § 5 ArbSchG.

⁴¹ Modifiziert nach Otto/Kortmann/Gabriel (2020), S. 14 f.

Als für diese Betrachtung wesentliche Schritte werden die Schritte 2 und 3 herausgegriffen.

Schritt 2 („Gefährdungen ermitteln“) erfordert sowohl eine tätigkeitsbezogene als auch eine arbeitsstättenbezogene – dass wäre hier der Außenarbeitsplatz mit seinen Witterungseinflüssen – und eine personenbezogene Betrachtung.

Schritt 3 („Gefährdungen beurteilen“) erfolgt in der Regel durch Vergleich der vorgefundenen Verhältnisse mit normierten Schutzzielen, z. B. Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften.

Bei der Anwendung dieser theoretisch gut beschriebenen, sehr strukturierten Herangehensweise stößt jedoch der Gefährdungsfaktor „Wetter“ auf deutliche Probleme.

Umgebungsklimafaktoren für Arbeitsplätze sind grundsätzlich in der Arbeitsstättenverordnung geregelt. Allerdings sind die Umgebungsklimafaktoren bisher nur für den Innenbereich über Arbeitsstättenrichtlinien ausreichend und allgemeinverständlich konkretisiert.

Für das Baugewerbe als Outdoorbranche werden Wetterfaktoren explizit in der DGUV-Vorschrift 38 „Bauarbeiten“ adressiert:⁴²

„§ 8 Arbeitsplätze und Verkehrswege

(1) Der Unternehmer hat sicherzustellen, dass Arbeitsplätze und Verkehrswege so eingerichtet und beschaffen sind, dass sie entsprechend

- der Art der baulichen Anlage,*
- den wechselnden Bauzuständen,*
- den Witterungsverhältnissen und*
- den jeweils auszuführenden Tätigkeiten*

ein sicheres Arbeiten, Begehen oder Befahren ermöglichen.“

Weiter konkretisiert wird das allerdings hier nicht.

Obwohl sicher jeder eine subjektive Einschätzung treffen kann, ob es gerade zu warm, zu kalt, zu windig usw. ist, bleibt es außerhalb von Extremwerten trotzdem schwierig, diese Faktoren in Hinblick auf die Sicherheit von Arbeitsplätzen zu beurteilen. Ein Grund hierfür ist, dass für eine sachgerechte Bewertung weitere Einflüsse, die sowohl aus der Art der Arbeit, der konkreten Lage des Arbeitsplatzes, aber eventuell auch aus anderen Witterungsfaktoren resultieren, relevant sind.

Eines der besten Beispiele hierfür ist die thermische Belastung bei hohen Umgebungstemperaturen, für die – neben der Lufttemperatur – Luftfeuchtigkeit und -geschwindigkeit, Wärmestrahlung, energetische Arbeitsbelastung, die Wärmeisolation der Bekleidung sowie die Expositionszeit wichtige Einflussgrößen (vgl. Kapitel 2.3.1) sind. Für den daraus zu ermittelnden

⁴² DGUV Vorschrift 38 (2019), S. 9.

WBGT-Index existieren zwar Orientierungswerte, die aber nur von Fachleuten und fast ausschließlich im Innenbereich unter relativ konstanten Bedingungen ermittelt und angewendet werden können.

Für die Belastung durch Kälte ist die Situation etwas einfacher, da hier die Luftfeuchtigkeit nicht beachtet werden muss und es auch keine zusätzliche „Kältestrahlung“ gibt (vgl. Kapitel 2.3.2).

Für die solare UV-Strahlung gibt es mit dem UV-Index einen gut handhabbaren Orientierungswert, der in der betrieblichen Gefährdungsbeurteilung nur mehr Beachtung finden müsste. Dass dies bis heute nicht ausreichend der Fall ist, mag einerseits daran liegen, dass das Wissen zur Schädlichkeit von UV-Strahlung kein Allgemeingut ist und Sonnenbräune teilweise immer noch dem Schönheitsideal entspricht. Unterstützt wird das jedoch auch dadurch, dass der UV-Index bisher nirgends als solcher den Eingang in das Arbeitsschutzregelwerk gefunden hat.

Weitere für Outdoorworker gegebenenfalls relevante Wetterfaktoren wurden im Rahmen dieser Forschungsarbeit aus der Betrachtung ausgeklammert. Ein Grund dafür war, dass in der Literatur keine Angaben dafür gefunden wurden, wann Beschäftigte z. B. durch

- Starkregen,
- Wind,
- Gewitter und
- Nebel

so beeinträchtigt werden, dass ein sicheres Arbeiten nicht mehr möglich ist. Hier besteht offensichtlich Forschungsbedarf.

Im Falle von witterungsbedingten Arbeitsausfällen stehen Betrieben bestimmter Gewerke Ausgleichszahlungen zu, die jedoch bislang überwiegend auf die winterliche Jahreszeit begrenzt sind.

Die Bundesagentur für Arbeit bietet das Saison-Kurzarbeitergeld (S-KUG) an, das zum Ziel hat, ArbeitnehmerInnen aus Arbeitsmangel oder wegen saisonal bedingten Arbeitsausfällen nicht in die Arbeitslosigkeit zu entlassen. Das S-KUG gilt für „*Betriebe des Bauhauptgewerbes, des Dachdecker-handwerks und des Garten-, Landschafts- und Sportplatzbaus [...] und Betriebe des Gerüstbaus [...]*“⁴³ Diese können in der Schlechtwetterzeit von 01. Dezember bis 31. März bzw. für Betriebe des Gerüstbaus von 01. November bis 31. März S-KUG beziehen.⁴⁴ Weitere Leistungen sind das „*umlagefinanzierte Wintergeld als Zuschuss-Wintergeld und Mehraufwands-Wintergeld*“⁴⁵. Diese Leistungen zielen dabei lediglich auf winterliche Bedingungen ab. Die Sozialkasse der Dachdecker (SOKA DACH) bietet ihren Mitgliedern ein Aus-

⁴³ Bundesagentur für Arbeit (2020), S. 7.

⁴⁴ Vgl. Bundesagentur für Arbeit (2020), S. 7.

⁴⁵ Bundesagentur für Arbeit (2020), S. 30.

fallgeld für witterungsbedingte Arbeitsausfälle auch außerhalb der Winterperiode an. Bislang wurden Arbeitsausfälle außerhalb der Winterperiode nur im April, Oktober und November anerkannt. 2020 wurden erstmals die Monate Juni bis September ergänzt, in denen der Arbeitnehmer Anspruch auf ein Ausfallgeld⁴⁶ hat. Diese Ergänzung wurde zunächst auf das Jahr 2020 befristet.⁴⁷ Ob die Ergänzungen um die Sommermonate beibehalten wird, bleibt abzuwarten. Um S-KUG oder Ausfallgeld zu beantragen zu können, müssen keine Nachweise über die tatsächliche Beeinträchtigung durch Witterungseinflüsse erbracht werden. Allerdings sind bestehende Arbeitszeitkonten zu berücksichtigen bzw. entsprechend abzubauen. Da den ArbeitnehmerInnen durch die Zahlung des S-KUG und des Ausfallgelds im Vergleich zu Ihrem üblichen Lohn finanzielle Einbußen entstehen, sind diese aus finanziellen Gründen bestrebt, weiterzubauen – sofern dies möglich und sinnvoll ist.

Weiterhin ist an dieser Stelle die Rolle des Bauherrn aufzuführen. Der Bauherr hat gemäß Bauordnungsrecht grundsätzlich die Pflicht zur Verkehrssicherung der Baustelle gegenüber Dritten und gegenüber den auf der Baustelle Beschäftigten. Im Rahmen der Baustellenverordnung (BaustellV) hat der Bauherr zudem unter den in der Verordnung genannten Voraussetzungen Sorge zu tragen, dass „*vor Einrichtung der Baustelle ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan erstellt wird*“⁴⁸. Hierdurch werden durch den Bauherrn bzw. entsprechend beauftragte Organisationen und Personen im Rahmen ihrer Verkehrssicherungspflichtigen Maßnahmen zum Schutz der auf den Baustellen Beschäftigten aufgezeigt, um eine unternehmens- bzw. gewerkeübergreifende Koordination sicherzustellen. Ein Ziel der BaustellV besteht in der „*wesentlichen Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten auf Baustellen*“⁴⁹. Die Aufnahme der Thematik von Witterungseinflüssen in den Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan – im Speziellen von Schutzmaßnahmen (und Schwellenwerten) bei Hitzebelastung und UV-Strahlung – ergeben sich aus der BaustellV und der Regel zum Arbeitsschutz auf Baustellen 31 (RAB 31). Diese konkretisiert grundsätzlich den Inhalt und die Form von Sicherheits- und Gesundheitsschutzplänen, explizit – *bisher* – jedoch nicht.

Zudem sei an dieser Stelle an die Befragungsergebnisse erinnert (vgl. Kapitel 3.1.3), aus denen sich ein genereller Bedarf nach zukünftigen Regelungen explizit für Außenarbeiten bei hohen Temperaturen ableiten lässt. Das kann auch als Wunsch der Unternehmer interpretiert werden, z. B. mit dem Bauherrn die Risiken bezüglich der notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit der Mitarbeiter vor Witterungseinflüssen ab einem gewissen Punkt teilen zu können.

⁴⁶ Das Ausfallgeld ist auf höchstens 53 Stunden pro Kalenderjahr begrenzt (vgl. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks/Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (2020), S. 5).

⁴⁷ Vgl. Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks/Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (2020), S. 5.

⁴⁸ § 2 (3) Satz 1 BaustellV.

⁴⁹ § 1 (1) BaustellV.

3.2.2 Bauunternehmer als Auftragnehmer und Fachunternehmen

Die Berücksichtigung von Witterungsereignissen ist grundsätzlich bereits in der Angebotsphase erforderlich, um beispielsweise terminliche und/oder preislich relevante Maßnahmen bzw. Puffer einzukalkulieren. Spätestens bei Vertragsschluss sollten jedoch unmissverständliche vertragliche Regelungen vereinbart werden, um das unscharfe Bild der üblicherweise vereinbarten Regelungen der VOB/B klarer zu zeichnen. Nach § 6 Abs. 2 Nr. 2 **VOB/B** gelten „*Witterungseinflüsse während der Ausführungszeit, mit denen bei Abgabe des Angebots normalerweise gerechnet werden musste, [...] nicht als Behinderung.*“ Das bedeutet, dass etwaige witterungsbedingte Verzögerungen, mit denen normalerweise gerechnet werden musste, vom Bauunternehmen zu kompensieren sind. Da – auch in der aktuellen Rechtsprechung – die konkrete Abgrenzung "normaler" Witterungsereignisse unklar ist und nicht nach einheitlichen Maßstäben erfolgt, wird angesichts drohender Vertragsstrafen oder Schadensersatzansprüche vorzugsweise weitergebaut. Dies erfolgt dann zu Lasten des Unternehmers und damit, unter Umständen, seiner ArbeitnehmerInnen.

Zu einem VOB-Werkvertrag gehören auch die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV) des Teils C der VOB. **ATV** enthalten ausführlichere Regelungen zur Ausführung und Abrechnung einzelner Leistungsbereiche bzw. Gewerke als die VOB/B. Wie in Kapitel 2.2 deutlich wurde, werden konkrete Grenzwertregelungen lediglich vereinzelt vorgegeben: Beispielsweise sind in der ATV DIN 18331 „Betonarbeiten“ im Punkt 4.2.10 „*Vorsorge- und Schutzmaßnahmen für das Betonieren bei Lufttemperaturen unter 5 °C sowie bei über einen Zeitraum von 48 h anhaltenden Lufttemperaturen von durchschnittlich über 30 °C vor dem Betonieren*“ als Besondere Leistung angegeben und damit zusätzlich vergütungsfähig. Für „Zimmerer- und Holzbauarbeiten“ finden sich in der ATV DIN 18334 hingegen weder konkrete Regelungen noch allgemeine Aussagen zu Witterungseinflüssen wieder.

Wie am Beispiel „Zimmerer- und Holzbauarbeiten“ gezeigt wurde, stellen die konkreten Grenzwertangaben wie bei den „Betonarbeiten“ eine Ausnahme dar. Zur Beschreibung „ungeeigneter Witterungsverhältnisse“ überwiegen in den ATV allgemeine Aussagen und unklare Begrifflichkeiten. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Analyse der **weiterführenden Normen und Verarbeitungsrichtlinien** in Kapitel 2.2: Unbestimmte Witterungsbegriffe dominieren gegenüber klaren und eindeutigen Grenzwerten. Eindeutige Grenzwerte werden lediglich für den Bereich der niedrigen Lufttemperaturen definiert, wobei für den Straßenbauer insgesamt vier Grenzwerte entnommen werden konnten.⁵⁰ Für den Zimmerer konnten auch in weiterführenden Normen und Verarbeitungsrichtlinien für die Verarbeitung von Holz (hier: mechanisches Fügen von Holzbindern) keinerlei Grenzwerte in Normen und Verarbeitungsrichtlinien identifiziert werden.

Anmerkend sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich im Bauvertragsrecht des **BGB** keinerlei Bezüge zu Witterungsbedingungen während der Bauausführung finden lassen.

⁵⁰ Vgl. ZTV Asphalt-StB (2013), S. 20.

Dieser kurze Abriss zeigt, dass übliche Vertragsgrundlagen nicht dazu geeignet sind, das Witterungsrisiko zwischen den Vertragsparteien klar zu regeln. Um die Transparenz im Umgang mit Witterungsumständen zu erhöhen, bedarf es daher **individualvertraglicher Regelungen** zwischen den Vertragspartnern. Die in Kapitel 2.2 durchgeführte Recherche hat deutlich gemacht, dass hierfür *gewerkespezifische Unterschiede und Besonderheiten* bestehen. Daher wäre im Idealfall zu empfehlen, zwischen Unternehmen und Auftraggebern Grenzwerte für meteorologische Elemente zu vereinbaren, die bei der Leistungserbringung des Unternehmens auch tatsächlich relevant sind. Da der Unternehmer in der Wahl seiner Produkte frei ist – sofern nichts anderes vereinbart wurde – sind neben gewerkespezifischen Besonderheiten insbesondere *herstellerspezifische Angaben* zu beachten. Beispielsweise ergaben sich für die Dachdecker im Rahmen der Grenzwertrecherche in Kapitel 2.2 durchaus Unterschiede bei den Herstellerangaben für die Verarbeitung von Kunststoffen. Die Verarbeitungsvorgaben der Hersteller sind zwingend einzuhalten, um die zugesicherten Eigenschaften des Materials zu erreichen. Andernfalls kann es zu Mängeln kommen, die alleinig vom ausführenden Unternehmen als Fachunternehmen zu vertreten sind. Häufig werden individuelle Vereinbarungen zu Ausführungsgrenzen bei Witterung jedoch „ausgespart“. Nicht selten endet dies in Uneinigkeit bzw. Streitigkeiten zwischen den Vertragsparteien.

Auch die Befragungsergebnisse haben gezeigt, dass die Unternehmen (aller ausgewählten Gewerke) überwiegend auf Erfahrungswerte zurückgreifen, um entsprechende Maßnahmen abzuleiten (vgl. Kapitel 3.1.1), die notwendigerweise mit Kosten und oder terminlichen Konsequenzen verbunden sind.

3.2.3 Zusammenfassung des Bedarfs an Schwellenwerten und anzupassenden Regelungen

Im Ergebnis wird zunächst deutlich, dass witterungsbedingte Grenzwerte für die Bauausführung nur vereinzelt in Regelwerken aufgeführt sind. Auffällig ist die verhältnismäßig hohe Regelungsdichte für niedrige Lufttemperaturen. Dabei nimmt die 5 °C – Grenze einen besonderen Stellenwert ein. Ebenso finden sich für hohe Lufttemperaturen vereinzelt konkrete Grenzwerte. Für alle anderen Bedingungen des Niederschlags, des Windes und des Schnees konnten ausschließlich Interpretationen vorgenommen bzw. Annahmen getroffen werden, da keine Grenzwerte konkret benannt wurden (vgl. Abbildung 8).

Aus der Handwerksbefragung lässt sich ein Bedarf an Grenzwerten insbesondere für hohe Lufttemperaturen formulieren. Dieses Meinungsbild könnte auf die Erfahrungen der vergangenen Hitzesommer zurückzuführen sein. Die häufig auftretenden Hitzesommer in der nahen Vergangenheit könnte die Relevanz bei den Teilnehmern der Umfrage durchaus beeinflusst haben. Niederschlag und Wind hingegen gehören seit jeher zu den üblichen Bedingungen der Bauausführungen und könnten daher als durch die Bauunternehmen „gegeben“ hingenommen werden. Zur Verifizierung der Umfrageergebnisse sind weiterführende Untersuchungen notwendig. Hierbei ist zu klären, ob ein ebenso großer Bedarf zur Schärfung von weiteren Witterungsverhältnissen wie für hohe Temperaturen besteht.

Letztlich sollen klare und eindeutige Regelungen dazu beitragen, die Handlungssicherheit des Bauunternehmens zu erhöhen. Es sollte festgelegt werden, ab bzw. unterhalb welcher Grenzen Maßnahmen zusätzlich vergütet werden und Bauzeitverlängerungsansprüche geltend gemacht werden können. Dabei sollte der Bauunternehmer bestrebt sein, neben verarbeitungs- auch arbeitsschutzrelevante Regelungen in den Vertrag mit dem Auftraggeber zu integrieren, um keine betriebswirtschaftlichen Nachteile zu erlangen.

Um die für die Arbeiten notwendigen Schutzmaßnahmen für die Beschäftigten umsetzen zu können – ggf. auch außerplanmäßig und ohne den Konflikt mit bauvertraglich vereinbarten Arbeitsleistungen, Kosten und Terminen – sollte aus Sicht der ausführenden Unternehmen angestrebt werden, dies im Bauvertrag eindeutig zu regeln. Im Ergebnis ist vertraglich klar abzugrenzen bzw. zu definieren, welche Witterungseinflüsse „normal“ und durch das Angebot des Bauunternehmens abgedeckt sind und somit im Rahmen des unternehmerischen Risikos desselben liegen.

Werden konkrete Regelungen zwischen den Vertragsparteien bzw. mit den Mitarbeitenden getroffen, sind konsequenterweise neben Schwellenwerten ebenso Datenquellen zu benennen, d. h. es sind

- Messpunkte zur Ermittlung der Werte für meteorologische Elemente und
- Zeitpunkte bzw. -intervalle zur Aufnahme der Messdaten

festzulegen. Andernfalls würde die Bezugsbasis zur Kontrolle der Schwellenwertüberschreitung bzw. -unterschreitung fehlen, welches ebenfalls ein Konfliktpotential darstellen kann.

Um die bislang nicht ausreichenden vorhandenen Regelungen zum Schutz der am Bau Tätigen und zur scharfen Abgrenzung des Witterungsrisikos zwischen den Vertragspartnern zu ergänzen, könnte zukünftig eine individualvertragliche Fixierung von klaren und eindeutigen Regelungen Abhilfe schaffen. Dadurch wird die **Handlungssicherheit** erhöht und definiert, ab bzw. unterhalb welcher Grenzen Maßnahmen zusätzlich vergütet werden und Verlängerungsansprüche der Bauausführung geltend gemacht werden können.

3.3 Mögliche Anpassungen von Regelungs- und Datengrundlagen

Um einen wirklichen Mehrwert bei der Behandlung des Witterungsthemas für Bauunternehmen zu schaffen, sind Anforderungen zu definieren, wie und in welcher Form Anpassungen sinnvoll für Anwender und Betroffene gestaltet werden können.

Im Folgenden ist sowohl auf **Schwellenwerte** als auch auf **Klimadaten** einzugehen. Entsprechende Informationen hierzu müssten den Vertragsparteien zukünftig von einem Dienstleister „objektiv“ zur Verfügung gestellt werden.

Einige Anforderungen an Schwellenwerte bzw. Grenzwerte und Klimadaten wurden dabei in Kapitel 2 und in den vorherigen Anschnitten aus den Ergebnissen abgeleitet. Diese Anforderungen sollen an dieser Stelle zusammengetragen und erweitert werden.

3.3.1 Anforderungen an und Umgang mit Schwellenwerten

Neben der Form von konkreten Werten bzw. Verarbeitungsgrenzen ist der zukünftige sinnstiftende Umgang mit Schwellenwerten bzw. Grenzwerten zu erörtern.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass der in Kapitel 2 verwendete Begriff „Grenzwert“ in den nachfolgenden Kapiteln überwiegend mit dem Begriff „Schwellenwert“ ersetzt wurde. In den Gesprächen mit Unternehmern wurde deutlich, dass der Begriff „Grenzwert“ bereits eine Verbindlichkeit suggeriert und damit teilweise von Vorherein auf Ablehnung stößt.

Schwellenwerte können in verschiedenen Formen angegeben werden. Diese kann

- als konkreter Absolutwert (z. B. 5°C),
- als Absolutwert mit Schwankungsgrenzen (z. B. 5°C +/- 2 K) oder
- als Korridor (z. B. 0 °C bis 5°C)

angegeben werden.

Hinsichtlich des Umgangs mit Schwellenwerten kann durch die Aufnahme in Normen und Regelwerken ein Verbindlichkeitscharakter hergestellt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit von Empfehlungen an Schwellenwerten oder Orientierungswerte sowohl bei der Verarbeitung von witterungssensiblen Materialien als auch für die Einsatz- und Belastungsgrenzen der im Freien Beschäftigten.

Nachfolgend werden Vorschläge für die Handhabung von Schwellenwerten für die Bauausführung unterbreitet und mögliche Konsequenzen der Gestaltung von Schwellenwerten diskutiert.

3.3.1.1 Spezifische Anforderungen an Schwellenwerte

Verarbeitbarkeit von Material

Schwellenwerte können *eindeutig gewerkespezifisch* beschrieben werden wie es z. B. in der ATV DIN 18331 „Betonarbeiten“ mit der 5°C-Grenze der Fall ist. Ebenso können Schwellenwerte unabhängig von den Gewerken (*eindeutig allgemeingültig*) beschrieben werden, wie dies bei den Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen (SWT)⁵¹ Anwendung findet. Allerdings ist eine allgemeingültige Definition von Schwellenwerten abzulehnen, da viele Spezifika in Abhängigkeit des Gewerks und der speziellen Tätigkeiten bestehen. Dies wurde zuvor ausführlich erörtert.

Eine weitere Variante der Schwellenwertvorgabe ist die Angabe von *Korridoren*. Korridore sind insbesondere dann sinnvoll, wenn verschiedene Stufen der „Beeinträchtigung“ unterschieden werden sollen. Die SWT nutzen die Angabe von Korridoren, um die Behinderungsstufen „ungünstig“, „erschwert“ und „sehr erschwert“ zu unterscheiden. Aus Gründen der Vereinfachung

⁵¹ Eine Novellierung der SWT wird in Kapitel 6.1.1 vorgestellt.

chung und Praktikabilität wäre jedoch ein eindeutiger (und gewerkespezifischer) Schwellenwert als ein Wert definieren, ab dessen Über- oder Unterschreitung Maßnahmen notwendig sind, die zu Ansprüchen führen.

„Faktor Mensch“

Schwellenwerte für den Faktor „Mensch“ müssen arbeitswissenschaftlich begründet sein, damit sie einerseits den Schutz der Gesundheit der Beschäftigten auch wirklich gewährleisten und andererseits auch als sinnvolle Grenze für Tätigkeitsbeschränkungen gelten können. Das schließt ein, dass Arbeitsplatzfaktoren wie Arbeitsschwere und PSA – sofern von Relevanz – durch sie berücksichtigt werden.

Aufgrund der Nichtnormierbarkeit menschlicher Eigenschaften (Alter, Geschlecht, Konstitution usw.) und der Notwendigkeit der Berücksichtigung von Expositionszeiten ist es hier besonders schwierig, allgemeingültige Absolutwerte festzulegen. Insofern gelten diese Schwellenwerte hier für „Durchschnittsmenschen“ bzw. nur unter bestimmten Voraussetzungen, wobei ggf. Sonderregelungen für besonders vulnerable Beschäftigtengruppen und Einschränkungen im Hinblick auf das Individuum notwendig sind, die im Regelfall nur durch den Betriebsarzt festgestellt werden können.

Auch wenn sich Grenz- oder Orientierungswerte nicht allein über eine einzelne wetterphysikalische Größe darstellen lassen, sondern weitere Wetter- oder Arbeitsplatzfaktoren berücksichtigt werden müssen, wird das Ziel einer Erhöhung des Schutzes der Gesundheit von MitarbeiterInnen am besten erreicht, wenn diese verständlich formuliert, frei verfügbar und einfach mit IST-Werten zu Klimadaten abzugleichen sind.

3.3.1.2 Umgang mit Schwellenwerten und weiterführende Überlegungen

Zum Umgang mit Schwellenwerten existieren unterschiedliche Ansätze (und Ansichten). Schwellenwerte könnten beispielsweise *verbindlich* in den *ATV der VOB/C* und in *weiteren Normen* ergänzt werden. Die in Kapitel 2.2 analysierten Normen und gewerkespezifischen Regelwerke haben dabei überwiegend auf die Verarbeitung von konkreten Materialien bzw. Materialgruppen abgehoben, sodass materialspezifische Schwellenwerte ergänzt werden könnten. Es wäre daher zu überlegen, witterungsbedingte Schwellenwerte in sämtlichen Normen und gewerkespezifischen Regelwerken, in denen die Verarbeitung von Materialien während der Bauausführung geregelt wird, zu integrieren. Da sowohl

- der mögliche Forschungsaufwand zur Ermittlung möglicher Schwellenwerte und
- der anschließende Änderungsaufwand zur Integration in die Normgebung

erheblich sind, ist der Ansatz zur Aufnahme von Schwellenwerten in Normen und Regelwerken bestenfalls als langfristiger Lösungsvorschlag zu verstehen. Überdies sind sowohl der Bedarf als auch der Nutzen *verbindlicher Schwellenwertregelungen* für die Anwender und Betroffenen im Vorfeld zu erörtern.

Als weiteren Ansatz könnten Schwellenwerte für verschiedene Tätigkeiten und Gewerke in einem umfangreicheren Katalog – als es in diesem Forschungsprojekt möglich war – zusammengetragen werden. Dieser Grenzwertkatalog könnte somit – *unverbindliche* – Vorschläge bzw. *Empfehlungen* für Unternehmen bei der Ausgestaltung ihrer individualvertraglichen Regelungen enthalten und ggf. projektspezifische Anforderungen berücksichtigen. Die Ableitung von monetären und terminlichen Ansprüchen läge wiederum bei den Vertragspartnern. Empfehlungen haben den Vorteil, dass das Unternehmen weiterhin frei – sowohl über die Anwendung als auch den Schwellenwert selbst – (mit-)bestimmen kann. Damit wäre dem Wunsch von Unternehmen der Handwerksbefragung entsprochen, die Grenzen für Witterungseinflüsse ablehnen.

Der gewerkespezifische Schwellenwertansatz wäre auch eine Möglichkeit, für die thermische Belastung („Faktor Mensch“) zu einer für die Unternehmen besser handhabbaren Lösung zu kommen, indem die dort für bestimmte Tätigkeiten übliche (Schutz-)Kleidung und der (durchschnittliche) Energieumsatz bereits berücksichtigt werden könnten. Daneben wäre gegebenenfalls eine Unterscheidung hilfreich, ob es sich um eine kurzzeitige oder längerdauernde Tätigkeit, wobei dann auch dafür eine „Grenze“ zu definieren wäre.

Für die finale Entscheidung zur Schwellenwertregelung sind möglichen Konsequenzen aus

- verbindlichen Schwellenwertfestlegungen und
- unverbindlichen Schwellenwertempfehlungen

zu berücksichtigen. Unverbindliche Regelungen lassen den Beteiligten die höchste Flexibilität. Das bedeutet jedoch, dass Einigungen zwischen den Parteien herbeigeführt werden müssen. Je nach Verhandlungsposition werden die Regelungen zu Gunsten bzw. Ungunsten der Verhandlungspartner formuliert. Für eine marktliche Akzeptanz und zur Schaffung gleicher Wettbewerbsbedingungen wären verbindliche Regelungen für Unternehmen, aber auch für Auftraggeber und ArbeitnehmerInnen, sicherlich unverbindlichen Empfehlungen vorzuziehen.

Auch aus Sicht des Arbeitsschutzes sind – insbesondere bei Wetterbedingungen, die eine unmittelbare Gefahr für das Leben und die Gesundheit der Beschäftigten bedeuten – Regelungen zu bevorzugen, die klar und nicht verhandelbar sind.

In der Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurden zahlreiche Untersuchungen vorgenommen, um den Winterbau zu fördern. Im Ergebnis dieser Untersuchungen stehen konkrete Grenzwerte in Normen und Regelwerken für niedrige Lufttemperaturen. Die Untersuchungen zu winterlichen Witterungsbedingungen waren staatlich motiviert, um die ganzjährige Beschäftigung in der Baubranche zu fördern. Ähnliche Bemühungen sollten nun im Umgang mit den sich ändernden Witterungsbedingungen im Zuge des Klimawandels unternommen werden.

Ein „weiter-wie-bisher“ würde das Streitpotenzial wegen unklarer Regelungen und unterschiedlicher Interpretationen der Regelungen zwischen den Beteiligten befeuern. Insbesondere die Frage, welche Aussage sich hinter dem in der VOB/B in § 6 Abs. 2 Nr. 2 verwendeten Begriff „normalerweise“ verbirgt, wird zukünftig nicht unbedingt leichter zu beantworten sein.

Die Beurteilung der „Normalität“ kann auch nicht Aufgabe von Bauunternehmern und Bauauftraggebern sein. Hier braucht es eine von Spezialisten erstellte Datenbasis, die als Vertragsgrundlage herangezogen werden kann.

Die Einigung auf Schwellenwerte für maßgebliche klimatologische Elemente ist zwar ein wesentlicher Schritt. Zur Feststellung von Schwellenwertüberschreitungen müssen jedoch zusätzlich auch entsprechend aufbereitete Klimadaten zur Verfügung stehen.

3.3.2 Mögliche Anforderungen an Klimadaten

Zur Beurteilung von Witterungsbedingungen „mit denen bei Abgabe des Angebots normalerweise gerechnet werden musste“⁵² (Klimamonitoring vgl. Kapitel 4.3) und zur Beurteilung des zukünftigen Klimas für langfristige strategische Entscheidungen (Klimaprojektion vgl. Kapitel 4.4) ist die Bereitstellung einer **Datenbasis** zu klimatologischen Elementen unabdingbar, die die **Besonderheiten der Baubranche** berücksichtigt.

Abgeglichen werden sollte im Vorfeld, welche konkrete **Messgröße** zur Verfügung gestellt werden soll. Üblicherweise wird die Windspitze pro Tag durch den DWD als 10 – Minuten – Mittel angegeben. Hierdurch können Windböen besser beschrieben werden. Die Überschreitung von Schwellenwerten gemäß einem 1/0 – Prinzip wird routinemäßig aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung des Wertes (stetige Aufnahme) bisher nicht abgebildet. Zudem ist der *Standort der Messaufnahme* relevant, da meteorologische Elemente Unterschiede in der räumlichen Repräsentativität aufweisen. Während die Temperatur räumlich repräsentativ ist, sind Wind und Niederschläge räumlich nicht repräsentativ. Bei räumlich nicht repräsentativen Elementen kann es zu erheblichen lokalen Unterschieden in der Ausprägung der Witterungserscheinung kommen, wohingegen im Allgemeinen bei räumlich repräsentativen Elementen lokal keine größeren Abweichungen zu erwarten sind. Daher wäre insbesondere für Wind und Niederschlag ein engmaschiges Messnetz notwendig, um lokale Besonderheiten abzubilden. Bei Wind ist zudem noch zu beachten, dass die *Höhe der Messung* eine Rolle spielt. Windsensible Bauleistungen finden sowohl am Boden statt als auch in der Höhe (z. B. Dachdecker- und Zimmererarbeiten, Krantätigkeiten).

Der DWD wertet bereits eine Vielzahl von meteorologischen Elementen mit verschiedenen Schwellenwerten aus. Dazu zählen auch bestimmte „Klimakenntage“, die ebenso für die Baubranche von Interesse sein können. Dies sind beispielsweise der „Eistag“, der „Frosttag“ und der „heiße Tag“. Die für die Baubranche relevanten Schwellenwerten wie beispielsweise die zuvor mehrfach aufgeführte 5 °C Grenze finden jedoch bislang keine Berücksichtigung. Daher ist die Bestimmung von **wesentlichen Schwellenwerten** zum einen für die Verarbeitung von Materialien als auch zum Schutz der auf den Baustellen Beschäftigten essenziell. Eine Auswahl von relevanten Schwellenwerten, für die eine Datenzusammenstellung vorstellbar ist, ist der Abbildung 8 auf Seite 18 zu entnehmen.

⁵² § 6 Abs. 2 Nr. 2 VOB/B.

Bei der Verarbeitung bestimmter Materialien ist die Aussage relevant, in welchen **Zeiträumen** die festgelegten Grenzen über- bzw. unterschritten werden. Beispielsweise sind für Betonarbeiten während der Bauausführung und über die Bauausführung hinaus (den Einbau von Beton als auch für dessen Aushärtungszeit) konstante Witterungsbedingungen erforderlich. Für Abdichtungsarbeiten auf dem Dach sind hingegen Aussagen zu Witterungsbedingungen für kürzere Zeiträume (während der Bauausführung) von Interesse, da Kunststoffe innerhalb weniger Stunden⁵³ nach Verarbeitung aushärten. Für die Beschäftigten (Outdoorworker) sind die Zeiträume relevant, in denen sie ihre Leistung erbringen (üblicherweise am Tage). Werden Schwellenwerte über- bzw. unterschritten, sind Maßnahmen einzuleiten. Diese Maßnahmen können sowohl technisch (Schutzmaßnahmen für Personal und Material) als auch organisatorisch (Anpassen der Ausführungszeiten) sein.

Die in Kapitel 2.4 vorgestellte Tabelle beinhaltet daher die Spalte „zeitliche Begrenzung“. Dadurch sollen Schwellenwertüberschreitungen bzw. -unterschreitungen, die während der Bauausführung (allgemein formuliert: tagsüber) zu verzeichnen sind, von nächtlichen Schwellenwertüberschreitungen bzw. -unterschreitungen, z. B. während der Nachbehandlung, und von der pauschalen tageweisen Betrachtung unterschieden werden. Bei Temperaturverläufen ist üblicherweise davon auszugehen, dass es nachts kälter ist als am Tage. Daher ist eine Differenzierung bei niedrigen Temperaturen sinnvoll. Dies betrifft hauptsächlich Unternehmen, die ihre Leistung nur zu bestimmten Zeiten ausführen können. Ein Beispiel hierfür sind Gleis- und Oberleitungsarbeiten während der Sperrpausen, die überwiegend nachts stattfinden.

Um als Bauunternehmen vorvertraglich Annahmen treffen zu können, sollten sich die meteorologischen Daten möglichst auf den Ort der Leistungserbringung – **baustellengenau** bzw. adressengenau – beziehen. Das ist insbesondere bei Niederschlags- und Windereignissen sinnvoll, da sie eine hohe räumliche Variabilität im Gegensatz zur Temperatur aufweisen.⁵⁴

Weiterhin ist die **Darstellungsform** der Klimadaten von wesentlicher Bedeutung. Die Daten müssen leicht verständlich aufbereitet sein, sodass Unternehmen und vor allem Nicht-Meteorologen befähigt werden, die entsprechenden Schlussfolgerungen ziehen können. Im vorliegenden Projekt werden als *mathematische Angaben* zur Unterstützung der Auswertung

- der Mittelwert,
- der Maximalwert,
- der Minimalwert und
- der Trend

⁵³ Die Trocknungszeit ist vom Hersteller abhängig.

⁵⁴ Allerdings kann aktuell nur auf das Messnetz und die Stationen des DWD verwiesen werden (vgl. Kapitel 4). Für eine standortgenaue Aussage müssten die historischen Daten der den Standort umgebenden Stationen interpoliert werden, welches einen erheblichen Rechenaufwand verursachen würde und mit den vorhandenen Mitteln derzeit nicht möglich ist.

gewählt. Aus der gesamtheitlichen Betrachtung dieser Angaben können Unternehmer Schätzungen aus historischen Daten zur zukünftigen Klimaentwicklung vornehmen und vorvertragliche Annahmen treffen. Zudem werden die statistischen Angaben als für jeden (Nicht-Meteorologen und Nicht-Statistiker) interpretierbar eingeschätzt. Bei der Interpretation der Wetterdaten und -werte ist immer zu beachten, dass das Klima einer natürlichen Variabilität unterliegt. Trends werden gegebenenfalls von dieser natürlichen Variabilität überlagert und sind daher eventuell nicht auf allen Zeitskalen eindeutig zu identifizieren. Der Unternehmer bzw. die Vertragspartner werden daher stets ein Restrisiko behalten.

Dennoch führen die ausgewerteten Klimadaten zu einer Verbesserung der Informationslage, sodass nicht völlig losgelöst Annahmen getroffen werden müssen. Dargestellt werden könnten die Angaben in *Listenform* und ggf. unterstützend mit Hilfe von *Balken-Diagrammen*. Eine *monatsweise* Ausgabe wäre zur Beurteilung für den Unternehmer sinnvoll.

Zudem sollten die Daten den Unternehmern **unkompliziert** und bestenfalls **kostenfrei/-günstig** zur Verfügung gestellt werden. Denkbar ist dies als vom DWD bereitgestellte Datenbank, bei der webbasiert für bestimmte Örtlichkeiten Auswertungen nach den oben beschriebenen Kriterien gedownloadet und den Vertragsunterlagen zu Grund gelegt werden könnten, wobei die kostenlose Bereitstellung hinsichtlich der rechtlichen Voraussetzungen zu prüfen ist.

Für die langfristige strategische Beurteilung von Klimafolgen (Daten aus Klimaprojektion) sind hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Auflösung gröbere Aussagen ausreichend im Vergleich zur kurzfristigen Beurteilung von Witterungs- bzw. Klimafolgen für anstehende Bauprojekte (Daten aus Klimamonitoring). Hierfür sind ausgezählte Angaben, auch für tiefe Temperaturen, ausreichend. Diese Angaben könnten dann in Phasen zusammengefasst werden, um Aussagen darüber zu treffen, wie sich die Anzahl von beispielsweise heißen Tagen in den Sommermonaten (Juni, Juli, August) zukünftig verändert. Ebenso sind regional gröbere Auswertungen zur Charakterisierung des langfristig zu erwartenden Klimas ausreichend. Hierfür wäre die Auswertung in Form einer flächigen Darstellung z. B. als *Deutschlandkarte* ausreichend.

4 Klimamonitoring und -projektion

4.1 Grundlagen zur begrifflichen Differenzierung

Zur Beurteilung des Einflusses von Wetter, Witterung und Klima auf das Bauwesen sind umfangreiche meteorologische Daten erforderlich. Dabei muss zwischen Daten für die Vergangenheit (Beobachtungen, Monitoring) und die Zukunft (Klimaprojektionen) unterschieden werden. Im Rahmen des sogenannten Klimamonitorings werden dabei Beobachtungsdaten aus der Vergangenheit gesammelt und entsprechend ausgewertet. Im Rahmen des Bauwesens sind hierbei besonders von Bedeutung:

- die Lufttemperatur,
- Niederschlag und
- Wind und Schnee.

Darüber hinaus sind ebenfalls von Bedeutung die WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). Dabei handelt es sich um eine zusammengesetzte Temperatur zur Abschätzung des Effekts von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonnenstrahlung auf Menschen (Hitze stress). Die WBGT kann demnach berechnet werden, wird aber derzeit vom Deutschen Wetterdienst (DWD) nicht routinemäßig bereitgestellt. Auch aus Klimaprojektionen ist die WBGT aktuell nicht verfügbar.

Bezüglich der Größen Wind und Schnee ist ein wesentliches Problem ihre hohe räumliche Variabilität. Um zu verlässlichen räumlichen Verteilungen dieser Größen zu gelangen ist ein sehr dichtes Messnetz nötig. Wind wird derzeit meist aus Modell- bzw. Realanalysedaten abgeleitet, wohingegen Schneemessungen, ob ihrer geringen räumlichen und zeitlichen Repräsentativität, nur sehr unsicher in die Fläche interpoliert werden können. Hinzu kommt bei Schnee auch eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit.

Die Beobachtung von Lufttemperatur und Niederschlag wird hingegen vom DWD routinemäßig als 2-dimensionale Felder durchgeführt. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird sich daher auf die Auswertung dieser Größen beschränkt.

Verlässliche Aussagen zur WBGT und zu Schneesverhältnissen sind demnach nur mit einem größeren Forschungsaufwand durchführbar. Gleiches gilt auch für den ebenfalls relevanten UV-Index der vom DWD für zwei Tage im Voraus verfügbar gemacht wird⁵⁵. Um den UV-Index für einen längeren Zeitraum zu bestimmen und aus Klimaprojektionen abzuleiten ist ebenfalls mit einem erhöhten Forschungsbedarf zu rechnen.

⁵⁵ Vgl. DWD (o. J. q).

Klimamonitoring

Der Deutsche Wetterdienst betreibt ein umfangreiches Messnetz an Wetterstationen. Die längsten beobachteten Zeitreihen in Deutschland reichen dabei bis in das Jahr 1881 zurück. Die so gewonnenen Daten sind Grundlage für alle Folgeprozesse in der numerischen Wettervorhersage, des Warnmanagements, der meteorologischen Beratung der Luft- und Seeschifffahrt sowie der Servicedienstleistungen im Bereich Klima und Umwelt. Die Messungen des DWD gliedern sich in Bodenbeobachtung, Atmosphärenbeobachtung und die Überwachung der Radioaktivität in der Atmosphäre.

Die Bodenbeobachtung befasst sich mit der Erfassung und Aufzeichnung von Wetterdaten an einem bestimmten Ort zu festgelegten Zeiten oder kontinuierlich. Basierend auf den Vorgaben der Weltmeteorologischen Organisation WMO bezüglich meteorologischer und klimatologischer Daten betreibt der DWD seine Messnetze. Das Bodenmessnetz umfasst alle Wetterwarten, Flugwetterwarten und Wetterstationen unabhängig davon, ob diese vollautomatisch betrieben werden, partiell oder 24-stündig mit Fachpersonal besetzt sind. Hierzu gehören auch Stationen, welche sich auf privatem Grund befinden und durch ehrenamtliche Beobachter betreut werden. Die Daten werden gemäß international festgelegten Zeiten und Vorschriften für die Erfassung von meteorologischen Daten gewonnen. Die erfassten Rohdaten werden von den dazugehörigen Messsystemen automatisch erfasst, hiernach geprüft, vorverarbeitet und dann an eine Zentrale zur weiteren Verwendung übermittelt. Die übermittelten qualitätsgeprüften Daten werden in den entsprechenden Datenbanken zur Archivierung abgelegt, und bilden die Grundlage für weitere Analysen. Das Messnetz an Klimastationen des DWD umfasst derzeit insgesamt 476 Stationen bundesweit. Eine Darstellung der Stationsverteilung ist in Abbildung 16 auf Seite 47 zu sehen.

Klimaprojektionen

Aussagen zu dem in Zukunft zu erwartenden Klima sind aufgrund von Klimaprojektionen möglich. Für eine Klimaprojektion ist der Anfangszustand der Atmosphäre nicht entscheidend. Vielmehr werden die Wirkungen auf das zukünftige Klima über Zeiträume von mehr als 100 Jahren anhand von angenommenen Vorgaben ("Szenarien") berechnet. Als Vorgaben werden dabei z. B. Schätzungen der zu erwartenden Änderung der Strahlung durch den weltweiten zeitlichen Verlauf der Konzentrationen klimarelevanter atmosphärischer Spurengase (z. B. Kohlendioxid (CO₂) oder Methan (CH₄)), die Konzentration von Aerosol mit seinem Einfluss auf den Strahlungshaushalt und externe Antriebe wie z. B. dem Strahlungsantrieb (Milankovich-Zyklen) genutzt.

In der letzten Dekade wurden neue Erkenntnisse in den Bereichen Sozioökonomie und Technologie gewonnen. Ebenso wurden die Möglichkeiten, Szenarien räumlich und sektoriell hoch aufgelöst zu simulieren, verbessert. Gleichzeitig bestand insbesondere aus der Wirkmodellierung und Politikberatung eine verstärkte Nachfrage nach überarbeiteten Szenarien, in denen u. a. auch die Auswirkungen möglicher Emissionsreduzierungs- und Anpassungsstrategien berücksichtigt werden. Für den 5. Sachstandsbericht (2014/2015) des Intergovernmental Panel

on Climate Change (IPCC) wurden deshalb neue globale Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre entwickelt, die sogenannten RCP (Representative Concentration Pathways). Abbildung 15 zeigt den zeitlichen Verlauf der derzeit gebräuchlichsten Szenarien. Eine Erläuterung zu diesen hier verwendeten RCP-Szenarien findet sich in Tabelle 4.

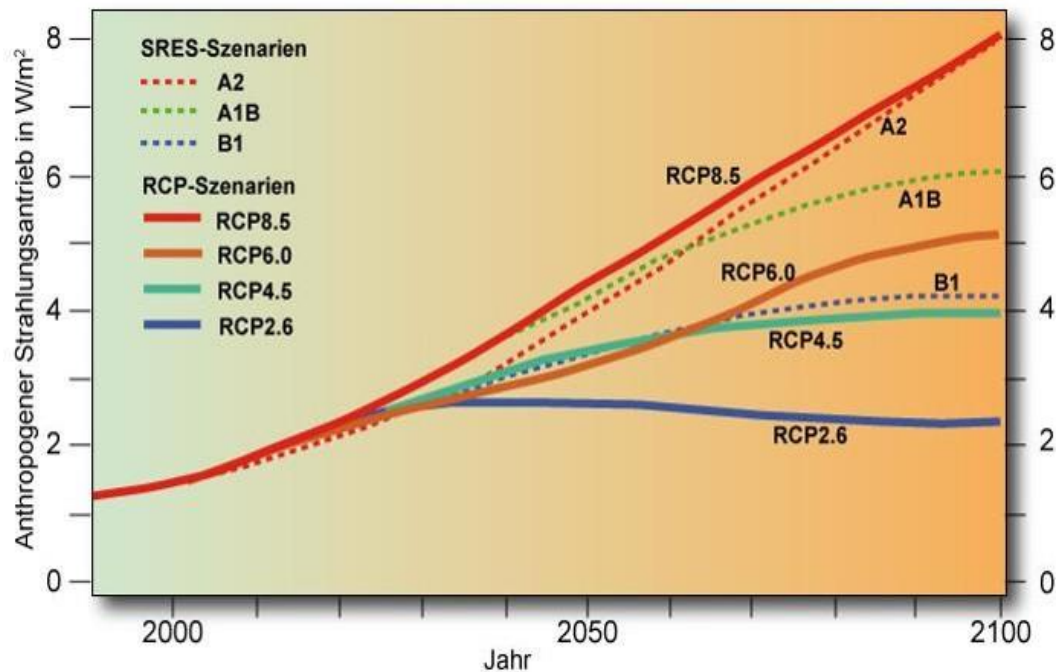


Abbildung 15: Klimaprojektionen zu Grunde liegende Szenarien der Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre. Dargestellt ist der durch die Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre zusätzliche Strahlungsantrieb in W/m^2

| Szenario | Beschreibung |
|----------|--|
| RCP 2.6 | "Klimaschutz-Szenario": Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm^{-2} im Jahr 2100. D. h. ein "politisches" Szenario, in dem durch drastischen Rückgang der Emissionen eine globale Erwärmung um mehr als $2 \text{ }^\circ\text{C}$ im Jahr 2100 nicht überschritten wird. Das Szenario entspricht im Ziel den Vereinbarungen von Paris. |
| RCP 4.5 | Moderate Entwicklung: Anstieg des CO_2 -Äquivalents bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau. |
| RCP 6.0 | Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 CO_2 -Äquivalent, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300. |
| RCP 8.5 | „Weiter-wie-bisher-Szenario“: über 1370 ppm CO_2 -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau. |

Tabelle 4: Beschreibung der hier verwendeten RCP Szenarien

Zu Beginn der Klimamodellsimulation befindet sich das Klimasystem im Gleichgewicht. Im Lauf der Simulation wird das Gleichgewicht durch die Änderungen der Treibhausgas- und Aerosolkonzentration und des Strahlungsantriebs gestört. Daher sind Klimaprojektionen nicht von Anfangsbedingungen abhängig, sondern lediglich von den verwendeten Emissions-/Konzentrations- bzw. Strahlungsantriebs-Szenarien. Diese beruhen auf Annahmen über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen, die mit erheblichen Unsicherheiten verbunden sind.

Für eine räumlich höher aufgelöste, regionale Betrachtung wurden regionale (hier auf Europa bezogene) Klimaprojektionen auf Grundlage der Ergebnisse globaler Klimaprojektionen berechnet. Die für Deutschland verfügbaren regionalen Klimaprojektionen wurden für die Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 hinsichtlich ihrer räumlichen Auflösung verbessert und liegen nun in einem Raster von 12,5 km vor. Ebenfalls wurden die Klimaprojektionen des DWD-Referenz-Ensembles⁵⁶ auf ein 5 km x 5 km Gitter regionalisiert und Bias-adjustiert. Die Nutzung eines Ensembles ist hier zwingend notwendig, denn die gesamte Kaskade aus Szenarien-Erstellung, globaler und regionaler Klimamodellierung sowie der abschließenden statistischen Regionalisierung unterliegt Unsicherheiten. Eine exakte Vorhersage wie sich das Klima in den nächsten Jahren ändern wird, ist daher nicht möglich. Diese Unsicherheit kann jedoch durch die Nutzung einer Vielzahl von Modellergebnissen deutlich reduziert werden.

Die vorliegenden Ergebnisse der szenarienbasierten Klimaprojektionsrechnungen liefern eine Bandbreite der möglichen Entwicklungen. Es muss aber klar festgehalten werden, dass auch dieses Ensemble eventuell noch nicht ausreichend groß ist. Die Ursache für Unsicherheiten in der Klimamodellierung liegt in der Komplexität des Klimasystems, der notwendigen Abstraktionen im Rahmen der Modelle, der natürlichen Variabilität des Klimas und in den Annahmen über die künftige Entwicklung der Treibhausgaskonzentration, des Aerosols und der Landnutzung.

In der statistischen Klimatologie wird diese Spannweite der Unsicherheiten durch sogenannte Perzentile beschrieben. Perzentile sind Prozentangaben. Sie gliedern die Anzahl der untersuchten Modellergebnisse in Maßklassen, womit sich ein bestimmter Prozentanteil dieser Ergebnisse umschließen lässt. Der Bereich zwischen dem 15. und 85. Perzentil umschließt beispielsweise 70 % der Modellergebnisse.

Generell kann festgehalten werden, dass seit Beginn der Industrialisierung mit dem Ausstoß von Treibhausgasen und der großflächigen Änderung der Landnutzung der Mensch in das natürliche Klimasystem der Erde eingreift. Mit Hilfe von Klimamodellen können die Auswirkungen auf das globale und regionale Klima auf der Basis von Szenarien berechnet werden. Für Deutschland ergibt sich je nach gewähltem Szenario eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von mindestens 1 °C bis hin zu mehr als 4 °C in den nächsten 100 Jahren. Eine Änderung von

⁵⁶ Daher stützen sich heutige Methoden nicht nur auf eine einzige Vorhersage, sondern auf ein ganzes „Ensemble“ von Vorhersagen. Das Ensemble besteht aus verschiedenen Vorhersageszenarien, den „Ensemble-Mitgliedern“. Jedes Mitglied basiert auf einer etwas anderen, aber jeweils realistischen Konfiguration des Anfangszustands und des Vorhersagesystems.

nur 1 °C ist laut den Klimamodellen nur bei deutlicher Reduktion der Emission von Treibhausgasen möglich. Bei weiterem Wirtschaftswachstum und weiterhin hohen Treibhausgasemissionen ist eine Änderung von 3 bis 4 °C zu erwarten. Damit verbunden nimmt die Anzahl der Eistage, Frosttage noch weiter ab, während die Zahl der Sommertage und heißen Tage deutlich zunimmt. Verbunden mit der Temperaturzunahme werden sehr wahrscheinlich die jährlichen Niederschlagsmengen weiter zunehmen und damit auch die Anzahl der Tage mit mindestens 10 Liter Niederschlag je Quadratmeter.

Messnetzkarte DWD - Hauptamtliches Stationsnetz, GeoInfoDBw und Aerologie
Karte vom: 02.11.2021, 15:32 mit 206 Stationen



Abbildung 16: Messnetzkarte des DWD - Hauptamtliche Stationen und GeoInfoDB, Stand: 03.06.2020

4.2 Machbarkeitsanalyse zur Bereitstellung von Daten

Durch die in Kapitel 2 beschriebene Methode sind technische Grenzwerte und Einsatzgrenzen des Menschen ermittelt worden, die zunächst auf Machbarkeit durch den DWD geprüft wurden (vgl. Tabelle 5). Um die spezifischen Anforderungen des Baugewerbes hinsichtlich Klimadaten zu erfüllen, musste auf verschiedene Quellen für Vergangenheit und Zukunft zurückgegriffen werden. Dabei stellte sich das Problem, dass diese Daten teilweise in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungen verfügbar sind und somit vereinheitlicht bzw. operativ gemonitort werden mussten. Dies gilt insbesondere für Wind, Schnee, UVI und WBGT.

Beispielsweise beinhaltet der Monatliche Klimastatus Deutschland⁵⁷ des DWD einen deutschlandweiten Rückblick auf das Wetter des vergangenen Monats, inklusive einer klimatologischen Einordnung und einen Ausblick auf den Folgemonat.

| Element | Anzahl der Tage pro Monat* | | | | | Datenbereitstellung möglich? | |
|---|----------------------------|---------|----------------|--|---|------------------------------|---------------------|
| | Klimakenn- tag | Zeichen | Grenz- wert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Fragestellung | Beobach- tung | Projektion |
| Lufttemperatur niedrige Lufttemperatur | ./. | Tmin | < -3 °C | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von -3 °C unterschritten während der Bauausführung? | ja | nur Tages- werte |
| | Eistag | Tmax | < 0 °C | pro Tag | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 0 °C nicht überschritten während der Bauausführung als auch während der Vor- und Nachbereitung? | ja | ja |
| | Frosttag | Tmin | < 0 °C | pro Tag | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 0 °C unterschritten während der Bauausführung als auch während der Vor- und Nachbereitung? | ja | ja |
| | Nacht- frosttag | Tmin | < 0 °C | 18 h – 8 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 0 °C unterschritten (in der Nacht) während der Vor- und Nachbereitung? | ja | nur Tages- werte |
| | ./. | Tmin | < 5 °C | pro Tag | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 5 °C unterschritten während der Bauausführung als auch während der Vor- und Nachbereitung? | ja | ja |
| | ./. | Tmin | < 5 °C | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 5 °C unterschritten während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |

⁵⁷ DWD (o. J. i).

| Element | | Anzahl der Tage pro Monat* | | | | Datenbereitstellung möglich? | |
|---------------------|----------------|---|----------------------------|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Klimakenn- tag | Zeichen | Grenz- wert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Fragestellung | Beobach- tung |
| hohe Lufttemperatur | . | Tmin | < 10 °C | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 10 °C unterschritten während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |
| | . | Tmin | ≥ 25 °C | 8 h – 16 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 25 °C <i>nicht unterschritten</i> während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |
| | Sommer- tag | Tmax | ≥ 25 °C | pro Tag | An wie vielen Tagen wird die Temperatur von 25 °C überschritten während der Nachbehandlung von Beton? | ja | ja |
| | heißer Tag | Tmax | ≥ 30 °C | pro Tag | An wie vielen Tagen während der Bauausführung (ganzer Tag, da üblicherweise nachts kälter als tagsüber) wird die Temperatur von 30 °C überschritten? | ja | ja |
| | . | TØ | > 30°C | für mehr als 48 Stunden vor der Betonage | Wie oft wird die Temperatur von durchschnittlich 30 °C an zwei aufeinanderfolgenden Tagen überschritten? | ja abhängig von Termin | ja abhängig von Termin |
| Niederschlag | Regentag | NS | ≥ 0,1 mm/m ² | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen fällt Niederschlag während der Bauausführung (insbesondere Abdichtung, offenerporiger Asphalt)? | ja | nur Tageswerte |
| | . | NS | ≥ 1,0 mm/m ² | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen bildet sich ein "Niederschlagsfilm" während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |
| | Starkregen | NS: 15 bis 25 mm/m ² in 1 Std. 20 bis 35 mm/m ² in 6 Std. | | pro Tag | An wie vielen Tagen gibt es Starkregen während der Bauausführung als auch während der Vor- und Nachbereitung? | ja | ja |
| Wind | . | vmax | ≥ 12 m/s | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen herrscht "starker Wind" während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |
| | . | Beaufort (vØ(10min)) | ≥ 6 | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen herrscht "starker Wind" während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |
| | Sturmtag | Beaufort (vØ(10min)) | ≥ 8 | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen herrscht "Sturm" während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |

| Element | Anzahl der Tage pro Monat* | | | | | Datenbereitstellung möglich? | |
|----------|----------------------------|------------|-----------------------|---------------------------------------|--|------------------------------|----------------|
| | Klimakenn-tag | Zeichen | Grenzwert | zeitliche Begrenzung (MEZ) | Fragestellung | Beobachtung | Projektion |
| Schnee | ./. | Schneehöhe | $\geq 0,1$ cm | pro Tag | An wie vielen Tagen bleibt sowohl während der Bauausführung als auch während der Vor- und Nachbereitung Schnee liegen? | ja jedoch unsicher | nur Tageswerte |
| UV-Index | ./. | UV-Index | ≥ 3 und ≥ 8 | 6 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen werden der UV-Index von 3 sowie der UV-Index von 8 überschritten während der Bauausführung? | ja jedoch unsicher | nein |
| WBGT | | Tmin | ≥ 27 °C | 7 h – 18 h (Tageswert bei Projektion) | An wie vielen Tagen wird der WBGT überschritten während der Bauausführung? | ja | nur Tageswerte |

*Die Tabelle gibt an, ab welchem Grenzwert bei Über- bzw. Unterschreitung nur noch mit Maßnahmen gebaut werden kann.

Tabelle 5: Machbarkeitsanalyse der für die Baubranche als relevant bestimmten Grenzwerte

Um den Umfang im Rahmen des Projektvolumens praktikabel zu halten, werden die zu betrachtenden Daten sowohl für das Klimamonitoring als auch für die Klimaprojektion im Folgenden auf ausgewählte Grenzwerte reduziert.

4.3 Klimamonitoring ausgewählter meteorologischer Elemente und Grenzwerte

Viele Bauleistungen sind von wetter- bzw. klimabedingten Zuständen der Atmosphäre betroffen. Zur Verarbeitung bestimmter Materialien dürfen beispielsweise bestimmte Grenzwerte der Lufttemperatur nicht über- oder unterschritten werden. Zu beachten sind gleichfalls Bedingungen wie etwa extreme Hitze, Sturm oder Schnee, die zu einer Gefährdung des Personals auf Baustellen führen können.

Als „**Wetter**“ wird der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet bezeichnet, wie er durch die meteorologischen Elemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist. Dabei wird das Wetter mit Hilfe quantifizierbarer Parameter charakterisiert. Diese Parameter sind fundamentale Größen des Wetters (Wetterelemente) wie z. B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Drucktendenz, Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Bewölkung (Wolken), Niederschlag und Sichtweite.

Im Gegensatz zum Wetter wird mit dem Begriff „**Witterung**“ der allgemeine, durchschnittliche oder auch vorherrschende Charakter des Wetterablaufs eines bestimmten Zeitraums (von eini-

gen Tagen bis zu ganzen Jahreszeiten) bezeichnet. Bei der Witterung ist der berücksichtigte Zeitraum im Gegensatz zum Klima wesentlich kürzer. Witterung fasst den Wetterablauf von mehreren Tagen oder Wochen, selten auch Monaten zusammen. Dabei werden typische Witterungstypen oder auch -verläufe unterschieden, wobei die Charakteristik durch die jeweils vorherrschende Wetterlage bestimmt wird.

Das „**Klima**“ hingegen ist definiert als die Zusammenfassung der Wettererscheinungen, die den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem mehr oder weniger großen Gebiet charakterisieren. Es wird repräsentiert durch die statistischen Gesamteigenschaften (Mittelwerte, Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerwerte u. a.) über einen genügend langen Zeitraum. Im Allgemeinen wird ein Zeitraum von 30 Jahren zugrunde gelegt, die sog. Normalperiode, es sind aber durchaus auch kürzere Zeitabschnitte gebräuchlich. Eine Beschreibung des Klimas in Deutschland mit Hilfe von Flächenmitteln für das Gesamtgebiet der Bundesrepublik ist nicht immer sinnvoll. Oft lässt sich die entsprechende Situation kleinräumig bzw. regional besser beschreiben. Je nach Ereignis oder Thema kann die dafür notwendige regionale Einteilung sich deutlich unterscheiden und teilweise räumlich sehr eng begrenzt sein. Während für einzelne Wetterphänomene eine sehr feine Aufteilung nötig wäre, ist es auf der klimatischen Zeitskala möglich, größere Regionen zu definieren. Die hier verwendete Einteilung beruht auf der Repräsentanz und Verfügbarkeit einzelner Stationen bzw. meteorologischer Variablen.

Veränderungen der Lufttemperatur seit 1881

Von 1881 bis 2019 ist das Jahresmittel der Lufttemperatur für Deutschland um 1,6 °C angestiegen. Auch der vieljährige Mittelwert der Referenzperiode 1961 bis 1990 von 8,2 °C ist mittlerweile auf 8,9 °C im aktuelleren 30-Jahres-Zeitraum 1981 bis 2010 gestiegen. Der auch global zu beobachtende Trend der Erwärmung der Atmosphäre ist überlagert durch die natürliche Variabilität des Klimasystems, durch die es auch immer wieder Zeiträume gibt, in denen der Temperaturanstieg stagniert, oder sogar Phasen, in denen die Temperatur kurzfristig zurückgegangen ist. Bei den Rückgängen handelt es sich um die Folge periodischer Schwankungen, die eng an die Zirkulation der Ozeane gekoppelt sind. Die periodischen Schwankungen überlagern den Einfluss der externen Klimaantriebe, zu denen, neben den natürlichen Faktoren wie Sonneneinstrahlung und Vulkanaktivität, auch die vom Menschen verursachten Änderungen der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, zum Beispiel durch Landnutzungsänderungen und Luftverschmutzungen, zählen. Der Zeitraum von 1910 bis 1950 und insbesondere der Zeitraum seit der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre sind von einer ansteigenden Temperatur geprägt, während diese dazwischen weitestgehend auf demselben Niveau verharrt. Auch zum Ende des 19. Jahrhunderts blieb die Temperatur im Wesentlichen konstant.

Die stärksten Änderungen seit 1881 finden sich in der Westdeutschen Tieflandsbucht, dem linksrheinischen Mittelgebirge und im oberrheinischen Tiefland mit 1,6 °C; im nordostdeutschen Tiefland ist der Anstieg mit 1,1 °C am geringsten. 2018 wurde das bisher wärmste Jahr seit 1881 in Deutschland beobachtet. Elf der siebzehn wärmsten Jahre liegen im 21. Jahrhundert.

Jahreszeitliche Unterschiede

Der vieljährige Mittelwert der Lufttemperatur für die Wintermonate (Dezember, Januar, Februar) liegt mit 0,3 °C für ganz Deutschland knapp über dem Gefrierpunkt. Dabei findet sich aber eine starke räumliche Differenzierung: Es gibt negative Werte bzw. Werte knapp um den Nullpunkt für die Alpen, das Alpenvorland und die Mittelgebirgsregionen. Die höchsten Mittelwerte werden mit ca. 1,7 bis 2,4 °C im oberrheinischen Tiefland und in der westdeutschen Tieflandsbucht gemessen. Relativ mild ist es auch im nordwestdeutschen Tiefland mit 1,2 °C. In den Sommermonaten sind dagegen die regionalen Unterschiede in den mittleren Temperaturen, außer in den Alpen, nicht so ausgeprägt: Bei einer mittleren Temperatur von 16,3 °C für ganz Deutschland finden sich mit 18,0 °C im Oberrheingraben und 17,1 °C in der ostdeutschen Beckenlandschaft die höchsten Mittelwerte für die Monate Juni, Juli und August, während die Mittelgebirgsräume um die 16 °C erreichen.

Veränderung von Kenntagen

Die Anzahl heißer Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur ≥ 30 °C) ist – über ganz Deutschland gemittelt – seit den 1950er-Jahren von etwa drei Tagen im Jahr auf derzeit durchschnittlich neun Tage im Jahr angestiegen. Die mittlere Anzahl der Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur < 0 °C) hat im gleichen Zeitraum von 28 Tagen auf 19 Tage abgenommen. In den wärmsten Regionen Deutschlands finden sich auch die meisten Hitzesituationen. Im Zeitraum 1961 bis 1990 lag die mittlere Anzahl von heißen Tagen im oberrheinischen Tiefland, in der westdeutschen Tieflandsbucht und in den ostdeutschen Becken und Hügeln bei fünf bis neun Tagen im Jahr. 1981 bis 2010 sind diese Ereignisse inzwischen auf durchschnittlich acht bis neun, am oberrheinischen Tiefland sogar auf 13 Tage pro Jahr angestiegen. Im Alpenvorland und in den Alpen ist nach wie vor mit weniger als sieben bzw. drei heißen Tagen pro Jahr zu rechnen. Allerdings entspricht dies dem Doppelten (Alpenvorland) bzw. Dreifachen (Alpen) im Vergleich zur Referenzperiode 1961 bis 1990. Die höchste Anzahl an Eistagen ist in den Alpen und in den östlichen Mittelgebirgen zu erwarten. Hier klettert im Mittel an 42 (in den Alpen an 56) Tagen pro Jahr die Temperatur nicht über die Nullgradgrenze (Referenzperiode 1961 bis 1990). Relativ mild ist es wiederum im oberrheinischen Tiefland und in der westdeutschen Tieflandsbucht mit im Mittel weniger als 16 Eistagen pro Jahr. Im nordwest- und nordostdeutschen Tiefland ist mit 20 bzw. 26 Eistagen pro Jahr zu rechnen. Beim Vergleich der Mittelwerte für die Zeiträume 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010 ergeben sich die geringsten Veränderungen für die Alpen. Die größten Veränderungen sind in der westdeutschen Tieflandsbucht zu beobachten, in der sich die Anzahl der Eistage um ein Viertel verringert hat.

Das Niederschlagsaufkommen in Deutschland

In Deutschland fallen im Durchschnitt 789 mm Niederschlag pro Jahr. Das entspricht 789 Litern pro Quadratmeter. In den nordöstlichen und zentralen Teilen Deutschlands sind verbreitet mittlere jährliche Niederschlagshöhen von unter 600 mm, in den höheren Lagen der Alpen und des Schwarzwaldes von über 1.500 mm normal. In den Tieflandbereichen ist die mittlere Niederschlagshöhe in Nordseenähe am größten. Sie nimmt in Richtung Südosten mit zunehmender

Kontinentalität ab. In den Mittelgebirgen und den Alpen nimmt die mittlere Niederschlagshöhe mit steigender Höhe über dem Meeresniveau zu. Die Ausrichtung der Höhenzüge sowie weitere orografische Gegebenheiten modifizieren das Niederschlagsverhalten zusätzlich. Im Durchschnitt (Mittel 1961 bis 1990) sind im nordostdeutschen Tiefland und in den ostdeutschen Becken und Hügeln mit 577 mm die geringsten und in den Alpen mit 1935 mm die größten Jahresniederschlagshöhen zu verzeichnen. In Einzeljahren und kleinräumig kann die Niederschlagshöhe deutlich niedriger oder auch deutlich höher ausfallen. So wurden mit 209 mm im Jahr 1911 (Aseleben, Sachsen-Anhalt) und mit 3.503 mm im Jahr 1970 (Balderschwang, Bayern) die geringsten bzw. höchsten Niederschläge seit Beginn der Aufzeichnungen an einer Station in Deutschland gemessen.

Veränderungen in der Jahresniederschlagshöhe seit 1881

Der Niederschlag ist eine sehr veränderliche Größe in Raum und Zeit. Das über ganz Deutschland gemittelt nasseste Jahr seit 1881 war das Jahr 2002 mit einer Niederschlagshöhe von 1.018 mm, das trockenste das Jahr 1959 mit 551 mm. Unter teils starken Schwankungen von Jahr zu Jahr oder von Jahrzehnt zu Jahrzehnt nahm die deutschlandweite jährliche Niederschlagshöhe seit 1881 um 66 mm bzw. 8 % relativ zur Periode 1961 bis 1990 zu. Diese Zunahme erfolgte ungleichförmig. Von den 1880er-Jahren bis zu den 1920er-Jahren nahm die Niederschlagshöhe zunächst stärker zu, während sie seitdem bis heute nur langsam weiter zugenommen hat. Dieser weitere Anstieg ist aber von kurzfristigen Schwankungen überlagert, so dass es in den 1940er- und 1970er-Jahren etwas trockener war, während die 1960er- und 1980er-Jahre sowie die Phase um die Jahrtausendwende herum vergleichsweise nass ausfielen.

Jahreszeitliche Unterschiede

Im Mittel sind in Deutschland seit 1881 über alle Beobachtungsjahre die hydrologischen Sommerhalbjahre (Mai bis Oktober) in Deutschland etwas niederschlagsreicher als die Winterhalbjahre. Etwa 57 % des Jahresniederschlags fällt im Sommerhalbjahr, etwa 43 % im Winterhalbjahr. In einigen Regionen dominiert der Niederschlag des Sommerhalbjahres noch stärker, zum Beispiel im Alpenvorland (63 %). In anderen Regionen fällt die Dominanz des Sommerhalbjahres weit weniger deutlich aus, zum Beispiel im rechtsrheinischen Mittelgebirge (51 %). Betrachtet man nur die drei Sommermonate Juni, Juli und August, so steht dem trockensten Sommer mit 124 mm im Jahr 1911 der nasseste Sommer mit 358 mm im Jahr 1882 gegenüber. Normal sind 239 mm (Mittel 1961–1990). Von 1881 bis heute hat sich der sommerliche Niederschlag so gut wie nicht verändert. In den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst zeichnet sich im gleichen Zeitraum eine Niederschlagszunahme ab, welche im Frühling deutlicher ausgeprägt ist als im Herbst. Hervorstechend ist jedoch vor allem die Entwicklung in den drei Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar). Die Winterniederschläge haben seit dem Winter 1881/82 bis heute um 48 mm bzw. 26 % relativ zu 1961 bis 1990 zugenommen. Damit lässt sich die Zunahme der mittleren Jahresniederschlagshöhe zum größten Teil durch die Zunahme der Winterniederschläge erklären. Ungeachtet dieses winterlichen Gesamttrends treten auch zu dieser Jahreszeit deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren auf.

Dem niederschlagsärmsten Winter mit 69 mm im Jahr 1890/91 steht der niederschlagsreichste Winter mit 304 mm im Jahr 1947/48 gegenüber. Normal sind 181 mm (Mittel 1961 bis 1990). Die Alpen sind in allen Jahreszeiten die nasseste Region. Bei den trockensten Regionen gibt es hingegen Unterschiede zwischen den Jahreszeiten: Das nordostdeutsche Tiefland weist im Frühling und Sommer mit 132 mm bzw. 182 mm (Mittel 1961 bis 1990) die niedrigsten Werte auf, während die ostdeutschen Becken und Hügel im Herbst mit 128 mm und im Winter mit 123 mm trockener sind. In diesen beiden Regionen finden sich auch keine nennenswerten Änderungen in der Niederschlagshöhe seit Beginn der Aufzeichnungen.

Veränderung von Kenntagen

In Bezug auf besondere Niederschlagsereignisse gibt es zwei zu betrachtende Seiten: ein Zuviel und ein Zuwenig. Wird die Anzahl der Tage von mindestens 10 mm Niederschlag ausgezählt, so werden bei gleichzeitig großen jährlichen Schwankungen im Mittel über ganz Deutschland 21 Tage beobachtet. Diese Zahl hat sich in den letzten 66 Jahren kaum verändert. Es ist jedoch ein klares Nord-Süd- und West-Ost-Gefälle in der Häufigkeit zu beobachten, mit den wenigsten Ereignissen im Nordosten (Mittel weniger als 13 Tage) und den meisten in Süddeutschland mit mehr als 27 Tagen. Für Niederschlagsmengen von mehr als 20 mm pro Tag ist keine Änderung der Anzahl seit den 1950er-Jahren festzustellen. Die Variabilität der Anzahl der Starkniederschlagsereignisse von Jahr zu Jahr ist sehr hoch und insgesamt ist die Anzahl der Ereignisse mit 5 Tagen pro Jahr im Mittel über ganz Deutschland relativ selten. Die regionalen Unterschiede sind hingegen sehr groß. In Nordostdeutschland und an den Küsten gibt es drei oder weniger Ereignisse im Jahr, in Süddeutschland und allen Gebirgsregionen mehr als 7 Tage pro Jahr.

Veränderungen der Windverhältnisse

Bezüglich einer Veränderung der mittleren Windverhältnisse in Deutschland fallen Aussagen auf Grund der geringen räumlichen Repräsentanz und zeitlich hoher Variabilität schwer. Analysen des DWD zeigen beim Mittelwind kaum Veränderungen. Der Mittelwert für Deutschland im Zeitraum 1971 bis 2000 liegt bei 3 m/s. Auch für die Zukunft werden keine signifikanten Veränderungen projiziert, allerdings mit einem erheblichen Streubereich.

Auch relevante Starkwindereignisse zeigen weder im Beobachtungs- noch im Projektionszeitraum signifikante Veränderungen bezüglich ihrer Häufigkeit, unterliegen jedoch wiederum einer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität.

Weitere relevante klimatologische Parameter

Die im Kontext Bauwirtschaft als relevant identifizierten meteorologischen Parameter umfassen insbesondere:

- Eistage ($T_{\max} < 0 \text{ °C}$)
- Frosttage ($T_{\min} < 0 \text{ °C}$)
- Sommertage ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$)
- Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$)
- Weitere Lufttemperaturen
- Windgeschwindigkeit
- Niederschlag und Starkniederschlagsparameter sowie die
- Mittlere Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe $\geq 0,1 \text{ cm}$ und
- Mittlere Anzahl der Tage mit $T_{\min} < 5 \text{ °C}$.

Diese meteorologischen Variablen werden auf Grund unterschiedlich lang zurückreichender Datenbasis für unterschiedliche Zeiträume im Projekt verfügbar gemacht. Sie reichen im Deutschlandmittel bis 1951 zurück. Die räumliche Auflösung betreffend wurden für Deutschland zum einen zweidimensionale Gebietsmittel (Felder) und zum anderen Zeitreihen der Variablen bereitgestellt. Darüber hinaus wurden vier als repräsentativ angenommene Stationen (Augsburg, Stuttgart, Bremen und Potsdam) bezüglich relevanter Parameter untersucht.

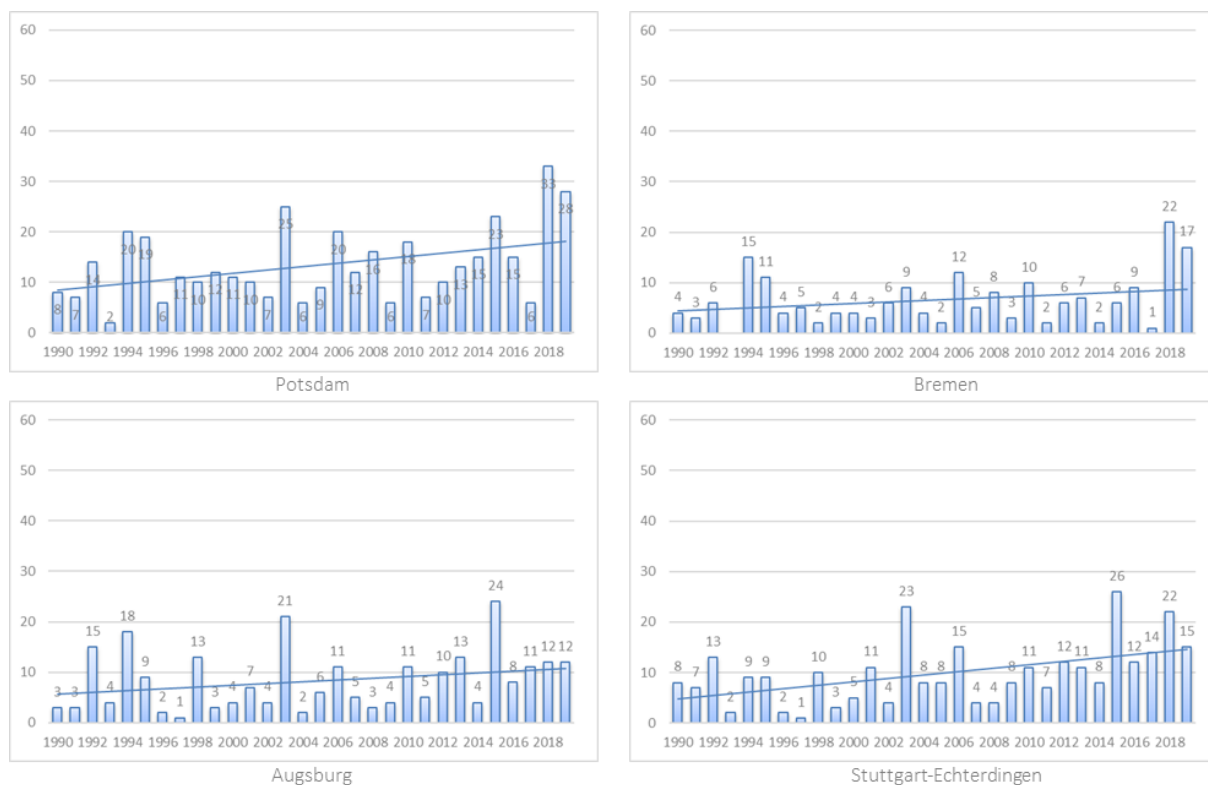


Abbildung 17: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl heißer Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019.

Die Tatsache, dass meteorologische Aussagen immer vor einem regionalen Bezug bewertet werden sollten, unterstreicht Abbildung 17. Die hier betrachteten Stationen verzeichnen über den Zeitraum 1990 bis 2019 eine Zunahme der heißen Tage. Die beiden in der Nordhälfte gelegenen Stationen Bremen und Potsdam registrierten im Jahr 2018 die meisten heißen Tage (22 beziehungsweise 33), während die süddeutschen Stationen Stuttgart-Echterdingen und Augsburg das Maximum im Jahre 2015 verbuchten (26 beziehungsweise 24).

Entsprechendes, wie für die heißen Tage, gilt ebenfalls für die sogenannten Sommertage mit einer Maximaltemperatur von 25 °C und mehr. Dies ist aus der Abbildung 18 ersichtlich.

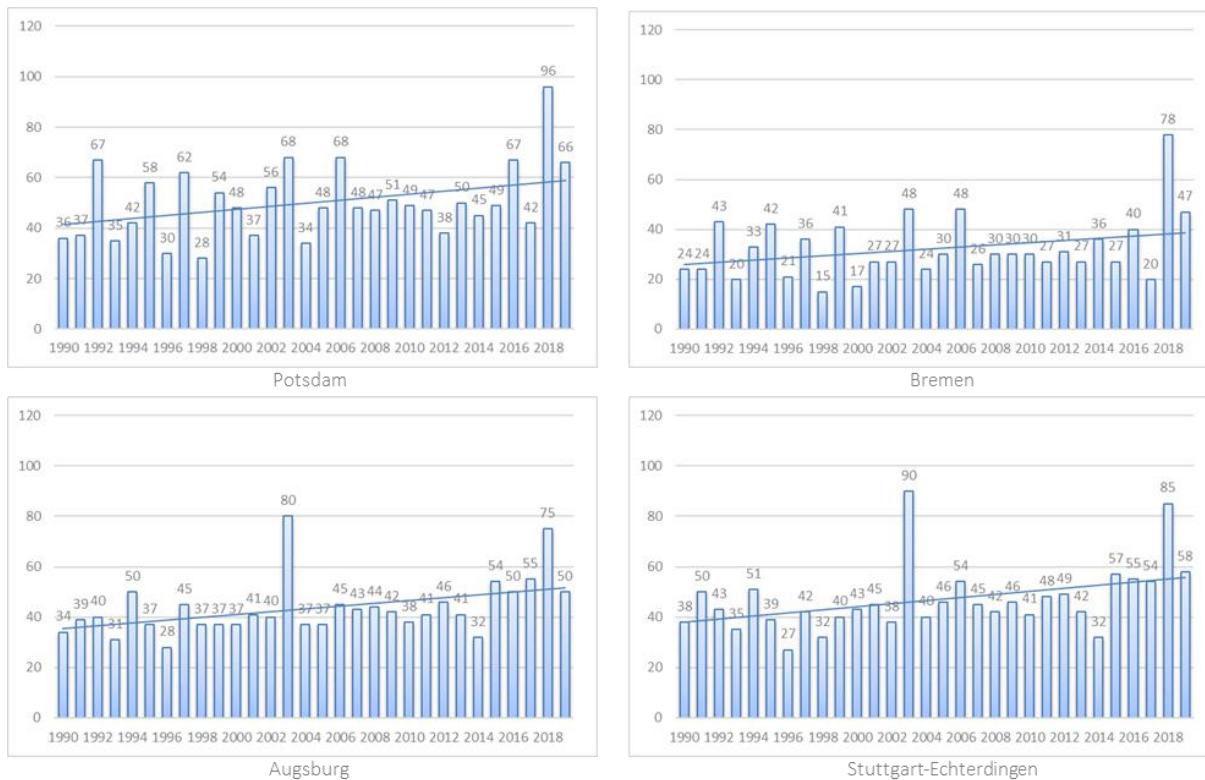


Abbildung 18: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Sommertage ($T_{\max} \geq 25\text{ °C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019.

In Abbildung 19 wird die mittlere Lufttemperatur für das Jahr 2018 – das bisher wärmste in Deutschland beobachtete Jahr – dargestellt.

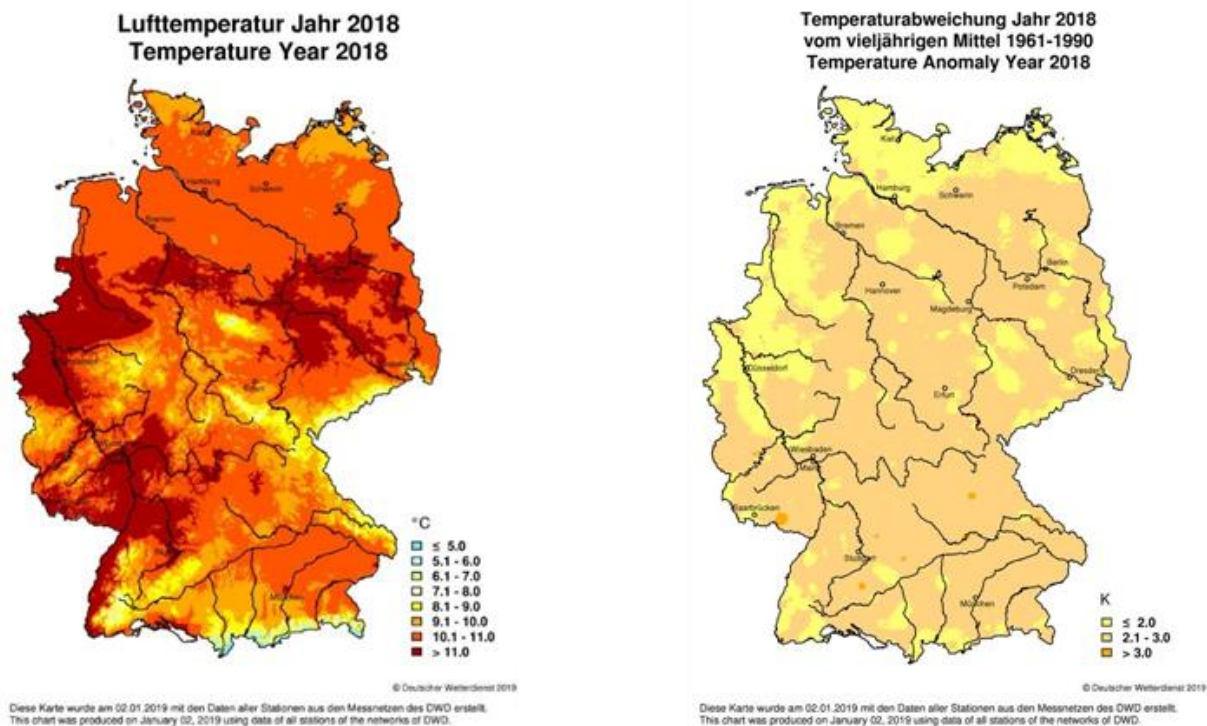


Abbildung 19: Darstellung der mittleren Lufttemperatur für das Jahr 2018. Links absolute Werte, rechts Abweichungen vom klimatologischen Referenzzeitraum 1961-1990.

Es wird deutlich, dass die Erwärmung nicht im gesamten Bundesgebiet gleichförmig auftritt. Begünstigt dabei sind der Oberrheingraben, das Rhein-Main-Gebiet sowie Teile im Westen im Großraum Köln. In den Mittelgebirgen und im Alpenvorland sind die Absolutwerte entsprechend niedriger. Betrachtet man jedoch die Abweichungen der Mitteltemperatur gegenüber dem klimatologischen Referenzzeitraum 1961 bis 1990 (rechts) wird deutlich, dass das Jahr 2018 im gesamten Bundesgebiet zwischen 2 °C und 3 °C zu warm war.

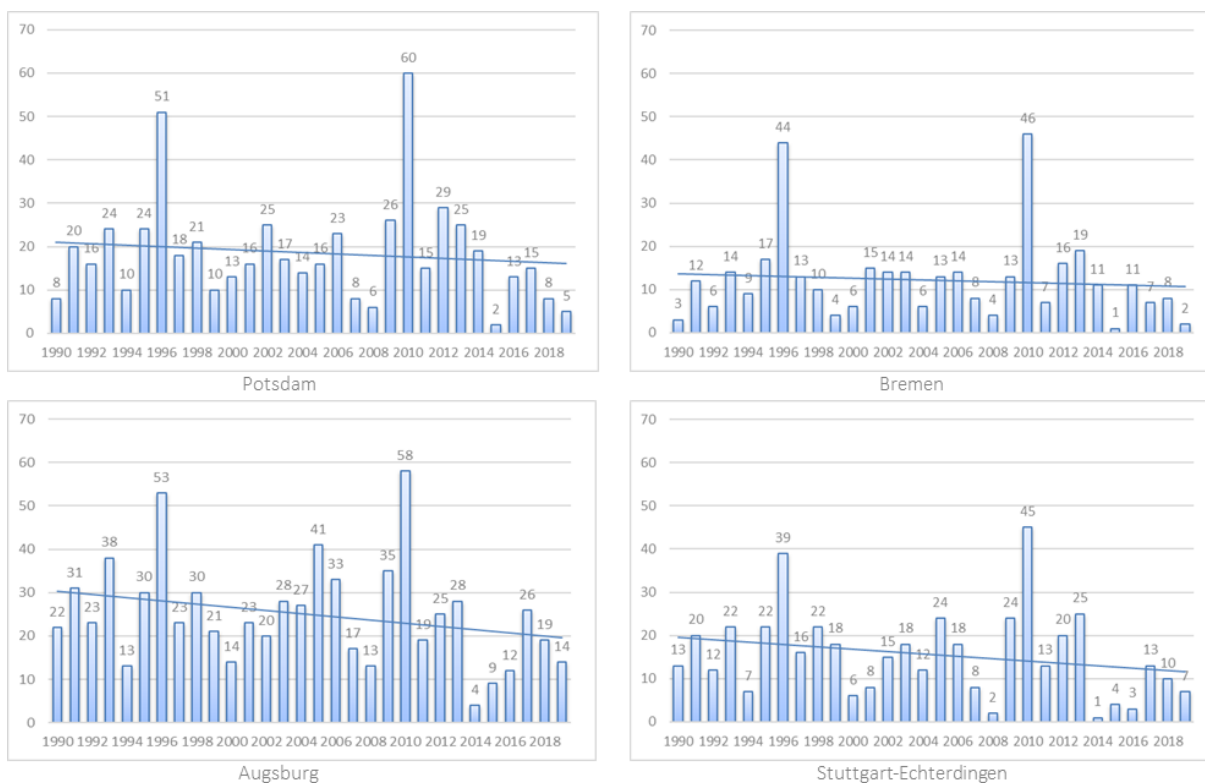


Abbildung 20: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Eistage ($T_{\max} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019.

Auch bei der Zahl der Eistage ($T_{\max} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ist eine deutliche Abnahme an allen analysierten Stationen zu erkennen (vgl. Abbildung 20). Die niedrigste Zahl an Eistagen kann generell an der Station Bremen verzeichnet werden. Die kältesten Jahre im betrachteten Zeitraum waren die Jahre 2010 und 1996 und dies offensichtlich an allen Stationen zugleich.

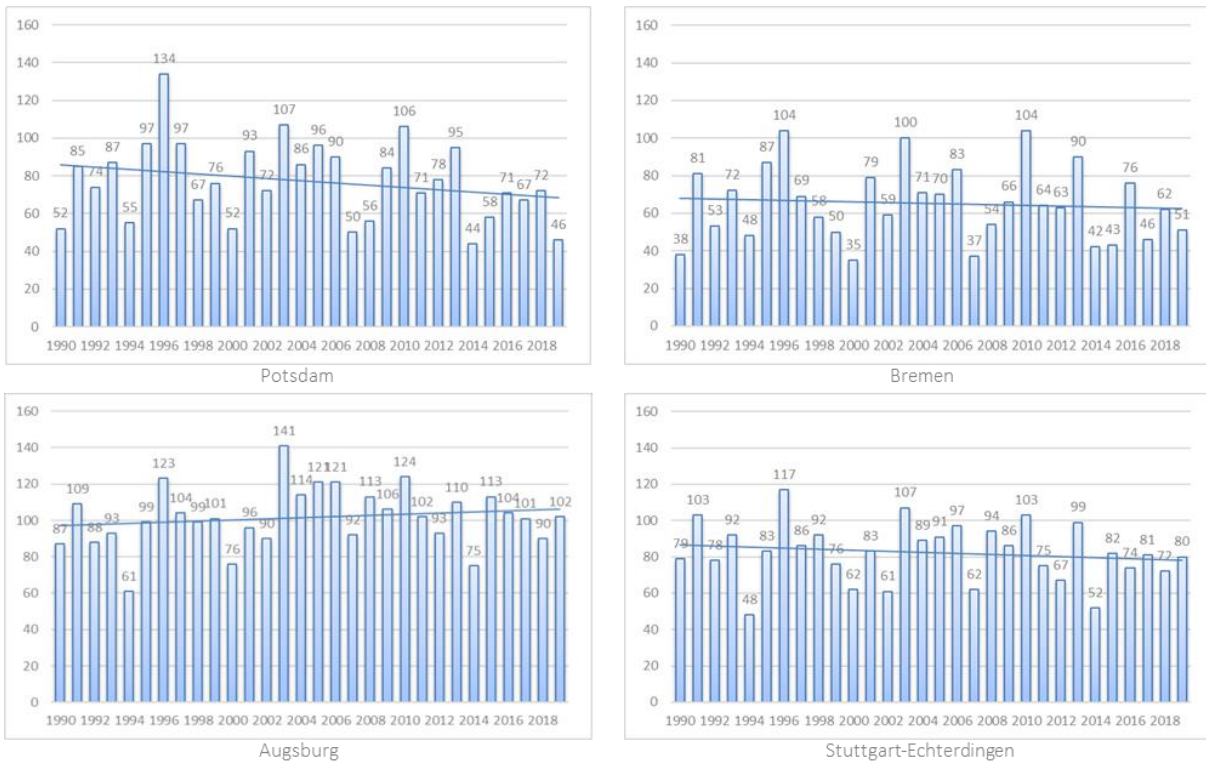


Abbildung 21: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Frosttage ($T_{\min} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts). Zusätzlich dargestellt ist der lineare Trend für den Zeitraum 1990 bis 2019.

Im Gegensatz zu den Eistagen, ist bei den Frosttagen ($T_{\min} < 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) kein einheitliches Trendverhalten für alle Stationen zu erkennen. Für die Stationen Potsdam, Stuttgart-Echterdingen und Bremen ist in der Abbildung 21 eine (leichte) Abnahme dieser Tage zu erkennen, wohingegen in Augsburg die Frosttage im linearen Trend leicht zunehmen.

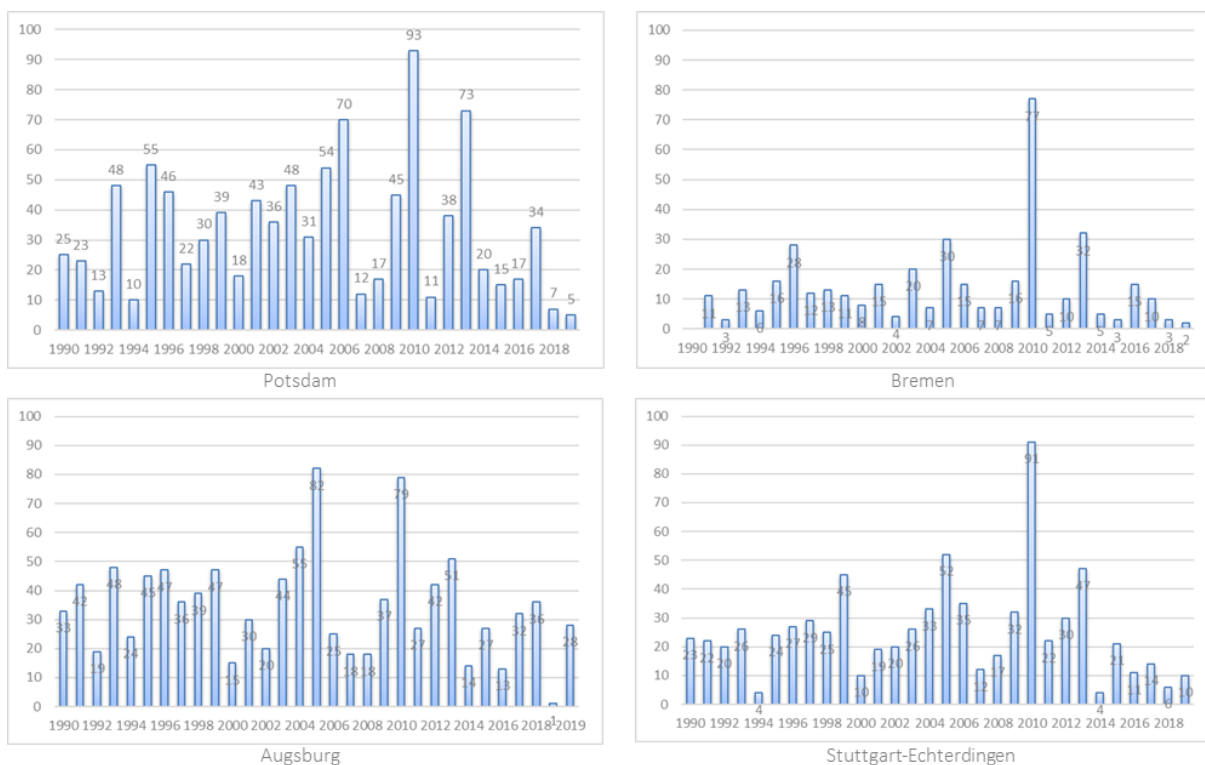


Abbildung 22: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Tage mit einer Schneedecke pro Jahr. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

In Abbildung 22 wird die Anzahl der Tage mit einer Schneedecke dargestellt. Hieraus wird die räumliche und zeitliche Variabilität besonders deutlich. Während in Augsburg das Jahr 2005 das Jahr mit den meisten Tagen mit einer Schneedecke war, wurden an allen anderen Stationen im Jahr 2010 die meisten solcher Tage beobachtet. Die Anzahl dieser Tage variiert hierbei im Jahr 2010 zwischen 92 (Bremen) und 93 (Potsdam). Das Niveau liegt in Bremen am niedrigsten. Messungen der Schneebedeckung sind jedoch generell mit Vorsicht zu genießen, da die vermehrt zum Einsatz kommenden automatisierten Messverfahren Schnee nicht umfassend erfassen können.

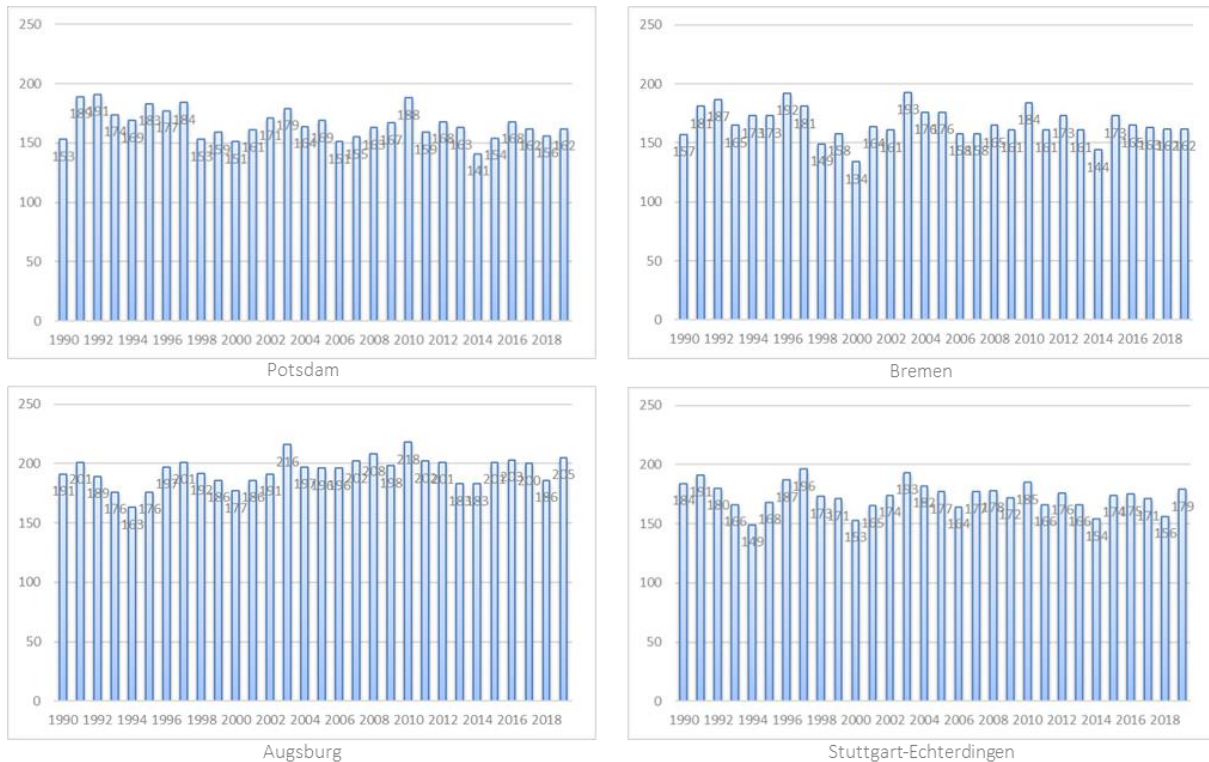


Abbildung 23: Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Anzahl der Tage mit einer Minimumtemperatur von unter 5 °C. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

Für die Bauindustrie von besonderer Bedeutung sind Tage an denen die Temperatur unter 5 °C liegt. In der Abbildung 23 ist der zeitliche Verlauf solcher Tage abgebildet. Auch hier sind regionale Unterschiede augenfällig. In Augsburg sind die Zahlen am höchsten. Da es sich bei dieser Grenze nicht um eine extreme Schwelle handelt, ist im Laufe der Zeit keine Trendveränderung auffällig, sondern die Zahl solcher Tage bleibt nahezu konstant.

Auf stündlichen Messungen basierende Werte

Für die Bauindustrie ist die Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Werte innerhalb einer bestimmten Tageszeit von großer Bedeutung (vgl. Tabelle 5). Es werden im Folgenden exemplarisch die

- Unterschreitung einer Temperatur von 5 °C zwischen 6 und 18 Uhr, sowie
- Die Überschreitung einer Temperatur von 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr vorge stellt.

Dabei zeigen sich insbesondere in den Übergangsjahreszeiten Frühjahr (März, April, Mai) und Herbst (September, Oktober, November) teils deutliche Veränderungen im Laufe des Betrachtungszeitraums.

Prinzipiell ließe sich eine auf Stundenwerten basierende Auswertung, im Hinblick auf die Bauindustrie, auf weitere meteorologische Parameter ausweiten, dies würde jedoch den diesem Forschungsprojekt zu Grunde liegenden Zeitrahmen sprengen.

Unterschreitung einer Temperatur von 5 °C zwischen 6 und 18 Uhr

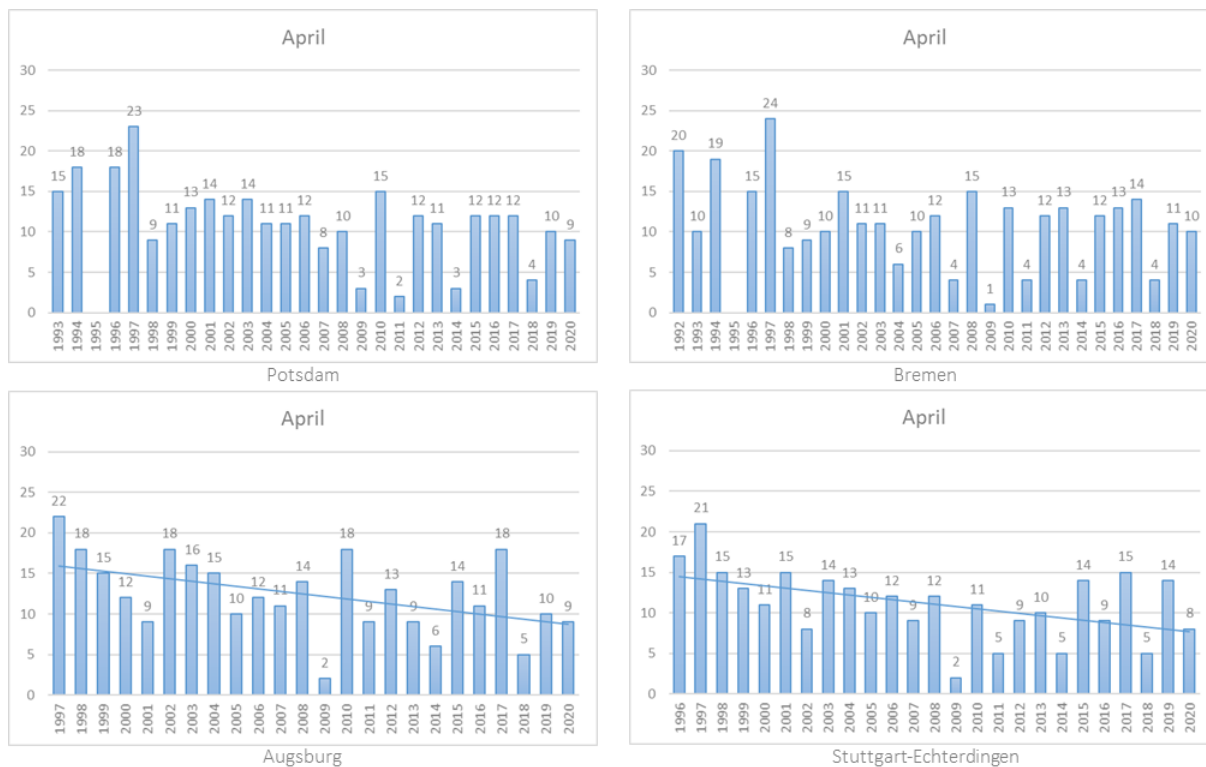


Abbildung 24: Unterschreitung einer Temperatur von kleiner gleich 5 °C zwischen 6 und 18 Uhr für April. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

In Abbildung 24 ist zu erkennen, dass die Anzahl der Tage mit einer Unterschreitung einer Temperatur von 5 °C zwischen 6 und 18 Uhr an allen hier betrachteten Stationen zurückgeht. Im hier betrachteten Zeitintervall ist dieser Rückgang mit ca. 5 Tagen in Augsburg und ca. 8 Tagen in Stuttgart besonders stark ausgeprägt. Für die Stationen Potsdam und Bremen kann eine solche eindeutige Tendaussage nicht abgeleitet werden, da hier Datenausfälle im Jahr 1995 zu verzeichnen sind, die eine solche Tendaussage nicht zulassen. Auch an dieser Station ist jedoch ein Rückgang dieser Ereignistage offensichtlich.

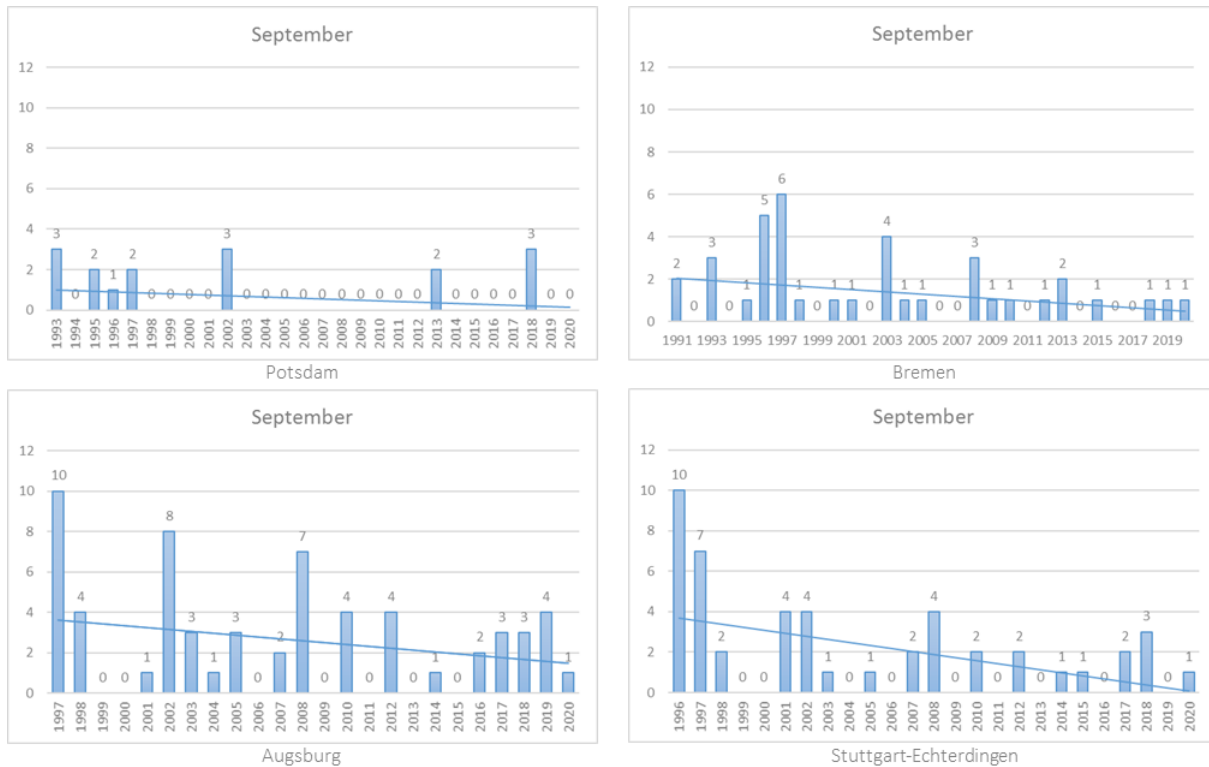


Abbildung 25: Unterschreitung einer Temperatur von kleiner gleich 5 °C zwischen 6 und 18 Uhr für September. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

Abbildung 25 zeigt die Anzahl an Tagen mit einer Unterschreitung von 5 °C zwischen 6 und 18 Uhr für den September. Auch hier ist eine deutliche Abnahme dieser Tage im betrachteten Zeitintervall von bis zu 2 Tagen erkennbar. Lediglich an der Station Potsdam kann eine solche Aussage auf Grund der erwähnten Datenlücken nicht getroffen werden. Zudem ist hier die Anzahl dieser Tage generell auf einem niedrigen Niveau und somit keine Trenderaussage möglich.

Überschreitung einer Temperatur von 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr

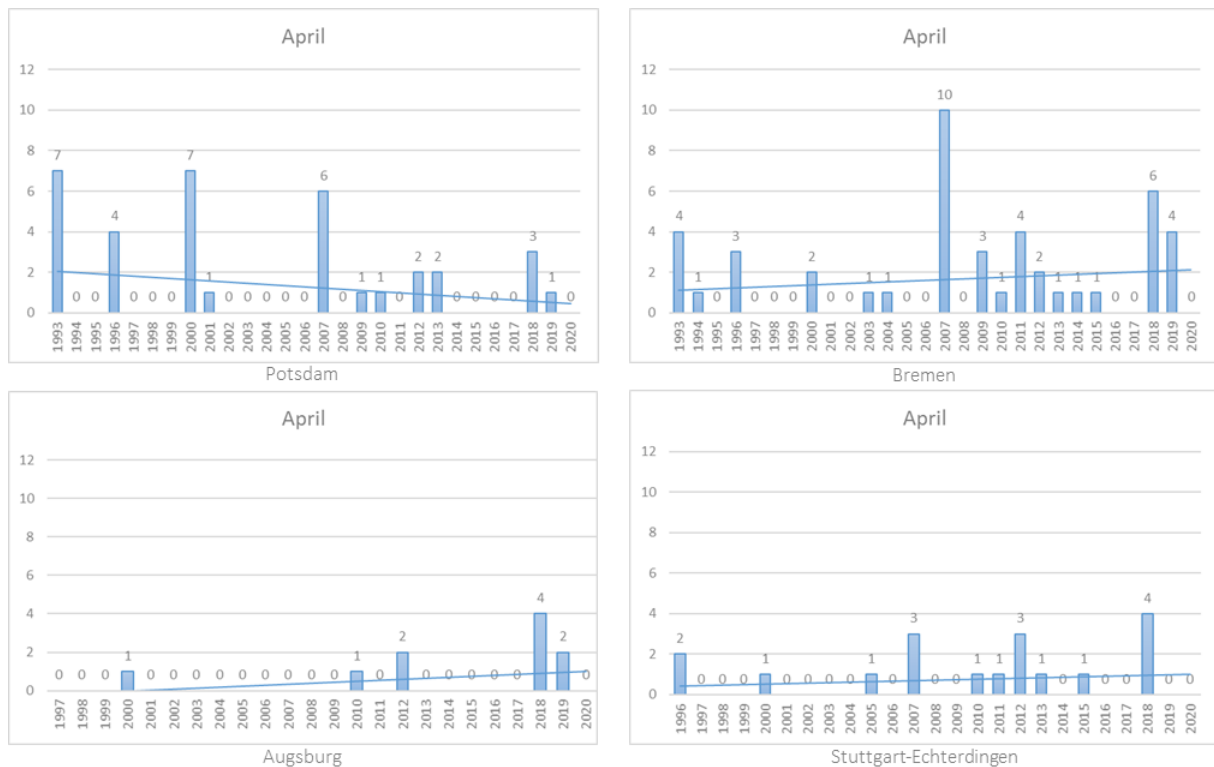


Abbildung 26: Überschreitung einer Temperatur von mindestens 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr für April. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

In Abbildung 26 ist die Anzahl der Tage pro Jahr im Monat April dargestellt, an denen zwischen 8 und 16 Uhr eine Temperatur von 25 °C überschritten wird. Mit Ausnahme von Potsdam nehmen hier diese Ereignistage zu. Die Station, die von der hier dargestellten Auswahl am weitesten östlich liegt, unterliegt teilweise deutlich anderen Großwetterlagen, die sich hier mit gegenläufigen Trendverhalten widerspiegeln können. Generell bleibt festzuhalten, dass die Anzahl solcher Ereignistage an allen Stationen auf einem relativ niedrigen Niveau liegt, was ein Indiz dafür sein kann, dass solche Ereignistage im April generell als recht selten zu betrachten sind. Beachtenswert ist hier zudem noch die hohe räumliche Variabilität: während an den Stationen Augsburg und Stuttgart im Jahr 2018 die meisten solcher Tage verzeichnet wurden, sind dies in Bremen das Jahr 2007 und in Potsdam die Jahre 1993 und 2000.

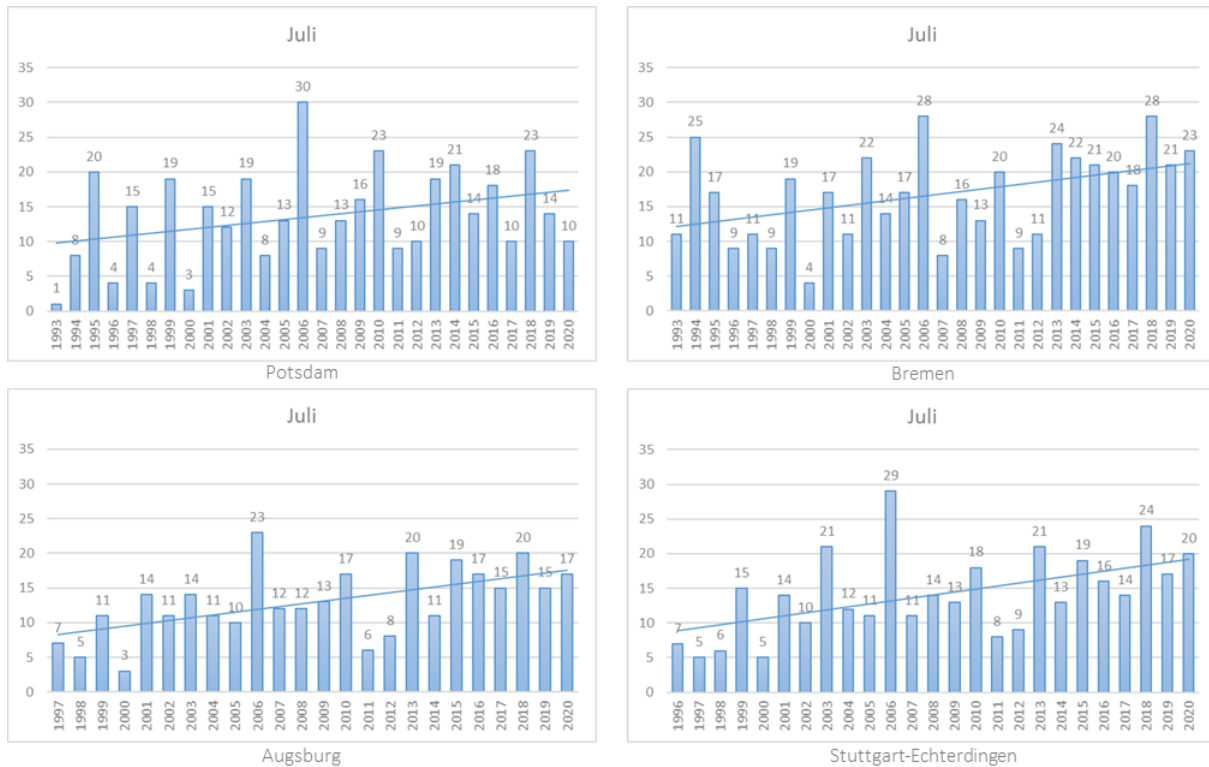


Abbildung 27: Überschreitung einer Temperatur von mindestens 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr für Juli. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

Abbildung 27 zeigt die Anzahl von Tagen pro Jahr im Monat Juli, an denen zwischen 8 und 16 Uhr eine Temperatur von 25 °C überschritten wird. Hier sticht das Jahr 2006 an allen Stationen mit den höchsten Werten hervor. In Potsdam wurde in diesem Jahr eine Überschreitung der Temperatur von 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr an 30 Tagen registriert, somit fast im gesamten Monat. Ähnlich hoch liegen die registrierten Werte an der Station Bremen. Generell ist hier ein deutliches Trendverhalten erkennbar, das zwischen einer Zunahme um ca. 7 Tage (Potsdam) und ca. 10 Tagen (Augsburg und Stuttgart) liegt.

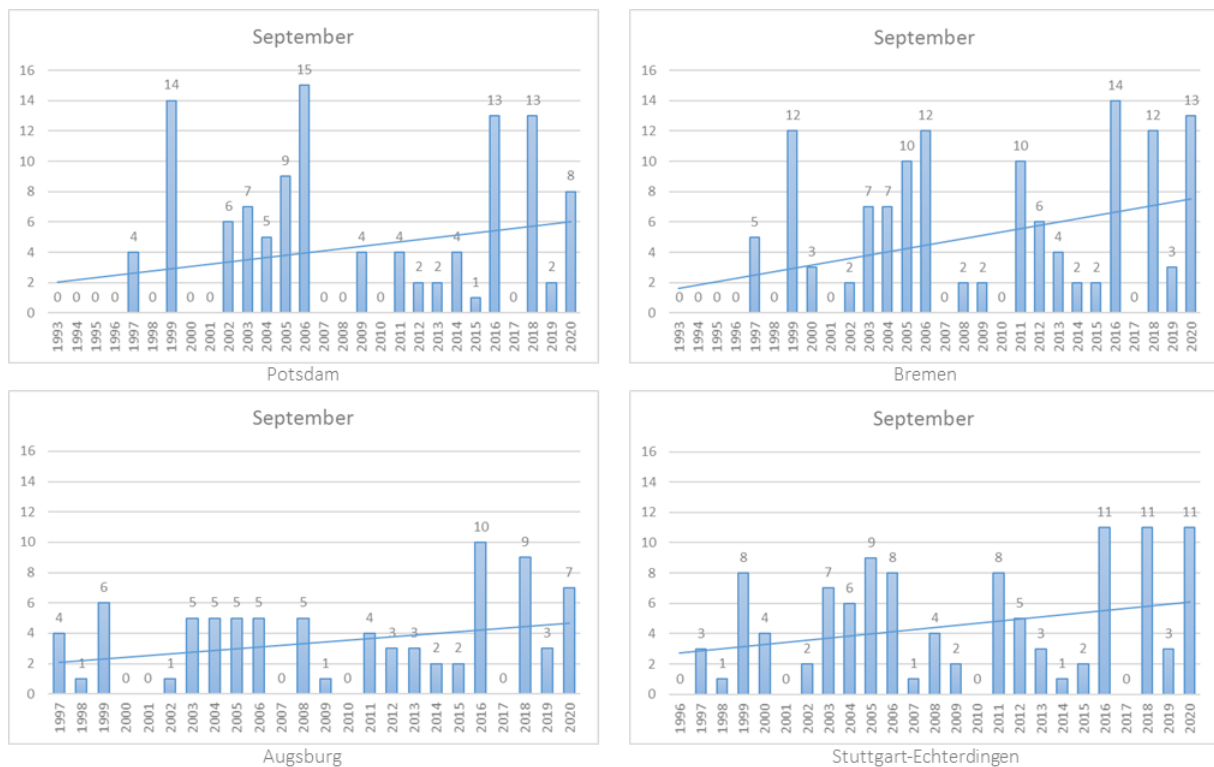


Abbildung 28: Überschreitung einer Temperatur von mindestens 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr für September. Oben: Potsdam (links), Bremen (rechts), Unten: Augsburg (links), Stuttgart-Echterdingen (rechts).

Abbildung 28 zeigt entsprechende Darstellungen des Überschreitens einer Temperaturschwelle von 25 °C zwischen 8 und 16 Uhr für den Monat September. Auch hier ist deutlich eine allgemeine Zunahme dieser Ereignistage zu erkennen. Solche Tage sind gerade in der jüngeren Vergangenheit häufiger aufgetreten. Auffällig hierbei ist die Tatsache, dass im Jahr 2017 diese Temperaturschwelle an allen Stationen im fraglichen Zeitraum nicht überschritten wurde. Die größten Anzahlen treten hier an den Stationen Potsdam und Bremen auf.

Generell liefern die hier exemplarisch dargestellten Auswertungen zum Überschreiten gewisser im Bauwesen relevanter Schranken wertvolle Hinweise. Weitere Parameter (vgl. Tabelle 5) die eine Relevanz in der Bauindustrie aufweisen, sind ebenfalls zu realisieren.

Es bleibt jedoch festzuhalten, dass bei der statistischen Analyse stündlicher Werte noch Forschungsbedarf besteht. So müssen zunächst die zu Grunde liegenden stündlichen Messdaten grundsätzlich auf ihre Vollständigkeit und Plausibilität hin untersucht und beurteilt werden. Im Anschluss sind umfangreichere als die hier exemplarisch gezeigten Analysen notwendig. Jedoch haben stündliche Daten im Kontext dieses Forschungsvorhabens ein großes Potential die angestrebten Hinweise zur Verarbeitung von Materialien aber auch zum vorbeugenden Gesundheitsschutz bereit stellen zu können.

4.4 Klimaprojektionen ausgewählter meteorologischer Elemente und Grenzwerte

Die beobachteten Klimaschwankungen und -trends der Vergangenheit einfach in die Zukunft zu extrapolieren ist im Hinblick auf den Klimawandel nicht zielführend. Daher werden Klimamodelle – als computergestützte Werkzeuge zur vereinfachten Beschreibung von in der Natur ablaufenden Erscheinungen – für die Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklungen genutzt.

In einem Klimamodell werden eine Vielzahl an (Teil-)Modellen zu einem großen Modell zusammengefasst. Die Teilmodelle sind in der Lage, alle wesentlichen Prozesse der Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre und Biosphäre unseres Planeten Erde zu beschreiben. Eine Eins-zu-eins-Umsetzung aller in der Realität ablaufenden Prozesse in Klimamodellen ist jedoch nicht möglich. Zum einen sind nicht alle Prozesse in der Natur hinreichend bekannt. Zum anderen erfordert dies einen extrem hohen Aufwand an Computerrechenzeit. Für die Modellierung werden die Atmosphäre und die Ozeane der Erde mit einem dreidimensionalen Gitternetz überzogen. Die Auflösung (Gitterpunkt Abstand) globaler Klimamodelle ist sehr grob, damit sie innerhalb einer akzeptablen Rechenzeit über viele Jahre gerechnet werden können. Obwohl diese Modelle die grundlegende großräumige Variabilität des Klimas ausreichend beschreiben, reicht die Auflösung nicht aus, um Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels einer bestimmten Region der Erde (z. B. Deutschland) detailliert darzustellen. Hierfür werden regionale Klimamodelle eingesetzt, deren Gitterpunkte ein erheblich engmaschigeres Netz bilden als diejenigen der globalen Klimamodelle. Sie gehen von den Ergebnissen der globalen Klimamodelle aus.

Für Deutschland liegen aktuell Simulationen mit einer räumlichen Gitterweite von 50 und 12,5 km vor. Das bedeutet zum Beispiel, dass die simulierte Temperatur nur alle 12,5 km einen anderen Wert annehmen kann. Eine belastbare Aussage ist für eine einzelne Gitterzelle nicht möglich. Es müssen immer mehrere Gitterzellen zusammengefasst werden. Üblicherweise wird dafür eine Matrix von drei mal drei Gitterzellen genutzt. Bei einer Modellauflösung von beispielsweise 12,5 km sind nur Aussagen für eine Region von 37,5 km x 37,5 km möglich.

Weltweit werden von einer Vielzahl von Forschungsgruppen Klimamodelle mehr oder weniger unabhängig voneinander entwickelt. Einzelne Modellkomponenten werden dadurch unterschiedlich beschrieben, was wiederum zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Ursache hierfür sind die für die Entwicklung eines Modells notwendigen vereinfachten Grundannahmen gegenüber den in der Natur ablaufenden Prozessen. Die vorhandene Bandbreite des Ensembles (Gruppe von Klimaprojektionen) ist ein wichtiger Hinweis auf die Güte des Verständnisses der in der Natur ablaufenden Prozesse. Je größer die Bandbreite ist, desto vorsichtiger sollten Aussagen zum Beispiel über beschriebene Änderungssignale formuliert werden.

Der Mensch wirkt auf vielfältige Weise auf das Klima ein. Wesentlich sind zwei Bereiche:

1. Durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen entstehen unter anderem große Mengen an Kohlendioxid, das direkt in die Atmosphäre entweicht.
2. Durch Abholzung, Aufforstung und Versiegelung verändert der Mensch die Landnutzung auf der regionalen und globalen Skala.

Nur unter der gemeinsamen Berücksichtigung der natürlichen Einflüsse sowie derjenigen, die auf den Menschen zurückzuführen sind, können die beobachteten Änderungen des globalen Klimas erklärt werden. Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der nächsten Jahre und Jahrzehnte genau zu beschreiben. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf der Einflussnahme. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die einen mehr oder minder starken Einfluss des Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsbericht des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurden vier repräsentative Szenarien oder „Konzentrationspfade“ (engl. Representative Concentration Pathways – RCPs) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die den Verlauf von Treibhausgaskonzentrationen und den Einfluss von Aerosol gemeinsam als Strahlungsantrieb beschreiben. Der Begriff Strahlungsantrieb ist vereinfacht als „zusätzliche/erhöhte“ Energiezufuhr für die Erde zu bezeichnen.

Die Szenarien werden RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 genannt (vgl. Abbildung 15 und Tabelle 4 auf Seite 45). Hierbei steht die jeweilige Zahl (z. B. 8.5) für die „zusätzliche“ der Erde zur Verfügung stehende Energie von $8,5 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100 gegenüber der solaren Einstrahlung in den Jahren 1861 bis 1880. Dieser Zeitraum repräsentiert den Zustand des Klimas, bevor der Mensch wesentlichen Einfluss auf die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre genommen hat (im Weiteren „vorindustrielles Niveau“ genannt). Die Entwicklung sozioökonomischer Faktoren, z. B. der Bevölkerung, der Energienutzung oder die Emissionen von Treibhausgasen werden nicht modelliert. Sie können aber indirekt den RCPs zugeordnet werden.

Das Klimaschutz-Szenario (RCP2.6) basiert auf Annahmen, die der 2-Grad-Obergrenze entsprechen. Ziel ist eine Welt, in der im Jahr 2100 die globale Erwärmung nicht mehr als $2 \text{ }^\circ\text{C}$ im Vergleich zum Jahr 1860 beträgt. Dafür wird ein Szenarien-Verlauf angenommen, der mit einer sehr starken und sehr schnellen Reduktion der Emission von Treibhausgasen gegenüber dem heutigen Zustand verbunden ist. Der Höchstwert des Strahlungsantriebes wird vor dem Jahr 2050 ($3,0 \text{ W/m}^2$) erreicht. Von da an sinkt er kontinuierlich auf den Wert $2,6 \text{ W/m}^2$ im Jahr 2100. Hierzu ist ein Wandel hin zu einer Welt notwendig, deren Energieversorgung nicht mehr auf der Verbrennung von fossilen Kohlenstoffvorräten basiert. Das Maximum weltweiter Emissionen von Treibhausgasen muss dafür vor dem Jahr 2020 liegen. Noch vor dem Jahr 2080 dürfen keine wesentlichen Emissionen von Treibhausgasen mehr vorhanden sein (Null-Emission).

Das Weiter-wie-bisher-Szenario (RCP8.5) beschreibt eine Welt, in der die Energieversorgung im Wesentlichen auf der Verbrennung fossiler Kohlenstoffvorräte beruht. Der Ausstoß von Treibhausgasen wird sich gegenüber heute mit einem stetigen Anstieg des Strahlungsantriebes bis hin zum Jahr 2100 erhöhen.

Die in diesem Bericht gezeigten Ergebnisse beziehen sich im Wesentlichen auf die Szenarien RCP8.5 und RCP2.6 und stellen somit die Vergleichbarkeit zur aktuellen Klima- und Vulnerabilitätsanalyse 2021 des Umweltbundesamtes. Basierend auf dem Auftrag der Bundesregierung im Fortschrittsbericht 2015 hat das Umweltbundesamt (UBA) 2017 eine neue Vulnerabilitätsanalyse in Auftrag gegeben. Ziel ist es, ein aktualisiertes, handlungsfeldübergreifendes Gesamtbild der Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel basierend auf dem aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand und einer weiterentwickelten Methode zu erarbeiten. Hierfür wurde ein internationales Konsortium von Forschungs- und Beratungseinrichtungen beauftragt. Die Vulnerabilitätsanalyse soll 2021 erscheinen.

Um den Unterschied zwischen dem heutigen und einem zukünftigen Zustand zu berechnen, werden jeweils zwei 30-Jahres-Zeiträume genutzt. Für jeden Zeitraum wird ein mittlerer Zustand berechnet. Als Bezugszeitraum für das beobachtete Klima dienen die Jahre 1971 bis 2000 aus den Modellen. Für die Zukunft werden zwei Zeiträume analysiert. Sie werden im Weiteren kurzfristiger und langfristiger Planungshorizont genannt. Der kurzfristige Planungshorizont beschreibt den mittleren Zustand der Jahre 2021 bis 2050. Die Jahre 2071 bis 2100 werden als Grundlage für den langfristigen Planungshorizont genutzt. Die zukünftigen Änderungen werden als ein mittlerer Wert und als Bandbreite (15. und 85. Perzentil) angegeben.

Temperatur

Ein weiterer Anstieg der Temperatur in Deutschland ist zu erwarten (vgl. Abbildung 29 und Tabelle 6 auf Seite 71, sehr hohe Übereinstimmung). Für den kurzfristigen Planungshorizont (2021 bis 2050) beträgt dieser Anstieg etwa 1,1 bis 1,5 °C. Der Unterschied zwischen den durch die Klimaprojektionen (Klimaschutz-Szenario und Weiter-wie-Bisher-Szenario) projizierten Änderungen ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen 0,8 und 2,3 °C. Die Erwärmung ist in Süddeutschland etwas stärker ausgeprägt. Die Temperaturentwicklung für den langfristigen Planungshorizont wird stark vom gewählten Szenario bestimmt. Basierend auf dem Klimaschutz-Szenario ist eine Erhöhung um 1,1 °C zu erwarten (mittlere Übereinstimmung). Erreicht wird die Stabilisierung auf dem Niveau des kurzfristigen Planungshorizontes durch die sehr starke Reduktion der Treibhausgasemissionen innerhalb der Szenariendefinition. Die Änderung im Vergleich zum frühindustriellen Zustand beträgt 1,9 °C. Regionale Unterschiede sind kaum vorhanden. Unter den Bedingungen des Weiter-wie-bisher-Szenarios beträgt die Erwärmung etwa 3,8 °C.

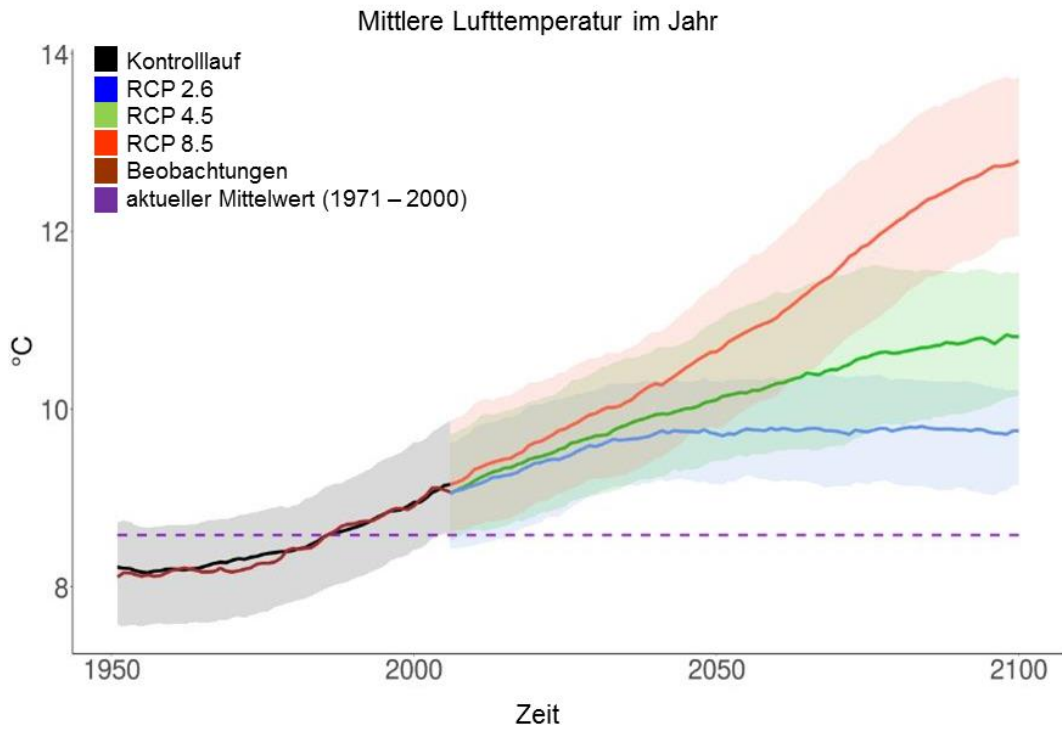


Abbildung 29: Projizierter Verlauf der Mitteltemperatur in Deutschland

| | 1961 - 1990 | 1971 - 2000 | 2021-2050 (RCP2.6) | 2021-2050 (RCP8.5) | 2071-2100 (RCP2.6) | 2071-2100 (RCP8.5) |
|----------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Frühjahr | 7.7 °C | 8,1 °C | + 0.9 °C | + 1.1 °C | + 1.0 °C | + 3.1 °C |
| Sommer | 16.3 °C | 16.6 °C | + 1.1 °C | + 1.4 °C | + 1.2 °C | + 4.0 °C |
| Herbst | 8.8 °C | 8.7 °C | + 1.2 °C | + 1.8 °C | + 1.2 °C | + 4.3 °C |
| Winter | 0.3 °C | 0.8 °C | + 1.1 °C | + 1.5 °C | + 1.2 °C | + 4.0 °C |
| Jahr | 8.2 °C | 8.6 °C | + 1.1 °C | + 1.5 °C | + 1.1 °C | +3.8 °C |

Tabelle 6: Jahreszeitliche Mittelwerte der Temperatur und erwartete Änderungen

Sommertage

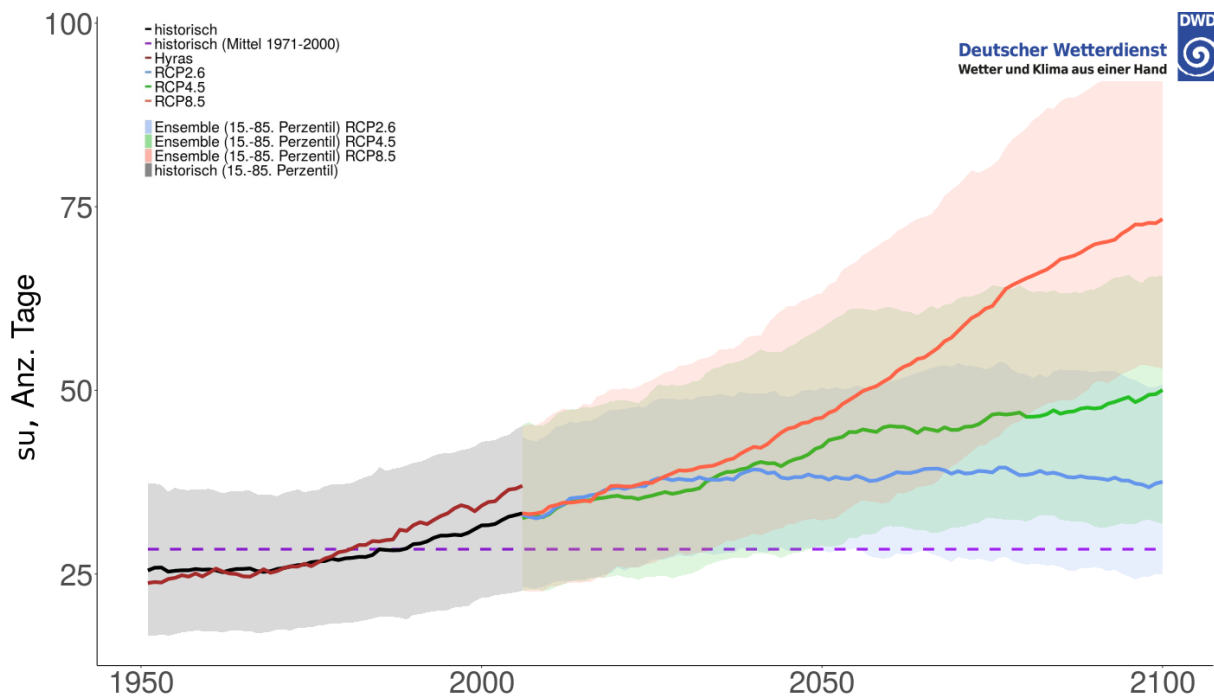


Abbildung 30: Veränderung der Anzahl der Sommertage in Deutschland

Auch bei den Sommertagen (vgl. Abbildung 30) ist bis zum Ende des Jahrhunderts eine deutliche Zunahme zu erwarten. Dabei sind die projizierten Änderungen bis zur Mitte des Jahrhunderts ebenfalls vom konkret zu Grunde gelegten Emissionsszenario unabhängig. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird es im Deutschlandmittel ca. 10 Sommertage mehr geben als im historischen Mittel 1971 bis 2000, bis zum Ende des Jahrhunderts können es im schlimmsten Fall bis zu 70 mehr solcher Tage sein, also mehr als zwei Monate.

Heiße Tage

Ähnlich wie bei den Sommertagen verhält es sich auch bei den heißen Tagen (vgl. Abbildung 31). Auch hier ist die Veränderung dieser Ereignistage bis zur Mitte des Jahrhunderts unabhängig vom gewählten Emissionsszenario und liegt unter einer Zunahme von ca. 10 Tagen. Allerdings kann die Veränderung bis zum Ende des Jahrhunderts bei der Wahl des Weiter-wie-bisher-Szenarios über 40 Tage betragen, was mehr als einen Monat mit Temperaturen von mindestens 30 °C bedeuten kann.

Unter der Voraussetzung des Emissionsszenarios RCP8.5 (Abbildung 32) sind hierbei besonders betroffene Regionen zu identifizieren. So wird sich bereits bis zur Mitte des Jahrhunderts im Rhein-Main-Gebiet, am Oberrheingraben aber auch in den Mittelgebirgen die Anzahl solcher Ereignisse um ca. 20 Tage im Jahr erhöhen. Bis zum Ende des Jahrhunderts ist Deutschlandweit eine Zunahme, um bis zu 20 Tage zu erwarten, in den besonders betroffenen Regionen sind gar mehr als 40 Tage mit Maximumtemperaturen von mindestens 30 °C zu erwarten.

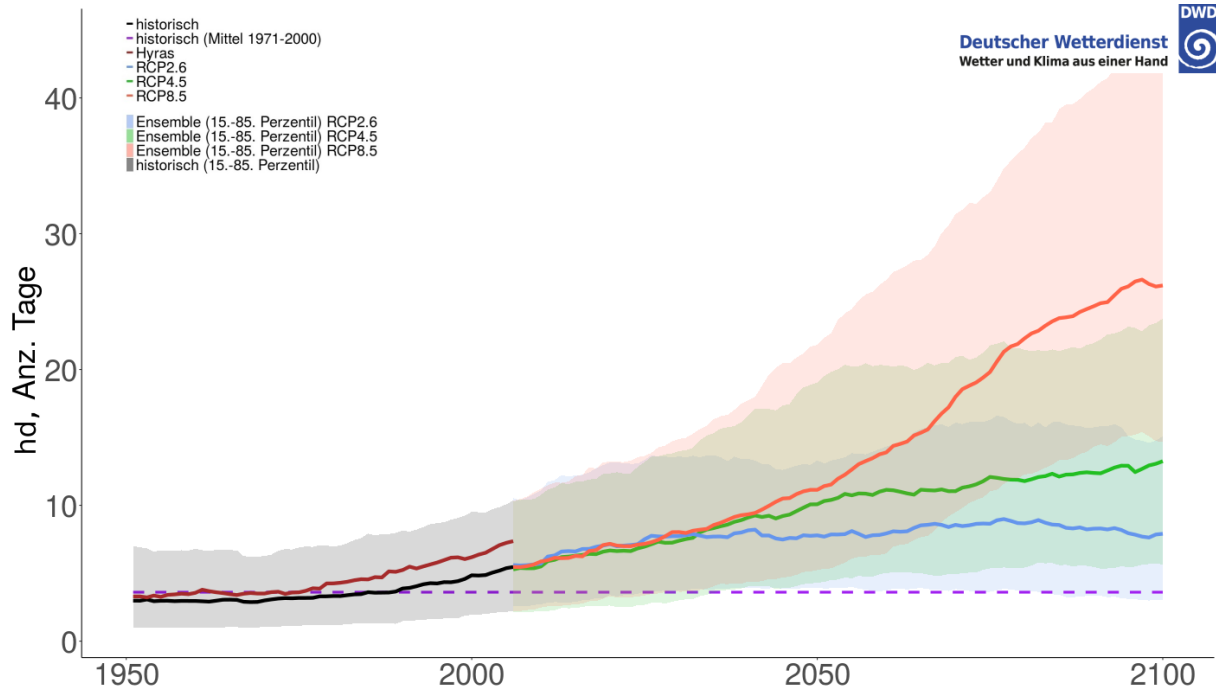


Abbildung 31: Veränderung der Anzahl der heißen Tage in Deutschland

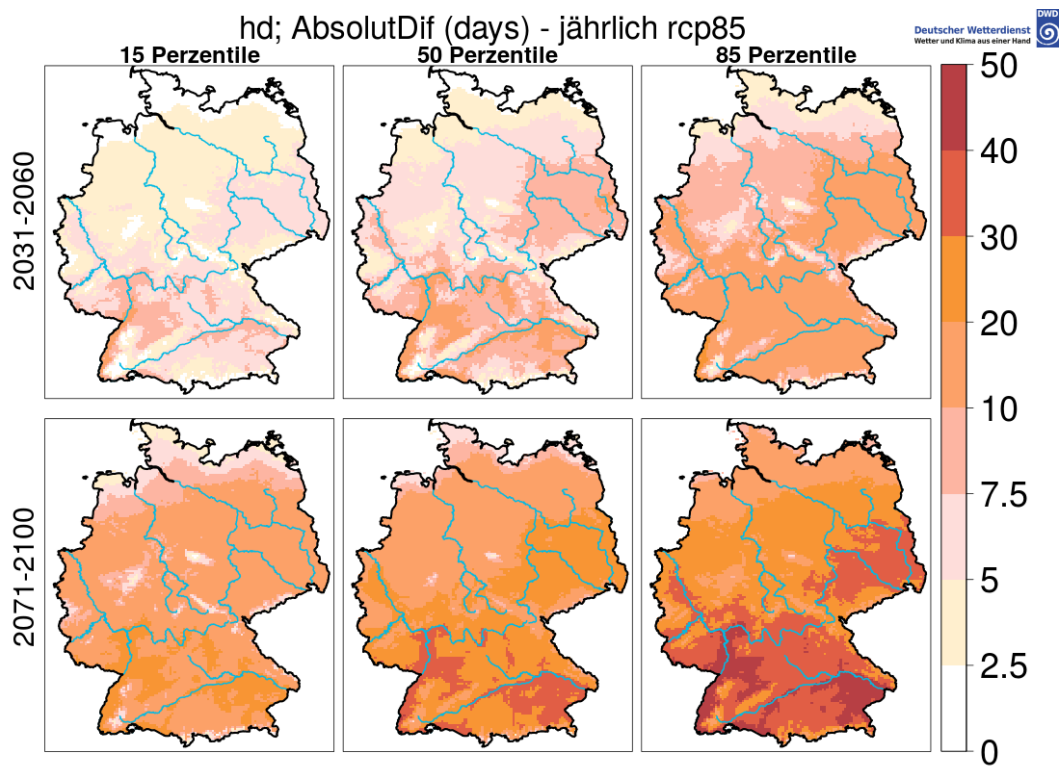


Abbildung 32: Änderung der Anzahl der heißen Tage unter der Voraussetzung des Emissionsszenarios RCP8.5

Niederschlag

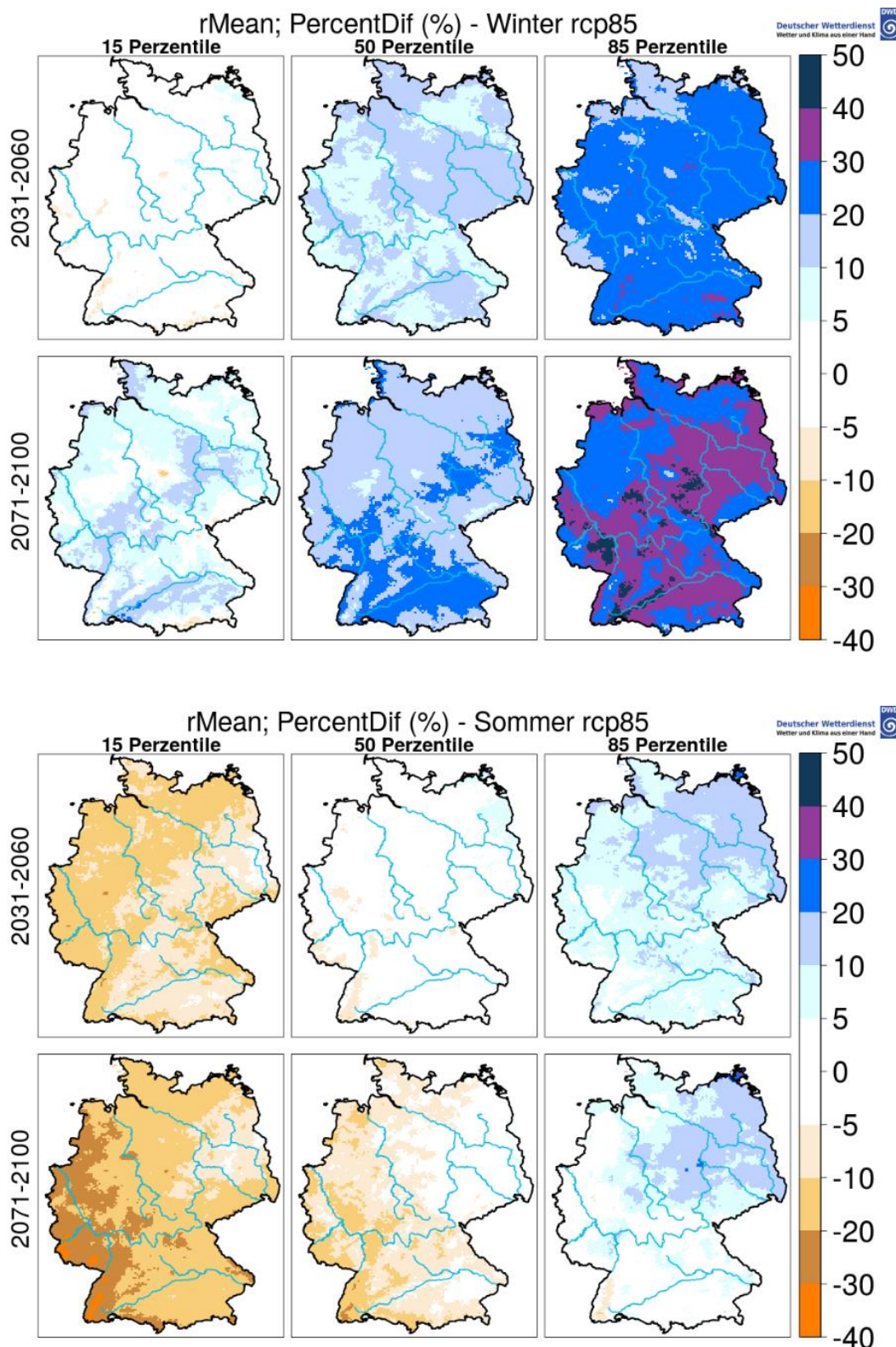


Abbildung 33: Prozentuale Abweichung der mittleren Niederschlagssumme für die Zeiträume 2031-2060 (oben) und 2071-2100 (unten) vom Referenzzeitraum 1971-2000. Dargestellt ist die Spannweite zwischen 15. Perzentil (links) und 85. Perzentil (rechts) sowie der Median der Ensemblemitglieder (Mitte)

Eine deutliche Änderung der mittleren Jahressumme des Niederschlags zur Mitte des Jahrhunderts ist für Deutschland nicht zu erwarten (vgl. Abbildung 33). Berechnet wird eine Zunahme des mittleren Jahresniederschlags um ca. 4 %. Der Unterschied zwischen den Szenarien ist gering. Die Bandbreite der Ergebnisse liegt zwischen – 5 % und + 13 % Änderung. Sie ist in allen Teilen des Bundesgebiets in etwa gleich stark ausgeprägt. Grundsätzlich muss angemerkt werden, dass eine modellierte Änderung unterhalb von – 10 % nicht von der natürlichen Klimavariabilität unterschieden werden kann. Für den langfristigen Planungshorizont 2071 bis 2100 ist für Deutschland mit einer Zunahme des Jahresniederschlags um + 6 % zu rechnen. Die Änderung wird in allen Teilen des Bundesgebiets in etwa gleich stark ausgeprägt sein. Bezüglich der Änderung der Anzahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 10 mm pro Tag ist für alle Regionen sowohl für den kurzfristigen Planungshorizont als auch für den langfristigen Planungshorizont mit einer Zunahme zu rechnen. Allein in der Alpenregion projizieren manche Modelle eine Abnahme dieser Tage. Ein weniger ausgeprägter Anstieg wird für die Tage mit Niederschlag von 20 mm und mehr projiziert. Jedoch ist bei Starkniederschlägen die Spannweite innerhalb des Modellensembles teilweise sehr groß, so dass die Resultate nur wenig belastbar sind. Regionale Unterschiede bezüglich der Änderung der mittleren Jahressumme der Niederschlagshöhe sind wenig ausgeprägt.

Bezüglich jahreszeitlicher Unterschiede werden für den kurzfristigen Planungshorizont 2021 bis 2050 unter Verwendung aller RCP-Szenarien für den Winter Zunahmen der Niederschlagsmenge um + 8 % berechnet. Im Winter ist mit einer Zunahme an Niederschlägen zu rechnen, die dann zunehmend in flüssiger Form fallen, da mit einer Zunahme der Temperaturen zu rechnen ist. Für den Sommer ist eine Richtungsaussage nur bedingt möglich. Die Spannweite der Ergebnisse liegt im Bereich von geringen Zunahmen bis hin zu einem leichten Rückgang. Es ist weiterhin damit zu rechnen, dass im Sommer zusehends Starkregenereignisse zu verzeichnen sein werden. Aktuelle Auswertungen des DWD zeigen, dass gerade im Sommer längere Dürrephasen durch konvektive Starkregenereignisse unterbrochen werden. Ein „Landregen“ wird im Sommer zusehends seltener zu beobachten sein. Im Kontext von Starkregenereignissen ist immer auch auf die damit verbundene Gefahr von Sturzfluten hinzuweisen. In den Übergangsjahreszeiten zeigen sich für diesen Planungshorizont Zunahmen der mittleren Niederschlagssumme von + 2 % (Herbst) bzw. + 7 % (Frühjahr). Im Frühjahr und im Herbst kann die Änderung für den langfristigen Planungshorizont (2071 bis 2100) – 1 bis + 13 % betragen, wohingegen die Änderung im Winter bis zu + 16 % betragen kann. Für den Sommer wird in diesem Planungshorizont eine Spanne von keiner Änderung im Klimaschutz-Szenario (± 0 %) bis hin zu Abnahmen der Niederschlagshöhe im Weiter-wie-bisher Szenario (– 10 %) berechnet. Die Spannweite liegt im Weiter-wie-bisher-Szenario zwischen einer Zunahme um + 10 % und einer Abnahme um – 50 %. In den einzelnen Regionen ist ebenso der Sommer mit großen Spannweiten in den Ergebnissen gekennzeichnet, sodass hier die Ergebnisse nur wenig belastbar erscheinen.

Wind

Analog zu den Aussagen, die im Abschnitt Klimamonitoring getroffen wurden, sind auch in der Projektion keine signifikanten Änderungen hinsichtlich der mittleren Windverhältnisse sowie der Häufigkeit von Starkwindereignissen zu erwarten. Die Ereignisse unterliegen allerdings einer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität, sodass es vereinzelt zu (erheblichen) Abweichungen kommen kann.

Sonnenschein

Die Sonnenscheindauer wird in den Klimamodellen nicht direkt berechnet, sondern indirekt aus der kurzwelligen Strahlung abgeleitet. Die Strahlung ist verbunden mit den Bewölkungsverhältnissen, eine der großen Herausforderungen der Klimamodellierung. Die Bandbreite der modellierten Werte ist daher zwischen den Modellen sehr hoch. Dieses führt dazu, dass die Ergebnisse weniger aussagekräftig sind als beispielsweise die Ergebnisse der Temperaturänderungen. Für den kurzfristigen Planungshorizont 2021 bis 2050 wird deutschlandweit ein Rückgang der Tagessonnenscheindauer um wenige Minuten projiziert. Dieser Rückgang macht sich beim Weiter-wie-bisher-Szenario besonders im Winter und Frühjahr bemerkbar, wohingegen im Sommer und im Herbst mit keinen Änderungen zu rechnen ist. Diese Änderungen werden deutschlandweit gleichförmig projiziert. Für den langfristigen Planungshorizont 2071 bis 2100 wird eine Verstärkung dieser Änderungen erwartet. Im Jahresmittel ist mit einer minimalen Abnahme der mittleren Tagessonnenscheindauer zu rechnen. Dieser Rückgang macht sich besonders im Frühjahr und im Winter bemerkbar. Im Herbst treten wahrscheinlich keine Änderungen der Sonnenscheindauer auf. Im Weiter-wie-bisher-Szenario werden im Sommer durch einzelne Projektionen auch Zunahmen der mittleren Tagessonnenscheindauer von bis zu einer Stunde projiziert.

Eine Ableitung des UV-Index aus Daten der Sonnenscheindauer ist auf Grund eines variablen Absorptionsverhaltens in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen nur bedingt möglich.

4.5 Zusammenstellung der durch den Klimawandel beobachteten und zukünftig zu erwartenden Veränderungen

Abbildung 34 fasst die Trends aus den beobachteten Daten und den Projektionen für die Sommermonate (Juni, Juli, August) und für die Wintermonate (Dezember, Januar, Februar) zusammen.

Aus den Beobachtungen lässt sich ableiten, dass die Winter tendenziell milder und feuchter und die Sommer heißer und trockener waren. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend auch zukünftig fortsetzt, wobei die Winter deutlich feuchter und die Sommer deutlich trockener werden.

Aus den Beobachtungsdaten lässt sich eine Zunahme von Starkregenereignissen in den Sommermonaten erkennen. Dieser Trend zeigt sich ebenso in der Projektion. In den Wintermonaten ist diese Trendentwicklung sowohl für die Beobachtungsdaten als auch für die Projektion nicht ganz so deutlich erkennbar.

Die Ausführungen zu Windverhältnissen im Kapitel zuvor haben gezeigt, dass pauschale Aussagen weder zur Entwicklung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit noch zur Häufigkeit von Sturmereignissen aufgrund der hohen räumlichen Variabilität und zeitlichen Variabilität getroffen werden können.

Dennoch können insbesondere bei Niederschlags- und Windereignissen aufgrund der räumlichen Variabilität erhebliche räumliche Abweichungen auftreten.

Aussagen zu Schnee lassen sich aus den in der Vergangenheit gestiegenen und in Zukunft steigenden Temperaturen ableiten, der in flüssiger Form auftrat und zukünftig auftreten wird.

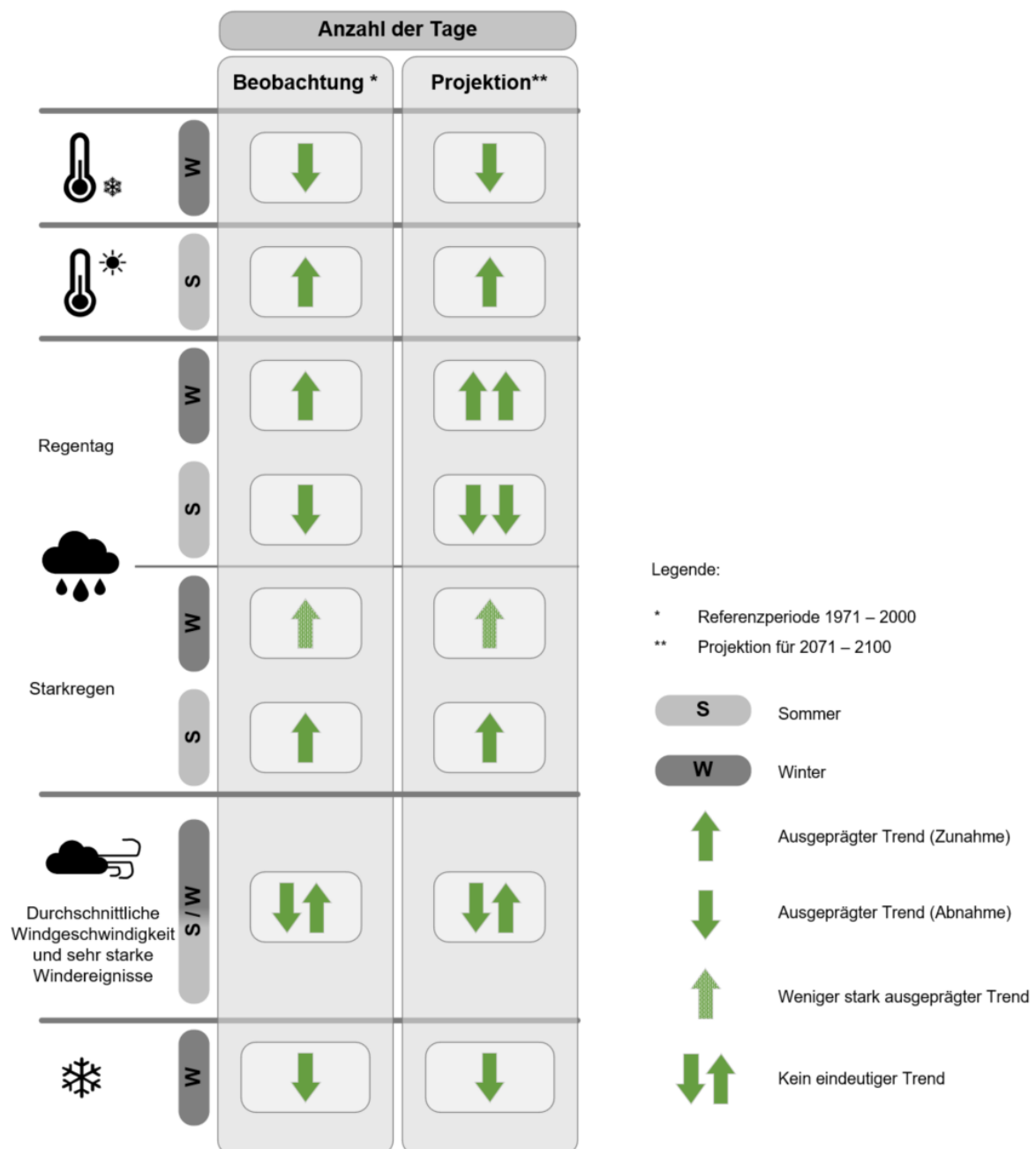


Abbildung 34: Zusammenfassende Darstellung an historischen und zukünftig zu erwartenden Klimaänderungen

4.6 Möglichkeiten und Grenzen der Datenbereitstellung

Der Deutsche Wetterdienst stellt eine Vielzahl an Daten frei zur Verfügung. So werden beispielsweise über das Climate Data Center⁵⁸ des DWD historische und aktuelle klimatologische Daten für viele Orte im Bundesgebiet interaktiv angeboten. Diese Daten sind ebenfalls direkt zum Download im opendata-Bereich⁵⁹ des DWD verfügbar. Mit seiner Warn-Wetter-App⁶⁰ versorgt der Deutsche Wetterdienst im Rahmen seines gesetzlichen Auftrages die breite Öffentlichkeit und die Einsatzkräfte aus dem Katastrophen-, Bevölkerungsschutz und Umweltschutz mit wichtigen Hinweisen zur aktuellen Warn- und Wettersituation. Die Warn-Wetter-App umfasst dabei unter anderem folgende Funktionen:

- Übersicht über die aktuelle Warnlage für Deutschland bis auf Gemeindeebene
- detaillierte Informationen zur Warnsituation für gewählte Orte durch amtliche Warnungen inklusive Warntrend
- konfigurierbare Warnelemente und Warnstufen
- konfigurierbare Alarmierungsfunktion (Push) zur Warnlage vor Ort
- zuschaltbare Vor-Ort-Warnungen vor Unwetterereignissen (Gewitter, Schnee, Glätte) bei Ortung über mobiles Gerät
- zuschaltbare Alarmierungsfunktion bei Änderung der Warnlage vor Ort

und viele weitere Funktionen.

Eine Internetseite mit aktuellen Warnungen wird vom Deutschen Wetterdienst unter der Internetadresse https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen/warnWetter_node.html betrieben, teilweise sogar bis auf Gemeindeebene⁶¹. Hier finden sich auch Warnungen zu außergewöhnlichen Hitze- und UV-Belastungen.

Bezüglich der zukünftig zu erwartenden Klimaänderungen bis zum Ende des Jahrhunderts, bietet der Klimaatlas des DWD⁶² für viele Handlungsfelder der DAS verlässliche Informationen. Erstrebenswert wäre hier die Erweiterung des Klimaatlas‘ um das Handlungsfeld Bauwesen. Die in diesem Bericht adressierte Thematik könnte hierzu wertvolle Erkenntnisse liefern, die in der Folge in einen operationellen Dienst überführt werden können.

⁵⁸ Vgl. DWD (o. J. b).

⁵⁹ Vgl. DWD (o. J. j).

⁶⁰ Laut Urteil des Bundesgerichtshofes vom 12.03.2020 darf der Deutsche Wetterdienst in der kostenfreien Version der WarnWetter App nur eingeschränkte Inhalte anbieten. Um Zugang zu weiteren wichtigen WarnWetter-Informationen zu erhalten, steht die Vollversion mittels einmaligem In-App-Kauf zur Verfügung.

⁶¹ Vgl. DWD (o. J. g).

⁶² Vgl. DWD (o. J. c).

Zum Zeitraum zwischen aktuellem Wetter und Klima stellt der DWD Monatsvorhersagen zur Verfügung. Diese Monats- bzw. Jahreszeitenvorhersagen⁶³ geben eine Prognose darüber ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit die kommenden Monate wärmer/kälter oder auch trockener/feuchter als im langzeitlichen Mittel werden. Dem liegen numerische Vorhersagen für die zukünftige Periode zugrunde. Die Kombination mit zusätzlichen Vorhersagen aus der Vergangenheit erlaubt eine umfassende statistische Bewertung der Prognosen und die Ableitung von Trenderfassungen auf Basis einer Klimatologie. Damit unterscheidet sich die Jahreszeitenvorhersage grundlegend von der Wettervorhersage, welche Aussagen über detailliertes Wettergeschehen der nächsten Stunden bis Tage trifft. Jedoch sind diese Vorhersagen in ihrer räumlichen Auflösung noch limitiert. Abbildung 35 zeigt beispielhaft eine Monatsprognose für den Februar 2021 mit Modellstart im Januar 2021.

Demnach hält der Deutsche Wetterdienst auf allen für das Baugewerbe relevanten Zeitskalen umfangreiche klimatologische und meteorologische Informationen bereit. Um zu einer kundenorientierten Datenverfügbarkeit zu gelangen, scheint es hier jedoch noch nötig, die räumliche Auflösung dieser Datensätze weiter zu verfeinern. Eine „baustellengenaue“ Verfügbarkeit von Daten ist derzeit (noch) nicht gegeben. Hierzu wären weitere Forschungsarbeiten mit entsprechenden finanziellen Mitteln nötig.

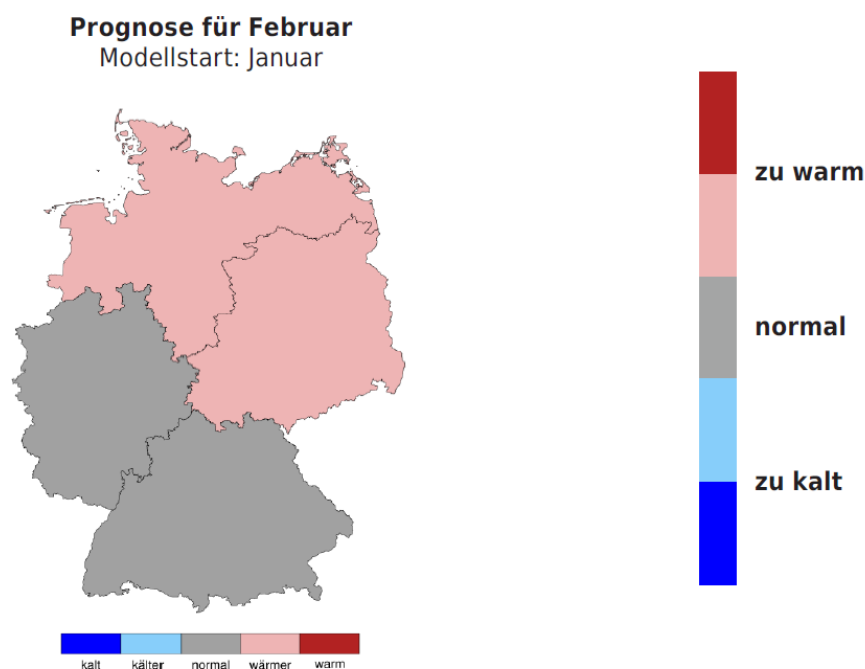


Abbildung 35: Beispielhafte Darstellung einer Monatsvorhersage (Durchschnittstemperatur). Hier für den Februar 2021 mit Modellstart im Januar 2021⁶⁴

⁶³ Vgl. DWD (o. J. a).

⁶⁴ DWD (o. J. i).

5 Auswirkungen des Klimawandels

Im folgenden Kapitel werden die zuvor vorgestellten Auswirkungen des Klimawandels auf Bauunternehmen im Allgemeinen und auf die ausgewählten Gewerke im Besonderen analysiert, wobei ein besonderes Augenmerk den zukünftig zu erwartenden Klimaauswirkungen für bauausführende ArbeitnehmerInnen gilt.

5.1 Literaturrecherche zu Klimawandelauswirkungen

Zur Recherche von relevanten Veröffentlichungen zu Klimawandelauswirkungen auf bauausführende Unternehmen wurde maßgeblich die Suchmaschine Google Scholar verwendet. Dabei lag der Fokus der Recherche auf deutschsprachigen Veröffentlichungen, um insbesondere den Stand der Forschung im deutschsprachigen Raum zu untersuchen. Ein zusätzliches Screening bei englischsprachigen Quellen ergab keine Treffer, die einen Mehrwert für die hier gestellte Fragestellung liefern könnten.

Für die Literaturrecherche zum nachfolgenden Teil „Klimawandelauswirkungen auf den Faktor Mensch“ wurden neben der oben genannten Suchmaschine weitere umfangreiche Datenquellen (vgl. Anlage [A4]) benutzt. Gesucht wurde nach den Hauptschlagwörtern Klima(wandel), Baugewerbe und (berufliche) Gesundheit/Leistungsfähigkeit sowie den entsprechenden englischen Begriffen, Synonymen und Verknüpfungen.

5.1.1 Klimawandelauswirkungen auf bauausführende Unternehmen

Am 17. Dezember 2008 wurde durch das Bundeskabinett die „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) beschlossen.⁶⁵

„Langfristiges Ziel der Deutschen Anpassungsstrategie ist die Verminderung der Verletzlichkeit bzw. der Erhalt und die Steigerung der Anpassungsfähigkeit natürlicher, gesellschaftlicher und ökonomischer Systeme an die unvermeidbaren Auswirkungen des globalen Klimawandels.“⁶⁶

Im Rahmen der DAS wurden 15 Handlungsfelder identifiziert und mögliche Klimawandelfolgen beschrieben sowie Handlungsoptionen aufgezeigt.⁶⁷ Eines der Handlungsfelder ist das Bauwesen, wobei hauptsächlich die bauliche Struktur und die Anpassung von technischen Baubestimmungen (Normen und Bemessungshilfen) für Gebäude, Bauwerke und Infrastruktur den Schwerpunkt dieses Handlungsfelds bildet.⁶⁸ Die Bauausführung wird zwar benannt, jedoch

⁶⁵ Vgl. Die Bundesregierung (2008), o. S.

⁶⁶ Die Bundesregierung (2008), S. 5.

⁶⁷ Vgl. Die Bundesregierung (2008), S. 16 – 45.

⁶⁸ Vgl. Die Bundesregierung (2008), S. 19 f.

wird kein konkreter Bezug zu Auswirkungen des Klimawandels auf Bauausführende hergestellt.

Mittlerweile wurde der zweite Monitoringbericht zur DAS durch das Umweltbundesamt (UBA) veröffentlicht. Er zeigt auf, welche Klimawandelfolgen bereits aufgetreten sind und welche entsprechenden Anpassungsmaßnahmen sich in der Umsetzung befinden oder bereits umgesetzt wurden. Hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf das Bauwesen werden der zunehmende Hitzestress und die steigende Anzahl von Kühlgradtagen⁶⁹, zunehmende Schäden an Siedlungen sowie hohe witterungsbedingte Schäden in der Sachversicherung benannt. Als Antwort auf die Klimawandelfolgen werden begrünte Flächen in Siedlungen und an Gebäuden, klimaangepasste Gebäude, die Förderung des klimawandelangepassten Bauens und Sanierens sowie das Abschließen von Elementarschadensversicherungen vorgestellt.⁷⁰

Eine konkrete Referenz zur Bauausführung sowohl in der Beschreibung der Folgen als auch in der Beschreibung der Anpassungsmaßnahmen bleibt somit weiterhin und damit elf Jahre nach Bekanntgabe der DAS (mittelbar) aus.

Die Deutsche Bank Research (2007) hat verschiedene Branchen vor dem Hintergrund des Klimawandels analysiert und abschließend die Bauwirtschaft und verwandte Branchen als einen doppelten Gewinner des Klimawandels bewertet. Diese Einschätzung wird

- zum einen durch den erhöhten Auftragseingang in Folge von zu behebenden Schadensereignissen an Bauwerken und der Klimaanpassung von Gebäuden (regulatorisch-marktwirtschaftliche Dimension) und
- zum anderen durch die Planungssicherheit während der Bauausführung durch die milderen Winter (klimatisch-natürliche Dimension)

begründet. Allerdings könne „[i]n sehr heißen Sommern [...] die Arbeitsproduktivität in der Bauwirtschaft leiden oder längere Pausen über die Mittagszeit erzwingen.“⁷¹ Diese negativen sommerlichen Auswirkungen wurden offensichtlich in der abschließenden Bewertung nicht oder lediglich als „nicht schwerwiegend“ berücksichtigt (vgl. Abbildung 36).

⁶⁹ Siehe Glossar.

⁷⁰ Vgl. Umweltbundesamt (2019), S. 152 – 169.

⁷¹ Deutsche Bank Research (2007), S. 18.

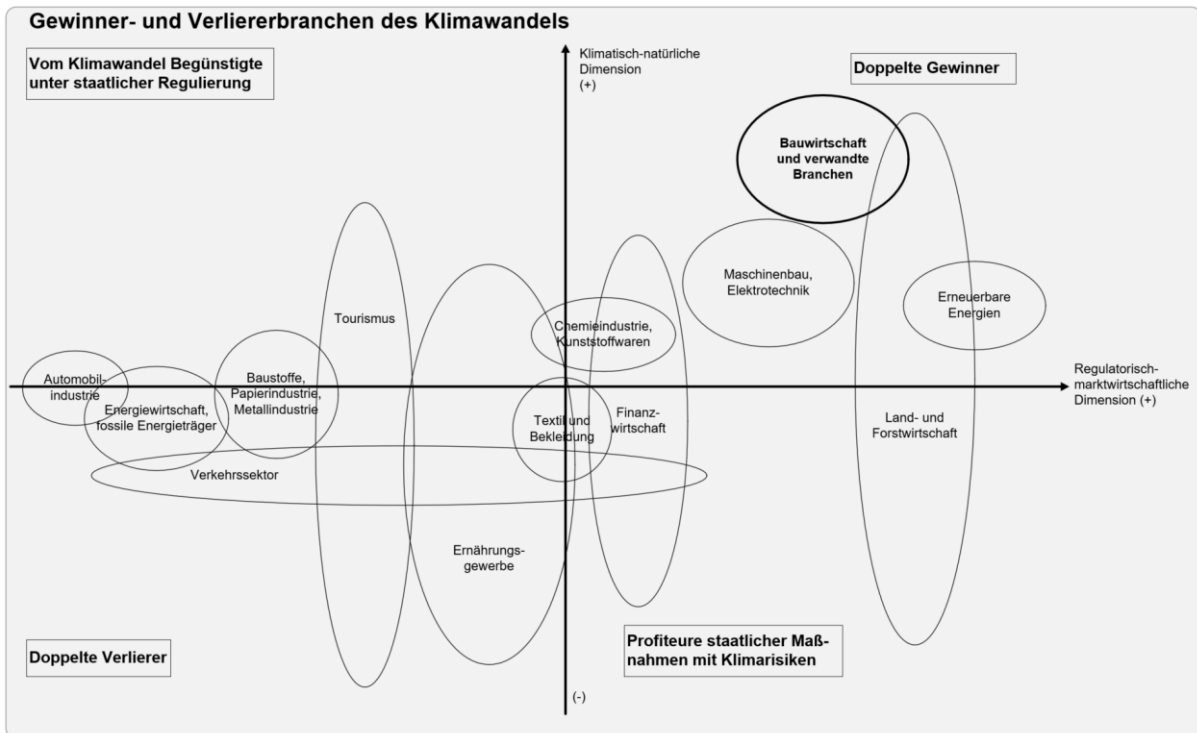


Abbildung 36: Gewinner- und Verliererbranchen des Klimawandels⁷²

Das Forschungsprojekt REGKLAM untersuchte – ähnlich wie die Deutsche Bank Research (2007) – verschiedene Branchen und kommt gleichfalls zu dem Schluss, dass die Baubranche durch künftige Klimaänderungen zu den Gewinnern des Klimawandels zählen wird.⁷³ Diese Aussage fußt auf einer Darstellung des DIW, das dem Bauwesen als mögliche Klimawandelauswirkungen „Schäden an Immobilien [und eine] Zunahme der Wirtschaftsleistung durch Neubauten“⁷⁴ zuschreiben. Es wird zudem davon ausgegangen, dass dem Baugewerbe im Vergleich zu anderen Branchen keine bzw. äußerst geringe ökonomische Schäden durch den Klimawandel entstehen.⁷⁵ Die Zunahme an witterungsbedingten Schadensfällen, insbesondere durch Stürme und Starkniederschläge, ist in der Versicherungswirtschaft evident.⁷⁶ Risiken durch beispielsweise „Einschränkungen der Arbeitsproduktivität durch hohe Temperaturen bzw. Hitzewellen“⁷⁷ werden durch Chancen z. B. „höhere Planungssicherheit und höhere Produktivität durch veränderte klimatische Bedingungen, d. h. mildere Winter“⁷⁸ überlagert.

⁷² In Anlehnung an: Deutsche Bank Research (2007), S. 29.

⁷³ Vgl. Günther et al. (2013), S. 4.

⁷⁴ Kemfert (2007), S. 167.

⁷⁵ Vgl. Kemfert (2007), S. 167.

⁷⁶ Vgl. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (2019), S. 3, 36 f.; VHV Allgemeine Versicherung AG (2020), S. 83.

⁷⁷ Günther et al. (2013), S. 1.

⁷⁸ Günther et al. (2013), S. 1.

Da die Baubranche seit jeher und fast ausschließlich mit einer Klimasensibilität in den Wintermonaten in Verbindung gebracht wird und im Zuge des Klimawandels mildere Winter zu erwarten sind, verwundert die Annahme, der Klimawandel würde sich überwiegend positiv auf die Bautätigkeit auswirken, zunächst nicht. Zudem beschränken sich aktuell geltende Kompensationsmechanismen durch witterungsbedingten Arbeitsausfall noch immer auf den Winter (vgl. Kapitel 3.2.1). Insbesondere die baubetrieblich identifizierte Literatur untersucht Beeinträchtigungen während der Bauausführung explizit im Winter.⁷⁹ Lediglich jüngere Veröffentlichungen tangieren auch sommerliche Ausprägungen bei der Betrachtung der witterungsbedingten Beeinträchtigungen.⁸⁰ Eine Veröffentlichung des DWD thematisierte bereits im Klimastatusbericht 2011 unter anderem die Auswirkungen des Klimawandels auf die Bautätigkeit. Es wurde darauf hingewiesen, dass durch Hitzeperioden im Sommerhalbjahr Behinderungen bei der Bauausführung häufiger auftreten können. Daher wurde empfohlen, in das Bewertungsschema der SWT hohe Temperaturen aufzunehmen.⁸¹ Diese Empfehlung ist deckungsgleich mit der in diesem Forschungsprojekt entwickelten Empfehlung zur Anpassung der SWT (vgl. Abbildung 43).

Darüber hinaus konnten zwei Veröffentlichungen identifiziert werden, die explizit Gewerke und deren Betroffenheit durch den Klimawandel analysieren. Die Handwerkskammer Frankfurt-Rhein untersucht die Betroffenheit von Bauhandwerkern und betrachtet dabei unter anderem die in diesem Abschlussbericht untersuchten Gewerke.⁸² Dabei werden einerseits der Betonbauer, Maurer und Straßenbauer und andererseits der Dachdecker und Zimmerer zusammengefasst betrachtet. Zudem werden Gewerke des Ausbaus (z. B. Raumausstatter, Sanitär-Heizung-Klima und Elektro- und Informationstechnik) hinsichtlich der Betroffenheit durch den Klimawandel untersucht. Adressat des Leitfadens sind Handwerksorganisationen, die Handwerksunternehmen für eine künftig klimarobuste Bauweise, für ausgewählte rechtliche Aspekte und für den notwendigen Arbeitsschutz sensibilisieren sollen. Dementsprechend soll eine Bauleistung insbesondere mit Blick auf etwaige Gefahrenzonen für Bauwerke betrachtet werden.⁸³ Bezogen auf die einzelnen Gewerke werden konkrete Beispiele für eine klimarobuste und -angepasste Bauweise vorgestellt sowie Verweise zu technischen Regelwerken und weiterführenden Hinweisen – insbesondere konstruktiver Art – zusammengestellt. Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf die Bauausführung stellen keinen Schwerpunkt des Leitfadens dar. Sie werden jedoch für alle Gewerke zusammenfassend betrachtet.

Für die Fallstudie des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (2018) stellten sich sieben Handwerksbetriebe unterschiedlicher Ausrichtung zur Verfügung.

⁷⁹ Z. B.: Sill/Stephan/Röthig (1962); Schleicher (1972); Teschke (1978); Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.) (1989) Hampe (1992); Spranz (2007); Heilfort (2010); Wiesinger (2018).

⁸⁰ Z. B.: Hofstadler/Kummer (2018 a); Hofstadler/Kummer (2018 b); Kumlehn/Guicking/Schwerdtner (2018); Otto/Senkel (2019).

⁸¹ Vgl. Wienert/Walter (2011), S. 9

⁸² Vgl. Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main (2016), S. 16 ff.

⁸³ Vgl. Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main (2016), S. 18 f.

Unter anderem wurde ein Bauunternehmen in der Fallstudie betrachtet, das sowohl im Hoch- als auch Tiefbau tätig ist und damit die Gewerke des Betonbauers, Maurers und Straßenbauers abdecken könnte.⁸⁴ Außerdem nahm ein Dachdeckerbetrieb an der Fallstudie teil.⁸⁵ Inhalt der Fallstudie war es, Chancen und Risiken sowie mögliche Anpassungsstrategien herauszuarbeiten. Mit Hilfe des Leitfadens sollen Handwerksunternehmen Impulse für eine künftige Auseinandersetzung mit der Klimawandelthematik geben werden. Die wesentlichen Ergebnisse der sieben Unternehmen sind der Abbildung 37 zu entnehmen. Es wird ein deutlich differenzierteres Bild gezeichnet als in den zuvor vorgestellten Studien.

Neben Chancen, die sich insbesondere durch die marktlich-regulatorische Dimension zusammenfassen lassen, werden insbesondere Risiken durch die klimatisch-natürliche Dimension gesehen. Hitze und Extremwetterereignisse werden mit Bauverzögerungen und finanziellen Einbußen in Verbindung gebracht. Gleichfalls werden wesentliche Beeinträchtigungen für die Verarbeitbarkeit von Material, für die Bedienung von Maschinen als auch für den „Faktor Mensch“ gesehen, unter anderem durch

- plötzliche Wetterwechsel,
- Sturm und weitere Extremwetterereignisse,
- hohe Temperaturen (Hitze) und Trockenperioden und
- UV-Belastung.⁸⁶

⁸⁴ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018), S. 14 ff.

⁸⁵ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018), S. 22 ff.

⁸⁶ Vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018), S. 38.

| Chancen | Risiken | Strategien |
|--|---|---|
| <p>Verändertes Marktumfeld und erhöhte Nachfrage:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erschließung neuer Produkte und Dienstleistungen zur Klimaanpassung (z. B. Kühlsysteme) oder in Form von nachgelagerten Produkten im Hinblick auf den Klimawandel (z. B. Reparaturmaßnahmen durch Sturmschäden und Hochwasserschutzmaßnahmen) • Höherer Nachfrage nach klimafreundlichen, ökologischen, regionalen und höherwertigen Produkten und Dienstleistungen durch ein verändertes Bewusstsein und eine gesteigerte Sensibilität beim Kunden <p>Längere Saison und verbesserte Leistungsfähigkeit durch höhere Temperaturen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saisonverlängerung, Entzerrung der Arbeitsbelastung und Möglichkeit der durchgehenden Beschäftigung der Mitarbeiter durch verkürzte Winterpausen (mildere Winter) • Steigerung der Leistungsfähigkeit und Motivation der Mitarbeiter • Vereinfachung der Verarbeitung von einigen Materialien <p>Unternehmensimage und frühe Anpassung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Steigerung des Markterfolges mittels Verbesserung des Unternehmensimages durch gezieltes und frühzeitiges, klimaorientiertes Handeln • Bessere Mitarbeiterbindung durch Bereitstellung von Zusatzleistungen (z. B. Getränke, Sonnenschutz, Gesundheitsvorsorge und angepasste (flexiblere) Arbeitszeiten (Hitzetage), Risikominimierung bei der Unwetterprävention) | <p>Verzögerungen und finanzielle Einbußen infolge von Hitzeperioden und Extremwetterereignissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kürzere Arbeitstage, Arbeitsunterbrechungen oder Arbeitsstopp • Unvorhergesehene Reparaturarbeiten/Gewährleistungen • Abnahme der Planbarkeit und aufwändigere Arbeitsorganisation <p>Einschränkungen für Mensch, Maschine und Material:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhtes Unfallrisiko durch plötzliche Wetterwechsel, Wind- und Sturmböen • Körperliche Belastung während Hitzeperioden • Steigendes Krebsrisiko durch hohe UV-Belastung • Erschwerte Materialverarbeitung bei hohen Temperaturen • Arbeitsüberlastung nach Extremwetterereignissen • Höhere Belastung für Allergiker in längeren Trockenperioden <p>Kostensteigerungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lieferengpässe bei landwirtschaftlichen Produkten und Rohstoffen • Zunehmende Kosten für Versicherungsschutz • Investitionen für Anpassungsmaßnahmen <p>Arbeitsbedingungen und Fachkräftemangel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sinkende Konzentration, Motivation und Leistungsfähigkeit bei hohen Temperaturen • Extremere Arbeitsbedingungen erschweren die Suche und Bindung von Mitarbeitern • Verkürzung/Wegfall der Winterpause: Abbau der Überstunden nicht möglich, Verkürzung der erforderliche Regenerationsphase | <p>Mitarbeiter:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Mitarbeitermotivation • Bereitstellung von Mitarbeiterschulungen • Erhöhung der Mitarbeiterbindung • Verbesserung des Gesundheits- und Arbeitsschutzes <p>Marketing:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Kundenkommunikation • Bereitstellung von Informationen zum Betrieb • Imageaufbau: regional, ökologisch, kompetent <p>Betriebsablauf:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbessertes Zeitmanagement (z. B. an Hitzetagen, Aber auch im Jahresverlauf) • Verbesserte Organisation • Aufbau eines fortlaufenden Betriebsinternen Monitorings <p>Ausstattung und bauliche Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherheit verbessern (z. B. beim Gerüstbau) • Lagerhaltung verbessern • In bessere Kleidung und Maschinen investieren <p>Erschließung neuer Geschäftsfelder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klimawandelrelevante Geschäftsfelder früh erkennen und ausbauen <p>Wissen, Kommunikation und Kooperation:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kooperation, auch mit Konkurrenten (z. B. gemeinsame Lagerhaltung und Informationsaustausch) • Aufbau von Netzwerken zum Wissens- und Informationsaustausch |

Abbildung 37: Übersicht der wesentlichen Chancen und Risiken sowie Strategien der Fallstudie⁸⁷

Die Untersuchung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (2018) kann als solide Ausgangsbasis für die weitere Bearbeitung der nachfolgenden Arbeitspakete betrachtet werden. Allerdings stellt die Fallstudie mit sieben betrachteten Betrieben einen nur sehr geringen Querschnitt der Bauunternehmen dar, sodass weiterer Forschungsbedarf zur Verifizierung aber auch zur Weiterentwicklung der Ergebnisse besteht.

Im Ergebnis lässt sich aus den bisherigen Untersuchungen keine klare Tendenz hinsichtlich einer positiven oder negativen Betroffenheit für die gesamte Bauwirtschaft ableiten. Es wurde

⁸⁷ In Anlehnung an: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2018), S. 38.

indes deutlich, dass zur Beantwortung der Frage eine differenzierte Betrachtung erforderlich ist.

5.1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf den „Faktor Mensch“

Bei der Analyse der Betroffenheit der Beschäftigten der Bauwirtschaft durch den Klimawandel sind zwei Aspekte zu betrachten, die (vorerst) nur anhand einer Literaturrecherche differenziert analysiert werden. Das sind einerseits die zu erwartenden Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen im Allgemeinen und andererseits die speziellen Folgen für die Beschäftigten im Bereich der Bauindustrie. Die zuletzt genannte Gruppe ist dadurch gekennzeichnet, dass sie häufig

- im Freien arbeitet und die Arbeitsplätze in der Regel nur unzureichend vor direkter Sonne und anderen Witterungseinflüssen geschützt sind,
- körperlich schwere Arbeit verrichtet, wobei der weitaus größte Teil der im Muskel umgesetzten Energie als Wärme (> 70 %) abgegeben wird⁸⁸ und
- Arbeits- bzw. Schutzkleidung tragen muss, wodurch der bei körperlicher Arbeit mit circa 70 bis 80 % wichtigste und effektivste physiologische „Entwärmungsmechanismus“, die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung, massiv eingeschränkt wird.⁸⁹

5.1.2.1 Klimawandel und gesundheitliche Auswirkungen auf die Allgemeinbevölkerung

Klimawandel und die menschliche Gesundheit sind auf vielfache und komplexe Weise miteinander verbunden. Eine umfassende aktuelle Darstellung der aktuellen Situation und der derzeitigen Prognosen findet sich zuletzt im Bericht 2019 des Lancet Countdown on health and climate change anhand der Indikatoren Hitze – Extremwetterereignisse – Klimaabhängige Erkrankungen – Ernährungssicherheit/Unterernährung.⁹⁰ Dieser Bericht stellt die Ergebnisse und den Konsens von 35 führenden akademischen Institutionen und UN-Organisationen aus allen Kontinenten dar. Er zeichnet ein düsteres Bild bezüglich

- des stetigen Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur sowie der zunehmenden Häufigkeit, Intensität und Dauer von extremer Hitze und deren direkte Folgen wie Hitzestress, Hitzeschlag, akute Nierenerkrankungen, Verschlimmerung von Herzinsuffizienz und ein erhöhtes Risiko für zwischenmenschliche und kollektive Gewalt,
- der Zunahme von Waldbränden, Überschwemmungen und Dürre, die neben direkten Verletzungen und Todesfällen auch psychische Belastungen (Stress,

⁸⁸ Vgl. Leyk (2018), S. 355; Leyk et al. (2019), S. 538.

⁸⁹ Vgl. Dorman/Havenith (2008), S. 463 ff.; Glitz et al. (2013), S. 4; Glitz et al. (2015), S. 1461 ff.

⁹⁰ Vgl. Watts et al. (2019), S. 1841 ff.

Angstzustände, Traumata und Depressionen) verursachen und zur Zunahme von Atemwegserkrankungen (Waldbrände) bzw. von durch Vektoren und Wasser übertragenen Krankheiten führen,

- der zunehmenden Eignung unseres Klimas für die Übertragung von Infektionserkrankungen (an den Beispielen Dengue-Fieber, Malaria, Cholera/andere pathogene Vibrio-Arten) und
- der Daten aller wichtigen Nutzpflanzen (Mais, Weizen, Reis und Sojabohnen), die zeigen, dass der Temperaturanstieg deren globales Ertragspotenzial verringert hat. Zudem gibt es deutliche Hinweise darauf, dass steigende Wasserknappheit sowie die Zunahme von Ernteaufschlägen durch Extremwetterereignisse und (neue) Schädlinge die Pflanzenproduktion bedrohen.

Auch wenn diese Klimawandelfolgen ihre Haupteffekte in anderen Regionen der Welt haben (werden), tangieren sie gleichfalls den mitteleuropäischen Raum nicht unerheblich – direkt und indirekt. Insbesondere klimawandelbedingte Hitzewellen und die darauf zurückzuführende erhöhte Sterblichkeit sind auch bereits für Mitteleuropa bzw. die Bundesrepublik Deutschland gut dokumentiert.⁹¹

Das Umweltbundesamt benennt im Zusammenhang mit dem Klimawandel weitere – für Deutschland relevante – Problemkreise:⁹²

- Eine mögliche Zunahme der UV-Exposition und damit verbunden einen Anstieg der Hautkrebsgefährdung. 2016 sind in Deutschland geschätzt rund 230.000 Personen erstmalig an weißem⁹³ und ca. 23.000 an schwarzem Hautkrebs⁹⁴ erkrankt, wobei bei beidem eine starke in den letzten Jahrzehnten eine massive Zunahme zu beobachten war und eine starke Belastung der Haut mit UV-Strahlen als wichtigster Risikofaktor gelten.
- Erhöhte Werte von bodennahem Ozon in Hitzeperioden oder ein verstärkt auftretender Pollenflug, die die Gesundheit belasten und Auslöser für Asthma, Heuschnupfen oder akute Atemwegserkrankungen sein können.⁹⁵

⁹¹ Vgl. an der Heiden et al. (2020), S. 603-609 ; Fouillet et al. (2008), S. 309 ; Ragettli et al. (2017), S. 703 ; Russo/Sillmann/Fischer (2015), S. 2 ; Sippel et al. (2016), S. 51 - 56.

⁹² Vgl. Mücke et al. (2013), S. 10 ff.

⁹³ Vgl. Robert Koch-Institut; Zentrum für Krebsregisterdaten (2019 b), o. S.

⁹⁴ Vgl. Robert Koch-Institut; Zentrum für Krebsregisterdaten (2019 a), o. S.

⁹⁵ Vgl. Beggs (2004), S. 1507–1513, S. 1508; Mücke et al. (2013), S. 14; Ziello et al. (2012), S. e34076.

Bezüglich der Entwicklung der Belastungen durch UV-Strahlung gibt es keine eindeutige Evidenz. Insbesondere die Bewölkung erschwert aufgrund ihrer hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität eine solche Prognose.⁹⁶

Das Umweltbundesamt geht jedoch davon aus, dass es im Rahmen des Klimawandels zu einer Zunahme an Sonnenstunden pro Tag und in der Jahressumme⁹⁷ und damit zu einer Erhöhung der UV-Exposition der Bevölkerung kommen könnte. Diese wird in einer Größenordnung von 5 bis 10 % für das Jahr 2050 für Mitteleuropa (insbesondere im UVA-Bereich) geschätzt.⁹⁸ Darüber hinaus wird vermutet, dass lokale, temporäre sogenannte Ozonniedrigereignisse an Bedeutung gewinnen, die mit teilweise sehr hohen UV-Strahlungswerten einhergehen. Sie treten insbesondere im Frühjahr auf, also zu einer Zeit, zu der die Haut besonders empfindlich gegenüber UV-Strahlung ist.⁹⁹ Während der vergangenen Jahrzehnte wurde eine Häufigkeitszunahme dieser etwa 3 bis 5 Tage dauernden Ereignisse beobachtet.¹⁰⁰

Modellrechnungen für die Hautkrebshäufigkeit in Europa zeigen, dass die durch den Klimawandel zusätzlich auftretenden Hautkrebsfälle in Mitteleuropa noch mehrere Jahrzehnte zunehmen werden.¹⁰¹

5.1.2.2 Klimawandel und Auswirkungen auf die Bauwirtschaft über den „Faktor Mensch“

Besonders betroffen von klimabedingten Veränderungen im Arbeitsalltag sind alle, die überwiegend im Freien tätig sind. In Deutschland sind das etwa 2,5 Millionen Menschen, vor allem Beschäftigte auf dem Bau, in der Land- und Forstwirtschaft, im Handwerk und in der Schifffahrt.¹⁰² In diesem Abschnitt werden daher sowohl Erkenntnisse dargestellt, die sich auf die Arbeitswelt im Allgemeinen sowie auf Outdoorworker und die Baubranche im Besonderen direkt beziehen.

Fast ausschließlicher Gegenstand der Betrachtungen in der arbeitswissenschaftlichen Literatur ist in diesem Zusammenhang das Thema „Hitze“, wozu es – insbesondere in letzter Zeit – zahlreiche Veröffentlichungen gibt.

Die volkswirtschaftliche Bedeutung von steigenden Temperaturen ist immens: Bereits 1995 gingen weltweit schätzungsweise 1,4 Prozent der Gesamtarbeitszeit aufgrund von Hitze verloren. Das entspricht einem Produktivitätsverlust von etwa 35 Millionen Vollzeitarbeitsplätzen und einen Brutto-Inlandsprodukt (BIP)-Verlust von schätzungsweise 280 Milliarden US-Dol-

⁹⁶ Vgl. Brasseur; Jacob; Schuck-Zöllner (2017), S. 143.

⁹⁷ Vgl. Mücke et al. (2013), S. 10; Steinmetz (2014), S. 11 - 16.

⁹⁸ Vgl. Köpke et al. (2007), S. 102.

⁹⁹ Vgl. Brasseur; Jacob; Schuck-Zöllner (2017).

¹⁰⁰ Vgl. Rieder et al. (2010), S. 10022.

¹⁰¹ Vgl. Kelfkens et al. (2002), S. 28.

¹⁰² Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2007), S. 55.

lar.¹⁰³ Schätzungen für 2030 ergeben unter der Voraussetzung eines globalen Temperaturanstiegs von nur 1,3 °C bis dahin und der Annahme, dass auch bau- und landwirtschaftliche Arbeiten im Schatten ausgeführt werden, einen Anstieg des Arbeitsausfalls auf 2,2 Prozent (entspricht etwa 80 Millionen Vollzeitarbeitsplätzen und einem BIP-Verlust von 2.400 Milliarden US-Dollar).¹⁰⁴

Von diesen Produktivitätsausfällen ist insgesamt weltweit die Landwirtschaft am meisten betroffen. In Westeuropa – auch wenn hier Auswirkungen nicht so heftig sind, wie in anderen Regionen der Erde (z. B. Südasien und Westafrika) – ist es die Bauwirtschaft und wird es bis 2030 in noch stärkerem Maße werden (vgl. Abbildung 38).

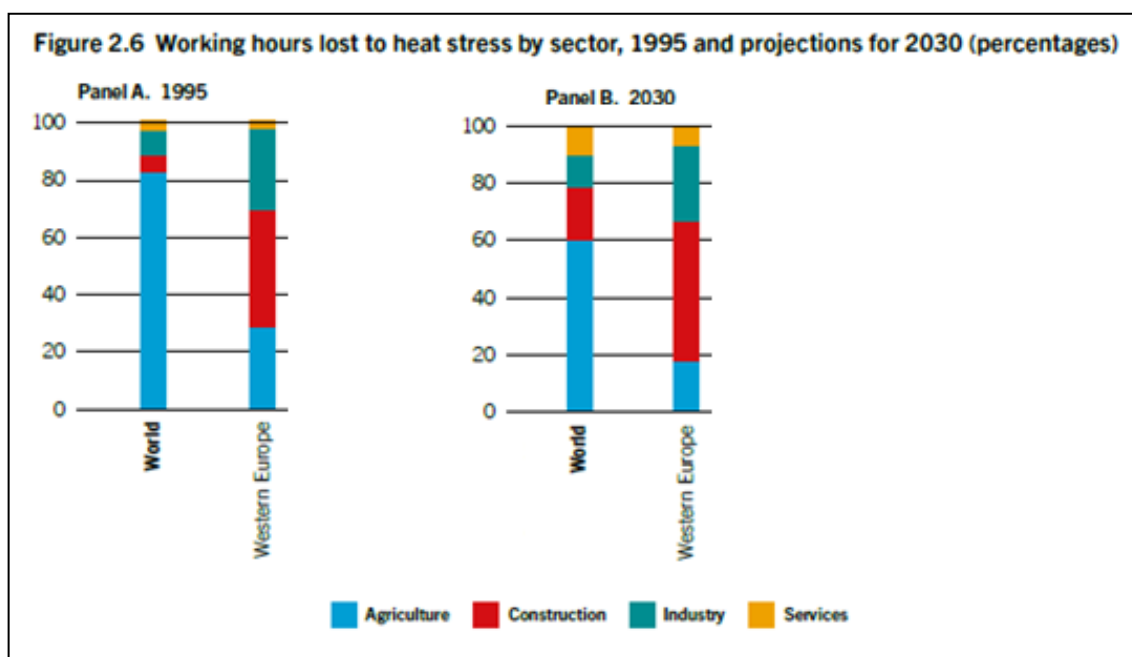


Abbildung 38: Durch Hitzestress verlorene Arbeitsstunden nach Sektor, 1995 und Schätzung für 2030 (in Prozent)¹⁰⁵

Schätzungen des Produktivitätsverlustes bezogen sich auf die WBGT und reichen von 2 bis 6 % für jedes Grad Anstieg der WBGT über 24 °C.¹⁰⁶ Zum Teil wurden bereits eindeutige Korrelationen der Produktivitätsverluste mit der Schwere der Arbeit und dem Zeitanteil, der draußen gearbeitet wird, gezeigt.¹⁰⁷

¹⁰³ Vgl. Kjellstrom et al. (2019).

¹⁰⁴ Vgl. Kjellstrom et al. (2019).

¹⁰⁵ Kjellstrom et al. (2019), S. 28 (Schätzungen der ILO auf der Grundlage von Daten aus der ILOSTAT-Datenbank und aus dem HadGEM2- und GFDL-ESM2M-Klima-Modell (unter Verwendung des RCP 2.6-Klimawandelpfads, der eine globale Durchschnittstemperatur Anstieg um 1,5 °C bis zum Ende des Jahrhunderts annimmt).

¹⁰⁶ Vgl. Flouris et al. (2018), S. e526; Sahu/Sett/Kjellstrom (2013), S. 424.

¹⁰⁷ Vgl. Zander et al. (2015), S. 648.

Eine Modellierung für den europäischen Mittelmeerraum (unter Verwendung der WBGT) errechnet selbst für ein optimistisches Klimaszenario (globaler Temperaturanstieg von 1,5 °C bis zum Ende des einundzwanzigsten Jahrhunderts) seinen möglichen Arbeitszeitverlust von 15 bis 60 % bis zu diesem Zeitpunkt.¹⁰⁸

Auch für Deutschland schätzte das Umweltbundesamt (unter Annahme einer Verringerung der Produktivität zwischen 3 und 12 Prozent¹⁰⁹) bereits 2015 die Einbußen aufgrund der jetzt schon auftretenden Hitzetage auf ca. 540 Millionen bis 2,4 Milliarden Euro im Vergleich zu Jahren ohne Hitzetage.¹¹⁰

Konkrete Daten für die Bauwirtschaft in Deutschland dazu wurden nicht gefunden, Untersuchungen aus anderen Klimaregionen untermauern jedoch die besondere Betroffenheit dieser Branche.¹¹¹

Eine Abnahme der Leistungsfähigkeit ist oft das erste Symptom gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Hitze und ggf. – sofern keine Maßnahmen ergriffen werden – Vorbote schwerwiegenderer Auswirkungen wie Hitzeerschöpfung und Hitzschlag (mit möglicher Todesfolge).¹¹²

Auch zur besonderen Relevanz hitzebedingter Todesfälle für die Baubranche gibt es Untersuchungen aus den USA.¹¹³ Über die Analyse der dortigen tödlichen Arbeitsunfälle von 1992 bis 2016 wurde ermittelt, dass auf Bauarbeiter, die 6 % aller Beschäftigten darstellen, 36 % (n = 285)¹¹⁴ aller berufsbedingten hitzebedingten Todesfälle entfielen. Steigende Sommertemperaturen waren mit höheren hitzebedingten Todesraten verbunden, wobei – im Vergleich zu allen Baubeschäftigten (Risikoindex = 1) – Betonbauer (10,80), Dachdecker (6,93), Bauhelfer (6,87), Maurer (3,33) sowie Heizungs- und Klimatechniker (1,60) erhöhte Risikoindizes aufwiesen.

Zur Häufigkeit tödlicher Hitzschläge bei körperlicher Arbeit in Schutzkleidung liegen keine repräsentativen Daten vor.¹¹⁵ Zu den negativen Hitzefolgen gehört auch eine erhöhte allgemeine (Arbeits-)Unfallgefahr.¹¹⁶ Hitze führt zu einer schnelleren Ermüdung – einer der wichtigsten Faktoren für Unfälle auf dem Bau.¹¹⁷ Auch die mentale Leistungsfähigkeit nimmt mit steigender Hitze ab – Reaktionsgeschwindigkeit, visuelle Wahrnehmung, assoziatives Lernen

¹⁰⁸ Vgl. Casanueva et al. (2020), S. 11.

¹⁰⁹ Vgl. Hübler/Gernot Klepper (2007), S. 39.

¹¹⁰ Vgl. Umweltbundesamt (2019), S. 188.

¹¹¹ Vgl. Acharya/Bogges/Zhang (2018), S. 4; Li et al. (2016), S. 42; Yi/Chan (2017), S. 1.

¹¹² Vgl. Watts et al. (2019), S. 1842.

¹¹³ Vgl. Dong et al. (2019), S. 1.

¹¹⁴ Zwischen 1992 und 2016 verstarben 285 am Bau Beschäftigte auf Grund oder in Verbindung mit Hitze.

¹¹⁵ Vgl. Leyk et al. (2019), S. 538.

¹¹⁶ Vgl. Binazzi et al. (2019), S. 233; Bonafede et al. (2016), S. 357; Marinaccio et al. (2019), S. 1; Morabito et al. (2006), S. 458.

¹¹⁷ Vgl. Chan (2011), S. 341; Garrett/Teizer (2009), S. 755.

und Konzentrationsfähigkeit sind verringert, so dass auch dadurch das Unfallrisiko steigt.¹¹⁸ Die auf Baustellen notwendige persönliche Schutzausrüstung (Schutzhelm, Schutzschuhe, Warnkleidung etc.) führt meist zu einem zusätzlichen Wärmestau, so dass die Benutzung bei Hitze zunehmend unkomfortabler wird. So wurden beispielsweise bei einer Umgebungstemperatur von 33 °C im Schutzhelm eines Beschäftigten 57 °C gemessen.¹¹⁹

Eine aktuelle Zusammenfassung zum Thema „Hitzeexposition und Arbeitsunfälle“ gibt ein Review von Spector,¹²⁰ das den aktuellen Wissensstand zu den potenziellen Mechanismen dieses komplexen Zusammenhangs, die Datenlage, Präventionsmaßnahmen und – wie viele andere – den großen Forschungsbedarf auf diesem Gebiet beschreibt.

Frühere Studien aus den USA hatten bereits gezeigt, dass Bauarbeiter dort 13-mal häufiger an einer hitzebedingten Krankheit (HRI) sterben als Arbeiter in anderen Branchen und Dachdecker sowie Straßenbauarbeiter ein besonders hohes HRI-Risiko haben.¹²¹ Dieser Zusammenhang wurde kürzlich für die Arbeit im Freien unter Verwendung von Entschädigungsdaten für Verletzungen von Bauarbeitern in den Jahren 2000 bis 2012 in den USA sowie hochauflösend modellierten meteorologischen Daten weiter quantifiziert.¹²² Die Autoren berichteten von einer nahezu linearen Assoziation von Humidex (= ein in Kanada entwickelter Hitzeindex) mit dem Risiko einer traumatischen Verletzung und von einem Anstieg der Verletzungswahrscheinlichkeit um 0,5 % pro 1 °C Anstieg des Humidex. Zusätzlich bemerkenswert war, dass dieses Risiko bereits ab einem Humidex von 21 °C erhöht zeigte, was derzeit eigentlich noch als klimatisch komfortabel angesehen wird.

Zu anderen sich im Rahmen des Klimawandels verändernden Wetterfaktoren und zu deren Auswirkungen speziell auf die Arbeitswelt wurden keine relevanten Aussagen gefunden. Grundsätzlich kann jedoch davon ausgegangen werden, dass auch hier die gesundheitliche Belastung durch niedrige Temperaturen eher abnehmen wird.¹²³

Im Hinblick auf die UV-Belastung ist festzustellen, dass davon besonders diejenigen betroffen sind und auch in Zukunft besonders betroffen sein werden, die im Freien arbeiten. Über das Jahr verteilt sind sie bei ganztägiger Außenarbeit der 3 bis 5-fachen UV-Strahlung ausgesetzt im Vergleich zu Personen, die in Gebäuden tätig sind. Für Beschäftigte, die teilweise in Innen- und Außenbereichen arbeiten, erhöht sich die UV-Belastung immerhin noch um den Faktor 1,7 bis 3.¹²⁴

¹¹⁸ Vgl. Chi/Chang/Ting (2005), S. 391 ff.

¹¹⁹ Vgl. Rowlinson et al. (2014), S. 188.

¹²⁰ Vgl. Spector et al. (2019), S. 286 ff.

¹²¹ Vgl. Bonauto et al. (2007), S. 940.

¹²² Vgl. Calkins et al. (2019), S. 588.

¹²³ Vgl. Zacharias/Koppe (2015), S. 6.

¹²⁴ Vgl. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2007), S. 26.

Wie hoch gerade auch die berufliche UV-Dosis für Beschäftigte in der Bauwirtschaft ist, konnte im Projekt GENESIS-UV gezeigt werden.¹²⁵ Acht der zehn am stärksten betroffenen Beschäftigtengruppen gehören zu dieser Branche.

Diese hohe Belastung spiegelt sich in der Zahl der bei der BG BAU gemeldeten und jährlich anerkannten Fälle von berufsbedingtem Hautkrebs, die seit 2015 (Einführung als Berufserkrankung) die Berufserkrankung Nummer 1 in der Bauwirtschaft ist. 2019 wurden hier 3.131 Fälle gemeldet, was einem Anteil von rund 20 % an allen Berufserkrankungsverdachtsfällen entspricht.¹²⁶

5.2 Bewertung der Klimawandelauswirkungen durch die Bauunternehmen

Nachfolgend werden weitere Fragen der in Kapitel 3.1 vorgestellten Handwerksumfrage ausgewertet und mit den zuvor theoretisch ermittelten Ergebnissen verglichen. Dadurch lassen sich allgemeingültigere Aussagen zur tendenziell zukünftigen Betroffenheit der betrachteten Gewerke durch den Klimawandel während der Bauausführung ableiten.

Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die Befragungsergebnisse auf die Frage, wie sich Extremwetterereignisse (EWE) auf das Ergebnis des Unternehmens schätzungsweise ausgewirkt haben und zukünftig auswirken werden. Dabei untersucht Abbildung 39 die Einschätzung zur Auswirkung von Starkniederschlagsereignissen und Abbildung 40 die Einschätzung zur Auswirkung von Stürmen auf das Betriebsergebnis.

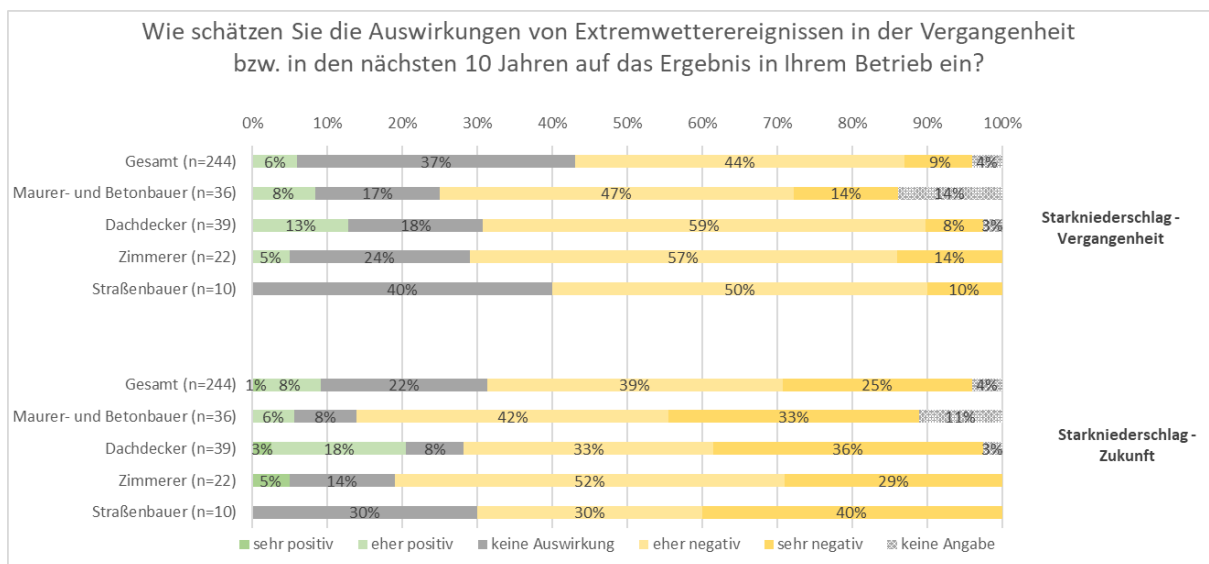


Abbildung 39: Befragungsergebnisse zu Auswirkungen von Extremwetterereignissen (Starkniederschlag)

¹²⁵ Vgl. Wittlich (2017), S. 69 ff.

¹²⁶ Vgl. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2020), o. S.

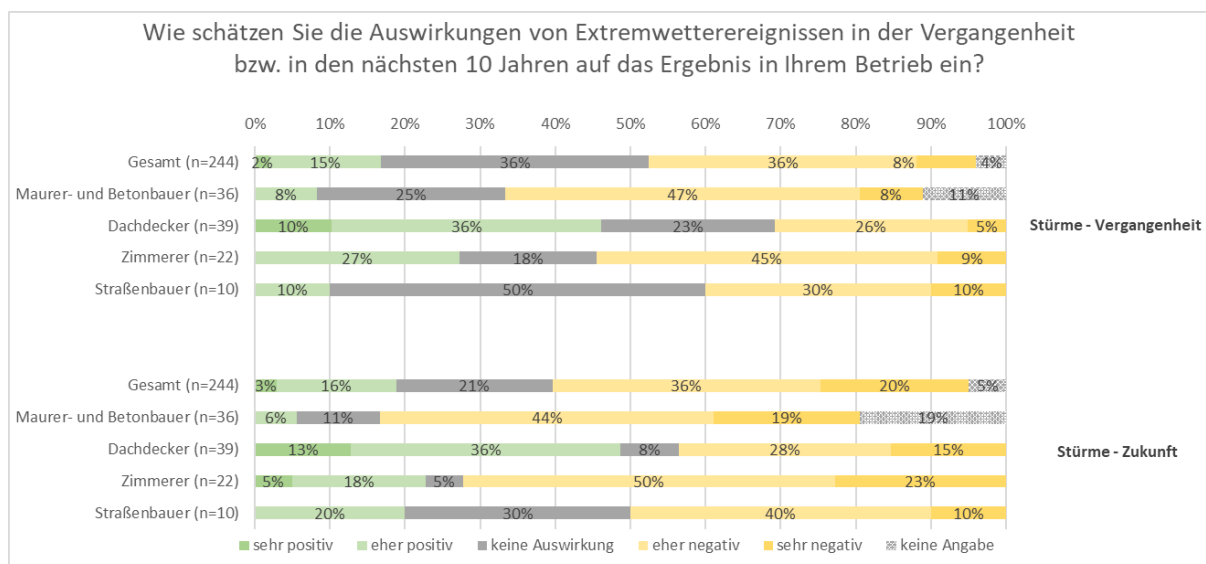


Abbildung 40: Befragungsergebnisse zu Auswirkungen von Extremwetterereignissen (Sturm)

Im Vergleich beider Abbildungen ist bei Starkniederschlagsereignissen ein eindeutigeres Stimmungsbild erkennbar als bei Stürmen. Starkniederschlagsereignisse wurden in der Vergangenheit mehrheitlich als negativ für das Betriebsergebnis bewertet. Zukünftig stellen Starkniederschlagsereignisse sogar für ca. 80 % der **Zimmerer** und ca. 70 % der **Maurer- und Betonbauer**, der **Dachdecker** und der **Straßenbauer** ein Risiko für das Betriebsergebnis dar. Im Vergleich zu vergangenen Einschätzungen ist ein klarer Trend zu einer zukünftig negativen Auswirkung auf das Betriebsergebnis zu erkennen.

Diese Einschätzung einer generell negativen Auswirkung auf das Betriebsergebnis zeichnet sich bei den Folgen von Stürmen nicht ab (vgl. Abbildung 40). Auffällig sind die Antworten der **Dachdecker**, die sowohl für die Vergangenheit mit 46 % als auch für die Zukunft mit 49 % der Unternehmen eine im Vergleich zu den anderen ausgewählten Gewerke positivere Prognose abgeben. Zurückgeführt werden kann diese Bewertung auf eine Auftragssteigerung, die durch Sturmschäden resultiert wie die Darstellung der Chancen in Abbildung 37 verdeutlicht. 31 % der Dachdecker sehen jedoch eine überwiegend negative Beeinflussung, die ihre Ursache wiederum in der beeinträchtigten Bautätigkeit haben kann. Auf die Zukunft bezogen schätzen 43 % der Dachdecker die Auswirkungen durch Sturmereignisse negativ ein. Die zukünftig negativere Bewertung durch Stürme auf das Betriebsergebnis zeigt sich gleichfalls bei den weiteren ausgewählten Gewerken:

- **Maurer- und Betonbauer:** von 55 % (Vergangenheit) auf 63 % (Zukunft)
- **Zimmerer:** von 54 % (Vergangenheit) auf 73 % (Zukunft)
- **Straßenbauer:** von 40 % (Vergangenheit) auf 50 % (Zukunft)

Tendenziell werden zukünftige Sturmereignisse von den ausgewählten Gewerken stärker negativ als positiv für das Betriebsergebnis eingeschätzt. Die Befragungsergebnisse der **Dachdecker** wären weiterführend zu erörtern. Zwar nimmt die negative Bewertung stärker zu als die

positive, jedoch wiegen sich die positiven (49 %) und negativen (43 %) Bewertungen nahezu auf. Eine klare Tendenz lässt sich für den Dachdecker daher nicht ableiten. Weitere Erläuterungsansätze könnten durch Experteninterviews in Erfahrung gebracht werden.

Werden die aus der Literatur zusammengetragenen meteorologischen Elemente mit den Umfrageergebnissen verglichen, lässt sich feststellen, dass

- niedrige und hohe Temperaturen,
- Niederschlag,
- Wind und
- Schnee¹²⁷

für alle betrachteten Gewerke (Maurer, Betonbauer, Dachdecker, Zimmerer und Straßenbauer) für die Verarbeitung von Materialien von Bedeutung zu sein scheinen. Gleiches lässt sich für den „Faktor Mensch“ aus den empirischen Daten ableiten. Starkregen- und Sturmereignisse stellen gemäß Umfrageergebnissen zukünftig ein höheres Risiko für das Betriebsergebnis dar und wiegen schwerer als mögliche Chancen (mit der Ausnahme des Dachdeckers) (vgl. Abbildung 39 und Abbildung 40).

Nachfolgend soll nun hergeleitet werden, wie sich die im Zuge des Klimawandels *verändern den Witterungsbedingungen* (vgl. Kapitel 4) auf die Gewerke *zukünftig tendenziell* auswirken. Zur Visualisierung dient Abbildung 41. Vereinfachend sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die ausgewählten Gewerke zusammenfassend dargestellt. Zugrunde gelegt wurden dafür sowohl die Ergebnisse der Literaturrecherche als auch die Ergebnisse der Befragung. Wie bereits in Kapitel 4 wird eine Jahreszeitenbetrachtung vorgenommen und der Fokus auf die sommerlichen und winterlichen Monate gerichtet.

Zukünftig ist mit milderem Winter und heißeren Sommern zu rechnen. Für die Bauproduktion bedeutet dies, dass in den Wintern ein kontinuierlicheres Bauen als bisher möglich wird. In den Sommermonaten hingegen wird zukünftig mit Einschränkungen zu rechnen sein, sodass Maßnahmen notwendig werden.

Die Winter werden jedoch nicht nur milder, sondern auch feuchter. Niederschlag wird zukünftig seltener in Form von Schnee die Bauproduktion behindern, welches sich positiv auf die Bauproduktion auswirken wird (vgl. letzte Zeile in Abbildung 41). Niederschlag wird sich dafür aber in Form von Regen größere Bedeutung erlangen. Da die Materialverarbeitung der ausgewählten Gewerke – insbesondere in der Literatur – nicht immer eine Sensitivität von Niederschlag erkennen ließ, sind die zukünftig feuchteren Bedingungen im Winter nicht eindeutig zu bewerten. Tendenziell werden die Auswirkungen neutral (bei Materialien, die nicht oder nur schwach auf Niederschlag reagieren) bis negativ (bei Materialien, die sensibel auf Niederschlag reagieren) sein. Im Sommer sind zukünftig weniger Regentage zu erwarten. Für die Auswirkun-

¹²⁷ Schnee als abgeleitete Größe aus niedrigen Temperaturen und Niederschlag.

gen auf die Materialverarbeitung zeigt sich eine große Bandbreite, die von negativ bis positiv reichen kann. Während Trockenheit z. B. für das Aushärten von Flüssigkunststoff förderlich ist, bewirkt Trockenheit in Verbindung mit hohen Temperaturen ein z. B. zu schnelles Austrocknen von Beton, sodass verstärkt Maßnahmen zum Schutz vor dem Wetter notwendig werden.

Starkregenereignisse werden zukünftig häufiger auftreten, wobei der Trend im Sommer stärker als der Trend im Winter sein wird. Generell sind sehr starke Niederschlagsereignisse als für die Bauproduktion schädlich zu bewerten, da sowohl die Ausführung gestört wird als auch Materialien und Leistungen beschädigt werden können.

In Bezug auf Wind lassen sich keine Trends weder für die Entwicklung der mittleren Windgeschwindigkeit noch für die Häufigkeit und Intensität von Sturmereignissen zum jetzigen Kenntnisstand für die Zukunft bestimmen. Daher ist in Bezug auf die Materialverarbeitung im Rahmen der Bauproduktion keine Aussage hinsichtlich einer positiven oder negativen Betroffenheit möglich.

Jedoch stellen Extremwetterereignisse (EWE) generell ein Risiko für die Bauausführung dar. Gleichermaßen lässt sich die zukünftige Notwendigkeit der bauausführenden Unternehmen für eine häufigere Schadensbeseitigung und einer möglichen steigenden Nachfrage nach einer robusteren Bauweise ableiten. Dies spiegelt sich insbesondere in den Befragungsergebnissen der Dachdecker wider. Da Abbildung 41 auf die Verarbeitung von Materialien abzielt und nicht auf die Auswirkungen von Sturmereignissen auf das gesamte Betriebsergebnis – so wie in der Handwerksbefragung abgefragt –, wurde auch für den Dachdecker eine zukünftig negative Betroffenheit festgestellt.

Für den „Faktor Mensch“ sind pauschale Aussagen wie für die Materialverarbeitung schwieriger zu treffen. Zu den identifizierten Elementen der WBGT und des UVI liegen keine belastbaren Daten vor. Generell kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Hitze einen zentralen Schwerpunkt für die gewerblichen ArbeitnehmerInnen einnehmen wird. Für die Entwicklung des UV-Index lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt keine eindeutigen Aussagen treffen. Die zukünftig milderen Winter hingegen werden sich positiv auf die Leistungsfähigkeit und Gesundheit, der auf der Baustelle Tätigen auswirken, sodass untere Grenzwerte zukünftig seltener unterschritten werden. Diese Tatsache unterstreicht den für den „Faktor Mensch“ gewählten Fokus auf hohe Temperaturen in der Zusammenstellung der Schwellenwerte (vgl. Abbildung 7).

EWE stellen eine besondere Gefahrenquelle für den „Faktor Mensch“ dar, sodass mit EWE oder Unwettern im Allgemeinen sensibel umgegangen werden sollte.

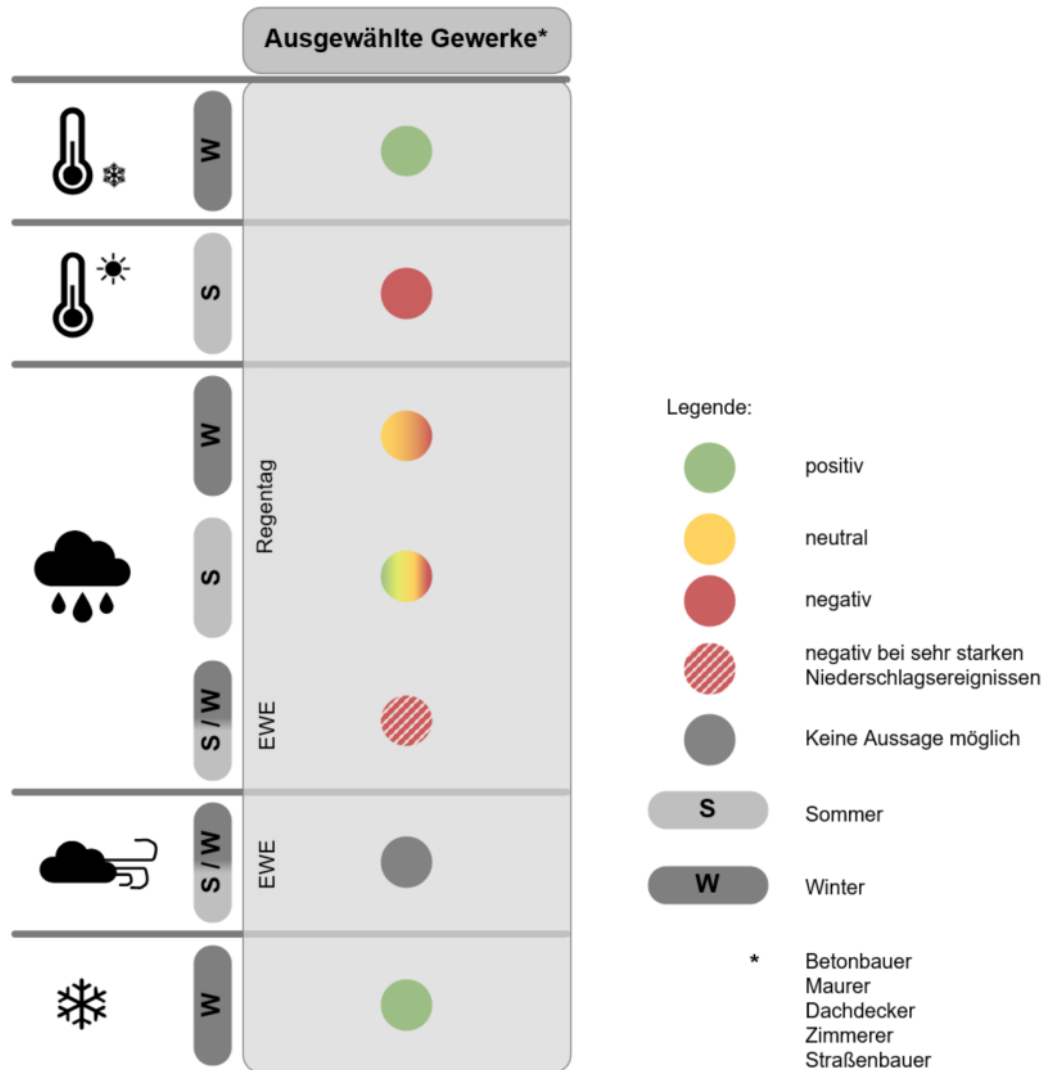


Abbildung 41: Tendenzuell zukünftige KW-Betroffenheit der untersuchten Gewerke während der Bauausführung (Fokus Materialien)

Ein Bedarf zur Anpassung von Regelungen zur Berücksichtigung von Klimawandelauswirkungen ergibt sich durch weitere Ergebnisse der Handwerksbefragung (vgl. Tabelle 7). Die Unternehmen wurden gefragt, welche Förderung sie sich im Umgang mit dem Klimawandel wünschen würden.

Im Ergebnis lässt sich eine klare Tendenz des Bedarfs zur zukünftig ganzjährigen Kompensation von witterungsbedingten Arbeitsausfällen erkennen. Als konkreter Vorschlag wurde die Ausweitung des S-KUG mehrfach angeführt, das bisher auf die winterlichen Monate begrenzt ist (vgl. Kapitel 3.2.1). Zudem wurden vereinzelt Förderungen für UV-Schutzmaßnahmen und Wetterbekleidung für die gewerblichen ArbeitnehmerInnen sowie Förderungen bei der Anpassung des Betriebsgebäudes und der klimagerechten Ausstattung von Geräten gewünscht. Einmal wurde sogar die Anpassung von Regelungen in der VOB durch einen Dachdecker gefordert. Zwei Unternehmen, davon ein Maurer- und Betonbauer und ein Zimmerer, wünschten

keinerlei Förderung. Die Antwort konnte freiwillig gegeben werden. Dies könnte die vergleichsweise geringe Beteiligung erklären.

Letztlich lässt sich tendenziell der Wunsch zur Ausweitung von Kompensationsmaßnahmen insbesondere bei Arbeitsausfällen in den Sommermonaten als Maßnahme zur Berücksichtigung des Klimawandels erkennen.

| Welche Art von Förderung würden Sie sich für Ihren Betrieb wünschen? | |
|--|----|
| Förderung | # |
| Ganzjährige Schlechtwetterzeit/Ganzjähriges S-KUG / Ausfallgeld bei Extremwetterlagen | 20 |
| (finanzielle) Unterstützung bei UV-Schutz / angemessener Wetterbekleidung | 5 |
| (finanzielle) Unterstützung bei der Anpassung des Betriebsgebäudes und der Ausstattung | 2 |
| Anpassung der Grenzwertregelungen | 1 |
| keine | 2 |

Tabelle 7: Befragungsergebnisse zu Bedarf an Förderungen im Umgang mit dem Klimawandel (ausgewählte Gewerke n=107; Antwort freiwillig)

5.3 Zwischenfazit

Zusammenfassend lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels für die bauausführenden Unternehmen des Baugewerbes in Bezug auf die Bautätigkeit selbst nicht eindeutig als positiv oder negativ bezeichnen. Ergänzend zu den allgemeinen (positiven) Einschätzungen hinsichtlich der Auftragsentwicklung im Bauwesen (**Baumarkt**) müssen zwingend auch die teilweise eher negativen Auswirkungen auf die Bauausführung (**Produktivität**) und die beteiligten Arbeitskräfte (**Gesundheit**) betrachtet werden. Je nach Witterungssensibilität bei der Bauausführung, fällt die Betroffenheit in unterschiedliche Richtung und unterschiedlich stark aus. Einige Gewerke werden wegen der zu verarbeitenden Materialien und der Randbedingungen für die Arbeitskräfte stärker betroffen sein werden als andere Gewerke. Nicht alle Gewerke haben vergleichbare Möglichkeiten, eine klimaangepasste Bauweise anbieten zu können. Wie Abbildung 36 auf Seite 82 veranschaulicht, können die Unternehmen der Baubranche grundsätzlich als „doppelte Gewinner“ des Klimawandels betrachtet werden. Dies wird allerdings nur möglich sein, wenn den teilweise eher negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Bauausführung und auf die beteiligten Arbeitskräfte proaktiv entgegengewirkt wird.

Insofern wird es zukünftig wichtig sein, das Bewusstsein der Baubeteiligten für sowohl mögliche positive als auch negative Folgen des Klimawandels zu schärfen. Erste Ansätze haben die Leitfäden der Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main (2016) und die des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (2018) vorgestellt. Zwangsläufig sollte jedoch der „Faktor Mensch“ in der zukünftigen Betrachtung eine zentrale(re) Rolle einnehmen – zum Schutz der Gesundheit aber auch im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit. Die Ergebnisse

der vorliegenden Untersuchung konnte den Detailierungsgrad dieser beiden Studien nochmals deutlich erhöhen und den Fokus zur KW-Betroffenheit während der Bauausführung schärfen.

Nachfolgend werden mögliche Handlungsempfehlungen im Umgang mit Witterungsbedingungen im Allgemeinen und mit den sich verändernden klimatischen Veränderungen für die Bauausführung im Speziellen vorgestellt.

6 Anwendungsfelder, Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Das vorliegende Kapitel leitet aus den vorherigen Kapiteln drei Anwendungsfelder zum zukünftigen Umgang mit Witterungsereignissen bzw. dem Klimawandel ab. Aus den Anwendungsfeldern lassen sich zum einen (kurz- bis mittelfristig umsetzbare) Handlungsempfehlungen und zum anderen der weitere (langfristige) Forschungsbedarf ableiten. Zum besseren Verständnis der Empfehlungen werden eingangs jeweils noch einmal die wichtigsten Ergebnisse bzw. Aussagen der vorangegangenen Kapitel zusammengetragen.

6.1 Anwendungsfelder und Handlungsempfehlungen

Das Forschungsprojekt zielte darauf ab, die Transparenz im Umgang mit der Witterung insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels zu erhöhen. Es wurde zuvor deutlich gezeigt, dass für einen handlungssicheren Umgang mit Witterungsereignissen handhabbare Regelungen und Begriffsdefinitionen fehlen. Mögliche Ansätze und Lösungsvorschläge werden nachfolgend im „Anwendungsfeld 1: Schwellenwerte“ diskutiert. Ebenso ist eine solide Informationsgrundlage zu vergangenen und zukünftig erwartbaren Witterungs- und Klimabedingungen unerlässlich. Im „Anwendungsfeld 2: Klimadaten“ werden daher Möglichkeiten zur zielgerichteten Informationsbereitstellung vorgestellt. Weiterhin ist aus den Untersuchungen zuvor deutlich geworden, dass seitens des Staates der Winterbau stark vorangetrieben wurde, um „*das Bauen in den bisher bauschwachen Monaten zu forcieren*“¹²⁸. Deshalb beschäftigt sich das „Anwendungsfeld 3: Staatlicher Schutzschild“ mit möglichen Maßnahmen, die politisch veranlasst werden könnten.

Nachfolgend werden

- das Anwendungsfeld 1: Schwellenwerte,
- das Anwendungsfeld 2: Klimadaten und
- das Anwendungsfeld 3: Staatlicher „Schutzschild“

vertiefend vorgestellt.

¹²⁸ Sill/Stephan/Röthig (1962), S. 5.

6.1.1 Schwellenwerte

Materialverarbeitung und „Faktor Mensch“

Die Bauausführung ist – entsprechend der zuvor erläuterten Aspekte – in unterschiedlicher Weise von Witterungseinflüssen abhängig. Pauschale Aussagen zur Abgrenzung von günstigen und ungünstigen Witterungsverhältnissen sind für die Aufarbeitung der Thematik wenig ziel führend. Das Ausmaß der Beeinflussung hängt stets von der Witterungsempfindlichkeit des zu verarbeitenden Materials und der zu verwendenden Geräte und Maschinen sowie der Einsatzgrenzen des bauausführenden Personals ab.

Bauausführende Unternehmen sind überwiegend auf ihre eigenen individuellen Erfahrungswerte im Umgang mit Witterungseinflüssen angewiesen. Konkrete Schwellenwerte liegen lediglich vereinzelt vor. Diese Regelungslücke konnte sowohl durch die Literaturrecherche (vgl. Kapitel 2) als auch durch die Ergebnisse der Handwerksbefragung (vgl. Kapitel 3.1) identifiziert werden. Das Ergebnis verwundert, da die Bauausführung seit jeher „unter freiem Himmel“ stattfindet. Einzig für niedrige Lufttemperaturen existieren für alle ausgewählten Gewerke mit Ausnahme des Zimmerers Regelungen. Konkrete Schwellenwerte (-3 °C, 0 °C, 5 °C, 10 °C) werden – je nach Gewerk – benannt. Zudem werden die Witterungsbedingungen Eis, Frost, Niederschlag, Wind und Schnee in der Literatur beschrieben. Die konkrete Auslegung liegt dann jedoch bei den Anwendern der Normen und Regelwerke also bei den ausführenden Unternehmen.

In unseren Breiten dominierten in der Vergangenheit die winterlichen Witterungsverhältnisse die Bauausführung. Der Begriff „Schlechtwetter“ wurde speziell durch die kalte Jahreszeit geprägt. Im Zuge des Klimawandels werden die Winter jedoch milder und feuchter und die Sommer heißer und trockener (vgl. Kapitel 4). Zukünftig werden also weniger die niedrigen Temperaturen die Bautätigkeit im Winter beeinflussen als vielmehr die hohen Temperaturen im Sommer. Angaben zu Schwellenwerten insbesondere für sommerliche Bedingungen, die zukünftig die Bautätigkeit stärker beeinflussen werden, fehlen. Lediglich für die Nachbehandlung von Beton¹²⁹ und für die Verarbeitung von Flüssigkunststoff¹³⁰ konnten Grenzwerte für hohe Lufttemperaturen aus der Literatur bzw. aus den Herstellerangaben entnommen werden.

Aus der Handwerksbefragung kann abgeleitet werden, dass tendenziell ein Bedarf an Regelungen für die Ausführung bei hohen Lufttemperaturen besteht, wobei die Forderungen verstärkt auf Regelungen, für die am Bau Beschäftigten abzielen.

¹²⁹ Vgl. Zement-Merkblatt Betontechnik B 21 (2014), S. 7 ; HeidelbergCement AG (2014), S. 1.

¹³⁰ Vgl. z. B. Enke GmbH & Co. KG (2019), S. 3.

Novellierung der Schlechtwettertage (SWT) des DWD

Handlungsbedarf besteht bei der Novellierung der SWT, die ursprünglich von der Bauindustrie und dem DWD entwickelt wurden (vgl. Abbildung 42). Die SWT werden von Bauunternehmen bzw. von den Vertragsparteien dazu verwendet, witterungsbedingte Arbeiterschwernisse oder -unterbrechungen individualvertraglich ex ante zu regeln oder ex post zu beurteilen. Sie gliedern sich zur Beurteilung der Schwere der Behinderungen (Behinderungsstufen) in drei Stufen:

- „A – sehr erschwert“
- „B – erschwert“
- „C – ungünstig“

Dabei werden die „Wetterelemente“ (niedrige) Lufttemperatur, Niederschlag, Schnee und Neuschnee betrachtet und mit verschiedenen Grenzwerten in Abhängigkeit der Behinderungsstufe dargestellt. Das jeweils ungünstigste Ergebnis ist maßgebend für die Einstufung des gesamten Tages. Es handelt sich insoweit um eine stark vereinfachende Vorgehensweise. Zudem wird bei einer Betrachtung der Grenzwerte deutlich, dass vorrangig Witterungsbedingungen in der kalten Jahreszeit und deren Auswirkungen auf den Bauprozess berücksichtigt werden.

Deutscher Wetterdienst
Abteilung Klima- und Umweltberatung

| Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen nach Intensitäten der Witterungserscheinungen | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Wetterelemente | A sehr erschwert | | B erschwert | | C ungünstig | |
| Lufttemperatur | Tagesmaximum | < 0,0 °C | Tagesmaximum | < 0,0 °C | Tagesmaximum | < 0,0 °C |
| | und Tagesminimum | <= -7,0 °C | und Tagesminimum | >= -6,9 °C <= -4,0 °C | und Tagesminimum | >= -3,9 °C < 0,0 °C |
| | | | oder Tagesmaximum | >= 0,0 °C | oder Tagesmaximum | >= 0,0 °C |
| und/oder | | | und Tagesminimum | <= -7,0 °C | und Tagesminimum | >= -6,9 °C <= -4,0 °C |
| 24-stündige Niederschlagshöhe (7 Uhr des Haupttages bis 7 Uhr MEZ des Folgetages) | | >= 30,0 mm | | >= 20,0 mm <= 29,9 mm | | |
| und/oder | | | | | | |
| Niederschlagsdauer in der Zeit von 7 bis 14 Uhr MEZ und Nie- derschlagshöhe in dieser Zeit | Niederschlagsdauer | >= 3 Stunden | Niederschlagsdauer | >= 3 Stunden | Niederschlagsdauer | >= 3 Stunden |
| | und Niederschlagshöhe | >= 4,0 mm | und Niederschlagshöhe | >= 3,0 mm <= 3,9 mm | und Niederschlagshöhe | >= 1,0 mm <= 2,9 mm |
| und/oder | | oder ohne Rücksicht auf die Dauer | | oder ohne Rücksicht auf die Dauer | | oder ohne Rücksicht auf die Dauer |
| | Niederschlagsdauer | >= 15,0 mm | Niederschlagshöhe | >= 10,0 mm <= 14,9 mm | Niederschlagshöhe | >= 5,0 mm <= 9,9 mm |
| Schneedeckenhöhe um 7 Uhr MEZ | | >= 40 cm | | >= 30 cm <= 39 cm | | >= 10 cm <= 29 cm |
| und/oder | | | | | | |
| Neuschneehöhe um 7 Uhr MEZ | | >= 20 cm | | >= 10 cm <= 19 cm | | >= 5 cm <= 9 cm |

© Deutscher Wetterdienst

Die Kriterien wurden vom DWD in Zusammenarbeit mit der Bauindustrie festgelegt.

Abbildung 42: Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen¹³¹

Im Vergleich mit den zuvor festgestellten Schwellenwerten ist auffällig, dass die in den SWT aufgeführten Werte größtenteils nicht aus der untersuchten Literatur abzuleiten sind. Die „klas-

¹³¹ DWD (o. J. l).

sische 5 °C-Grenze“, die sowohl in den Leistungsbereichen der ausgewählten Gewerke als auch für weitere Leistungsbereiche der VOB/C angegeben ist, wird in den SWT nicht aufgeführt. Sowohl die Erläuterung zur Wahl der Schwellenwerte als auch mögliche Gründe bzw. der Ursprung zur Definition der Kategorien sind nicht nachvollziehbar und konnten auch durch weiterführende Recherchen nicht (mehr) ermittelt werden. Wie aus den Untersuchungen zu Schwellenwerten bei der Materialverarbeitung deutlich wurde, sind gewerkespezifische Abweichungen festzustellen. Die SWT differenzieren nicht zwischen verschiedenen Gewerken/Prozessen bzw. (gewerkespezifischen) Materialien. Meteorologische Elemente wie Wind und hohe Temperaturen, die durchaus die Bauausführung stören können und in Kapitel 2 und Kapitel 3.1 als relevant identifiziert werden konnten, fehlen komplett. Im Folgenden werden daher Ansätze für eine mögliche Novellierung der SWT des DWD aufgezeigt.

Zunächst könnten – analog zur VOB/C¹³² – Schwellenwerte angegeben werden, ab deren Über- bzw. Unterschreitung (besondere) Maßnahmen notwendig werden. Eine allgemeine Differenzierung in drei Behinderungsstufen mit starren Grenzwerten lässt sich angesichts der gewerke- und projektspezifischen Besonderheiten nicht argumentativ herleiten (vgl. Abbildung 43).

Weiterhin könnten Vorschläge für relevante Schwellenwerte unterbreitet werden, die den Vertragsparteien als Grundlage für eine individualvertragliche Vereinbarung dienen können. Die Schwellenwerte sollten die meteorologischen Elemente der (hohen und niedrigen) Lufttemperatur, des Niederschlags sowie für Schnee und Wind berücksichtigen. Die in Kapitel 2.4 aufgeführten Schwellenwerte könnten dafür erste Anhaltspunkte für die Konkretisierung von Werten liefern. Die Zusammenstellung der Schwellenwerte sollte aber nicht abschließend verstanden werden, da beispielsweise Herstellerangaben stets abweichen können. In der Recherche ergaben sich beispielsweise für das Gewerk des Dachdeckers für Klebe- und Abdichtungsarbeiten unterschiedliche Angaben in Abhängigkeit des jeweiligen Herstellers der Materialien.

Der „Faktor Mensch“ stellt für die Bauausführung einen wesentlichen Schwerpunkt dar. Daher sollte zukünftig angestrebt werden, nicht nur physikalisch-technische Grenzen, sondern insbesondere die Einsatzgrenzen des Faktors Mensch zu berücksichtigen.

¹³² In der VOB/C werden diese als besondere Leistung bezeichnet. Besondere Leistungen führen zu einem zusätzlichen Vergütungsanspruch.



| Meteorologisches Element | Schwellenwerte, ab deren Über- oder Unterschreitung Maßnahmen notwendig sind | | |
|----------------------------------|--|--|--|
| Niedrige und hohe Lufttemperatur | Vorschlag von Schwellenwerten | Verarbeitbarkeit von Materialien  | „Faktor Mensch“  |
| Niederschlag | | | |
| Starkniederschlag (EWE) | | | |
| Windspitze | | | |
| Sturm (EWE) | | | |
| Schnee | <ul style="list-style-type: none"> • gewerke- und prozessspezifisch • materialabhängig • herstellerabhängig | <ul style="list-style-type: none"> • Wettersummenmaß notwendig • Berücksichtigung von Arbeitsschwere und PSA | |

Abbildung 43: Vorschlag zur Novellierung der bisher gültigen SWT

Überdies sollte der Begriff „Schlechtwettertag“ überdacht werden, da hohe sommerliche Temperaturen durchaus eine Erschwernis/Behinderung für die Bauausführung – sowohl für die Verarbeitbarkeit von Materialien als auch für den „Faktor Mensch“ – darstellen.

Außerdem sollten Extremwetterdefinitionen, insbesondere für Niederschlag (Starkniederschlag) und Wind (Sturm) aufgeführt werden. In Abbildung 43 sind Starkniederschlag und Sturm als Extremwetterereignisse gekennzeichnet. Da Extremwetterereignisse per se nicht einheitlich definiert sind, wird vorgeschlagen, auf die Warnkriterien des DWD zu referenzieren. Die Warnkriterien des DWD bilden neben Sturm- und Starkregenwarnungen auch Warnungen für den „Faktor Mensch“ über Hitzewarnungen und Warnungen zur UV – Strahlung ab.

6.1.2 Klimadaten

Zur besseren Einschätzung von möglicherweise während der Bauausführung eintretenden Witterungsereignissen bzw. der zukünftigen Klimaentwicklung bedarf es speziell für die Baubranche aufbereiteter Klimadaten.

Projektbezogene Klimadatenbereitstellung und -beschaffung

Für eine zielgerichtete Klimadatenbereitstellung sind geeignete Vorgaben unter Berücksichtigung der Anforderungen des Bauwesens von immanenter Bedeutung. Insbesondere ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Welche Daten sollen zur Verfügung gestellt werden?
- Wie sollen die Daten zur Verfügung gestellt werden?
- Wer soll die Daten zur Verfügung stellen?

Daher sind zunächst die in Kapitel 3.1.1 formulierten Anforderungen an Schwellenwerte und die hierfür notwendige Aufbereitung der Daten aus Sicht der Bauausführung wesentlich. Da dekadische Wettervorhersagen sehr ungenau sind, wurde sich im Forschungsprojekt darauf ver-

ständig, analog zur bisherigen Vorgehensweise historische Daten (Klimamonitoring) als Grundlage für die Beurteilung von Witterungsrisiken in der vorvertraglichen Phase heranzuziehen. Zudem wurde auch die Bereitstellung langfristiger Klimadaten (Prognose) gefordert, um daraus strategische Maßnahmen, aber auch weitere Tendenzen für die Bauausführung ableiten zu können.

Hinsichtlich der Verantwortung für die Bereitstellung der Daten lassen sich zwei Ebenen identifizieren. Hinsichtlich der Messung und Zusammenstellung der Rohdaten bedarf es einer technischen Infrastruktur und meteorologischer Kompetenz. Beide Voraussetzungen werden vom DWD erfüllt. Wie bereits in Kapitel 4 formuliert wurde, ist daher eine nutzerorientierte Klimadatenbereitstellung durch den DWD anzustreben.

Des Weiteren stellt sich die Frage, wie die Daten Eingang in die Bauprojekte und in den Bauvertrag finden sollen. Im Rahmen der Planung bestimmt maßgeblich der Bauherr (bzw. die Auftraggeberseite) die Zeitfenster für witterungsabhängige Bauleistungen. Aufgrund der dadurch festgelegten Korridore für die jeweiligen Bauleistungen liegt es in der Verantwortung der Unternehmen, etwaige ungünstige Witterungsbedingungen zu berücksichtigen bzw. einzukalkulieren. Spätestens bei Vertragsschluss sollten bestenfalls beide Vertragsparteien (neben weiteren Risiken) eine Bewertung von Witterungsrisiken, die sich aus für die Bauleistung(en) relevanten Klimadaten speisen, vorgenommen haben.

Durch eine zentrale Beschaffung von Klimadaten über die Auftraggeberseite würden relevante Erkenntnisse hinsichtlich wahrscheinlich eintretender Witterungseinflüsse sehr früh vorliegen. Dies würde verschiedene Vorteile für die Terminierung witterungssensibler Bauleistungen nach sich ziehen. Im Zuge der Planung und der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen könnten die Klimadaten den Bietern als weitere Grundlage für deren Kalkulation zur Verfügung gestellt werden, sodass bei Vertragsschluss transparente Vorgaben existieren, um Witterungsrisiken abzugrenzen bzw. zuzuweisen. Würde die Klimadatenbeschaffung beim Unternehmer liegen, wären durch jeden Bieter (bestenfalls) die gleichen Daten zu besorgen. Dies wäre einerseits ineffizient und würde andererseits die Vergleichbarkeit der Angebote erschweren.

Erweiterung des Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes zur strategischen Planung

Um die langfristigen Veränderungen des Klimas zu verdeutlichen, wäre der Deutsche Klimaatlas des DWD um das Handlungsfeld „Bauwesen/Bauproduktion“ zu ergänzen. Der Klimaatlas visualisiert dabei die für das jeweilige Handlungsfeld relevanten meteorologischen Elemente und Größen hinsichtlich der historischen, gegenwärtigen und zukünftig erwartbaren Entwicklung (vgl. Abbildung 44). Die Darstellung erfolgt sowohl durch eine zweidimensionale Grafik (Deutschlandkarte und bundeslandspezifisch) als auch durch Liniendiagramme. Dabei kann das Emissionsszenario gewählt werden (aktuell nur für das A1B-Szenario vorliegend). In Abhängigkeit des Emissionsszenarios werden Angaben für das 15., 50. und 85. Perzentil angegeben, um die Spannweite der möglichen Änderungen im Vergleich zum aktuell gültigen Vergleichszeitraum deutlich zu machen.

Im Klimaatlas sind neben dem Handlungsfeld „Allgemein“ bereits die Handlungsfelder „Landwirtschaft“, „Forstwirtschaft“, „Bodenschutz“, „Energiewirtschaft“ und „Verkehr“ mit den jeweils typischen meteorologischen Elementen und Größen dargestellt. Hierbei finden sich auch die Klimakenntage wieder, die der Zusammenstellung an Schwellenwerten zugrunde gelegt wurden. Kurz- und mittelfristig könnte daher eine zielgerichtete Bündelung an vorhandenen Daten (z. B. Eistage, Frosttage, Sommertage) für das Handlungsfeld „Bauwesen/Bauproduktion“ erfolgen. Diese sind dann in einem nächsten Schritt um weitere für die Bauausführung relevante Angaben und Kennwerte (z. B. 5 °C, Regentage) zu ergänzen. In diesem Zusammenhang ist ebenso der „Faktor Mensch“ zu berücksichtigen, welcher auch bei anderen Handlungsfeldern relevant ist und im Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“ sogar die zentrale Rolle spielt.

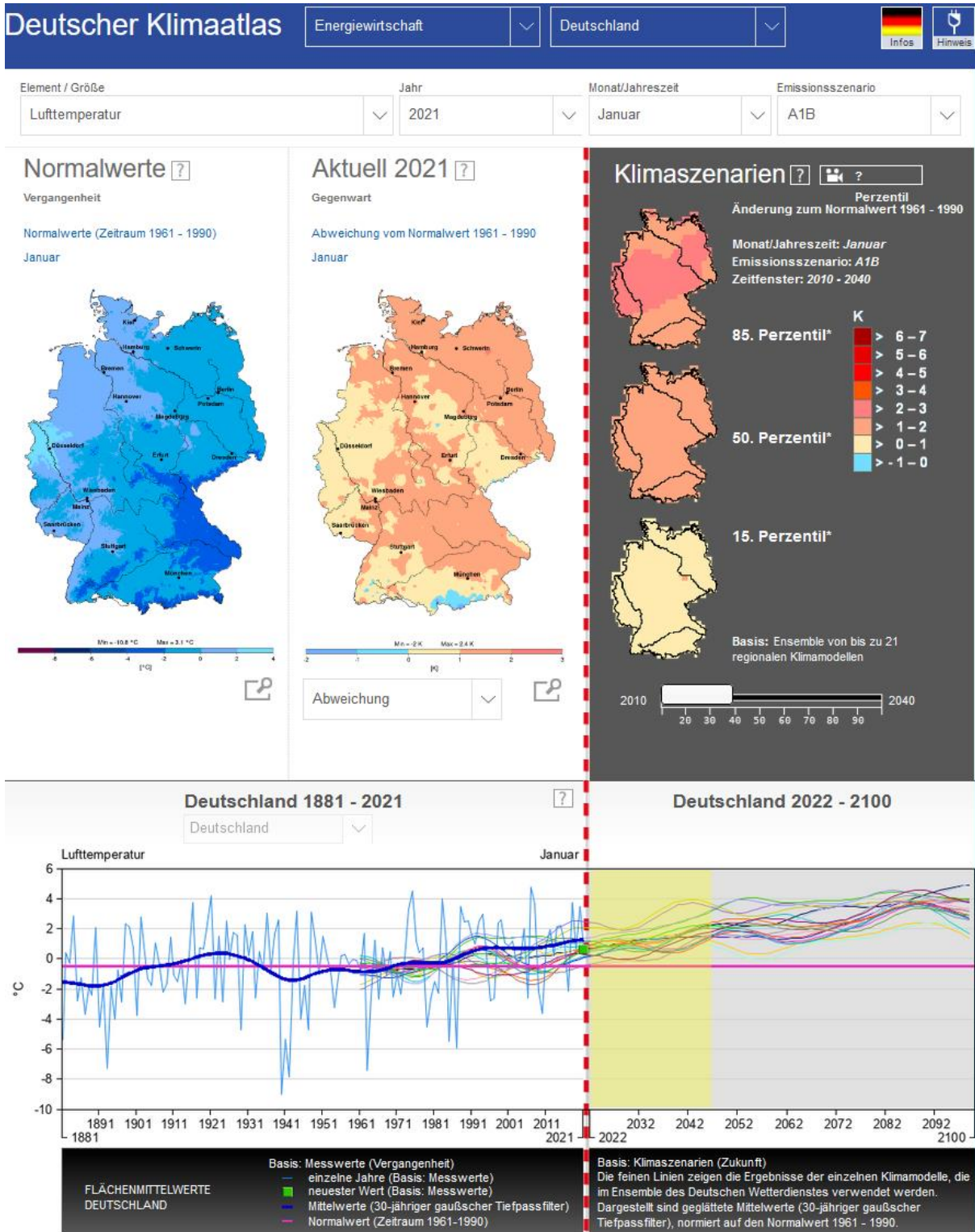


Abbildung 44: Klimaatlas des DWD am Beispiel des Handlungsfeldes „Energiewirtschaft“¹³³

¹³³ DWD (o. J. c).

6.1.3 Staatlicher „Schutzschild“

Es wurde bereits mehrfach betont, dass der Staat die Regelungen und Maßnahmen zum Winterbau maßgeblich vorangetrieben hat. Diese Einflussnahme wäre aus Sicht der Autoren ebenso bei der Behandlung von sich verändernden Witterungseinflüssen im Zuge des Klimawandels auf die Bauausführung wünschenswert. Dabei ist die Einflussnahme durch Regulierungen von denen der Kompensationsmechanismen abzugrenzen.

Regulierung

Im Kapitel 3.1.1 wurde bereits ausführlich erörtert, in welcher Form Schwellenwerte angegeben werden können. Im staatlichen Auftrag könnten – vergleichbar mit früheren Bestrebungen zum Winterbau – Schwellenwerte bestimmt werden, die anschließend in *Normen bzw. Regelwerke* überführt werden. Insbesondere für den Schutz der Beschäftigten wäre es zudem förderlich, diese Schwellenwerte im Arbeitsschutzregelwerk direkt zu verankern, um sie allgemein zugänglich, bewusster, verbindlicher und möglichst auch besser handhabbar zu machen. Die Schaffung von Verbindlichkeiten würde wiederum für gleichartige Wettbewerbsbedingungen sorgen. Diese Forderung wird auch insbesondere für den UV-Schutz durch die European Academy of Dermatology and Venereology (EADV) unterstützt.¹³⁴

Ein weiterer „Regulierungsansatz“ ist die verbindliche Aufnahme von „Sommerschutzmaßnahmen“ in Form von allgemeinen „Wetterschutzmaßnahmen“ als fester Bestandteil in die *Ausschreibungsunterlagen* öffentlicher Auftraggeber. Zum Schutz des bauausführenden Personals sollten insbesondere technische (aber auch organisatorische und persönliche) Schutzmaßnahmen (einschließlich Sonnenschutzmaßnahmen¹³⁵ und Hitzeschutzmaßnahmen) notwendigerweise in den Ausschreibungsunterlagen Berücksichtigung finden. Der Effekt wäre vergleichbar mit verbindlichen Schwellenwertregelungen, da Maßnahmen bewusst und bestenfalls transparent – durch alle Bieter (gleiche Wettbewerbsbedingungen) – einzupreisen wären (vgl. Kapitel 3.2.2). In diesem Zusammenhang könnte ebenso die Klimadatenbeschaffung durch den Auftraggeber für öffentliche Auftraggeber geregelt werden (vgl. Kapitel 6.1.2). Dies könnte dann auch dazu führen, dass die Klimadatenbereitstellung enorm befördert werden würde.

In Kapitel 3.2.1 wurde die BaustellV vorgestellt, die zum Ziel hat, die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der auf Baustellen Beschäftigten zu verbessern. Weder die BaustellV noch die RAB 31, die den Inhalt und Form von durch den Bauherrn oder dessen Erfüllungsgehilfen (unter gewissen Voraussetzungen) zu erstellenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzpläne konkretisiert, berücksichtigen die Witterungsproblematik bisher zwingend. Da die Schutzmaßnahmen vor Witterungseinflüssen

¹³⁴ Vgl. John et al. (2020), S. 2.

¹³⁵ Vgl. Kynast/Schwerdtner (2019).

- für verschiedene Gewerke erforderlich sein können und damit ggf. eine Gesamtlösung sinnvoll und kostengünstiger sein würde,
- eines bestimmten Gewerks ggf. andere Gewerke beeinträchtigen können und
- nicht unabhängig vom Kontext des Bauvorhabens getroffen werden können (z. B. Konflikt von Arbeitszeitverlagerungen mit dem Bundesimmissionsschutzgesetz),

ist eine zukünftige Berücksichtigung der Witterungsproblematik aus Sicht der AutorInnen erforderlich und hierfür ein Handlungsbedarf abzuleiten.

Kompensation

Sowohl aus den Überlegungen zuvor als auch aus den Ergebnissen der Umfrageergebnisse ergeben sich zwangsweise Überlegungen, inwieweit eine Ausweitung der Schlechtwetterzeit – vor allem auf die Sommermonate – möglich ist. Hitzewellen, die die Produktivität stark vermindern oder – trotz sämtlicher wirtschaftlicher Schutzmaßnahmen – sogar eine gesundheitliche Gefahr darstellen können, sollten zukünftig genauso wie winterliche Bedingungen behandelt werden.

Dies könnte durch eine Erweiterung des S-KUG umgesetzt werden. Falls die regelmäßige betriebsübliche Arbeitszeit vorübergehend, z. B. aufgrund sehr hoher Temperaturen ab der Mittagszeit, verkürzt werden müsste, könnte durch das S-KUG ein Teil des durch die Kurzarbeit bedingten Lohnausfalls wie auch in den Wintermonaten ersetzt werden. Da die winterlichen Ausfälle durch mildere Winter tendenziell weniger werden, würde ggf. das Sozialsystem insgesamt nicht notwendigerweise stärker belastet werden als bisher. Hierzu besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf.

6.1.4 Zusammenfassende Darstellung

Aus den Erläuterungen im vorangegangenen Abschnitt resultieren vielfältige Aspekte für einen zukünftig bewussteren Umgang mit Witterungseinflüssen. Die Abbildung 45 fasst die Ausführungen mit den aus dem Forschungsprojekt ableitbaren Anwendungsfeldern „Schwellenwerte“, „Klimadaten“ und „staatlicher Schutzschild“ sowie zugehörigen Handlungsempfehlungen zusammen. Dabei dürfen die Anwendungsfelder nicht isoliert betrachtet werden. Insbesondere die Klimadatenbereitstellung ist maßgeblich von den (differenzierten) Vorgaben der für die Bauausführung relevanten Schwellenwerte abhängig. Der staatliche „Schutzschild“ kann sowohl Einfluss auf die Verbindlichkeit von Schwellenwerten als auch auf die Verantwortlichkeit für die Klimadatenbeschaffung haben. Des Weiteren ist zu betonen, dass das Anwendungsfeld „Schwellenwerte“ nicht als Ersatz für die Vereinbarung individualvertraglicher Regelungen zwischen den Vertragsparteien zur Ableitung von Maßnahmen bzw. Konsequenzen bei der Über- bzw. Unterschreitungen von Schwellenwerten dienen soll.

Sowohl die Anwendungsfelder als auch die Handlungsempfehlungen (links) sind nicht abschließend zu verstehen und sollten durch weitere Forschung ergänzt werden. Ungeachtet dessen bedarf es an Treibern und Akteuren (rechts), um diese und oder weitere Handlungsempfehlungen weiterzuentwickeln und zu implementieren. Als wesentliche mögliche Treiber und Akteure sind insbesondere Verbände, Innungen oder staatliche Institutionen zu nennen.

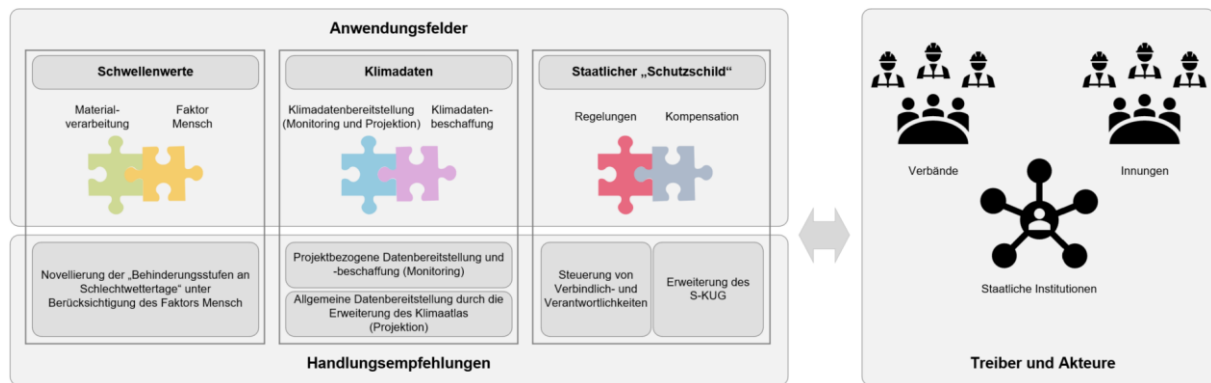


Abbildung 45: Zusammenfassende Darstellung von Anwendungsfeldern, Handlungsempfehlungen und potenziellen Initiatoren

6.2 Weiterer Forschungsbedarf

Zur Vertiefung und Validierung der Argumentation sowie zur Ableitung konkreter Maßnahmen hinsichtlich der oben aufgeführten Anwendungsfelder bedarf es weiterer Forschung in den angesprochenen Themenfeldern. Dieser Forschungsbedarf wird nachfolgend näher beschrieben. Dabei wird die Systematik gemäß Abbildung 45 aufgegriffen und durch weitere Aspekte ergänzt.

6.2.1 Schwellenwerte

Bestimmung der Schwellenwerte

Die in Kapitel 2 (auszugsweise) zusammengetragenen Schwellenwerte entstammen überwiegend interpretatorischen Ansätzen und sind daher mit Unsicherheiten behaftet. Um an dieser Stelle Abhilfe zu schaffen, wären für eine objektive Bestimmung weitere Recherchen bis hin zur Durchführung von Mess- und Versuchsreihen hilfreich. Dabei müssen auch bislang nicht berücksichtigte Gewerke einbezogen werden. Ergänzend könnte auch auf die zahlreichen Erfahrungswerte der Praktiker zurückgegriffen werden. Maßgeblich zu ermitteln und in geeigneter Form bereitzustellen sind insbesondere die Verarbeitungsgrenzen von Materialien, die an physikalische Gesetzmäßigkeiten gebunden sind.

Bei der Bestimmung von Einsatzgrenzen des Faktors Mensch würde sich die Integration von Erfahrungswerten besonders schwierig gestalten, da sehr viele Faktoren eine Rolle spielen und Erfahrungswerte „einzelner“ zu unterschiedlichen Ergebnissen führen könnte. Die Akklimati-

sierung und die Kleidung einschließlich der persönlichen Schutzausrüstung sind dabei nur zwei maßgebliche Faktoren neben den individuellen Voraussetzungen (z. B. Fitness, Vorerkrankungen etc.).

Verbindlichkeit der Anwendung

Ob die Schwellenwerte für die Planung und Realisierung von Bauprojekten verbindlich vorgeschrieben oder unverbindlich empfohlen werden sollen, ist weiterführend zu diskutieren.

Verschiedene Gespräche mit unterschiedlichen Beteiligten aus der Praxis und ein im Dezember 2020 durchgeführter Workshop mit Mitgliedern des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie zeigen, dass hinsichtlich der Verbindlichkeit der Grenzwerte durchaus unterschiedliche Vorstellungen bestehen. Dies wurde bereits in Kapitel 3.2 durch das unternehmerische Spannungsfeld deutlich.

Als Ausgangspunkt für weiterführende Diskussionen müssten zunächst gewerkespezifische Schwellenwerte zusammenzutragen werden. Hierfür könnten Interessenverbände und Innungen Ansprechpartner sein. Eine verbindliche Einführung (beispielsweise durch die Aufnahme in Normen und Regelwerke) wäre – vergleichbar zur bisherigen Vorgehensweise bei niedrigen Temperaturen – dann erst der logische zweite Schritt, der in jedem Fall auf Notwendigkeit (z. B. „Faktor Mensch“) und Akzeptanz geprüft werden sollte.

Stärkung des Arbeitsschutzes durch Ergänzung von Arbeitsstättenregeln („Faktor Mensch“)

Während die Klimaanforderungen für Innenraum-Arbeitsplätze in der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) und den zugehörigen Arbeitsstättenregeln bereits geregelt sind, fehlt entsprechendes für den Außenbereich. Auch wenn sich das Wetter selbst dadurch nicht beeinflussen lässt, wäre dies eine Möglichkeit, arbeitswissenschaftlich begründete Bereiche bzw. Bedingungen zu definieren, die eine Gesundheitsgefährdung für die Beschäftigten darstellen können und zusätzliche Schutzmaßnahmen erfordern. Ende letzten Jahres hat der zuständige Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA) mit den Arbeiten zu Regeln für Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätzen im Freien entsprechend Anhang Nr. 5.1 ArbStättV begonnen.

Darüber könnten z. B. auch der solaren UV-Strahlung und dem UV-Index mehr Gewicht in der Gefährdungsbeurteilung verliehen werden, was bisher durch das Fehlen konkreter Regelungen erschwert ist.

Hilfestellung zur Gefährdungsbeurteilung bei Hitze für Outdoorworker („Faktor Mensch“)

Angesichts der (steigenden) Relevanz des Themas „Hitze“ und der damit verbundenen thermischen Belastung der Beschäftigten, die nicht nur zu Leistungseinschränkungen führt, sondern sehr ernsthafte gesundheitliche Folgen haben kann, ist es dringend notwendig, hierfür für die Baubranche ein handhabbares Instrument für die Gefährdungsbeurteilung zur Verfügung zu

stellen. So anerkannt die WBGT in der Arbeitswissenschaft auch ist, so wenig ist sie momentan für Unternehmen zur Anwendung auf Outdoor-Beschäftigte brauchbar.

Einen Ansatz dafür bietet das Projekt „HEAT SHIELD“, welches sich derzeit mit den klimawandelbedingten negativen Auswirkungen von Hitzebelastung am Arbeitsplatz auf die Gesundheit und Produktivität der Arbeitskräfte in Europa befasst.¹³⁶ Ein wichtiges Ergebnis dieses Projekts ist die mehrsprachige Plattform „HEAT-SHIELD occupational warning system“¹³⁷ (deutsche Version)¹³⁸, die eine Hitzestressprognose in Form von Karten mit der Wahrscheinlichkeit der Überschreitung der täglichen WBGTsun-Schwelle von 27 °C für jede der kommenden vier Wochen zur Verfügung stellt und die für jedermann ohne Registrierung zugänglich ist.

Mit Registrierung auf der HEAT-SHIELD-Plattform ist es zusätzlich möglich, „maßgeschneiderte“ Informationen über das Hitzestressrisiko zu erhalten, das unter Verwendung eines angepassten WBGT-Schwellenwerts berechnet wird.¹³⁹ Dabei werden nicht nur der Arbeitsort, sondern auch

- die Größe und das Gewicht des Arbeitnehmers (bei Registrierung als „Stakeholder“ wählt man hier „Standard-Arbeiter“),
- die Arbeitsschwere,
- die Kleidung oder PSA, die während der Arbeit getragen wird,
- die Arbeitsumgebung (draußen in der Sonne oder im Schatten) sowie
- der Akklimatisierungszustand (an Hitze akklimatisiert oder nicht)

berücksichtigt (vgl. Abbildung 46).¹⁴⁰

¹³⁶ Vgl. Nybo et al. (2020), HEAT-SHIELD Project Website.

¹³⁷ Nybo et al. (2020), HEAT-SHIELD Project Website.

¹³⁸ Nybo et al. (2020), HEAT-SHIELD Project Website.

¹³⁹ Vgl. Morabito et al. (2019), S. 4.

¹⁴⁰ Vgl. Morabito et al. (2019), S. 10.



Abbildung 46: Bei der Hitzerisiko-Prognose von HEAT-SHIELD berücksichtigte Faktoren¹⁴¹

Die kurzfristige Vorhersage des Hitzerisikos (5-Tage-Prognose) beinhaltet Verhaltensempfehlungen hinsichtlich Trinkmenge und Arbeitspausen in Bezug auf den Hitzestress-Maximalwert des Tages. Wenn innerhalb dieses Zeitraums mit (wenigstens) moderatem Hitzestress zu rechnen ist, wird zusätzlich eine Warn-Mail versendet. Die langfristige Prognose des Hitzerisikos umfasst etwas mehr als einen Monat (46 Tage) im Voraus, um Arbeitsaktivitäten planen zu können. Gegenwärtig sind dort sechs Sprachen verfügbar (Englisch, Italienisch, Slowenisch, Französisch, Portugiesisch und Deutsch), weitere sollen hinzukommen.¹⁴²

6.2.2 Klimadaten

Bereitstellung und Pflege von lokalen Daten zu den für die Bauwirtschaft maßgeblichen klimatologischen Elementen

Um weitere für das Baugewerbe relevante Datensätze entsprechend der spezifischen Anforderungen des Baugewerbes bereitzustellen, besteht weiterer Forschungsbedarf. Dabei ergeben sich insbesondere aus der angestrebten feinen räumlichen Auflösung der Daten („baustellengenau“) als auch aus den unterschiedlichen Zeithorizonten einer Betrachtung – von aktuell über wenige Stunden bis hin zu klimatologischen Zeitskalen – weitere Forschungsfragen.

Darüber hinaus werden derzeit die von der Bauindustrie möglicherweise benötigten Wetterelemente, wie zum Beispiel

- relative Luftfeuchtigkeit,
- Sonneneinstrahlung,

¹⁴¹ Nybo et al. (2020), HEAT-SHIELD Project Website.

¹⁴² Vgl. Morabito et al. (2019), S. 14.

- Bodenfeuchte,
- Nebel (Sichtweite),
- Frost/Eis/Glätte,
- Hagel und
- Gewitter

teilweise lediglich in einer sehr groben räumlichen Auflösung beobachtet, was insbesondere im Hinblick auf sehr lokale Ereignisse wie z. B. Hagel oder Nebel nicht ausreichend ist, um qualitativ hochwertige Aussagen zu treffen. So werden Sichtweitenmessungen derzeit hauptsächlich an Flugwetterwarten auf einigen Flughäfen durchgeführt.

Um auch den Faktor des Arbeitsschutzes aufzunehmen, sind signifikante Erweiterungen des Messnetzes des DWD von Nöten. So werden derzeit Messungen der UV-Intensität nur an wenigen Stationen durchgeführt. Um die angestrebte hohe räumliche Auflösung zu erreichen, ist demnach ein feineres Messnetz nötig, um im Anschluss eine belastbare Interpolation in die Fläche gewährleisten zu können.

Bezüglich der Klimaprojektionen bleibt festzuhalten, dass hier noch ein immenser Forschungsbedarf besteht, um kleinskalige Ereignisse wie Hagel, Nebel, Gewitter mit einer hinreichenden Genauigkeit zu modellieren. Bei der derzeitigen räumlichen Auflösung regionaler Klimamodelle von ca. 11 km² fallen diese Ereignisse noch weitestgehend in den räumlich nicht auflösenden (subskaligen) Bereich und müssen demnach parametrisiert werden, um Aussagen zu diesen Phänomenen aus den Modellen abzuleiten. Dies ist ebenfalls mit einem hohen Forschungsaufwand verbunden.

Perspektivisch wären vorliegende Messwerte hinsichtlich der Anforderungen des Baugewerbes zu sichten und aufzubereiten (Konsolidierung von Daten). Außerdem sind weitere Forschungsaktivitäten insbesondere zum UVI, der WBGT und den oben genannten kleinräumigen Ereignissen durchzuführen. Beides ist mit erheblichem Forschungsaufwand verbunden.

6.2.3 Staatlicher „Schutzschild“

Die vorgestellten Handlungsempfehlungen zu staatlichen Regelungen und Kompensationsmechanismen sind hinsichtlich ihrer konkreten Ausgestaltung auf den Nutzen für die Baubranche und die Volkswirtschaft zu erforschen. Insbesondere für die Einführung bzw. Erweiterung staatlicher Kompensationen sind Fragen hinsichtlich der Anforderungen für Auszahlungen und der Höhe der Beträge unter der Voraussetzung einer Nutzenmaximierung zu beantworten. An dieser Stelle ist ein erhöhter Forschungsaufwand erkennbar, da staatliche Eingriffe „wohl überlegt“ sein müssen.

Staatliche Institutionen sind zwar bei der Gestaltung von Regelungen und Kompensationsmechanismen ausschlaggebend. Weiterhin werden durch staatliche Institutionen Forschungsschwerpunkte vorgegeben und gefördert. Anregungen und Vorschläge zu Änderungen und Anpassungen hingegen sind wiederum durch verschiedene Interessengruppen zu platzieren.

Die zuvor vorgestellten möglichen Maßnahmen (Handlungsempfehlungen) können nur umgesetzt werden, wenn diese initiiert und auch finanziert werden. Die Ideen für Maßnahmen sind durch Interessengruppen zu platzieren, die „in Vertretung und im Interesse“ der Unternehmen handeln (sollten). Das sind im Speziellen Verbände und Innungen. Insbesondere für die Handlungsfelder „Schwellenwerte“ und „Klimadaten“ sind diese Interessengruppen potenzielle Initiatoren zur Definition von Anforderungen.

6.3 Quo vadis – Baubranche?

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnten einige kontroverse Diskussionen mit Unternehmen und Interessenverbänden geführt werden, die aufgezeigt haben, dass die Bedeutung des Klimawandels zwar allgemein anerkannt wird, hieraus jedoch noch kein einheitliches Verständnis notwendiger Maßnahmen erwachsen ist.

Insofern steht die Bauwirtschaft vor einer relevanten Weichenstellung (vgl. Abbildung 47). Entweder wird „wie bisher“ mit der Klimawandelthematik umgegangen, sodass Bauprojekte weder ressourcenschonender und klimabewusster initiiert, geplant und gebaut werden noch konkrete Witterungseinflüsse im Planungs- und Realisierungsprozess berücksichtigen. Oder aber die Auswirkungen des Klimawandels werden als „neuer Weg“ zielgerichtet und kurzfristig in Maßnahmen umgesetzt, sodass sowohl Maßnahmen zum Klimaschutz proaktiv gestaltet als auch Anpassungsmaßnahmen eingeleitet werden.

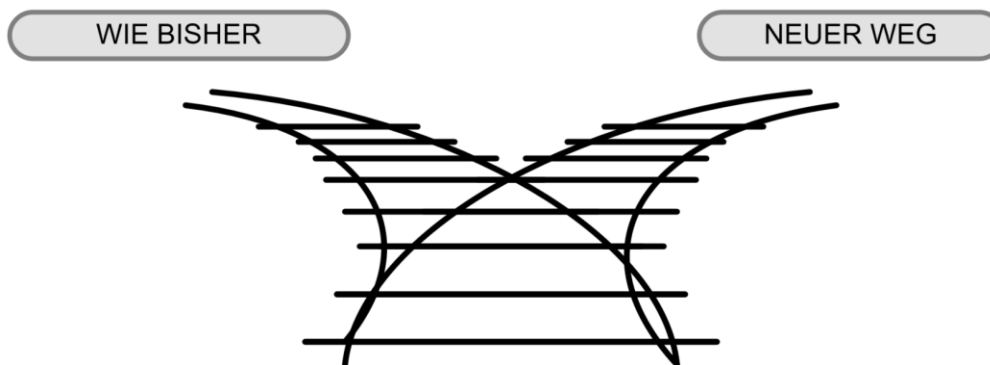


Abbildung 47: Quo vadis – Baubranche?

7 Zusammenfassung

Das Ziel des Forschungsprojekts „KlimaBau“ war es, den Status quo im Umgang mit Witterungseinflüssen während der Bauausführung zu erörtern und notwendige Maßnahmen vor dem Hintergrund des Klimawandels zu skizzieren. Dabei nahm der „Faktor Mensch“ (anders als bisher) eine zentrale Rolle ein.

Im **zweiten Kapitel** wurden aus der Literatur witterungsbezogene Schwellenwerte zum einen für die Materialverarbeitung typischer Prozessschritte ausgewählter Gewerke als auch für den „Faktor Mensch“ zusammengetragen. Dabei war auffällig, dass bislang keine allgemein zugängliche und vollständige Zusammenstellung von Schwellenwerten für die Bauausführung existiert. Falls Schwellenwerte direkt der Literatur zu entnehmen waren, traf dies überwiegend für niedrige Lufttemperaturen zu. Für witterungsbedingte Einflüsse durch Niederschlag, Wind und Schnee wurden ausschließlich unbestimmte Begriffe in der Literatur verwendet (z. B. „starker Wind“), sodass Interpretationen bzw. Annahmen getroffen wurden. Für den „Faktor Mensch“ existieren Grenzen für die Tätigkeit bei niedrigen und hohen Lufttemperaturen sowie Grenzen für den UV-Index. Für weitere meteorologischen Elemente waren keine Schwellenwerte in der Literatur vorhanden. Bei der Bewertung der Gefährdung sind die Expositionsdauer und gegebenenfalls die Arbeitsumstände (z. B. Arbeitsschwere, PSA) zu beachten. Auf Interpretationen und Annahmen wurde in diesem Fall aufgrund der Komplexität des „Faktors Mensch“ verzichtet. Wesentliche Einschränkungen bei der Handhabbarkeit der Grenzen waren zum einen durch die unzureichende Verbindlichkeit und – insbesondere für die WBGT – durch die fehlende Praktikabilität festzustellen.

Bei der weiteren Bearbeitung des Forschungsprojekts konnte durch den Dialog mit Vertretern von Interessenverbänden und Unternehmen festgestellt werden, dass trotz der lückenhaften und überwiegend unscharfen Regelungen nicht notwendigerweise ein einheitlicher Bedarf zur Erhöhung der Transparenz im Umgang mit Witterungsereignissen besteht. Daher wurden im **dritten Kapitel** die theoretisch abgeleiteten Ergebnisse mit den empirischen Ergebnissen einer Handwerksbefragung verglichen. Dabei konnte der Eindruck bestätigt werden, dass trotz einer Witterungsabhängigkeit – sowohl für die Materialverarbeitung als auch für den „Faktor Mensch“ – hauptsächlich unternehmerische „Erfahrungswerte“ verwendet werden, um über Maßnahmen bei einer Beeinträchtigung durch Witterungseinflüsse (z. B. Schutzmaßnahmen und/oder Unterbrechung) zu entscheiden. Aus den Befragungsergebnissen konnte ein tendenzieller Regelungsbedarf für Tätigkeiten unter hohen Lufttemperaturen – speziell für die im Freien Beschäftigten – abgeleitet werden. Im Austausch mit den Vertretern von Interessenverbänden und Unternehmen wurde das Spannungsfeld deutlich, in dem sich der Unternehmer bewegt. In diesem Zusammenhang konnte ebenfalls eine Notwendigkeit für weitere Regelungen abgeleitet werden, da ein bewusster Umgang mit Risiken sowohl unternehmerische Gefahren als auch Chancen sichtbar macht. Aus dem Spannungsfeld ergaben sich aber auch verschiedene mögliche Anforderungen an Schwellenwerte (z. B. Grenzen vs. Korridore) als auch verschiedene Möglichkeiten im Umgang mit Schwellenwerten (Verbindlichkeit vs. Empfehlung).

Außerdem wurden weitere Anforderungen an Klimadaten in Vorbereitung auf die Klimadatenzusammenstellung in Kapitel 4 definiert.

Im **vierten Kapitel** wurde anhand der Auswertung historischer Klimadaten deutlich, dass der Klimawandel bereits Wirkung zeigt. Dies konnte beispielsweise durch die tendenzielle Abnahme von kalten Tagen (am Beispiel von „Eistagen“ und „Frosttagen“) und die tendenzielle Zunahme von „heißen Tagen“ verdeutlicht werden. Durch die Betrachtung bundesweit verteilter Stationen wurde dabei eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität deutlich, sodass bei der Bewertung des Witterungsrisikos bei der Bauausführung immer standortbezogene Klimadaten bewertet werden sollten und stets Unsicherheiten durch Variabilität bestehen bleiben. Aus Klimaprojektionen für die ferne Zukunft wurden die Aussagen zum Trendverhalten der historischen Daten bestätigt oder sogar verstärkt.

Im **fünften Kapitel** wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Bauunternehmen im Allgemeinen und den „Faktor Mensch“ im Speziellen untersucht. Die theoretischen Grundlagen wurden mit Hilfe einer Literaturrecherche zusammengeführt und mit den Ergebnissen der Handwerksbefragung verglichen bzw. ergänzt. Es wurde deutlich, dass sommerliche Bedingungen zukünftig zu Risiken sowohl für die Bauproduktion und insbesondere für den „Faktor Mensch“ führen. Die milderen Winter hingegen werden als Chance betrachtet. Extremwetterereignisse werden als Risiko während der Bauausführung bewertet, da sie für die im Freien Beschäftigten ein hohes Unfallrisiko darstellen aber auch Materialien bzw. den Werkerfolg beschädigen können. Andererseits werden Extremwetterereignisse von bestimmten Gewerken auch als Chance im Sinne von steigenden Absätzen durch Reparatur- und Anpassungsmaßnahmen bewertet. Zur Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf Bauunternehmen ist stets der Dreiklang aus „Baumarkt“, „Produktivität“ und „Gesundheit“ der gewerblichen Arbeitskräfte zu untersuchen.

Aus den Ergebnissen der vorangegangenen Kapitel wurden im **sechsten Kapitel** drei Anwendungsfelder („Schwellenwerte“, „Klimadaten“ und „Staatlicher Schutzschild“) abgeleitet, wobei diese nicht abschließend zu verstehen sind. Für jedes der Anwendungsfelder wurden Handlungsempfehlungen aufgezeigt, die überwiegend kurz- bis mittelfristig umzusetzen sind. Hier finden sich die Novellierung der Behinderungsstufen an Schlechtwettertagen des DWD ebenso wieder, wie die Erweiterung des Klimaatlas des DWD um das Handlungsfeld „Bauwesen/Bauproduktion“. Für einige meteorologische Elemente existieren keine expliziten Grenzwerte in der Literatur oder die Anwendung von Grenzwerten ist als nicht praktikabel einzustufen. Daher erfolgt der Vorschlag zunächst auf die Warnkriterien des DWD zu referenzieren. Außerdem wurde eine mögliche und eventuell notwendige staatliche Unterstützung diskutiert, um die zukünftig immer relevanter werdenden sommerlichen Bedingungen in das Bewusstsein der Projektbeteiligten zu rufen bzw. den bewussten und transparenten Umgang mit Witterungsbedingungen zu forcieren. Hierdurch sollten insbesondere Witterungsgefahren für den „Faktor Mensch“ reduziert werden. Außerdem wurde angeregt, das Saison-Kurzarbeitergeld auch auf die sommerlichen Monate auszuweiten bzw. ganzjährig anzubieten. Dies ergab sich sowohl aus

den theoretischen Überlegungen als auch aus den Forderungen der Unternehmen der Handwerksbefragung.

Da das Forschungsprojekt „KlimaBau“ als Pilot- und Grundlagenprojekt angelegt war, ergeben sich weitere Forschungsansätze sowohl in der Tiefe und in Ergänzung zu „KlimaBau“ als auch in der Breite zur besseren Beherrschung der Klimawandel(anpassungs)thematik in Bauprojekten.

Abschließend ist festzuhalten, dass es noch vieler Bemühungen und Forschungstätigkeiten bedarf, um die unternehmerische Anpassung an den Klimawandel voranzutreiben. Entscheidend wird sein, welche Stakeholder die Thematik als Forschungsmittelgeber weiter fördern.

Literaturverzeichnis

Acharya/Boggess/Zhang (2018)

Acharya, Payel; Boggess, Bethany; Zhang, Kai: *Assessing Heat Stress and Health among Construction Workers in a Changing Climate : A Review*. In: *International journal of environmental research and public health* 15 (2018), Nr. 2. – DOI 10.3390/ijerph15020247

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2018)

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Folgen des Klimawandels : Strategien für das bayerische Handwerk – Ein Leitfaden*. München, 12.2018

Beggs (2004)

Beggs, P. J.: *Impacts of climate change on aeroallergens: past and future*. In: *Clinical and Experimental Allergy* 34 (2004), Nr. 10, S. 1507–1513. – DOI 10.1111/j.1365-2222.2004.02061.x

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (Hrsg.) (2020)

Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (Hrsg.): *Hautkrebs als Berufskrankheit : Zahlen, Daten, Fakten 2019*. 04.2020

Binazzi et al. (2019)

Binazzi, Alessandra; Levi, Miriam; Bonafede, Michela; Bugani, Marcella; Messeri, Alessandro; Morabito, Marco; Marinaccio, Alessandro; Baldasseroni, Alberto: *Evaluation of the impact of heat stress on the occurrence of occupational injuries: Meta-analysis of observational studies*. In: *American journal of industrial medicine* 62 (2019), Nr. 3, S. 233–243. – DOI 10.1002/ajim.22946

Bonafede et al. (2016)

Bonafede, Michela; Marinaccio, Alessandro; Asta, Federica; Schifano, Patrizia; Michelozzi, Paola; Vecchi, Simona: *The association between extreme weather conditions and work-related injuries and diseases. A systematic review of epidemiological studies*. In: *Annali dell'Istituto superiore di sanita* 52 (2016), Nr. 3, S. 357–367. – DOI 10.4415/ANN_16_03_07

Bonauto et al. (2007)

Bonauto, David; Anderson, Robert; Rauser, Edmund; Burke, Brian: *Occupational heat illness in Washington State, 1995-2005*. In: *American journal of industrial medicine* 50 (2007), Nr. 12, S. 940–950. – DOI 10.1002/ajim.20517

Brasseur/Jacob/Schuck-Zöller (Hrsg.) (2017)

Brasseur, Guy P. (Hrsg.); Jacob, Daniela (Hrsg.); Schuck-Zöller, Susanne (Hrsg.): *Klimawandel in Deutschland : Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017. – DOI 10.1007/978-3-662-50397-3

Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.) (2020)

Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.): *Saison-Kurzarbeitergeld : Merkblatt 8d*. Nürnberg, 2020

Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.) (2019)

Was ist der UV-Index? URL <https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/einfuehrung/einfuehrung.html>. – Aktualisierungsdatum: 25.06.2019. – Überprüfungsdatum: 30.09.2020

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.) (2007)

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.); Pipke, Rüdiger (Mitarb.); Ott, Günter (Mitarb.); Janßen, Marco (Mitarb.) : *Licht und Schatten : Schutz vor Sonnenstrahlung für Beschäftigte im Freien*. Bremerhafen: Verlag für neue Wissenschaft, 2007. – ISBN 978-3-88261-570-8

Calkins et al. (2019)

Calkins, Miriam M.; Bonauto, David; Hajat, Anjum; Lieblich, Max; Seixas, Noah; Sheppard, Lianne; Spector, June T.: *A case-crossover study of heat exposure and injury risk among outdoor construction workers in Washington State*. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 45 (2019), Nr. 6, S. 588–599. – DOI 10.5271/sjweh.3814

Casanueva et al. (2020)

Casanueva, Ana; Kotlarski, Sven; Fischer, Andreas M.; Flouris, Andreas D.; Kjellstrom, Tord; Lemke, Bruno; Nybo, Lars; Schwierz, Cornelia; Liniger, Mark A.: *Escalating environmental summer heat exposure—a future threat for the European workforce*. In: *Regional Environmental Change* 20 (2020), Nr. 2, S. 1–14. – DOI 10.1007/s10113-020-01625-6

Chan (2011)

Chan, Margaret: *Fatigue: the most critical accident risk in oil and gas construction*. In: *Construction Management and Economics* 29 (2011), Nr. 4, S. 341–353. – DOI 10.1080/01446193.2010.545993

Chi/Chang/Ting (2005)

Chi, Chia-Fen; Chang, Tin-Chang; Ting, Hsin-I: *Accident patterns and prevention measures for fatal occupational falls in the construction industry*. In: *Applied ergonomics* 36 (2005), Nr. 4, S. 391–400. – DOI 10.1016/j.apergo.2004.09.011

ClimateCHIP (Hrsg.) (2020)

Excel Heat Stress Calculator. URL <https://climatechip.org/excel-wbgt-calculator>. – Aktualisierungsdatum: 24.12.2020. – Überprüfungsdatum: 23.02.2021

an der Heiden et al. (2020)

an der Heiden, Matthias; Muthers, Stefan; Niemann, Hildegard; Buchholz, Udo; Grabenhenrich, Linus; Matzarakis, Andreas: *Heat-related mortality : An analysis of the impact of heatwaves in Germany between 1992 and 2017*. In: *Deutsches Aerzteblatt International* 117 (2020), 27-28. – DOI 10.3238/arztebl.2020.0603

Deutsche Bank Research (Hrsg.) (2007)

Deutsche Bank Research (Hrsg.): *Klimawandel und Branchen: Manche mögen's heiß!* Frankfurt am Main, 06.2007

DGUV (Hrsg.) (o. J.)

GENESIS-UV : Aktuelle Ergebnisse. URL <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/strahlung/genesis-uv/aktuelle-ergebnisse/index.jsp>. – Aktualisierungsdatum: o. J. – Überprüfungsdatum: 21.09.2020

Die Bundesregierung (Hrsg.) (2008)

Die Bundesregierung (Hrsg.): *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*, 2008

Dong et al. (2019)

Dong, Xiuwen Sue; West, Gavin H.; Holloway-Beth, Alfreda; Wang, Xuanwen; Sokas, Rosemary K.: *Heat-related deaths among construction workers in the United States*. In: *American journal of industrial medicine* 62 (2019), Nr. 12, S. 1–11. – DOI 10.1002/ajim.23024

Dorman/Havenith (2008)

Dorman, Lucy E.; Havenith, George: *The effects of protective clothing on energy consumption during different activities*. In: *European Journal of Applied Physiology* 105 (2008), Nr. 3, S. 463–470. – DOI 10.1007/s00421-008-0924-2

DWD (o. J. a)

DWD: *Aktuelle Jahreszeitenvorhersage*. URL https://www.dwd.de/DE/leistungen/jahreszeitenvorhersage/jzvhs_home_node.html. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. b)

DWD: *CDC (Climate Data Center)*. URL https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. c)

DWD: *Deutscher Klimaatlas*. URL https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. d)

DWD: *Eistag*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100652&lv3=100720>. – Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. e)

DWD: *Frosttag*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100784&lv3=100912>. –
Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. f)

DWD: *Gefühlte Temperatur*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=100932&lv3=100988>. –
Überprüfungsdatum: 29.09.2020

DWD (o. J. g)

DWD: *Gemeindewarnungen*. URL https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_gemeinden/warnWetter_node.html. – Aktualisierungsdatum:
24.02.2021. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. h)

DWD: *Heißer Tag*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=101094&lv3=101162>. –
Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. i)

DWD: *Monatlicher Klimastatus Deutschland : Rückblick und Vorschau*. URL
https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. j)

DWD: *Opendata CDC*. URL ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/. –
Aktualisierungsdatum: 24.02.2021. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. k)

DWD: *Regentag*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102134&lv3=102196>. –
Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. l)

DWD: *Schlechtwettertage*. DWD. URL
https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/help/SWT-Kriterien.png. –
Aktualisierungsdatum: 24.02.2021. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. m)

DWD: *Sommertag*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102522>. –
Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. n)

DWD: *Starker Wind*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/ser->

vice/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100310&lv3=100390. – Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. o)

DWD: *Starkregen*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/ser-vice/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102572>. – Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. p)

DWD: *Sturmtag*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/ser-vice/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102642>. – Überprüfungsdatum: 24.09.2020

DWD (o. J. q)

DWD: *UV-Gefahrenindex*. URL <https://www.dwd.de/DE/leistungen/gefahrendizesuvi/gefahrendindexuvi.html>. – Aktualisierungsdatum: 24.02.2021. – Überprüfungsdatum: 24.02.2021

DWD (o. J. r)

DWD: *UV-Index*. DWD. URL <https://www.dwd.de/DE/ser-vice/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102828&lv3=102866>. – Überprüfungsdatum: 29.09.2020

Enke GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2019)

Enke GmbH & Co. KG (Hrsg.): *Verarbeitungsanleitung für Abdichtungen mit Enke Flüssigkunststoff im Bereich von Balkonen und Terrassen*. Düsseldorf, 2019

Flouris et al. (2018)

Flouris, Andreas D.; Dinas, Petros C.; Ioannou, Leonidas G.; Nybo, Lars; Havenith, George; Kenny, Glen P.; Kjellstrom, Tord: *Workers' health and productivity under occupational heat strain: a systematic review and meta-analysis*. In: *The Lancet Planetary Health* 2 (2018), Nr. 12, e521-e531. – DOI 10.1016/S2542-5196(18)30237-7

Fouillet et al. (2008)

Fouillet, A.; Rey, G.; Wagner, V.; Laaidi, K.; Empereur-Bissonnet, P.; Le Tertre, A.; Frayssinet, P.; Bessemoulin, P.; Laurent, F.; Crouy-Chanel, P. de; Jouglu, E.; Hémon, D.: *Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? : A study of the 2006 heat wave*. In: *International journal of epidemiology* 37 (2008), Nr. 2, S. 309–317. – DOI 10.1093/ije/dym253

Garrett/Teizer (2009)

Garrett, J. W.; Teizer, Jochen: *Human Factors Analysis Classification System Relating to Human Error Awareness Taxonomy in Construction Safety*. In: *Journal of Construction Engineering and Management* 135 (2009), Nr. 8, S. 754–763. – DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000034

Gebhardt/Müller (2000)

Gebhardt, H.; Müller, B. H.: *Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen*.
Dortmund, 2000 (Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse, 121)

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Hrsg.) (2019)

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Hrsg.): *Die Schaden-
Chronik der deutschen Versicherer : Naturgefahrenreport 2019*. Berlin, 2019

Glitz et al. (2013)

Glitz, K. J.; Gorges, W.; Leyk, D.; Piekarski, C.: *Arbeit unter klimatischer Belastung :
Isolierende Schutzbekleidung als Sonderfall einer Hitzebelastung*. Deutsche
Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V (Hrsg.). 01.2013

Glitz et al. (2012)

Glitz, K. J.; Gorges, W.; Leyk, D.; Piekarski, C.: *Arbeit unter klimatischer Belastung :
Hitze*. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V (Hrsg.).
07.2012

Glitz et al. (2015)

Glitz, K. J.; Seibel, U.; Rohde, U.; Gorges, W.; Witzki, A.; Piekarski, C.; Leyk, D.:
*Reducing heat stress under thermal insulation in protective clothing: microclimate
cooling by a 'physiological' method*. In: *Ergonomics* 58 (2015), Nr. 8, S. 1461–1469. –
DOI 10.1080/00140139.2015.1013574

Günther et al. (2013)

Günther, Edeltraud; Stechemesser, Kristin; Meyr, Julian; Herrmann, Jana; Bergmann,
Anne: *Faktenblatt Baugewerbe : Das Baugewerbe passt sich an*. Dresden, 10.2013

Hampe (1992)

Hampe, Karl-Heinz: *Winterbau-Technologie : Planung, Vergabe, Ausführung*.
Eschborn: RG-Bau, 1992. – ISBN 3-926984-05-8

Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main (Hrsg.) (2016)

Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main (Hrsg.): *Klimarobust planen und bauen : Ein
Leitfaden für Gebäude im Bestand*. Frankfurt am Main, 01.2016

HeidelbergCement AG (Hrsg.) (2014)

HeidelbergCement AG (Hrsg.): *Betonieren bei hohen Umgebungstemperaturen*. In:
Newsletter Technik (2014), Nr. 21, S. 1–6

Heilfort (2010)

Heilfort, Thomas: *Behinderungen wegen Winterwetters? : Die eigenen Ansprüche
sachgerecht ermitteln*. In: *Baumarkt + Bauwirtschaft* (2010), Nr. 12, S. 50–53

Hofstadler/Kummer (2018a)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus: *Schlechtwetter - Systematischer Umgang
sowie Bedeutung und Auslegung von Schlechtwetterregelungen : Teil 1*. In: *Zeitschrift
für Vergaberecht und Bauvertragsrecht* (2018), Nr. 1, S. 30–42

Hofstadler/Kummer (2018b)

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus: *Der systematische Umgang mit dem Thema Schlechtwetter - Bedeutung und Auslegung von Schlechtwetterregelungen : Teil 2*. In: *Zeitschrift für Vergaberecht und Bauvertragsrecht* (2018), Nr. 10, S. 428–440

Hübler/Gernot Klepper (2007)

Hübler, Michael; Gernot Klepper: *Kosten des Klimawandels : Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit*. Frankfurt am Main, 2007

Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.) (1989)

Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.): *Winterbau in der Bauwirtschaft*. 1. Auflage. Stuttgart: IRB Verlag, 1989 (2701)

International Agency for Research on Cancer (Hrsg.) (2012)

International Agency for Research on Cancer (Hrsg.): *A review of human carcinogens : IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans*. Lyon: IARC, 2012 (Radiation, 100 D). – ISBN 978 92 832 1321 5

Kelfkens et al. (2002)

Kelfkens, G.; Bregman, A.; Gruijl, F.R.; Leun, J.C.; Piquet, A.; Oijen, T.; Gieskes, W.W.C.; Loveren, H.; Velders, G.J.M.; Martens, P.; Slaper, H.: *Ozone layer - climate change interactions : Influence on UV levels and UV related effects*. Bilthoven, 2002 (NOP Report)

Kempfert (2007)

Kempfert, Claudia: *Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden*. In: *DIW Wochenbericht* 11 (2007), Nr. 74, S. 165–169

Kittelmann et al. (2021a)

Kittelmann, Marlies; Adolph, Lars; Michel, Alexandra; Packroff, Rolf; Schütte, Martin; Sommer, Sabine: *Handbuch Gefährdungsbeurteilung : Teil 1: Grundlagen und Prozessschritte*. Dortmund, 2021

Kittelmann et al. (2021b)

Kittelmann, Marlies; Adolph, Lars; Michel, Alexandra; Packroff, Rolf; Schütte, Martin; Sommer, Sabine: *Handbuch Gefährdungsbeurteilung : Teil 2: Gefährdungsfaktoren*. Dortmund, 2021

Kjellstrom et al. (2019)

Kjellstrom, Tord; Maître, Nicolas; Saget, Catherine; Otto, Matthias; Karimova, Tahmina: *Working on a warmer planet : The impact of heat stress on labour productivity and decent work*. Geneva: International Labour Organization, 2019. – ISBN 9789221329688

Köpke et al. (2007)

Köpke, P.; Placzek, M.; Staiger, H.; Winkler, P.: *Solare UV-Strahlung und ihre Wirkung auf den Menschen*. In: *Promet* 33 (2007), 3-4, S. 95–108

Kumlehn/Guicking/Schwerdtner (2018)

Kumlehn, Frank; Guicking, Nina; Schwerdtner, Patrick: *Normale und außergewöhnliche Witterung: Fortwährender Streit um die richtige Abgrenzung*. In: *NZBau* (2018), Nr. 5, S. 269–275

Kynast/Schwerdtner (2019)

Kynast, Luisa; Schwerdtner, Patrick: *Technischer UV-Schutz im baubetrieblichen Spannungsfeld*. In: *BauPortal* (2019), Nr. 3, S. 30–35

Lemke/Kjellstrom (2012)

Lemke, Bruno; Kjellstrom, Tord: *Calculating workplace WBGT from meteorological data : A tool for climate change assessment*. In: *Industrial health* 50 (2012), Nr. 4, S. 267–278. – DOI 10.2486/indhealth.ms1352

Leyk (2018)

Leyk, D.: *Körperliche Arbeit bei Hitzestress : Eine oft unterschätzte Belastung und Gefahr*. In: *Wehrmedizinische Monatsschrift* 62 (2018), Nr. 10, S. 354–356

Leyk et al. (2019)

Leyk, Dieter; Hoitz, Joachim; Becker, Clemens; Glitz, Karl Jochen; Nestler, Kai; Piekarski, Claus: *Health risks and interventions in exertional heat stress*. In: *Deutsches Arzteblatt International* 116 (2019), 31-32, S. 537–544. – DOI 10.3238/arztebl.2019.0537

Li et al. (2016)

Li, Xiaodong; Chow, Kwan Hang; Zhu, Yimin; Lin, Ying: *Evaluating the impacts of high-temperature outdoor working environments on construction labor productivity in China : A case study of rebar workers*. In: *Building and Environment* 95 (2016), S. 42–52. – DOI 10.1016/j.buildenv.2015.09.005

Marinaccio et al. (2019)

Marinaccio, Alessandro; Scortichini, Matteo; Gariazzo, Claudio; Leva, Antonio; Bonafede, Michela; De' Donato, Francesca K.; Stafoggia, Massimo; Viegi, Giovanni; Michelozzi, Paola: *Nationwide epidemiological study for estimating the effect of extreme outdoor temperature on occupational injuries in Italy*. In: *Environment international* 133 (2019), S. 1–9. – DOI 10.1016/j.envint.2019.105176

Morabito et al. (2006)

Morabito, Marco; Cecchi, Lorenzo; Crisci, Alfonso; Modesti, Pietro Amedeo; Orlandini, Simone: *Relationship between work-related accidents and hot weather conditions in Tuscany (central Italy)*. In: *Industrial health* 44 (2006), Nr. 3, S. 458–464. – DOI 10.2486/indhealth.44.458

Mücke et al. (2013)

Mücke, Hans-Guido; Straff, Wolfgang; Faber, Mirko; Haftenberger, Marjolein; Laußmann, Detlef; Scheidt-Nave, Christa; Stark, Klaus: *Klimawandel und Gesundheit :*

Allgemeiner Rahmen zu Handlungsempfehlungen für Behörden und weitere Akteure in Deutschland. Umweltbundesamt (Hrsg.); Robert Koch-Institut (Hrsg.). 03.2013

Nilsson/Holmér (2008)

Nilsson, Hakan O.; Holmér, Ingvar: *Calculation of required clothing insulation (IREQ), duration limited exposure (Dlim), required recovery time (RT) and wind chill temperature (twc).* Thermal Environment Laboratory der Universität Lund. URL http://www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/IREQ2009ver4_2.html. –
Überprüfungsdatum: 29.09.2020

Otto/Kortmann/Gabriel (2020)

Otto, Jens; Kortmann, Jan; Gabriel, Stephan: *Die Baustelleneinrichtung sicher und wirtschaftlich planen.* 1. Auflage. Dortmund, 2020

Otto/Senkel (2019)

Otto, Jens; Senkel, Carolin: *Entwicklung des "normalen" Wetters aus baubetrieblicher Sicht.* In: *baurecht* 50 (2019), Nr. 1, S. 24–33

Ragetti et al. (2017)

Ragetti, Martina S.; Vicedo-Cabrera, Ana M.; Schindler, Christian; Röösl, Martin: *Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013.* In: *Environmental research* 158 (2017), S. 703–709. – DOI 10.1016/j.envres.2017.07.021

Rieder et al. (2010)

Rieder, H. E.; Staehelin, J.; Maeder, J. A.; Peter, T.; Ribatet, M.; Davison, A. C.; Stübi, R.; Weihs, P.; Holawe, F.: *Extreme events in total ozone over Arosa – Part 1 : Application of extreme value theory.* In: *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 10 (2010), Nr. 5, S. 12765–12794. – DOI 10.5194/acpd-10-12765-2010

Robert Koch-Institut/Zentrum für Krebsregisterdaten (Hrsg.) (2019a)

Malignes Melanom der Haut. URL https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Melanom/melanom_node.html. –
Aktualisierungsdatum: 17.12.2019. – Überprüfungsdatum: 29.09.2020

Robert Koch-Institut/Zentrum für Krebsregisterdaten (Hrsg.) (2019b)

Nicht-melanotischer Hautkrebs (heller Hautkrebs). URL https://www.krebsdaten.de/Krebs/DE/Content/Krebsarten/Nicht-melanotischer-Hautkrebs/nicht-melanotischer-hautkrebs_node.html. – Aktualisierungsdatum: 17.12.2019. –
Überprüfungsdatum: 29.09.2020

Rowlinson et al. (2014)

Rowlinson, Steve; Yunyanjia, Andrea; Li, Baizhan; Chuanjingju, Carrie: *Management of climatic heat stress risk in construction: a review of practices, methodologies, and future research.* In: *Accident Analysis & Prevention* 66 (2014), S. 187–198. – DOI 10.1016/j.aap.2013.08.011

Russo/Sillmann/Fischer (2015)

Russo, Simone; Sillmann, Jana; Fischer, Erich M.: *Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades*. In: *Environmental Research Letters* 10 (2015), Nr. 12, S. 1–15. – DOI 10.1088/1748-9326/10/12/124003

Sahu/Sett/Kjellstrom (2013)

Sahu, Subhashis; Sett, Moumita; Kjellstrom, Tord: *Heat exposure, cardiovascular stress and work productivity in rice harvesters in India : Implications for a climate change future*. In: *Industrial health* 51 (2013), Nr. 4, S. 424–431. – DOI 10.2486/indhealth.2013-0006

Schleicher (1972)

Schleicher, Eugen: *Kostenermittlung von Winterbauarbeiten*. Berlin, Köln, Frankfurt am Main: Beuth-Vertrieb GmbH, 1972 (Heft 1)

Sill/Stephan/Röthig (1962)

Sill, Otto; Stephan, Rolf; Röthig, Horst: *Winterbau im Tiefbau : Erfahrungsbericht 4 Jahre Winterbau des Tiefbauamtes der Baubehörde der Freien und Hansestadt Hamburg*, 1962 (Schriften zum Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen)

Sippel et al. (2016)

Sippel, Sebastian; Otto, Friederike E. L.; Flach, Milan; van Oldenborgh, Geert Jan: *The Role of Anthropogenic Warming in 2015 Central European Heat Waves*. In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 97 (2016), Nr. 12, S51-S56. – DOI 10.1175/BAMS-D-16-0150.1

Spector et al. (2019)

Spector, June T.; Masuda, Yuta J.; Wolff, Nicholas H.; Calkins, Miriam; Seixas, Noah: *Heat Exposure and Occupational Injuries: Review of the Literature and Implications*. In: *Current environmental health reports* 6 (2019), Nr. 4, S. 286–296. – DOI 10.1007/s40572-019-00250-8

Spranz (2007)

Spranz, Dieter: *Behandlung von Witterungseinflüssen beim VOB-Vertrag*. 2. Auflage. Düsseldorf: BWI-Bau, 2007. – ISBN 978-3-940134-00-4

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2019): *Produzierendes Gewerbe : Unternehmen, tätige Personen und Umsatz im Handwerk*. Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.): *Produzierendes Gewerbe : Unternehmen, tätige Personen und Umsatz im Handwerk*. 2019

Steinmetz (2014)

Steinmetz, Manfred: *Aktuelle solare UV-Situation in Deutschland*. In: *Umwelt und Mensch – Informationsdienst* (2014), Nr. 1, S. 11–16

Teschke (1978)

Teschke, Frank: *Differenzierter Vergleich von Bauverfahren unter Berücksichtigung*

stochastischer Einflussgrößen - dargestellt am Vergleich von Winterbauverfahren. TU Braunschweig, 1978 (Disseratation)

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019)

Umweltbundesamt (Hrsg.): *Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel : Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*, 2019

VDI 3787 Blatt 2 (2008)

VDI 3787 Blatt 2:2008-11, *Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima*

Vecchia (Hrsg.) (2007)

Vecchia, Paolo (Hrsg.): *Protecting workers from ultraviolet radiation*. Oberschleißheim: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2007 (ICNIRP, Nr. 14). – ISBN 978-3-93499407-2

VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.) (2020)

VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): *VHV-Bauschadensbericht : Hochbau 2019/20*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020

Watts et al. (2019)

Watts, Nick; Amann, Markus; Arnell, Nigel; Ayeb-Karlsson, Sonja; Belesova, Kristine; Boykoff, Maxwell; Byass, Peter; Cai, Wenjia; Campbell-Lendrum, Diarmid; Capstick, Stuart; Chambers, Jonathan; Dalin, Carole; Daly, Meaghan; Dasandi, Niheer; Davies, Michael; Drummond, Paul; Dubrow, Robert; Ebi, Kristie L.; Eckelman, Matthew; Ekins, Paul; Escobar, Luis E.; Fernandez Montoya, Lucia; Georgeson, Lucien; Graham, Hilary; Hagggar, Paul; Hamilton, Ian; Hartinger, Stella; Hess, Jeremy; Kelman, Ilan; Kiese Wetter, Gregor; Kjellstrom, Tord; Kniveton, Dominic; Lemke, Bruno; Liu, Yang; Lott, Melissa; Lowe, Rachel; Sewe, Maquins Odhiambo; Martinez-Urtaza, Jaime; Maslin, Mark; McAllister, Lucy; McGushin, Alice; Jankin Mikhaylov, Slava; Milner, James; Moradi-Lakeh, Maziar; Morrissey, Karyn; Murray, Kris; Munzert, Simon; Nilsson, Maria; Neville, Tara; Oreszczyn, Tadj; Owfi, Fereidoon; Pearman, Olivia; Pencheon, David; Phung, Dung; Pye, Steve; Quinn, Ruth; Rabbaniha, Mahnaz; Robinson, Elizabeth; Rocklöv, Joacim; Semenza, Jan C.; Sherman, Jodi; Shumake-Guillemot, Joy; Tabatabaei, Meisam; Taylor, Jonathon; Trinanes, Joaquin; Wilkinson, Paul; Costello, Anthony; Gong, Peng; Montgomery, Hugh: *The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate*. In: *The Lancet* (2019), Nr. 394, S. 1836–1878. – DOI 10.1016/S0140-6736(19)32596-6

Wienert/Walter (2011)

Wienert, U.; Walter, A.: *Klimawandel und Bauen : Klimastatusbericht 2011*. 2011

Wiesinger (2018)

Wiesinger, Christoph: *Wirtschaftliche Überlegungen zur Winterunterbrechung : Kündigen oder nicht kündigen? - Das ist hier die Frage!* In: *bau aktuell* (2018), S. 246–248

Wittlich (2017)

Wittlich, Marc: *GENESIS-UV – Neue Daten zur UV-Strahlungsexposition an verschiedenen Arbeitsplätzen.* In: *Dermatologie in Beruf und Umwelt* 65 (2017), Nr. 2, S. 69–72. – DOI 10.5414/DBX0297

Wojtach (o. J.)

Wojtach, Barbara: *UTCI Calculator.* Institute of Meteorology and Hydrology Warsaw. URL <http://www.utci.org/utcineu/utcineu.php>. – Überprüfungsdatum: 29.09.2020

World Health Organization (2002)

World Health Organization: *Global solar UV index : A practical guide.* Genf, 2002. – ISBN 9241590076

Yi/Chan (2015)

Yi, Wen; Chan, Albert P. C.: *Which Environmental Indicator Is Better Able to Predict the Effects of Heat Stress on Construction Workers?* In: *Journal of Management in Engineering* 31 (2015), Nr. 4, S. 1–9. – DOI 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000284

Yi/Chan (2017)

Yi, Wen; Chan, Albert P. C.: *Effects of Heat Stress on Construction Labor Productivity in Hong Kong : A Case Study of Rebar Workers.* In: *International journal of environmental research and public health* 14 (2017), Nr. 9. – DOI 10.3390/ijerph14091055

Zacharias/Koppe (2015)

Zacharias, Stefan; Koppe, Christina: *Einfluss des Klimawandels auf die Biotropie des Wetters und die Gesundheit bzw. die Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in Deutschland.* Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau-Roßlau, 2015 (Umwelt & Gesundheit, 6)

Zander et al. (2015)

Zander, Kerstin K.; Botzen, Wouter J. W.; Oppermann, Elspeth; Kjellstrom, Tord; Garnett, Stephen T.: *Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia.* In: *Nature Climate Change* 5 (2015), Nr. 7, S. 647–651. – DOI 10.1038/nclimate2623

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks/Industriegewerkschaft Bauern-Agrar-Umwelt (2020)

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks; Industriegewerkschaft Bauern-Agrar-Umwelt: *Tarifvertrag zur Förderung der Aufrechterhaltung der Beschäftigungsverhältnisse im Dachdeckerhandwerk außerhalb der Winterperiode : TV*

Beschäftigungssicherung. SOKA DACH (Hrsg.). Wiesbaden, Köln, Frankfurt a. M., 2020

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Hrsg.) (2017)

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Hrsg.): *Deutsches Dachdeckerhandwerk - Regeln für Abdichtungen : mit Flachdachrichtlinien*. 7. Auflage. Köln: Rudolf Müller, 2017 (Fachtechnik). – ISBN 9783481036973

Ziello et al. (2012)

Ziello, Chiara; Sparks, Tim H.; Estrella, Nicole; Belmonte, Jordina; Bergmann, Karl C.; Bucher, Edith; Brighetti, Maria Antonia; Damialis, Athanasios; Detandt, Monique; Galán, Carmen; Gehrig, Regula; Grewling, Lukasz; Gutiérrez Bustillo, Adela M.; Hallsdóttir, Margrét; Kockhans-Bieda, Marie-Claire; Linares, Concepción de; Myszkowska, Dorota; Pàldy, Anna; Sánchez, Adriana; Smith, Matthew; Thibaudon, Michel; Travaglini, Alessandro; Uruska, Agnieszka; Valencia-Barrera, Rosa M.; Vokou, Despoina; Wachter, Reinhard; Weger, Letty A. de; Menzel, Annette: *Changes to airborne pollen counts across Europe*. In: *PloS one* 7 (2012), Nr. 4, e34076. – DOI 10.1371/journal.pone.0034076

Gesetzestexte / Normen

ArbSchG

Arbeitsschutzgesetz, 2020

BaustellV

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen, 1998

BGB

Bürgerliches Gesetzbuch, 2020

DIN 33403-5 (1997)

DIN 33403-5:1997-01, *Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 5: Ergonomische Gestaltung von Kältearbeitsplätzen.* – DOI 10.31030/7235298

DIN EN ISO 8996 (2005)

DIN EN ISO 8996:2005-01, *Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung des körpereigenen Energieumsatzes (ISO 8996:2004); Deutsche Fassung EN ISO 8996:2004.* – DOI 10.31030/9567844

DIN EN ISO 11079 (2008)

DIN EN ISO 11079:2008-04, *Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen (ISO 11079:2007); Deutsche Fassung EN ISO 11079:2007.* – DOI 10.31030/9871182

VDI 3787 Blatt 2 (2008)

VDI 3787 Blatt 2:2008-11, *Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima*

DIN EN 1996-2 (2010)

DIN EN 1996-2:2010-12, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-2:2006 + AC:2009.* – DOI 10.31030/1721445

DIN EN 13670 (2011)

DIN EN 13670:2011-03, *Ausführung von Tragwerken aus Beton; Deutsche Fassung EN 13670:2009.* – DOI 10.31030/1562159

DIN 33403-3 (2011)

DIN 33403-3:2011-07, *Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung - Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße.* – DOI 10.31030/1774486

DIN 18531-3 (2017)

DIN 18531-3:2017-07, *Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer - Auswahl, Ausführung und Details.* – DOI 10.31030/2661015

DIN EN ISO 7243 (2017)

DIN EN ISO 7243:2017-12, *Ergonomie der thermischen Umgebung - Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (ISO 7243:2017); Deutsche Fassung EN ISO 7243:2017.* – DOI 10.31030/2655582

DGUV Vorschrift 38 (2019)

DGUV Vorschrift 38:2019-11, *Unfallverhütungsvorschrift: Bauarbeiten.* Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin

VOB/B

Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen, 2016

ZTV Asphalt-StB (2013)

ZTV Asphalt-StB:2013-07, *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt.* Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 (2004)

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8:2004-04, *Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons.* Informationszentrum Beton GmbH, Erkrath

Zement-Merkblatt Betontechnik B 21 (2014)

Zement-Merkblatt Betontechnik B 21:2014-12, *Betonieren bei extremen Temperaturen.* Informationszentrum Beton GmbH, Erkrath

Anlagenverzeichnis

Anlage [A1]: Verwendete Literatur zur Grenzwertrecherche (Verarbeitung von Materialien)

Anlage [A2]: Übersicht zur Zusammensetzung der Befragungsteilnehmer

Anlage [A3]: Befragungsergebnisse zum Bedarf an witterungsbezogenen Grenzwerten
(Rohdaten – Auszug)

Anlage [A4]: Verwendete Datenquellen bei der Literaturrecherche zu „Klimawandelauswirkungen auf den Faktor Mensch“

Anlage [A1]**Verwendete Literatur zur Grenzwertrecherche (Verarbeitung von Materialien)****BETONABREITEN****DIN-Normen****DIN 1045-2 (2008)**

DIN 1045-2:2008-08, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*. – DOI 10.31030/1453177

DIN EN 13670 (2011)

DIN EN 13670:2011-03, *Ausführung von Tragwerken aus Beton; Deutsche Fassung EN 13670:2009*. – DOI 10.31030/1562159

DIN 1045-4 (2012)

DIN 1045-4:2012-02, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 4: Ergänzende Regeln für die Herstellung und die Konformität von Fertigteilen*. – DOI 10.31030/1858693

DIN 1045-3 (2012)

DIN 1045-3:2012-03, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung - Anwendungsregeln zu DIN EN 13670*. – DOI 10.31030/1860207

DIN 1045-3 Berichtigung 1 (2013)

DIN 1045-3 Berichtigung 1:2013-07, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung - Anwendungsregeln zu DIN EN 13670, Berichtigung zu DIN 1045-3:2012-03*. – DOI 10.31030/2022683

DIN EN 206 (2017)

DIN EN 206:2017-01, *Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A1:2016*. – DOI 10.31030/2584715

DIN 18331 (2019)

DIN 18331:2019-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Betonarbeiten*. – DOI 10.31030/3086170

Gewerkespezifische Regelwerke**DBV-Merkblatt (2004)**

DBV-Merkblatt:2004, *Betonieren im Winter*. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8 (2004)

Zement-Merkblatt Betontechnik B 8:2004-04, *Nachbehandlung und Schutz des jungen Betons*. Informationszentrum Beton GmbH, Erkrath

Zement-Merkblatt Betontechnik B 21 (2014)

Zement-Merkblatt Betontechnik B 21:2014-12, *Betonieren bei extremen Temperaturen*.
Informationszentrum Beton GmbH, Erkrath

Zement-Merkblatt Betontechnik B 11 (2019)

Zement-Merkblatt Betontechnik B 11:2019-11, *Massige Bauteile aus Beton*.
Informationszentrum Beton GmbH, Erkrath

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.) (2002)

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Hrsg.): *Zement-Taschenbuch 2002*. 50. Auflage.
Düsseldorf: Verlag Bau+Technik, 2002. – ISBN 9783764004279

Herstellerspezifische Vorgaben**HeidelbergCement AG (Hrsg.) (2012)**

HeidelbergCement AG (Hrsg.): *Betonieren bei kühler Witterung und bei Frost* (2012),
Nr. 16, S. 1–4

HeidelbergCement AG (Hrsg.) (2014)

HeidelbergCement AG (Hrsg.): *Betonieren bei hohen Umgebungstemperaturen*. In:
Newsletter Technik (2014), Nr. 21, S. 1–6

Fachliteratur**Stark/Wicht (2013)****Stark/Wicht (2013)**

Stark, Jochen ; Wicht, Bernd: *Dauerhaftigkeit von Beton*. 2., aktualisierte und erweiterte
Auflage. Berlin: Springer Vieweg, 2013. – DOI 10.1007/978-3-642-35278-2

MAUERARBEITEN**DIN-Normen****DIN EN 1996-2 (2010)**

DIN EN 1996-2:2010-12, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von
Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung, Auswahl der Baustoffe und Ausführung von
Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-2:2006 + AC:2009*. – DOI 10.31030/1721445

DIN EN 1996-2/NA (2012)

DIN EN 1996-2/NA:2012-01, *Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter -
Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 2: Planung,
Auswahl der Baustoffe und Ausführung von Mauerwerk*. – DOI 10.31030/1855629

DIN 18330 (2016)

DIN 18330:2016-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C:*

Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Mauerarbeiten.
– DOI 10.31030/2531170

Gewerkespezifische Regelwerke

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.) (o. J.)

Mauern bei Frost und Hitze. URL https://www.kalksandstein.de/bv_ksi/mauern-bei-frost-und-hitze. – Überprüfungsdatum: 11.09.2020

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.) (2018)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): *Kalksandstein - Merkblatt : Mauern im Winterhalbjahr*, 2018

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.) (2018)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): *Kalksandstein - Planungshandbuch : Planung, Konstruktion, Ausführung*. 05.2018

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.) (2019)

Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.): *Kalksandstein - Maurerfibel*. 9. Auflage, 2019

Zentralverband des Deutschen Baugewerbes/Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. (Hrsg.) (2013)

Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (Hrsg.); Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V. (Hrsg.): *Praxistipps für die Ausführung von Mauerwerk : Mit Erläuterungen zu DIN EN 1996 (Eurocode 6)*. Berlin, 2013

Herstellerspezifische Vorgaben

Jasto GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2019)

Jasto GmbH & Co. KG (Hrsg.): *Technische Information : Verarbeitung bei hohen und niedrigen Temperaturen*. 2019

Wienerberger AG (Hrsg.) (o. J.)

Wienerberger AG (Hrsg.): *Planungs- und Verarbeitungshandbuch Poroton*. Hannover, o. J.

Fachliteratur

Gunkler/Budelmann/Butenweg (2019)

Gunkler, Erhard ; Budelmann, Harald ; Butenweg, Christoph: *Mauerwerksbau : Bemessung und Konstruktion ; Baustoffe, Bemessung und Ausführung, Brandschutz und Erdbeben, Nachhaltigkeit, Bewertung und Revitalisierung*. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Köln: Bundesanzeiger Verlag, 2019. – ISBN 3846203718

DACHDECKUNGS- UND ABDICHTUNGSARBEITEN**DIN-Normen****DIN 18531-1 (2017)**

DIN 18531-1:2017-07, *Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze.* – DOI 10.31030/2661013

DIN 18531-3 (2017)

DIN 18531-3:2017-07, *Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer - Auswahl, Ausführung und Details.* – DOI 10.31030/2661015

DIN 18531-5 (2017)

DIN 18531-5:2017-07, *Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen - Teil 5: Balkone, Loggien und Laubengänge.* – DOI 10.31030/2661044

DIN 18336 (2019)

DIN 18336:2019-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Abdichtungsarbeiten.* – DOI 10.31030/3086172

DIN 18338 (2019)

DIN 18338:2019-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Dachdeckungsarbeiten.* – DOI 10.31030/3086173

Gewerkespezifische Regelwerke**Böving et al. (2017)**

Böving, Björn ; Clotten, Wolfgang ; Henseleit, Rainer ; Krüger, Holger ; Müller, Helge ; Neuenhöfer, Torsten ; Pietzsch, Andreas ; Rehder, Thomas ; Rohmann, Jörg ; Schäfer, Jürgen ; Schäfer, Michael ; Schmidt, Wolfgang ; Przemyslaw, Wichowski ; Zengler, Franz: *Technische Regeln für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Polymerbitumen- und Bitumenbahnen.* 6. Auflage. Frankfurt am Main: vdd, Industrieverband Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen e.V., 2017. – ISBN 978-3-9814132-1-2

Die Bitumenbahn GmbH (Hrsg.) (o. J.)

Die Bitumenbahn GmbH (Hrsg.): *Verarbeitungsverfahren.* Frankfurt am Main, o. J.

IVD-Merkblatt 19-1 (2014)

IVD-Merkblatt 19-1:2014-11, *Abdichtungen von Fugen und Anschlüssen im Dachbereich: Einsatzmöglichkeiten von spritzbaren Dichtstoffen, Montageklebstoffen, Butyldichtungsbändern und -profilen - Teil 1: Außenbereich.* Industrieverband Dichtstoffe e. V., Düsseldorf

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Hrsg.) (2017)

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Hrsg.): *Deutsches Dachdeckerhandwerk - Regeln für Abdichtungen : mit Flachdachrichtlinien*. 7. Auflage. Köln: Rudolf Müller, 2017 (Fachtechnik). – ISBN 9783481036973

Herstellerspezifische Vorgaben**Enke GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2019)**

Enke GmbH & Co. KG (Hrsg.): *Verarbeitungsanleitung für Abdichtungen mit Enke Flüssigkunststoff im Bereich von Balkonen und Terrassen*. Düsseldorf, 2019

Hanse-Baustoffe Handelsges. mbh & Co. KG (Hrsg.) (2014)

Hanse-Baustoffe Handelsges. mbh & Co. KG (Hrsg.): *Dachprotect : EPDM-Systemhandbuch*. Bad Oldesloe, 2014

Icopal GmbH (Hrsg.) (2017)

Icopal GmbH (Hrsg.): *Icopal Verlegeanleitung : PROFI-DICHT - die flüssige Abdichtung für Flächen und Details*. Werne, 12.2017

Icopal GmbH (Hrsg.) (2018)

Icopal GmbH (Hrsg.): *Icopal Verlegeanleitung : Flachdach - Fachgerecht bis ins Detail*. 02.2018

SOPREMA GmbH (Hrsg.) (2017)

SOPREMA GmbH (Hrsg.): *FLAGON PREMIO Stick 180 DE*. Mannheim, 10.2017

VEDAG GmbH (Hrsg.) (2020)

VEDAG GmbH (Hrsg.): *Vedaseal 1K : Verlegeanleitung*. Bamberg, 05.2020

W. Quandt GmbH & Co. KG (Hrsg.) (o. J.)

W. Quandt GmbH & Co. KG (Hrsg.): *Verarbeitungsanleitung : So machen Sie Dächer richtig dicht!* Berlin, o. J.

Wolfen Bautechnik GmbH (Hrsg.) (2017)

Wolfen Bautechnik GmbH (Hrsg.): *WOLFEN : Verlegeanleitung*. Wächtersbach-Neudorf, 06.2017

ZIMMERER- UND HOLZBAUARBEITEN**DIN-Normen****DIN 68800-2 (2012)**

DIN 68800-2:2012-02, *Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.* – DOI 10.31030/1857691

DIN 18334 (2016)

DIN 18334:2016-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Zimmer- und Holzbauarbeiten.* – DOI 10.31030/2530218

Gewerkespezifische Regelwerke**Holzbau Deutschland-Institut e.V. (Hrsg.) (2015)**

Holzbau Deutschland-Institut e.V. (Hrsg.): *Holzschutz : Bauliche Maßnahmen.* Berlin, 2015 (Holzbau Handbuch, Reihe 5, Teil 2, Folge 2)

Herstellerspezifische Vorgaben

Binderholz Bausysteme GmbH (Binderholz) (Hrsg.) (o. J.)

Binderholz Bausysteme GmbH (Binderholz) (Hrsg.): *Verarbeitungsrichtlinie : Binderholz Brettsperrholz BBS.* o. J.

STRABENBAUARBEITEN**DIN-Normen****DIN EN 12273 (2008)**

DIN EN 12273:2008-08, *Dünne Asphaltdeckschichten in Kaltbauweise - Anforderungen; Deutsche Fassung EN 12273:2008.* – DOI 10.31030/1391658

DIN 18317 (2019)

DIN 18317:2019-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Verkehrswegebauarbeiten - Oberbauschichten aus Asphalt.* – DOI 10.31030/3086451

ZTV Asphalt-StB (2013)

ZTV Asphalt-StB:2013-07, *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt.*
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

Gewerkespezifische Regelwerke**Deutscher Asphaltverband e.V. (DAV) (Hrsg.) (o. J.)**

Deutscher Asphaltverband e.V. (DAV) (Hrsg.): *Ratschläge für den Einbau von Walzasphalt.* 2. Auflage. Bonn, o. J.

Fachliteratur

Hutschenreuther/Wörner (2017)

Hutschenreuther, Jürgen ; Wörner, Thomas: *Asphalt im Straßenbau*. 3. Auflage. Bonn: Kirschbaum Verlag, 2017. – ISBN 9783781219502

WEITERE VERWENDETE LITERATUR**DIN 18299 (2019)**

DIN 18299:2019-09, *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Allgemeine Regelungen für Bauarbeiten jeder Art*. – DOI 10.31030/3086443

Liebherr-Berechnungsmitteilung 0007 (2011)

Liebherr-Berechnungsmitteilung 0007:2011-10, *Windlast auf die Nutzlast aus Wind in Betrieb*. Liebherr-Werk Biberach GmbH, Biberach

Liebherr-Werk Biberach GmbH (Hrsg.) (2017a)

Liebherr-Werk Biberach GmbH (Hrsg.): *Bedienungsvorschriften Turmdrehkran*. Biberach, 05.Mai 2017 a

Liebherr-Werk Ehingen GmbH (Hrsg.) (2017b)

Liebherr-Werk Ehingen GmbH (Hrsg.): *Schulungsunterlage : Windeinflüsse bei Kranbetrieb*. 4. Auflage. Ehingen/Donau, 2017 b

Neroth/Vollenschaar (Hrsg.) (2011)

Neroth, Günter (Hrsg.); Vollenschaar, Dieter (Hrsg.): *Wendehorst Baustoffkunde : Grundlagen, Baustoffe, Oberflächenschutz*. 27., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011. – ISBN 978-3-8351-0225-5

Anlage [A2]

Übersicht zur Zusammensetzung der Befragungsteilnehmer

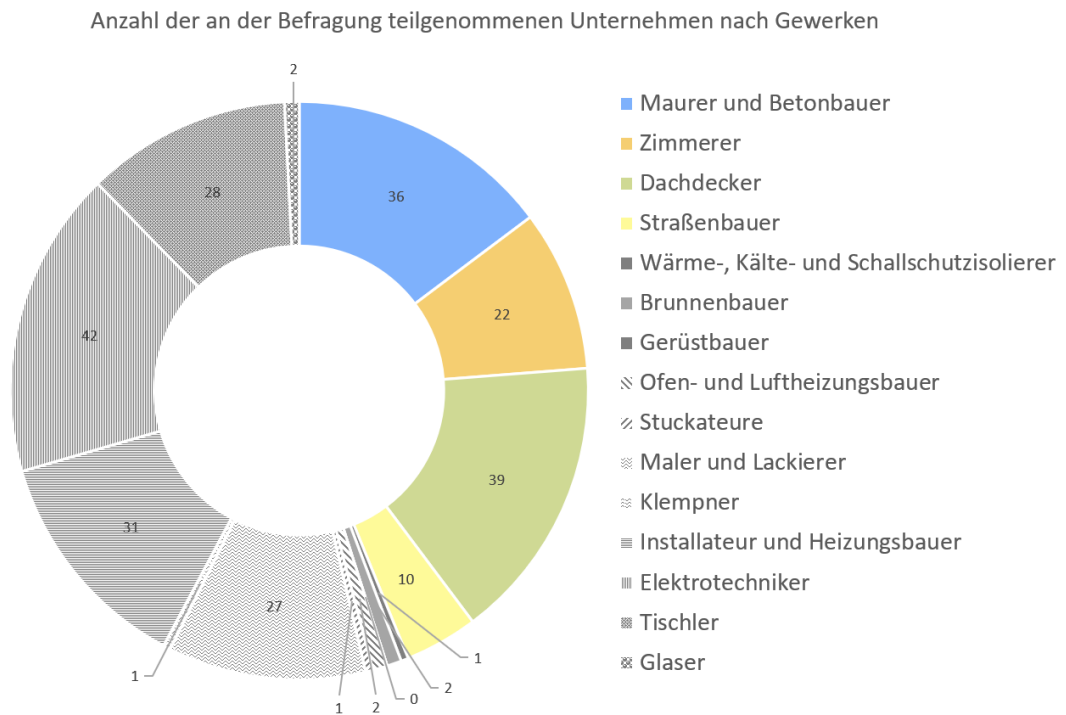


Abbildung 48: Anzahl der Unternehmen, die an der Befragung teilgenommen haben (nach Gewerken)

Anlage [A3]**Befragungsergebnisse zum Bedarf an witterungsbezogenen Grenzwerten (Rohdaten – Auszug)****HOHE TEMPERATUREN**

„Generell sollte eine Obergrenze der Temperaturen festgelegt werden. Es ist kaum zumutbar, bei mehr als 30 Grad körperlich zu arbeiten. Wenn noch die Sonne auf den Arbeitsplatz scheint, wird es eigentlich unmöglich. Technisch ist es auch empfehlenswert, da der Mörtel bei sehr hohen Temperaturen vertrocknet, bevor er abbinden kann. Schutzmaßnahmen helfen nur bedingt“ **(Maurer- und Betonbauer)**

„Vor allem bei hohen Temperaturen bei der Verarbeitung von bspw. bituminösen Abdichtungsbahnen. Mittlerweile ein Grund im Sinne einer Behinderung oder Veranlassung zur Verlagerung der Arbeiten in die Morgenstunden / in den Vormittag. Hierbei ist aber u. a. auch die Lage der Baustelle zu beachten.“ **(Dachdecker)**

„Ab 32 ° C Schattentemperatur ist das Arbeiten im Dauereinsatz unter freiem Himmel nicht zumutbar“ **(Zimmerer)**

„Wir haben intern die Vereinbarung, dass wir ab erreichen von 30 °C gegen 12:00 Uhr die Baustellentätigkeit um 13:00 Uhr einstellen. Es darf nicht sein, dass das Abbauen von Arbeitszeitguthaben in dieser Situation KUG schädlich ist. Wir heilen hier ebenso witterungsbedingten Arbeitsausfall, wie im Winter.“ **(Straßenbauer)**

KEIN BEDARF AN GRENZWERTEN

„Nirgendwo, es ist sowieso schon alles viel zu sehr reguliert. Die Hersteller von den verarbeiteten Produkten sollten ihre Entwicklungsarbeit auf große Temperaturspannen zur Verarbeitung konzentrieren und nicht den Verarbeitungsbereich extra klein halten, um die Verantwortung an den Ausführenden abschieben zu können.“ **(Maurer- und Betonbauer)**

„Es fehlen eigentlich keine Grenzwerte, durch wirtschaftlichen Druck werden sie nur oft nicht eingehalten...“ **(Dachdecker)**

„Es fehlen keine Grenzwerte, weil keiner Grenzwerte und Vorschriften haben will“ **(Dachdecker)**

./ **(Zimmerer)**

„Bitte keine Grenzwerte, immer Baustellenabhängig“ **(Straßenbauer)**

„keine, wir legen fest wann und wie lange unterbrochen wird, um Mensch und Maschinen zu schonen und Qualität zu gewährleisten“ **(Straßenbauer)**

Anlage [A4]**Verwendete Datenquellen bei der Literaturrecherche zu „Klimawandelauswirkungen auf den Faktor Mensch“****1 medizinisch-naturwissenschaftliche Datenbanken**

- PubMed/ Pubmed Central
- (National Library of Medicine (NLM))
- Cochrane Library (Cochrane Collaboration (CDSR)),
- LIVIVO (ZB MED - Informationszentrum Lebenswissenschaften)
- Free Medical Journals

2 Elektronische Datenbanken für „graue Literatur“

- OpenGrey (<http://www.opengrey.eu/>)
- GreyLiteraturBericht(<http://greylit.org/>)

3 Internet-Suchmaschinen

- Google (www.google.com/)
- GoogleScholar (www.google.com/scholar/)

Hier wurden die ersten 100 Treffer auf potenziell relevante Ergebnisse überprüft.

4 Webseiten einschlägiger Organisationen und Institutionen

- Internationale Arbeitsorganisation (www.ilo.org/)
- Weltgesundheitsorganisation (www.who.int)
- Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (<https://osha.europa.eu/de>)
- Weltklimarat (www.ipcc.ch)
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (www.baua.de)
- Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de)
- Umweltbundesamt (www.umweltbundesamt.de)
- Zentrum für Krebsregisterdaten (www.krebsdaten.de)
- China National Knowledge Infrastructure (<https://oversea.cnki.net/>)
- Finnisches Institut für Arbeitsmedizin (<https://www.ttl.fi/en/>)
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH, <https://www.cdc.gov/niosh/>) der Vereinigten Staaten von Amerika

5 Handsuche und Hinweise von Experten

- Referenzlisten von bereits identifizierten relevanten Literaturquellen
- empfohlene Literatur von anderen Mitarbeitern des Forschungsprojekts

Glossar

| Begriff | Kurzzeichen | Kurzbeschreibung | Quelle |
|---------------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| Eistag | $T_{\max} < 0 \text{ °C}$ | Ein Eistag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (unter 0 °C) liegt, d. h. es herrscht durchgehend Frost. | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. d)) |
| Frosttag | $T_{\min} < 0 \text{ °C}$ | Ein Frosttag ist ein Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (0 °C) liegt (ohne Beachtung des Lufttemperatur-Maximums). | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. e)) |
| Gefühlte Temperatur | $T_{\text{gefühl}}$ | <i>Das Temperaturempfinden des Menschen weicht, in Abhängigkeit verschiedener Parameter, von der tatsächlichen Temperatur ab. Mit Hilfe von Wärmehaushaltsmodellen des Menschen lässt sich die „Gefühlte Temperatur“ berechnen. Grenzwerte siehe: VDI 3787 Blatt 2 (2008)</i> | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. f)) |
| Heißer Tag | $T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$ | Ein Heißer Tag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30 \text{ °C}$ beträgt. Ein Heißer Tag wurde früher auch als Tropentag bezeichnet. | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. h)) |
| Kühlgradtag | | <i>Die Kühlgradtage sind eine (fiktive) Größe, die ausgehend von der Überschreitung eines Temperaturschwellenwerts, in diesem Fall 22 °C, berechnet wird, indem man die Höhe der Überschreitung pro Tag für alle Tage eines Jahres in gewichteter Form aufsummiert.</i> | (Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019)) |
| Regentag | $NS \geq 0,1 \text{ mm/m}^2$ | Ein Regentag ist ein Tag mit einer 24-stündigen gemessenen Regenhöhe größer/ gleich $0,1 \text{ mm}$ (entspricht $0,1 \text{ l/m}^2$) | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. k)) |
| Sommertag | $T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$ | Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 25 \text{ °C}$ beträgt. | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. m)) |

| Begriff | Kurzzeichen | Kurzbeschreibung | Quelle |
|--------------|--|---|-----------------------------------|
| Starker Wind | Beaufort 6 | Starker Wind ist ein Kriterium der Beaufort-Skala. Die Beaufort-Skala ist ein Hilfsmittel, mit der die Windstärke anhand der Auswirkungen des Windes geschätzt werden kann. Sie reicht von Stärke 0 (Windstille) bis Stärke 12 (Orkan). Beaufort 6 beschreibt die mittlere Windgeschwindigkeit von 10,8 bis 13,8 m/s bzw. 39 bis 49 km/h in 10m Höhe über freiem Gelände. | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. n)) |
| Starkregen | 15 - 25 mm/m ² in 1 Std. 20 - 35 mm/m ² in 6 Std. | Von Starkregen spricht man bei großen Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit. Er fällt meist aus konvektiver Bewölkung (z. B. Cumulonimbuswolken). Starkregen kann zu schnell ansteigenden Wasserständen und (bzw. oder) zu Überschwemmung führen, häufig einhergehend mit Bodenerosion. | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. o)) |
| Sturmtag | Beaufort ($v_{\emptyset(10\text{min})} \geq 8$) | Ein Sturmtag ist ein Tag, an dem das Maximum der Windgeschwindigkeit ≥ 8 Beaufort beträgt, ausgedrückt durch das größte während des Tages auftretende 10-Minuten-Mittel). | DWD Wetterlexikon (DWD (o. J. p)) |
| UV-Index | UVI | Der UV-Index ist eine international standardisierte Maßzahl für die Stärke der UV-Strahlung der Sonne. Bei übermäßiger Bestrahlung kann es zu körperlichen Schäden kommen. | DWD Wetterlexikon DWD ((o. J. r)) |

Kursiv: kein direkter Bestandteil der Grenzwerttabelle (vgl. Abbildung 8)

Kapitelweise Kennzeichnung der BearbeiterInnen

Generell wurden die Beiträge zum "Faktor Mensch" durch Frau Dr. med. Ute Pohrt [UP] (BG BAU) und die Beiträge zur Meteorologie durch Herrn Dr. Andreas Walter [AW] (DWD) verfasst.

Die Strukturierung sowie die übrigen Inhalte des Endberichts sind durch Frau Luisa Kynast, M. Sc. [LK] (IBB) erstellt worden. Für die Konzeptionierung, Initiierung und Durchführung der Handwerksbefragung ist Frau Kynast verantwortlich.

Nachfolgende Übersicht gibt die Hauptautoren der jeweiligen Kapitel an.

- 1 Einleitung.LK, UP (Ziel und Motivation der BG BAU), AW (Ziel und Motivation des DWD)**
- 2 Witterungsabhängigkeit der BauunternehmenLK, UP („Faktor Mensch“)**
 - 2.1 Allgemeine Erläuterungen LK
 - 2.2 Zusammenstellung technischer Grenzwerte LK
 - 2.3 Einsatzgrenzen des Faktors Mensch UP
 - 2.4 Zusammenfassende Grenzwertdarstellung und Bewertung der Ergebnisse.....
.....LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 2.5 Grenzen des Modells..... LK
- 3 Betroffenheit und Bedarfe aus der Sicht von Bauunternehmen....LK, UP („Faktor Mensch“)**
 - 3.1 Validierung der Literaturrecherche LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 3.1.1 Bewertung der Grenzwertbestimmung LK
 - 3.1.2 Bewertung der Witterungsabhängigkeit LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 3.1.3 Bedarf an anzupassenden Regelungen..... LK
 - 3.2 Regelungsnotwendigkeit – Bauunternehmer im SpannungsfeldLK, UP („Faktor Mensch“)
 - 3.2.1 Bauunternehmer als Arbeitgeber („Faktor Mensch“) UP, LK (S-KUG + BaustellV)
 - 3.2.2 Bauunternehmer als Auftragnehmer und Fachunternehmen LK
 - 3.2.3 Zusammenfassung des Bedarfs an Schwellenwerten und anzupassenden Regelungen
..... LK
 - 3.3 Mögliche Anpassungen von Regelungs- und DatengrundlagenLK, UP („Faktor Mensch“)
- 4 Klimamonitoring und -projektion.....AW**
 - 4.1 Grundlagen zur begrifflichen Differenzierung.....AW
 - 4.2 Machbarkeitsanalyse zur Bereitstellung von DatenAW
 - 4.3 Klimamonitoring ausgewählter meteorologischer Elemente und Grenzwerte.....AW
 - 4.4 Klimaprojektionen ausgewählter meteorologischer Elemente und GrenzwerteAW

- 4.5 Zusammenstellung der durch den Klimawandel [...] ... LK, AW (fachspezifische Durchsicht)
- 4.6 Möglichkeiten und Grenzen der Datenbereitstellung AW
- 5 Auswirkungen des Klimawandels LK, UP („Faktor Mensch“)**
 - 5.1 Literaturrecherche zu Klimawandelauswirkungen LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 5.1.1 Klimawandelauswirkungen auf bauausführende Unternehmen LK
 - 5.1.2 Auswirkungen des Klimawandels auf den „Faktor Mensch“ UP
 - 5.2 Bewertung der Klimawandelauswirkungen durch die Bauunternehmen LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 5.3 Zwischenfazit LK
- 6 Anwendungsfelder, Handlungsempfehlungen und weiterer Forschungsbedarf ..LK, UP, AW**
 - 6.1 Anwendungsfelder und Handlungsempfehlungen LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 6.1.1 Schwellenwerte LK, UP „(Faktor Mensch“)
 - 6.1.2 Klimadaten LK
 - 6.1.3 Staatlicher „Schutzschild“ LK, UP („Faktor Mensch“)
 - 6.1.4 Zusammenfassende Darstellung LK
 - 6.2 Weiterer Forschungsbedarf LK, UP, AW
 - 6.3 Quo vadis – Baubranche? LK
- 7 Zusammenfassung LK**

Verzeichnis der Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb

Herausgegeben von

1979 – 1993 Prof. Dipl.-Ing. K. Simons

1994 – 1996 Prof. Dr.-Ing. H. Hirschberger

1998 – 2015 Prof. Dr.-Ing. R. Wanninger

seit 2016 Prof. Dr.-Ing. P. Schwerdtner

| Nr. | Verfasser/Titel | Datum |
|------------|---|--------------|
| 1 | Hirschberger, Heinz: Ein Vorschlag für Zahlungs- und Preisgleitvereinbarungen zur Vereinfachung der Abrechnung von Pauschalpreisen für die Erstellung von Bauwerken (Dissertation 1975) | Jan. 1979 |
| 2 | Kranz, Erich M.: Ermittlung der Montageleistung im Betonfertigteilbau auf der Grundlage von Arbeitsstudien (Dissertation 1976) | Feb. 1979 |
| 3 | Hagemann, Johannes J.: Einflußfaktoren bei Produktion und Absatz von Asphaltmischgut für den Straßenbau (Dissertation 1977) | Mrz. 1979 |
| 4 | Köntges, Helmut: Das Angebotsverhalten des Baumarktes bei besonderer Wettbewerbssituation : Auswirkungen einer Vergabe mit Vorsubmission (Dissertation 1979) | Apr. 1979 |
| 5 | Swoboda, Hans W.: Untersuchungen des Ausfallverhaltens von Baumaschinen : Systematische Schadensdatenerfassung zur Planung der Instandsetzung im Baubetrieb (Dissertation 1979) | Aug. 1979 |
| 6 | Sager, Rainer: Die Bewertung der Investitions-, Betriebs- und Bauunterhaltungskosten von Gebäuden (Dissertation 1979) | Sep. 1979 |
| 7 | Planung und Ausführung von Infrastrukturmaßnahmen in Ländern der Dritten Welt : Seminarbeiträge aus dem WS 1978/79 | Okt.1979 |
| 8 | Der Streit bei internationalen Bauverträgen : Symposium Bad Ems 1980 | Mrz. 1981 |
| 9 | Romeiß, Hans H.: Einflußgrößen bei der Herstellung von großformatigen Betonfertigteilen und ihre Bewertung durch Kosten (Dissertation 1981) | Jul. 1981 |
| 10 | 10 Jahre Lehrstuhl für Bauwirtschaft und Baubetrieb: Jubiläumsschrift | Okt. 1981 |
| 11 | Wotschke, Michael: Wirtschaftliche Kostenplanung durch Kennwerte aus Angebotsanalysen (Dissertation 1982) | Dez. 1982 |
| 12 | Brüssel, Wolfgang: Rechnergestützte Produktionssteuerung einer Asphaltfabrik (Dissertation 1983) | Mrz. 1983 |

| Nr. | Verfasser/Titel | Datum |
|------------|--|--------------|
| 13 | Bartsch, Erich: Beitrag zum privaten Baurecht | Mai 1983 |
| 14 | Winkelmann, Ingo: Bericht über die Zusammenarbeit des Instituts mit der VR China auf dem Gebiet der Bauwirtschaft | Okt. 1983 |
| 15 | Winkelmann, Ingo: Der Handlungsspielraum der Baubetriebe in der VR China (Dissertation 1984) | Jun. 1984 |
| 16 | Krug, Klaus-Eberhard: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung (Dissertation 1985) | Mai 1985 |
| 17 | Hirschberger, Heinz ; Machado, Wilton J.: Preisgleitvereinbarungen für die Erstellung von Bauwerken in Ländern mit hohen Inflationsraten, untersucht an der Brasilianischen Bauwirtschaft | Okt. 1985 |
| 18 | Bartels-Langweige, Jörg: Technische, ökologische und juristische Risiken bei der Planung, Sanierung und Bauausführung von Deponien und bei der Sanierung von Altlasten – Beiträge zum Fachseminar am 26. und 27. Februar 1986 in Braunschweig | Feb. 1986 |
| 19 | Krug, Klaus-Eberhard: Flachdach aktuell – Beiträge vom 1. Norddeutschen Flachdachseminar am 1. und 2. Dezember 1986 in Braunschweig | Dez. 1986 |
| 20 | Funktionale Leistungsbeschreibung für die Vergabe von Hochschulbauten : Teil I: Untersuchungen, Erwägungsgründe und Hinweise für die Anwendung; Teil II: Vertragliche Regelungen, Anforderungen an das Bauprojekt, Bauteile und Elemente | Mrz. 1987 |
| 21 | Focke, Karl: Das Braunschweiger FLB-Modell in der Anwendung | Apr. 1987 |
| 22 | Rogler, Burkhard ; Römer, Lutz: Managementwörterbuch Deutsch - Englisch – Chinesisch | Jun. 1987 |
| 23 | Bartels-Langweige, Jörg: Bestimmung von Bodenparametern zur Beurteilung der Befahrbarkeit von bindigen Böden (Dissertation 1987) | Sep. 1987 |
| 24 | Wissen transferieren: Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor Dipl.-Ing. Klaus Simons | Aug. 1987 |
| 25 | Instandsetzung und Modernisierung von Flachdächern: Beiträge vom 3. Deutschen Flachdachforum vom 28. Februar - 1. März 1989 in Braunschweig | Feb. 1989 |
| 26 | "Bauleitung – Projektleitung" : Exkursionsberichte von Studenten des Studienganges Wirtschaftsingenieurwesen, Studienrichtung Bau, vom 21. - 25. Mai 1991 | Dez. 1991 |

| Nr. | Verfasser/Titel | Datum |
|------------|---|--------------|
| 27 | "Verzeichnis": Diplomarbeiten und Entwürfe (1971 - 1992) | Apr. 1992 |
| 28 | "Bauleitung – Projektleitung" : Exkursionsberichte von Studenten des Studienganges Wirtschaftsingenieurwesen, Studienrichtung Bau, vom 9. - 12. Jun. 1992 | Feb. 1993 |
| 29 | Die Entwicklung der marktwirtschaftlichen Strukturen im Bauwesen der GUS-Länder | Mai 1994 |
| 30 | 25 Jahre Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb : Jubiläumsschrift | Okt. 1996 |
| 31 | Rebmann, Andree: Akquisitionscontrolling in Bauunternehmen bei Funktionalausschreibungen (Dissertation 2001) | Mrz. 2001 |
| 32 | Kumlehn, Frank: Ausschreibungs- und Vergabemodell für Private Vorfinanzierungs- und PPP-Projekte im Bausektor (Dissertation 2001) | Apr. 2001 |
| 33 | Schwarte, Johannes: Das Raumbuch als Werkzeug zur Informations- und Kostensteuerung (Dissertation 2002) | Nov. 2002 |
| 34 | Maire, André: Wirtschaftliche Aspekte der Gewährleistung bei kleinen und mittelständischen Bauunternehmen (Dissertation 2002) | Dez. 2002 |
| 35 | Sonderfragen des gestörten Bauablaufs : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 14. Februar 2003 | Jun. 2003 |
| 36 | Hornuff, Maik R.: Flexibilität in der Bauablaufplanung und ihre Nutzung bei Bauablaufstörungen (Dissertation 2003) | Okt. 2003 |
| 37 | von Damm, Carsten: Gestaltungsmöglichkeiten des Wettbewerbs bei der öffentlichen Beschaffung von Bauleistungen (Dissertation 2003) | Jan. 2004 |
| 38 | Kosten- und Preisermittlung in Konfliktsituationen : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 13. Februar 2004 | Okt. 2004 |
| 39 | Planungs- und Bauleistungen : Wege zur besseren Koordination : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 18. Februar 2005 | Feb. 2005 |
| 40 | Initiierung von PPP-Projekten für Neubau und Sanierung baulicher Infrastruktur : Beiträge zum Braunschweiger PPP-Seminar 2005 | Dez. 2005 |
| 41 | Baublaufstörungen und Entschädigungsberechnung : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 17. Februar 2006 | Feb. 2006 |
| 42 | Brinsa, Christian: Nutzungszykluskosten als Entscheidungsparameter im privaten Wohnungsneubau (Dissertation 2006) | Mrz. 2006 |
| 43 | Freiboth, Axel: Ermittlung der Entschädigung bei Bauablaufstörungen (Dissertation 2006) | Dez. 2006 |

| Nr. | Verfasser/Titel | Datum |
|------------|---|--------------|
| 44 | Streitvermeidung und Streitbeilegung : etablierte Verfahren und neue Wege: Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 23. Februar 2007 | Feb. 2007 |
| 45 | Schwerdtner, Patrick: Anreizbasiertes Steuerungs- und Vergütungssystem für Einzelvergaben im Hochbau (Dissertation 2007) | Aug. 2007 |
| 46 | Baubetriebswirtschaftliche Aspekte der Kündigung - Konflikte bei der Leistungsfeststellung und Abrechnung : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 15. Februar 2008 | Feb. 2008 |
| 47 | Stolze, Simon-Finn: Honorierung der Angebotserstellung bei PPP-Projekten : Ermittlungssystematik mit Anwendungsbeispiel (Dissertation 2008) | Jul. 2008 |
| 48 | Das Problem Bauzeit – Festlegung, Dokumentation und Bewertung : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 27. Februar 2009 | Feb. 2009 |
| 49 | Entgleitende Projekte – Erkennen und Handeln : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 12. Februar 2010 | Feb. 2010 |
| 50 | Die wirtschaftliche Seite des Bauens : Festschrift zum 60. Geburtstag von Rainer Wanninger | Mrz. 2010 |
| 51 | Sonderprobleme der Kalkulation – Nachweis im Streitfall : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 25. Februar 2011 | Feb. 2011 |
| 52 | Die „bauablaufbezogene Untersuchung“ als Maß aller Dinge : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 24. Februar 2012 | Feb. 2012 |
| 53 | Gonschorek, Lars: Planungs- und Bearbeitungsaufwand bauausführender Unternehmer aufgrund geänderter und zusätzlicher Leistungen : Streitvermeidung im Zuge der Abwicklung technischer Nachträge (Dissertation 2012) | Feb. 2013 |
| 54 | Gemeinkosten – der Konflikt um die berechnete Deckung : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 22. Februar 2013 | Feb. 2013 |
| 55 | Greune, Steffen: Darlegung und Bewertung von Produktivitätsminderungen bei multiplen Bauablaufstörungen (Dissertation 2013) | Jan. 2014 |
| 56 | Leistungsansätze und Produktivitätsverlust – von der Kalkulation zum Nachweis : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 21. Februar 2014 | Feb. 2014 |
| 57 | Preisbildung bei Nachträgen – tatsächliche Kosten oder widerlegbare Urkalkulation : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 27. Februar 2015 | Feb. 2015 |

| Nr. | Verfasser/Titel | Datum |
|------------|--|--------------|
| 58 | Hanusrichter, Mario: Ein Werkzeug zum Nachweis der ordnungsgemäßen Erbringung von Architekten- und Ingenieurleistungen (Dissertation 2015) | Jun. 2015 |
| 59 | Umgang mit Witterung bei Vertragsgestaltung und Baudurchführung : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 26. Februar 2016 | Feb. 2016 |
| 60 | Schneider, Daniel G.: Optimierung der Eignungsprüfung bei der Vergabe öffentlicher Bauaufträge nach VOB/A (Dissertation 2016) | Aug. 2016 |
| 61 | Risiken in Planung und Ausführung – Identifikation und Lösungsansätze : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 17. Februar 2017 | Feb. 2017 |
| 62 | Vertragsänderungen und Vergütungsansprüche nach neuem Bauvertragsrecht : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 16. Februar 2018 | Feb. 2018 |
| 63 | Kooperative Vertragsmodelle und baubetriebliche Lösungsansätze – Ist Deutschland reif für Alternativen? : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 22. Februar 2019 | Feb. 2019 |
| 64 | Die steigende Bedeutung des tatsächlich Erforderlichen: Digitale Dokumentation im Lichte des Baurechts : Beiträge zum Braunschweiger Baubetriebsseminar vom 28. Februar 2020 | Feb. 2020 |
| 65 | Uhlendorf, Tino: Strategien des Komplexitätsmanagements bei Bauprojekten als Basis zur Beherrschung von Änderungen (Dissertation 2019) | Apr. 2020 |
| 66 | Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gewerke der Baubranche unter besonderer Berücksichtigung des Faktors Mensch : Abschlussbericht des interdisziplinären Forschungsvorhabens „KlimaBau“ | Jan. 2022 |

Die Hefte der Schriftenreihe sind zu beziehen beim:

Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb

Technische Universität Braunschweig

Schleinitzstraße 23 A

38106 Braunschweig

Fon: 0531 391-3174

Fax: 0531 391-5953

E-Mail: ibb@tu-braunschweig.de

Internet: www.tu-braunschweig.de/ibb

TU Braunschweig
Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Patrick Schwerdtner

ISBN 978-3-936214-34-5