Stadt Augsburg

Klimawandel-Anpassungskonzept für die Stadt Augsburg (KASA) – Teil 1

Lokale Klimaveränderungen und betroffene Bereiche

Herausgeber/ Koordination

Stadt Augsburg - Umweltamt

Schießgrabenstraße 4

86150 Augsburg

Projektbegleitung: Andreas Repper, Corinna Herrmann

Projektbearbeitung

Gesellschaft für sozio:ökonomische Forschung b.R. (GSF)

Theodor-Echtermeyer-Str. 12, 14469 Potsdam

www.gsf-potsdam.de

GreenAdapt Gesellschaft für Klimaanpassung mbH

Luisenstraße 53, 10117 Berlin

www.greenadapt.de

Alle Rechte vorbehalten

Stand: Februar 2022

Danksagung

Das vorliegende **K**limawandel-**A**npassungskonzept für die **S**tadt **A**ugsburg (KASA) Teil 1 wäre ohne einen breiten Beteiligungsprozess mit Fachleuten und engagierten Augsburgerinnen und Augsburgern nicht in dieser Form zustande gekommen. Von Anbeginn an wurde sehr viel Wert auf Beteiligung und Einbeziehung der örtlichen Expertise gelegt. Die Erstellung des Konzepts hat sehr von dem Austausch mit lokalen Expertinnen und Experten profitiert.

Zahlreiche Personen aus verschiedenen Fachabteilungen der Stadtverwaltung, aus dem Unternehmenssektor, aus zivilgesellschaftlichen Organisationen, aus Vereinen und Verbänden sowie aus der Wissenschaft haben für Interviews, Workshops und Videokonferenzen zur Verfügung gestanden. Ihnen sei an dieser Stelle gedankt.

Besonderer Dank richtet sich an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Workshops, wobei der zweite Workshop Corona-bedingt als Onlineformat gestaltet werden musste.

Wir danken auch dem auftraggebenden Umweltamt, namentlich Herrn Andreas Repper und Frau Corinna Herrmann, für die kontinuierliche organisatorische und fachliche Unterstützung.

Berlin, Potsdam, Augsburg, im Januar 2022

Fritz Reusswig und Adrian Pfalzgraf im Namen der beteiligten Autorinnen und Autoren

Sprache

Bei der Erstellung des KASA wurde der von der Gleichstellungsstelle, Referat OB ausgegebene Leitfaden „Arbeitshilfe für eine gendersensible Sprache der Stadt Augsburg“ beachtet.

Bildnachweise

Bildquellen sind jeweils in der Bildunterschrift angegeben. Von der Angabe einer Bildquelle wird abgesehen, wenn es sich um gemeinfreie Bilder handelt.

Glossar

Mit einem Symbol (➤) gekennzeichnete Begriffe werden im Glossar erläutert.

Grußwort

Liebe Augsburgerinnen und Augsburger,

seit einiger Zeit wird kaum ein Thema so sehr diskutiert wie der globale Klimawandel. Auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene wird um Strategien und Gesetzgebungen gerungen, um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Auch die Stadt Augsburg hat sich entsprechende Klimaschutzziele gesetzt und engagiert sich seit über 20 Jahren in zahlreichen Klimaschutzaktivitäten. Es bleibt auch weiterhin von höchster Dringlichkeit, die klimaschädlichen Emissionen so weit wie möglich zu reduzieren.

Zugleich wurde in den letzten Jahren deutlich, dass die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre bereits so hoch ist, dass der globale Klimawandel durch Emissionsreduzierungen nicht mehr aufgehalten, sondern lediglich abgemildert werden kann. Damit wird ein weiterer Aspekt immer wichtiger: die Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Klimaänderungen sind seit einigen Jahren auch in Augsburg immer deutlicher zu spüren. Beispielsweise werden Hitzesommer wie in den Jahren 2015 und 2018 künftig mit hoher Wahrscheinlichkeit häufiger und länger auftreten und Bevölkerung, Stadtgrün, Land- und Forstwirtschaft belasten. Mildere Winter begünstigen die Ausbreitung von Schädlingen und invasiven Tier- und Pflanzenarten, und Starkregenereignisse können zu hohen Schäden an städtischer Infrastruktur und öffentlichen wie privaten Gebäuden führen.

Die Herausforderungen sind groß – es kann aber auch viel getan werden. Dabei wird frühzeitige Vorsorge in vielen Fällen deutlich günstiger sein als Schadensbeseitigung im Nachhinein. Das wird in Augsburg bereits in vielen Fachbereichen berücksichtigt, z.B. bei der Wahl der Baumarten für das Stadtgrün und den Stadtwald oder bei der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung.

Über den Handlungsbedarf in einzelnen Fachbereichen hinaus stellt das in diesem Jahr erschienene Stadtentwicklungskonzept die Klimawandelanpassung als ein wichtiges gesamtstädtisches Querschnittsthema heraus. Mit dem vorliegenden Teil 1 des **K**limawandel-**A**npassungskonzepts für die **S**tadt **A**ugsburg (KASA 1) hat die Stadt Augsburg nun eine umfassende, fachübergreifend abgestimmte und die lokalen Gegebenheiten berücksichtigende Grundlage erarbeitet. Dabei konnte durch die Beteiligung zahlreicher Akteurinnen und Akteure aus städtischen Dienststellen, Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Institutionen und Initiativen ein enormes lokales Fachwissen genutzt werden. Darauf aufbauend wurde in KASA 2 ein Maßnahmenkatalog fachübergreifend erstellt und abgestimmt.

Die Anpassung an das sich wandelnde Klima wird nur dann gelingen, wenn sich die gesamte Stadtgesellschaft einbringt und die erforderlichen Schritte geht. Lassen Sie uns gemeinsam dafür sorgen, dass die Stadt Augsburg ihre hohe Lebensqualität bewahrt und auch in einem veränderten Klima ein lebenswertes Zuhause bleibt.

Mit freundlichen Grüßen

Eva Weber
(Oberbürgermeisterin)

Reiner Erben
(Referent für Nachhaltigkeit,
Umwelt, Klima und Gesundheit)

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen viii
Verzeichnis der Tabellen xi
Verzeichnis der Karten xi
Verzeichnis der Abkürzungen xii
Physikalische Einheiten und Größen xv

1. Einleitung 1

1.1. Global und lokal: Klimawandel findet statt! **1**

1.2. Klimapolitische Meilensteine der Stadt Augsburg **3**

2. Projektablauf und Beteiligungsprozess 5

2.1. Projektablauf **5**
2.1.1. Bestandsaufnahme (AP 1) 5
2.1.2. Verwundbarkeitsanalyse (AP 2) 6
2.1.3. Gesamtstrategie „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (AP 3) 6

2.2. Beteiligungsprozess (AP 4) **7**

3. Augsburg im Kurzprofil 9

3.1. Eckdaten im Überblick **9**

3.2. Umweltstadt Augsburg **9**

3.3. Klimawandel im Kontext **10**
3.3.1. Randbedingungen im Überblick 10
3.3.2. Fokus: Bevölkerungsentwicklung 11

4. Klimaveränderungen in Augsburg 13

4.1. Aktueller Stand der Klimaforschung **13**

4.2. Methodik, Klimadaten und Modelle **14**

4.3. Klimatische Veränderungen in Vergangenheit und Zukunft **15**
4.3.1. Temperaturbezogene Indikatoren 16
4.3.2. Niederschlagsbezogene Indikatoren 20
4.3.3. Indikatoren für Extremwetter 21
4.3.4. Weitere Indikatoren 27

4.4. Klima wie auf dem Westbalkan? Das Augsburger Klimaanalogon **29**

4.5. Zusammenfassung **31**

5. Verwundbarkeitsanalyse 33

5.0. Einleitung **33**
5.0.1. Schutzgüter und Handlungsfelder 33
5.0.2. Begriffe und Methodik der Verwundbarkeitsanalyse 35

5.1. Katastrophenschutz **38**
5.1.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 38
5.1.2. Verwundbarkeitsanalyse 39
5.1.2.1. Auswirkungen des Klimawandels auf Prozesse und Akteure 39
5.1.2.2. Auswirkungen spezifischer Klimaveränderungen (Klimasignale) 44
5.1.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 50

5.2. Gesundheit **51**
5.2.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 51
5.2.2. Verwundbarkeitsanalyse 53
5.2.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 62

5.3. Industrie/ Gewerbe **63**
5.3.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 63
5.3.2. Verwundbarkeitsanalyse 65
5.3.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 71

5.4. Tourismus/ Kultur **72**
5.4.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 72
5.4.2. Verwundbarkeitsanalyse 76
5.4.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 79

5.5. Wasser **80**
5.5.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 80
5.5.2. Verwundbarkeitsanalyse 81
5.5.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 92

5.6. Energie **93**
5.6.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 93
5.6.2. Verwundbarkeitsanalyse 94
5.6.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 100

5.7. Gebäude **101**
5.7.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 101
5.7.2. Verwundbarkeitsanalyse 107
5.7.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 117

5.8. Verkehr **118**
5.8.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 118
5.8.2. Verwundbarkeitsanalyse 122
5.8.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 125

5.9. Stadtgrün **126**
5.9.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 126
5.9.2. Verwundbarkeitsanalyse 130
5.9.2. Priorisierte Verwundbarkeiten 136

5.10. Biodiversität **137**
5.10.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 137
5.10.2. Verwundbarkeitsanalyse 142
5.10.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 147
5.11. Wald und Forstwirtschaft **148**
5.11.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 148
5.11.2. Verwundbarkeitsanalyse 150
5.11.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 155
5.12. Landwirtschaft **157**
5.12.1. Ausgangssituation und Randbedingungen 157
5.11.2. Verwundbarkeitsanalyse 166
5.11.3. Priorisierte Verwundbarkeiten 167

Anhang

A.1. Literatur

A.2. Glossar

A.3. Medienanalyse

A.4. Planungsräume und Stadtbezirke Augsburgs

A.5. Anfälligkeit der Augsburger Stadtstruktur für eine Verstärkung des städtischen Wärmeinseleffekts

A.6. Naturbasierte Ansätze der Klimaanpassung laut Bundesamt für Naturschutz (BfN)

A.7. Kommunikationsansatz KASA 1 für KASA 2

A.8. Workshop-Dokumentation: Stakeholder-Workshop I: Verwundbarkeitsanalyse

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Langfristige Änderung der Oberflächentemperatur (1901-2002) im weltweiten Maßstab 1
Abb. 2: Papst Franziskus bei einer Begegnung mit der Begründerin der Kampagne „Fridays for Future“ Greta Thunberg in Rom im April 2019. 1
Abb. 3: Typen von Klimaveränderungen 2
Abb. 4: Die Größe der Eisdecke am Nordpolarmeer hat sich in den letzten 30 Jahren durch den Anstieg der GMT nahezu halbiert und sie wird auch immer dünner. 2
Abb. 5: Ausgewählte Nachhaltigkeits– und Klimaschutz-Aktivitäten in Augsburg 4
Abb. 6: Arbeitspakete und Projektablauf 5
Abb. 7: Stakeholder-Workshop I: Verwundbarkeitsanalyse 7
Abb. 8: Feedback, Ergänzungen und Korrekturen der Klimawirkungsketten (Version 1) durch die Teilnehmenden im Stakeholder-Workshop I 7
Abb. 9: Eindrücke vom Stakeholder-Workshop I 8
Abb. 10: Lage der Stadt Augsburg im bayerischen Regierungsbezirk Schwaben 9
Abb. 11: Jugend- und Altenquotient sowie Greying-Index in der Stadt Augsburg 2008-2038 12
Abb. 12: Temperaturanomalie 13
Abb. 13: Entwicklung der global gemittelten Oberflächentemperatur im Zeitraum 1950-2100 14
Abb. 14: Jahresgemittelte Tagesmitteltemperatur (1951-2019) in Augsburg 16
Abb. 15: Gemittelte Temperaturen im Sommer (1951-2019) in Augsburg 17
Abb. 16: Gemittelte Temperaturen im Winter (1951-2020) in Augsburg 17
Abb. 17: Trend der mittleren Lufttemperatur 18
Abb. 18: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Augsburg unter RCP8.5 18
Abb. 19: Sommermitteltemperatur - Kombination von gemessenen Daten und Projektionsdaten 19
Abb. 20: Jahresniederschlagssummen in Augsburg zwischen 1951 und 2019. 20
Abb. 21: Niederschlagssummen im Sommer (1951-2019) und im Winter (1951-2020) in Augsburg. 20
Abb. 22: Jährliche Anzahl von heißen Tagen (Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C) in Augsburg. 21
Abb. 23: Jährliche Häufigkeit von Sommertagen und jährliche Anzahl von Sonnenstunden in Augsburg in 1951 bis 2019. 22
Abb. 24: Jährliche Anzahl von Eistagen (Tageshöchsttemperatur unter 0 °C) in Augsburg. 23
Abb. 25: Jährliche Anzahl von Frosttagen und jährliche Anzahl an Schneetagen in Augsburg 23
Abb. 26: Jährliche Anzahl von Starkregentagen mit Niederschlagsmengen von mindestens 30 mm in Augsburg von 1951 bis 2019. 25
Abb. 27: Stündliche Niederschlagssummen an der DWD-Wetterstation Augsburg von 1997 bis 2019. 25
Abb. 28: Zeitreihe der Ereignisse mit mehr als 5 mm Niederschlag in einer Stunde für die Station Augsburg in den Jahren 1997 bis 2019 25
Abb. 29: Anteil des Starkregens am Gesamtniederschlag für den Monat Mai (1951-2019) und der höchsten Tagesniederschläge pro Jahr (1951-2019) für die Station Augsburg. 26
Abb. 30: Darstellung des Trockenheitsindex nach de Martonne für Augsburg in 1995 bis 2019 27
Abb. 31: Jahresmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Augsburg 28
Abb. 32: Jährliche Anzahl an Tagen mit Windspitzen über 9 Bft (ab 21,1 m/s) an der Station Augsburg 28
Abb. 33: Darstellung der farbcodierten Abweichung (logarithmiert) zwischen gegenwärtigem Klima in der dargestellten Region und dem zukünftigen Klima in Augsburg 30
Abb. 34: Blick auf Tuzla in Bosnien. 30
Abb. 35: Monatswerte für Niederschlag und Temperatur für Augsburg in der Gegenwart (1971-2000) und in der Zukunft (2071-2100) unter RCP8.5 im Vergleich zu den Werten in Tuzla 31
Abb. 36: Schutzgüter und Handlungsfelder in Augsburg 34

Abb. 37: Determinanten der Verwundbarkeit / Vulnerabilität 35
Abb. 38: Das internationale Symbol für den Katastrophenschutz 38
Abb. 39: Logo der Freiwilligen Feuerwehr Augsburg 38
Abb. 40: Klimawirkungsgeflecht im Handlungsfeld Katastrophenschutz 40
Abb. 41: Die App NINA zeigt die aktuellen Warnmeldungen für die abonnierten Orte. 41
Abb. 42: Entwicklung der Einsatzzahlen der Feuerwehr Augsburg 41
Abb. 43: Phasen der Hilfsfrist. 42
Abb. 44: Verteilung der Einsätze der Feuerwehr über die Monate im Jahresschnitt. 44
Abb. 45: Freiwillige Feuerwehr Kriegshaber im März 2017 46
Abb. 46: Grillverbot 46
Abb. 47: Feuerwehr Bergheim beim Brand im Siebentischwald bei Haunstetten. 46
Abb. 48: Einsatz der Feuerwehr Inningen. 46
Abb. 49: Unwetterwarnung 47
Abb. 50: Freiwillige Feuerwehr Inningen bei Aufräumarbeiten bei einem umgestürzten Baum 48
Abb. 51: Freiwillige Feuerwehr Augsburg Oberhausen bei Sicherungsarbeiten an einer Tankstelle 48
Abb. 52: Feuerwehr baggert im Februar 2012 Eisschollen aus der Singold 50
Abb. 53: Arztdichte je 100.000 Einwohner 51
Abb. 54: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Gesundheit 52
Abb. 55: Mitteltemperatur und Anzahl der Einlieferungen (2017-2019) 55
Abb. 56: Standorte der Datenlogger während des Messzeitraums. 57
Abb. 57: Der Stadtkreis Augsburg als eine Ausnahmen unter den FSME-Risikogebieten in Bayern 59
Abb. 58: Allergiebelastung durch Ambrosia 61
Abb. 59: Blaualgenblüte in Badegewässer 62
Abb. 60: Anteil der Wirtschaftszweige an der Bruttowertschöpfung und den Beschäftigten in Augsburg 63
Abb. 61: Klimawirkungskette im HF Industrie/ Gewerbe 64
Abb. 62: World Economic Forum 2020: Klimawandel als wichtigstes globales Risiko 65
Abb. 63: Einschätzung verschiedener Klimasignale nach Risiko oder Chance aus Sicht bayerischer Unternehmen. 65
Abb. 64: Analysen von Fallbeispielen in Bayern des Umweltpaktes Bayern 66
Abb. 65: Steigende Versicherungsdichte gegen Elementarschäden 67
Abb. 66: Internationale Vernetzung ausgewählter Branchen in Augsburg: Umsatzanteile Exportgeschäft 68
Abb. 67: Klimawandelbedingte Rückgänge und Zuwächse bei Im- und Exporten heimischer Unternehmen 68
Abb. 68: Durchschnittliche UV-Exposition von Beschäftigten im Freien. 69
Abb. 69: Hoher Versiegelungs- und Bebauungsgrad herkömmlicher Gewerbegebiete 70
Abb. 70: Gästeübernachtungen aus dem In- und Ausland 1998-2018 72
Abb. 71: Gästeankünfte aus dem In- und Ausland 2017 und 2018 nach Monaten 73
Abb. 72: Fußballstadion WWK-Arena – Heimat des FC Augsburg. 74
Abb. 73: Hochablass 74
Abb. 74: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Kultur/ Tourismus 75
Abb. 75: Refill-Stationen in Augsburgs Innenstadt. 77
Abb. 76: Ulrike Scharf besucht die Augsburger Puppenkiste anlässlich eines Theaterstücks zum Klimawandel 78
Abb. 77: Wasserwerk am Roten Tor 80
Abb. 78: Wassermanagement-System Augsburg 81
Abb. 79: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Wasser 82
Abb. 80: Nitratgefährdete Gebiete 83
Abb. 81: Auswertungen zum Wasserverbrauch in Augsburg in den Jahren 2017 bis 2019 84
Abb. 82: Regionale Entwicklung des Grundwasserstandes 1 – Umland 85
Abb. 83: Regionale Entwicklung des Grundwasserstandes 2 – Lechhausen 85
Abb. 84: Auswertung der Abflussdaten am Lechpegel Haunstetten (1976-2019) 87
Abb. 85: Auswertung der Abflussdaten am Wertachpegel Türkheim (1951-2019) 87
Abb. 86: Mittleres jährliches Hochwasser am Pegel Augsburg Wertachmündung für die nahe, mittlere und ferne Zukunft 88
Abb. 87: Entwicklung Niedrigwasser am Pegel Haunstetten für das Sommerhalbjahr in 2071-2100. 88

Abb. 88: Entwicklung der Wassertemperatur am Hochablass (Lech) in Augsburg von 1951-2019 ... 90
Abb. 89: Darstellung der verschiedenen Ursachen für Überflutungen ... 91
Abb. 90: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Energie ... 95
Abb. 91: Stromeinspeisung und Sommertage (2017-2019) ... 97
Abb. 92: Unsicherheitsfaktor Wasserstand des Lech: Kiesbank im Stadtgebiet. ... 98
Abb. 93: Photovoltaikanlage (links) und Solarthermieanlage (rechts) auf einem schneebedeckten Dach ... 99
Abb. 94: Risiko schneebedeckte Hochspannungsleitungen. ... 99
Abb. 95: Das Renaissance-Rathaus und der Perlachturm 101
Abb. 96: Versiegelung in ausgewählten Stadtgebieten Augsburgs ... 103
Abb. 97: Stadtteilbezogene Anzahl kommunaler Wohneinheiten ... 105
Abb. 98: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Gebäude ... 106
Abb. 99: Faktoren der thermischen Belastung (Übersicht) ... 108
Abb. 100: Städtische Wärmeinsel ... 109
Abb. 101: Wahrgenommene Problematik von Hitzeereignissen ... 114
Abb. 102: Energetische Sanierung im Bestand ... 115
Abb. 103: Schäden durch einen Tornado am 13. Mai 2015 in Affing nördlich von Augsburg ... 115
Abb. 104: Liniennetzplan Augsburg (Ausschnitt) ... 118
Abb. 105: Modal Split der Augsburger Wohnbevölkerung. ... 119
Abb. 106: Straßenbahnschienen als wichtiger Teil zukunftsfähiger Mobilität in Augsburgs Innenstadt. ... 120
Abb. 107: Leihfahrräder spielen eine zunehmend wichtige Rolle für innerstädtische Mobilität. ... 120
Abb. 108: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Verkehr ... 121
Abb. 109: Flächennutzungsanteile in Augsburg ... 126
Abb. 110: Der Stadtwald und kleinere Areale ... 126
Abb. 111: Einflüsse auf Bäume in der Stadt im Vergleich zu Einflüssen in Waldökosystemen ... 128
Abb. 112: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Stadtgrün ... 129
Abb. 113: Spezifisches Grünvolumen ausgewählter deutscher Städte ... 130
Abb. 114: Straßenbäume sind in den Stadtvierteln Augsburgs immer wichtigere Schattenspender. ... 131
Abb. 115: Botanischer Garten mit Siebentischwald im Hintergrund ... 134
Abb. 116: Sturmschäden am Stadtgrün ... 135
Abb. 117: Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt am Beispiel von Areal- und Häufigkeitsveränderung ... 137
Abb. 118: Einige besonders geschützte (FFH-)Arten Augsburgs ... 139
Abb. 119: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Biodiversität ... 141
Abb. 120: Verschiebung der Phänologischen Jahreszeiten. ... 142
Abb. 121: Anzahl der Reaktionen verschiedener Ökosysteme weltweit auf ausgewählte Extremereignisse zwischen 1941 und 2015 ... 146
Abb. 122: Verteilung der FFH-Lebensraumtypen im Planungsumgriff des Licca-liber-Projekts ... 146
Abb. 123: Baumartenzusammensetzung des Kommunalwaldes im Stadtgebiet ... 149
Abb. 124: Rangfolge der Ökosystemdienstleistungen des Augsburger Stadtwalds ... 150
Abb. 125: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft ... 151
Abb. 126: Borkenkäfer ... 152
Abb. 127: Anteil des ZE-Holzes im Stadtwald innerhalb des Stadtgebiets im Zeitraum der 1980er Jahre bis 2018 ... 152
Abb. 128: Klimahüllen verschiedener Baumarten ... 153
Abb. 129: Überdurchschnittliche Ertragsfähigkeit landwirtschaftlich genutzter Flächen in Augsburg ... 157
Abb. 130: Rückgang landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern (2010-2018) ... 158
Abb. 131: Protest mit rd. 3.000 Teilnehmenden und rd. 2.500 Traktoren aus ganz Schwaben in Augsburg (2020). ... 158
Abb. 132: Kleingärten können einen Beitrag zur Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel leisten ... 163
Abb. 133: „CityFarm Augsburg“ ... 162
Abb. 134: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Landwirtschaft ... 164
Abb. 135: Die wärmeliebende Kirschessigfliege ... 166
Abb. 136: Rinderhaltung in Augsburg ... 167
Abb. 137: Absolute Änderungen in der Wasserverfügbarkeit im Boden. ... 167
Abb. 138: Politik und Kommunikation. ... A-33

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Veränderung der globalen Mitteltemperatur („Mean“) bis zum Jahr 2100. 15
Tab. 2: Übersicht über relevante Klimaindikatoren. Temperaturangaben 16
Tab. 3: Ergebnisse der Projektionen der Jahresmitteltemperatur (15. und 85. Percentil) in Augsburg.. 18
Tab. 4: Projektionen der saisonalen Mitteltemperaturen für die beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5. 19
Tab. 5: Projektionen der Jahres- und Saisonsummen des Niederschlages für beide Szenarien RCP4.5 und RCP8.5..... 21
Tab. 6: Mittlere Anzahl klimatologischer Kenntage im Zeitraum 1971 bis 2000 sowie Jahre mit Extremwerten im Zeitraum 1951-2014..... 24
Tab. 7: Projizierte Veränderung der drei relevanten Extremwetterereignisse (15. und 85. Perzentil) 26
Tab. 8: Zusammenfassende Übersicht der Klimaveränderungen in Augsburg in Vergangenheit und Zukunft.. . 32
Tab. 9: Parallelen und Unterschiede zwischen COVID-19-Pandemie und Klimawandel als Herausforderungen für das Gesundheitswesen. 51
Tab. 10: Anzahl der Besucherinnen und Besucher in Augsburger Museen, Galerien und Gedenkstätten 73
Tab. 11: Auflistung der Wassereintrittsmöglichkeiten nach Starkregenereignissen 115
Tab. 12: Stadtgrün: Prozentuale Änderung der PET für verschiedene Stadtstrukturtypen..... 132
Tab. 13: Waldflächen aller Besitzarten im Stadtgebiet mit besonderer Funktion 149

Verzeichnis der Karten

Karte 1: Erwarteter Rückgang der Mitgliederentwicklung der Freiwilligen Feuerwehr..... 43
Karte 2: Verfügbarkeit und Fehlen von Defibrillatoren..... 45
Karte 3: Räumliche Verteilung ausgewählter Risikogruppen im Stadtgebiet. Anteil der Über-65-Jährigen sowie der Unter-6-Jährigen in den 42 Augsburger Stadtbezirken..... 53
Karte 4: Beispiel einer Hochwassergefahrenkarte für den Lech und ein 100-jährliches Hochwasser..... 89
Karte 5: Potenzial für oberflächennahe Geothermie in Augsburg. Quelle: Energie-Atlas Bayern. 94
Karte 6: Versiegelungskarte Stadt Augsburg..... 102
Karte 7: Anteil klimawirksamer Grünflächen..... 104
Karte 8: „Local Climate Zones“ im Stadtgebiet Augsburgs..... 110
Karte 9: Statistisches Stadtklimamodell:Belastung mit Tropennächten im Stadtgebiet..... 111
Karte 10: Städtische Wärmeinseln, Kalt- und Frischluftentstehungsgebiet sowie potentielle Ventilationsbahnen..... 112
Karte 11: Öffentliche Parkanlagen und sonstige Grünflächen. 127
Karte 12: Übersicht über Naturschutzgebiete (dunkelgrün) und Biotope (hellgrün) im Stadtgebiet Augsburg 138
Karte 13: Anteil von Naturschutzgebieten mit neuen Klimazonen weltweit für das Jahr 2070 unter einem RCP8.5-Szenario 143
Karte 14: Relative Veränderung der Artenzusammensetzung von Makro-Wirbellosen in europäischen Fließgewässern bis 2080. 144
Karte 15: Forstreviere der Stadt Augsburg in und außerhalb des Stadtgebiets (bunte Einfärbungen)..... 148
Karte 16: Baupotenziale und Flächennutzung im Nordosten Augsburgs. 159
Karte 17: Baupotenziale und Flächennutzung im Süden Augsburgs..... 159
Karte 18: Planungsräume und Stadtbezirke Augsburgs.....A-31
Karte 19: Abgeschätzte räumliche Muster der Lufttemperatur (Differenz zu Augsburg-Mühlhausen).....A-32

Verzeichnis der Abkürzungen

Abc	=	Projekt *Augsburg bleibt cool*
ABSP	=	Arten- und Biotopschutzprogramm
ABuK	=	Amt für Brand- und Katastrophenschutz
AELF	=	Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
AfS	=	Amt für Statistik der Stadt Augsburg
AFOK	=	Anpassungskonzept Folgen des Klimawandels Berlin
AGNF	=	Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen
AGZ	=	Ausgleichszulage
AVA	=	Abfallverwertungsanlage Augsburg
AVDüV	=	Ausführungsverordnung Düngeverordnung
AVV	=	Augsburger Verkehrs- und Tarifverbund
BAUA	=	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BauGB	=	Baugesetzbuch
BayKLAS	=	Bayerische Klima-Anpassungsstrategie
BBK	=	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BBSR	=	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BfS	=	Bundesamt für Strahlenschutz
BIP	=	Bruttoinlandsprodukt
BMEL	=	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BSP	=	Bruttosozialprodukt
BUGG	=	Bundesverband GebäudeGrün
BWS	=	Bruttowertschöpfung
CDP	=	*Carbon Disclosure Project*
CO_2	=	Kohlendioxid
CORDEX	=	*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*
CSC	=	*Climate Service Center*
CSS	=	*Centre for Security and Society*
DAS	=	Deutsche Anpassungsstrategie
DEFAS	=	Durchgängiges Elektronisches Fahrgastinformations- und Anschlusssicherungs-System Bayern
DJF	=	Dezember-Januar-Februar
DLR	=	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMK	=	Deutsches Maiskomitee e.V.
DRK	=	Deutsches Rotes Kreuz e.V.
DÜV	=	Düngeverordnung
DWD	=	Deutscher Wetterdienst
EEA	=	*European Environment Agency* (deutsch: Europäische Umweltagentur)
EEG	=	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EHEC	=	*Enterohämorrhagische Escherichia coli*
ELH	=	Edellaubhölzer
EnEV	=	Energieeinsparverordnung
EPS	=	Eichenprozessionsspinner
ESS	=	*Ecosystem Services* (deutsch: Ökosystemdienstleistungen)
ExWoSt	=	Experimenteller Wohnungs- und Städtebau
FAO	=	*Food and Agriculture Organization of the United Nations* (deutsch: Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen)

FFH	=	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FFW	=	Freiwillige Feuerwehr
FLI	=	Friedrich-Loeffler-Institut
FNP	=	Flächennutzungsplan
FSME	=	*Frühsommer-Meningoenzephalitis*
GaLabau	=	Garten- und Landschaftsbau
GALK	=	Gartenamtsleiterkonferenz
GAP	=	Gemeinsame Agrarpolitik
GdV	=	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
GKD	=	Gewässerkundlicher Dienst Bayern
GMT	=	*Global Mean Temperature* (deutsch: globale Durchschnittstemperatur)
GrüKo	=	Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept der Stadt Augsburg
GVP	=	Gesamtverkehrsplan
GVZ	=	Güterverkehrszentrum
GW	=	Grundwasser
HFS	=	*Hytrans Fire System*
HQ	=	Hochwasserquantil
HWK	=	Handwerkskammer
iBALIS	=	Integriertes Bayerisches Informationssystem
ICD	=	*International Classification of Diseases* (deutsch: Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme)
IFEU	=	Institut für Energie- und Umweltforschung
IHK	=	Industrie- und Handelskammer
ILS	=	Integrierte Leitstelle Augsburg
IMAP	=	Institut für interkulturelle Management- und Politikberatung
IÖR	=	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
IPCC	=	*Intergovernmental Panel on Climate Change* (deutsch: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen, auch: „Weltklimarat“)
IuK	=	Informations- und Kommunikationstechnologie
ISEK	=	Integriertes Stadtteilentwicklungskonzept
IZU	=	Infozentrum UmweltWirtschaft
JJA	=	Juni-Juli-August
KASA	=	Klimawandel-Anpassungskonzept für die Stadt Augsburg
KBV	=	Kassenärztliche Vereinigung Bayerns
KEK	=	Kulturentwicklungskonzept
KLIWA	=	Klimaveränderung und Wasserwirtschaft
KORA	=	Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg
KUMAS	=	Kompetenzzentrum Umwelt e.V.
KV	=	Kreisverband
KWK	=	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
KRITIS	=	Kritische Infrastruktur
LA	=	Lokale Agenda
LEW	=	Lechwerke AG
LfL	=	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfStaD	=	Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung Bayern
LfU	=	Landesamt für Umwelt Bayern
LGL	=	Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit Bayern
LH	=	Landeshauptstadt

LK	=	Landkreis
LMU	=	Ludwig-Maximilians-Universität München
LWF	=	Bayerische Landesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
LWG	=	Landesamt für Weinbau und Gartenbau Bayern
MHQ	=	Mittel der höchsten Abflusswerte
MICE	=	*Meetings, Incentives, Congress, Events* (deutsch: Tagungswirtschaft)
MIV	=	Motorisierter Individualverkehr
MKULNV	=	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
MNQ	=	Mittel der niedrigsten Abflusswerte
NOAA	=	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
N	=	Grundgesamtheit
nFK	=	nutzbare Feldkapazität
NOx	=	Stickstoffoxide
NQ	=	Niedrigwasserquantil
ÖSD	=	Ökosystemdienstleistung(en)
OV	=	Ortsverband
PEFC	=	*Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes*
PET	=	physiologisch äquivalente Temperatur
PiK	=	Produktionsintegrierte Kompensation
PIK	=	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
PV	=	Photovoltaik
RCPs	=	*Representative Concentration Pathways* (deutsch: Repräsentative Konzentrationspfade)
REGKLAM	=	Regionales Klimaanpassungsprogramm Modellregion Dresden
RKI	=	Robert-Koch-Institut
RSM	=	Regel-Saatgutmischung
SBEP	=	Sport- und Bäder-Entwicklungsplan
SLU	=	Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen
SRES	=	*Special Report Emissions Scenarios*
STEK	=	Stadtentwicklungskonzept
StMGP	=	Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege
StMELF	=	Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
StMFH	=	Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat
StMUV	=	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
StMWi	=	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
SUVA	=	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
swa	=	Stadtwerke Augsburg
SWOT	=	*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats* (deutsch: Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken)
TBA	=	Tiefbauamt
TEEB	=	*The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (deutsch: Ökonomische Bewertung von biologischer Vielfalt und Ökosystemdienstleistungen)
THG-Emissionen	=	Treibhausgasemissionen
THW	=	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk
TUM	=	Technische Universität München
TZA	=	Technologiezentrum Augsburg
UBA	=	Umweltbundesamt
UM-BW	=	Ministerium für Umwelt, Klima, Energiewirtschaft Baden-Württemberg

UNCED	=	*United Nations Conference on Environment and Development* (deutsch: Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung)
UNEP	=	*United Nations Environment Programme* (deutsch: Umweltprogramm der Vereinten Nationen)
UNESCO	=	*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation* (deutsch: Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur)
UNIKA-T	=	Universitäres Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg, (2021 in die Medizinische Fakultät des Universitätsklinikums Augsburg überführt)
UV-Strahlung	=	Ultraviolettstrahlung
VKG	=	Verbundprojekt Klimawandel und Gesundheit
VLF	=	Verband für landwirtschaftliche Fachbildung in Bayern e.V.
VOC	=	flüchtige organische Verbindungen
WE	=	Wohneinheiten
WGA	=	Wassergewinnungsanlage
WHO	=	*World Health Organization* (deutsch: Weltgesundheitsorganisation)
WMO	=	*World Meteorological Organization* (deutsch: Weltorganisation für Meteorologie)
WW	=	Wechselwirkung
WZU	=	Wissenschaftszentrum Umwelt
ZE	=	Zufällige Ereignisse

Physikalische Einheiten und Größen

°C	=	Grad Celsius
°C/a	=	Grad Celsius pro Jahr
cm/a	=	Zentimeter pro Jahr
Bft	=	Beaufort
d/a	=	Tage pro Jahr
GWh	=	Gigawattstunden
h/a	=	Stunden pro Jahr
ha	=	Hektar
km/h	=	Kilometer pro Stunde
kWpeak	=	Maximal-Leistung einer PV-Anlage unter Normbedingungen
m/s	=	Meter pro Sekunde
m3	=	Kubikmeter
min	=	Bogenminute (10 min = 0,1666666 Grad = rd. 18,5 km)
mm	=	Millimeter
MWh	=	Megawattstunden
ppm	=	*parts per million*
TN	=	Tagestiefsttemperatur
TX	=	Tageshöchsttemperatur
USD	=	US-Dollar
µg/m3	=	Mikrogramm pro Kubikmeter

1. Einleitung

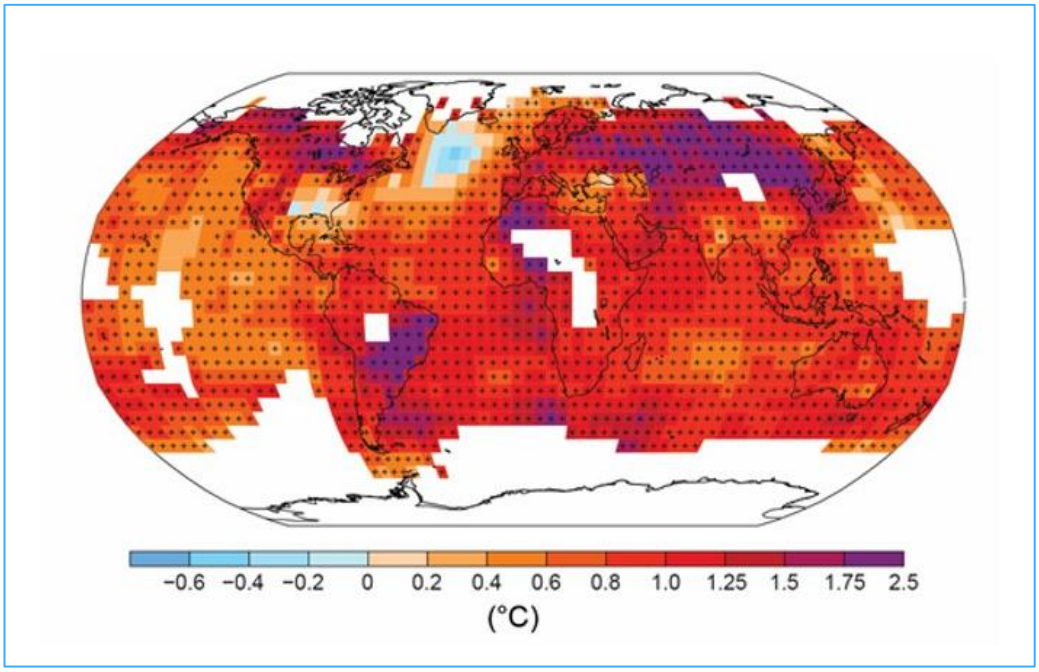
1.1. Global und lokal: Klimawandel findet statt!

Klimawandel findet statt – weltweit, in Europa, in Deutschland, in Bayern, in Augsburg. Seit Beginn der Industrialisierung stieg die Konzentration allein des wichtigsten Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2) von 280 ppm um über 40 % auf deutlich über 400 ppm (2019) (IPCC 2020). Die gegenwärtige **Treibhausgas-Konzentration** auf der Erde ist damit aller Wahrscheinlichkeit nach die höchste in den letzten 14 Millionen Jahren.

Durch den Anstieg der Treibhausgase kommt es zum anthropogenen ➤ **Treibhauseffekt** (auch: „Klimawandel“). In der Folge ist seit Beginn der Industrialisierung und ganz besonders stark in den letzten rd. 30 Jahren ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um ca. 1°C zu messen (Abb. 1). Über den Landmassen sind bereits 1,53°C erreicht (IPCC 2020).

Der Einfluss des Menschen auf die globalen Ökosysteme stieg seitdem rasant an, sodass viele Stimmen vom gegenwärtigen Zeitalter als dem ➤ **Anthropozän** sprechen: Ein Zeitalter, dass der Mensch aufgrund seines ➤ **ökologischen Fußabdrucks** *de facto* prägt, das er aber weder zu beherrschen noch zu bewältigen gelernt hat.

Abb. 1: Langfristige Änderung der Oberflächentemperatur (1901-2002) im weltweiten Maßstab. Angaben in Grad Celsius; weiße Flächen: unzureichende Datengrundlage. Quelle: IPCC, zit. n. BMU 2020.



In der Öffentlichkeit spielt das Thema in den letzten Jahren eine immer größere Rolle. Über Ländergrenzen, soziale Gruppen und Altersklassen hinweg wird der Klimawandel als eine der weltweit drängendsten Herausforderungen erkannt.

Abb. 2: Papst Franziskus bei einer Begegnung mit der Begründerin der Kampagne „Fridays for Future“ Greta Thunberg in Rom im April 2019. Quelle: Kempis 2019.

Für viele stehend sei Papst Franziskus (Abb. 2) genannt, der bereits 2015 die Umwelt-Enzyklika Laudato si‘ veröffentlichte. Unter dem Titel „Über die Sorge für das gemeinsame Haus“ werden darin mehr Engagement für Umwelt- und Klimaschutz angemahnt. „Die Menschheitsfamilie im Ganzen ist in Gefahr, und man darf nicht mehr abwarten“, warnt Papst Franziskus vor den Folgen des Klimawandels auch 2019 im Vorwort zu dem italienischen Buch „Das grüne Alphabet von Papst Franziskus“.

Folgen des Klimawandels

Weltweit, aber auch vor unserer eigenen Haustür, führt der bereits zu beobachtende Klimawandel zu klimatischen Veränderungen mit drastischen Folgen für Mensch und Natur (Abb. 3).

Abb. 3: Typen von Klimaveränderungen. Quelle: Eigene Darstellung.

Dazu gehören **schleichende Prozesse**. So führt etwa der langfristige **Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur** (engl. *Global Mean Temperature*, GMT) z.B. zu einer Verschiebung der Klimazonen nach Norden, dem Abschmelzen der Polkappen (Abb. 4) oder dem Anstieg des Meeresspiegels. Auch die Verschiebung der Jahreszeiten – der Frühling beginnt immer früher – ist eine der Folgen, die auch bereits in Augsburg messbar sind.

Mit dem zunehmenden Klimawandel ist auch ein weltweiter **Anstieg von extremen Wetterereignissen** verbunden (z.B. Stürme, Unwetter, Starkregen, Hitze, Trockenheit oder Überschwemmungen), der mit zunehmendem menschlichem Leid (bis hin zu Todesopfern) und ansteigenden materiellen Schäden verbunden ist. Auch die Region Augsburg bekam solche extremen Wetterereignisse in den vergangenen Jahren zu spüren. Viele Menschen erinnern sich z.B. noch gut an einige Unwetter mit Starkregen und Überflutungen (z.B. im Juni 2016) oder mit Tornadobildung im Umland (Mai 2015). Auch die Hitzesommer im Jahr 2015 und 2018 stehen für extreme Wetterereignisse, wie sie mit dem Klimawandel in Zukunft in Augsburg noch öfter auftreten könnten (Kapitel 4).

Aber man darf nicht allein auf Augsburg schauen, wenn man wissen möchte, womit die Stadt zu rechnen hat. Aufgrund der internationalen Verflechtungen können auch Klimafolgen an einem ganz anderen Ort auf der Welt Auswirkungen für Augsburg haben (sogen.

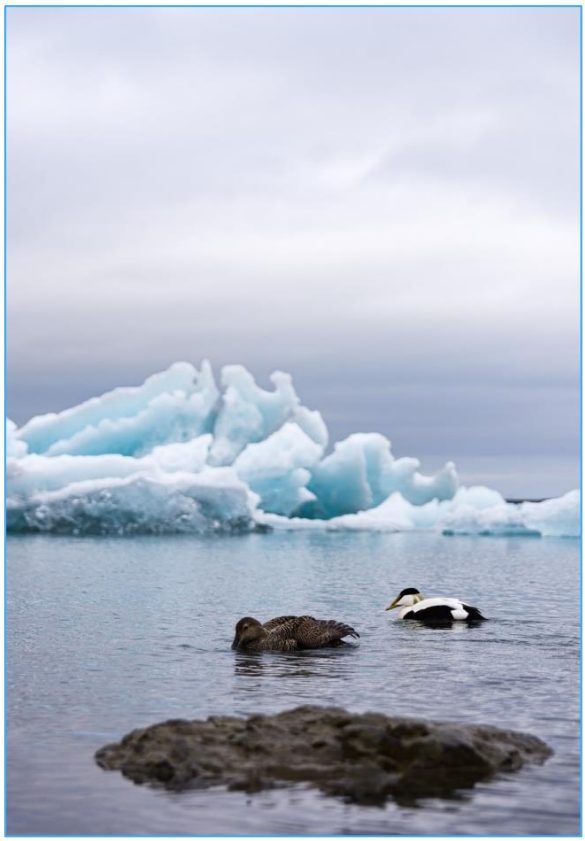


Abb. 4: Die Größe der Eisdecke am Nordpolarmeer hat sich in den letzten 30 Jahren durch den Anstieg der GMT nahezu halbiert und sie wird auch immer dünner.

indirekte Klimawirkungen). Ein Beispiel dafür ist der Umstand, dass es klimabedingt bereits heute zu einer Verschlechterung der Lebensgrundlagen von Millionen von Menschen auf der südlichen

Erdhalbkugel kommt. Dies führt– oft im Zusammenspiel mit anderen Faktoren – zu Migration als letzte Option, wenn keine andere Möglichkeit der Anpassung mehr zur Verfügung steht (→ Kap. 3). Die Migrationsströme zielen meistens auf das jeweilige Inland („Binnenmigration“), aber der Druck Richtung Europa ist ebenfalls spürbar. Klimabedingt ist von einer Zunahme an ➤ **Klimaflüchtlingen** auszugehen, was letztlich auch die einzelnen Kommunen in Deutschland als eine „indirekte Klimafolge“ betreffen könnte.

Ein weiterer Bereich, der für indirekte Klimawirkungen besonders anfällig ist, ist die Wirtschaft. Zunehmende Klimafolgen an anderen Orten der Erde gehen nicht spurlos am internationalen Handel vorüber und verändern Preisstrukturen sowie Mengen. Indirekt, d.h. hier z.B. über grenzüberschreitende Lieferbeziehungen, können letztlich auch heimische Betriebe von den Auswirkungen der fernen Klimafolgen beeinträchtigt werden (→ Kap. 5.3).

Eine weltweite Gefahr besteht schließlich in Form **abrupter Veränderungen im Klimasystem**, die große Folgewirkungen hervorrufen und nicht umkehrbar sind (Lenton et al. 2019). Beispiele für solche ➤ **Kipppunkte im Erdsystem** wären etwa die weitere Abschwächung des Golfstroms, die Veränderung des ➤ Jetstreams oder ein Auftauen der arktischen ➤ Permafrostböden in Sibirien und Nordamerika.

Klimaschutz und Klimaanpassung: Grundpfeiler einer verantwortungsvollen Klimapolitik

Verantwortungsvolle Klimapolitik steht auf *zwei* Pfeilern: Mit effektivem und effizientem **Klima*schutz*** (Energie sparen, Energieeffizienz steigern und auf erneuerbare Energien umsteigen) ist eine deutliche Senkung der Treibhausgasemissionen anzustreben, um die Ziele des ➤ **Pariser Klimaschutzabkommens** aus dem Jahr 2015 zu erreichen.

Gleichzeitig muss man die nicht mehr zu vermeidenden Klimafolgen bestmöglich antizipieren und vorsorgende Schutzmaßnahmen ergreifen. Dieses als **Anpassung an die Folgen des Klimawandels** (kurz: Klimawandel*anpassung*, Klima*anpassung* oder Klimafolgen*anpassung*) bezeichnete Handeln ist dringend geboten, da:

- der Klimawandel bereits stattfindet und mit verschiedensten gesundheitlichen, gesellschaftlichen und ökologischen **Risiken** verbunden ist;
- das Klima auf Klimaschutzmaßnahmen – ähnlich einem großen Tanker – grundsätzlich mit **Zeitverzug** reagiert; d.h.: selbst im Falle der (unrealistischen) Annahme, dass das Steuer „sofort" herumgerissen würde und die Menschheit ihre THG-Emissionen von heute auf morgen auf null reduzieren würde, würde es eine Zeitlang dauern, bis die Erderwärmung wieder abnähme und auch die Klimafolgen zurückgingen.
- Schließlich ist – trotz des aktuellen Rückgangs durch die COVID-19-Pandemie – das **Erreichen des Paris-Ziels** *nicht* gesichert: Viele Staaten waren auch vor der Corona-Krise noch *nicht* auf einem optimalen Weg.

Und ist die **COVID-19-Krise** auch mit einem kurzfristigen Rückgang der THG-Emissionen verbunden, so gilt doch: (1.) dieser Rückgang wird aller Voraussicht nach nicht dauerhaft sein; (2.) möglicherweise führt die Aufhebung des „Lockdowns" gar zu einem Anstieg schädlicher Emissionen auf eine neue, höhere Stufe – eine Entwicklung, die oft nach großen Krisen (z.B. nach der Finanzkrise 2008/ 2009 plus rd. 5% in 2010) zu beobachten war.

1.2. Klimapolitische Meilensteine der Stadt Augsburg

Fokus Klimaschutz

Klimaschutz spielt in Augsburg seit vielen Jahren eine wichtige Rolle. Dabei wird kommunaler Klimaschutz nicht nur als eine ökologisch gebotene Aufgabe verstanden, sondern auch als Teil einer zukunftsorientierten Wirtschafts- und Standortpolitik.

Bereits 1998 erfolgte der **Beitritt** der Stadt Augsburg **zum Klima-Bündnis**, einem Zusammenschluss europäischer Kommunen zum Schutz des Klimas und des Regenwaldes. 2003 wurde im Umweltamt eine eigene **Klimaschutzabteilung** eingerichtet. Um für die einzelnen Sektoren in Augsburg konkrete CO_2-Minderungsziele zu definieren und die dafür notwendigen Maßnahmen herzuleiten, wurde ein **CO_2-Minderungskonzept** beim Heidelberger IFEU-Institut in Auftrag gegeben und 2004 fertig gestellt. 2006 wurde der erste **Klimaschutzbericht** vorgelegt.

Zur schnelleren Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Augsburg wurde Ende 2008 ein 9-Punkte-Plan zur **Augsburger Klimaoffensive** durch den Stadtrat beschlossen und in den Jahren 2008 bis 2013 umgesetzt (zur Evaluierung siehe: Klimaschutzbericht 2015). Das Folgeprogramm, der **Klimadialog 2020** mit dem Augsburger **Klimaschutzprogramm 2020**, wurde unter Beteiligung vieler Akteure der Stadtgesellschaft auf den Weg gebracht. Eckpunkte des Klimadialogs waren **Expertendialoge**, in denen Schwerpunktthemen des Klimaschutzprogramms bearbeitet wurden, **Energiewende-Veranstaltungen** zur Einbeziehung einer breiteren Öffentlichkeit sowie eine jährliche **Klimakonferenz** (Stadt Augsburg 2020).

Die Stadt Augsburg will in Übereinstimmung mit den Zielen des Klima-Bündnis ihre energiebedingten **CO_2-Emissionen** pro Einwohner und Jahr bis 2030 halbieren. Basisjahr ist 1990, damals betrugen die Pro-Kopf-Emissionen in der Universitätsstadt ca. 9,5 Tonnen. Dementsprechend liegt der Zielwert für 2030 bei ca. 4,75 Tonnen (s. auch Beschlussfassung Umweltausschuss Oktober 2020). Im Jahr 2018 (letztes verfügbares Bilanzjahr) lagen die Pro-Kopf-Emissionen im Bereich von 7,4 bis 7,7 Tonnen. Damit konnte eine Reduktion von 19 % bis 22 % erzielt werden (Stadt Augsburg 2020: 83). Die **Ziele des Klimabündnisses** wurden lange vor dem Pariser Klimaschutzabkommen beschlossen.

Abb. 5: Ausgewählte Nachhaltigkeits- und Klimaschutz-Aktivitäten in Augsburg. Quelle: Stadt Augsburg 2020.

Angesichts des fortschreitenden Klimawandels und der Forderungen aus Wissenschaft und Gesellschaft, das **Ziel der Klimaneutralität** möglichst bis oder gar deutlich vor 2050 zu erreichen, ist das Ambitionsniveau des Klimaschutzes gestiegen. Auch die Stadt Augsburg trägt diesen Anforderungen Rechnung: Im Januar 2021 beschloss der Stadtrat auf Empfehlung des Klimabeirats die Einhaltung eines CO_2-Restbudgets von 9,7 Mio. Tonnen, ausgehend vom globalen Restbudget (IPCC-Sonderveröffentlichung 2018) und der Einwohnerzahl Augsburgs. Ende Oktober 2021 wurde die **Fachstudie „Klimaschutz 2030: Studie für ein Augsburger Klimaschutzprogramm"** vorgestellt, die klar definierte Umsetzungsschritte benennt und die dazu notwendigen politischen Weichenstellungen darstellt. Untersucht wurden folgende Pfade: Halbierung $CO_{2\text{-eq}}$-Emissionen bis 2030 (Basisjahr 1990), schnelle Klimaneutralität, Einhalten des per 1.1.2021 verbleibenden CO_2-Budgets von 9,7 Mio. Tonnen.

Weil Klimaschutz nicht an den Stadtgrenzen aufhört, hat die Stadt Augsburg zusammen mit den umgebenden Landkreisen Augsburg und Aichach-Friedberg 2011 das **Regionale Klimaschutzkonzept für den Wirtschaftsraum Augsburg** entwickelt.

Die Umsetzung von Leitprojekten des Regionalen Klimaschutzkonzepts wurde im Rahmen des **städtischen Klimadialogs** sowie regional in Zusammenarbeit der jeweiligen Klimaschutzstellen vorangetrieben.

Im Jahr 2016 wurde hierzu auch ein **Regionales Klimaschutzmanagement** eingerichtet.

Insgesamt wird damit deutlich, dass sich das vorliegende Konzept zur Klimawandelanpassung in den größeren Rahmen einer integrierten kommunalen und regionalen Klimapolitik einfügt. Klimaschutz und Klimaanpassung sind deren Standbeine.

Fokus Klimaanpassung

Auch die **Anpassung an die Folgen des Klimawandels** hat ihren Platz in den klimapolitischen Aktivitäten der Stadt (Stadt Augsburg 2020). Als drittgrößte Stadt Bayerns ist man sich bewusst, dass Städte besonders betroffen sind, da sie die unterste Ebene des politischen Mehrebenen-Systems darstellen, die die Klimafolgen meist am deutlichsten zu spüren bekommt. Die relativ hohe Konzentration an Bevölkerung, Siedlungsstrukturen und Infrastrukturen ist ebenfalls ein wichtiger Faktor, der zu einer vergleichsweise hohen Betroffenheit städtischer Siedlungsstrukturen führt.

Als Querschnittsthematik wird das Thema „Klimaanpassung" daher auch von anderen Ämtern aufgegriffen: Im 2020 fertiggestellten **Stadtentwicklungskonzept** (STEK 2020) etwa ist die Anpassung an den Klimawandel prominent als ein Entwicklungsziel implementiert und es wurden Rahmenbedingungen mit einem Schwerpunkt auf den Bereichen Stadt-, Grünflächen- und Umweltplanung sowie der Katastrophenprävention zur Bewältigung der Herausforderungen verankert.

Im Jahr 2017 wurde eine **vorbereitende Vorstudie für ein Klimawandel-Anpassungskonzept** in Auftrag gegeben (Vorstudie 2017). Diese Vorstudie erarbeitete bereits verschiedene fachliche Grundlagen, benannte Themenfelder, relevante Akteure und Erfahrungen im Umgang mit lokalen Extremwetterereignissen und traf erste Einschätzungen zur Betroffenheit. Eine umfassende Analyse lag bislang für das Stadtgebiet jedoch noch nicht vor.

Der Stadtrat der Stadt Augsburg hat daher auf Empfehlung des Umwelt- und des Bauausschusses im Mai 2018 beschlossen, ein **K**limawandel-**A**npassungskonzept für die **S**tadt **A**ugsburg (KASA) erstellen zu lassen.

Mit einem Klimawandel-Anpassungskonzept kann sich die Stadt Augsburg gezielt auf Klimafolgen vorbereiten, die trotz der Klima*schutz*bemühungen nicht mehr vermieden werden können. Ein Anpassungskonzept an den Klimawandel ist notwendig, um gute Lebens- und Arbeitsbedingungen, den Erhalt einer funktionsfähigen Infrastruktur und einer intakten Natur sowie nicht zuletzt auch die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit der Stadt zu sichern.

2. Projektablauf und Beteiligungsprozess

Der vorliegende Teil 1 des **K**limawandel-**A**npassungskonzepts für die **S**tadt **A**ugsburg (KASA 1) wurde in vier Hauptarbeitsschritten erstellt (Abb. 6): Bestandsaufnahme (Arbeitspaket 1), Identifizierung der Verwundbarkeiten (Arbeitspaket 2), Entwicklung der kommunalen Gesamtstrategie (Arbeitspaket 3). Eine umfassende Akteursbeteiligung (Arbeitspaket 4) begleitete den gesamten Prozess. Im Folgenden werden der Projektablauf (AP 1-3) in Kapitel 2.1. und der Beteiligungsprozess (AP 4) in Kapitel 2.2. näher beschrieben.

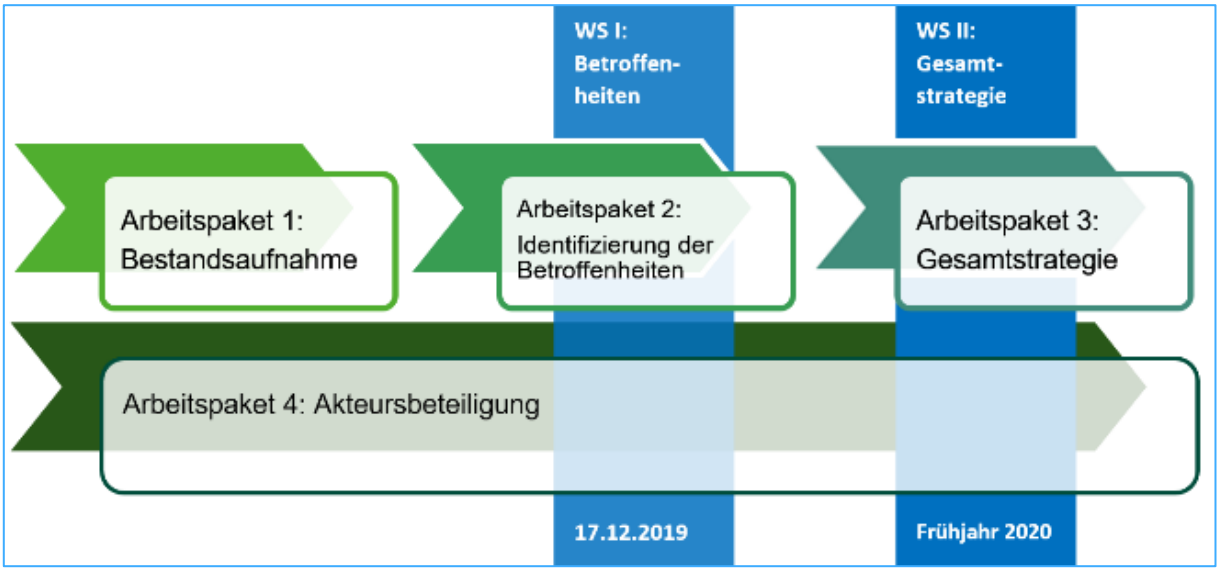
2.1. Projektablauf

2.1.1. Bestandsaufnahme (AP 1)

Die Bestandsaufnahme verschafft einen Überblick über bisherige Erfahrungen mit Klimawandelfolgen, über klimasensitive Systeme im Stadtgebiet und über die klimatologische Entwicklung in Vergangenheit und Zukunft. Im Einzelnen wurden die folgenden Schritte durchgeführt:

- **Datenbeschaffung und -analyse**: Der erste Teilschritt in Arbeitspaket (AP) 1 bestand darin, einen Überblick über die Ausgangssituation hinsichtlich wichtiger statistischer Daten der Stadt, Infrastrukturen und Prozesse zu verschaffen.
- **Sichten und Auswerten von Vorarbeiten**: Neben den Leitstudien zur deutschen Anpassungspolitik wie insbes. DAS 2008, Aktionsplan Anpassung (APA) 2011, Fortschrittsberichte zur DAS 2015, 2020 sowie der BayKLAS 2016 wurden lokale und regionale Studien, Konzepte und Forschungsarbeiten ausgewertet. Zu nennen sind insbesondere das Ende 2019 verabschiedete Stadtentwicklungskonzept (STEK), weitere sektorale Fachkonzepte sowie diverse Forschungsarbeiten der Universität Augsburg. Das vorliegende Anpassungskonzept konnte zudem auf einer wichtigen Vorarbeit aufbauen: die Ende 2017 erstellte „Vorbereitende Studie zur Entwicklung eines Klimawandelanpassungskonzepts“ (kurz: Vorstudie 2017) mit den Schwerpunkten Bestand/ Bedarf an Grundlagen, relevante Themenfelder und Akteure, organisatorische Voraussetzungen.
- **Medienanalyse**: Auch erfolgte eine Medienanalyse zur Berichterstattung örtlicher Medien über die lokalen Folgen des Klimawandels. In AP 1 wurde die Medienanalyse aus der Vorstudie (bis inkl. 2017) um den Zeitraum 2018 bis Anfang 2020 ergänzt (→ Anhang A3).
- **Befragung von Stakeholdern**: In einem Fragebogen wurden Augsburger Stakeholder aus Zivilgesellschaft, Wirtschaft und Verwaltung nach ihren Erfahrungen bzw. Wahrnehmungen in Bezug auf Klimawandel und Anpassung befragt. Vertiefende Informationen und Einschätzungen wurden mittels leitfadengestützter Fachinterviews mit ausgewählten lokalen Akteurinnen und Akteuren erhoben (→ Kap 2.2.).

Abb. 6: Arbeitspakete und Projektablauf in der Übersicht. Quelle: Eigene Darstellung, GSF.



Klimaveränderungen in Augsburg in Vergangenheit und Zukunft

Eine Analyse der Klimaveränderungen in Vergangenheit und Zukunft kann auf zwei verschiedene Weisen erfolgen:

- Ein mögliches Vorgehen besteht darin, eine überregionale (z.B. bayerische) Klimaanalyse zugrunde zu legen und den Ausschnitt des Augsburger Stadtgebiets zu betrachten. Dieses Vorgehen findet sich durchaus in manchen Klimaanpassungskonzepten, ist aber relativ ungenau.
- Es erfolgt die Erstellung einer klimatologischen Analyse speziell für das Untersuchungsgebiet.

Im vorliegenden Konzept wurde der zweite Weg gewählt. Es wurde eine eigene **klimatologische Analyse für das Stadtgebiet Augsburg** erstellt, die lokale Gegebenheiten wie Topographie und Landnutzung berücksichtigt. Vorteil dieses aufwendigeren Verfahrens sind genauere und zutreffendere Aussagen höherer örtlicher Relevanz.[1]

Die klimatologische Analyse dient der Beantwortung zweier Schlüsselfragen: (1.) Inwiefern war die Stadt Augsburg bereits in der *Vergangenheit* von Klimaänderungen betroffen? (2.) Welche Klimaveränderungen hat die Stadt Augsburg in *Zukunft* zu erwarten?

2.1.2. Verwundbarkeitsanalyse (AP 2)

Verwundbarkeiten und Chancen identifizieren

Gegenstand der Verwundbarkeitsanalyse (Fachbegriff: Vulnerabilitätsanalyse) ist die Frage, inwieweit die Stadt für nachteilige Auswirkungen der Klimaänderungen anfällig ist und inwiefern entsprechende Anpassung-/ Bewältigungskapazitäten zur Verfügung stehen; in seltenen Fällen können sich auch Chancen ergeben, die es im Rahmen der Analyse ebenfalls zu identifizieren gilt.

Die Verwundbarkeitsanalyse berücksichtigt relevante Leitstudien und -publikationen und orientiert sich hinsichtlich ihrer Methodik an den entsprechenden Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung (IMAP), die in dem Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen (Buth et al. 2017) dokumentiert sind. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Bestandsaufnahme untersucht sie die Verwundbarkeit der klimasensitiven Teilsysteme in 12 Handlungsfeldern, die für die Stadt Augsburg als relevant und vor Ort beeinflussbar identifiziert wurden.

Sektorale Klimawirkungsketten

Ein wichtiges Zwischen- und Arbeitsergebnis der Verwundbarkeitsanalyse in den Handlungsfeldern sind die zwölf **Klimawirkungsketten** (auch: „Klimawirkungsgeflechte“). Sie zeigen Klimasignale, Klimawirkungen und Verwundbarkeiten (Risiken und Chancen) für die einzelnen Handlungsfelder in einem schematischen Überblick und dokumentieren im Projektverlauf Erkenntnisfortschritte in anschaulicher Weise (vgl. ausführlich Kap. 5.0). Die erste Version der KWG entstand anhand der in der Bestandsaufnahme (AP 1) erarbeiteten Inhalte und wurde im ersten Stakeholder-Workshop vorgestellt und diskutiert (vgl. Kap. 2.2.). Die finale Version der KWG bietet im jeweiligen Handlungsfeld (Kap. 5.1. bis 5.12.) einen Überblick der Zusammenhänge und komplettiert die detaillierte textliche Darstellung der Verwundbarkeitsanalyse.

Priorisierung der Verwundbarkeiten

Abschließend wurden in jedem Handlungsfeld die **wichtigsten Verwundbarkeiten** identifiziert und zusammenfassend dargestellt. Das Vorgehen bei der Verwundbarkeitsanalyse ist in Kapitel 5.0 im Einzelnen beschrieben.

2.1.3. Gesamtstrategie „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (AP 3)

Die kommunale Gesamtstrategie enthält zum einen **übergreifende strategische Elemente,** die das Thema Klimaanpassung in den gesamtstädtischen Kontext einbetten. Zum anderen wurden **strategische Teilziele** für jedes der zwölf Handlungsfelder erarbeitet. Dieser Arbeitsschritt erfolgte gemeinsam mit den städtischen Stakeholdern in einer zweiten Beteiligungsrunde (Kap. 2.2.). Die Gesamtstrategie ist im zweiten Teil des Anpassungskonzepts (**KASA 2**) zusammen mit u.a. den Maßnahmen abgedruckt.

Schließlich wurden erste **Ansätze einer Kommunikationsstrategie** entwickelt (Anhang A 7). Denn bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels handelt es sich um eine Gemeinschaftsaufgabe. Nur wenn es gelingt, die anstehenden Herausforderungen breit in die Gesellschaft zu kommunizieren, kann eine angemessene Anpassung gelingen.

[1] Das methodische Vorgehen dieses Arbeitsschritts wird im Einzelnen in Kap. 4 beschrieben.

2.2. Beteiligungsprozess (AP 4)

Das Ziel, lokale Fachleute/ Betroffene („Stakeholder“) mit ihrem speziellen Expertenwissen in die Gutachtenerstellung einzubeziehen, hatte einen hohen Stellenwert und wurde durch unterschiedliche **Beteiligungsformate** realisiert.

Umfrage (Fragebögen)

Um zu erfahren, welche Klimaveränderungen vor Ort bereits eine Rolle spielen, wurden **Fragebögen** an mindestens zwei Stakeholder je Handlungsfeld versendet. Der Fragebogen beinhaltete Fragen zu den Themen bisherige Erfahrungen mit Klimafolgen in Augsburg/ im eigenen Arbeitsbereich, Betroffenheiten, Reaktionen und Einschätzungen zur Anpassungskapazität (Ist/ Soll). Die Adressatinnen und Adressaten wurden so ausgewählt, dass in den einzelnen Handlungsfeldern sowohl die Stadtverwaltung als auch die Zivilgesellschaft (Organisationen/ Verbände, Wirtschaft, Forschung) vertreten waren. Der Gesamtrücklauf lag bei 27 Fragebögen und deckte alle 12 Handlungsfelder ab.

Stakeholder-Interviews

Insbesondere zur Unterstützung der Verwundbarkeitsanalyse (AP 2) wurden mit 30 ausgewählten Fachleuten oder besonders engagierten Akteuren aus der Stadtverwaltung und der Zivilgesellschaft zusätzlich vertiefende Gespräche (**Interviews**) geführt. Diese Gespräche mit Personen wurden teils persönlich vor Ort, teils in Form von Telefoninterviews geführt. Mit ihrem Fach- und Erfahrungswissen sowie ihrer Kenntnis der spezifischen Zusammenhänge und Bedingungen am Ort stellen diese Stakeholder eine unverzichtbare Wissensressource für die Identifizierung konkreter Betroffenheiten dar.[2] Diese Informationen flossen indirekt und teils auch unmittelbar (siehe Kennzeichnung „Quelle: Interview“ oder „Interview“) in die Berichterstellung ein.

Stakeholder-Workshop I: Verwundbarkeitsanalyse

Im Zentrum des Workshops I am 17.12.2019 stand die Vorstellung und Diskussion der vorläufigen Ergebnisse der Verwundbarkeitsanalyse. Die rd. 50 teilnehmenden Personen aus Stadtverwaltung und Zivilgesellschaft erhielten zunächst einen Überblick über den Projektkontext. Anschließend wurden die bereits feststellbaren bzw. zu erwartenden Klimaveränderungen vorgestellt.

Aufbauend auf der gemeinsamen Wissensbasis folgte zunächst ein Gesamtüberblick über die Verwundbarkeit der verschiedenen Sektoren, um die im Weiteren detailliert diskutierten Handlungsfelder besser einordnen zu können und um Wechselwirkungen zwischen Handlungsfeldern erkennen zu können.

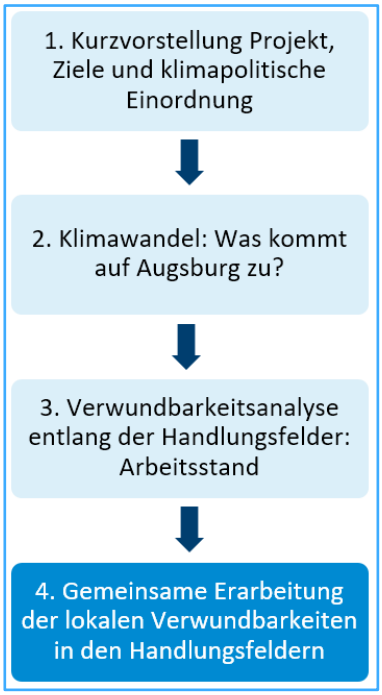


Abb. 7: Stakeholder-Workshop I: Verwundbarkeitsanalyse. Ablauf mit informatorischen (hellblau) und partizipativen (dunkelblau) Arbeitsphasen.
Eigene Darstellung.

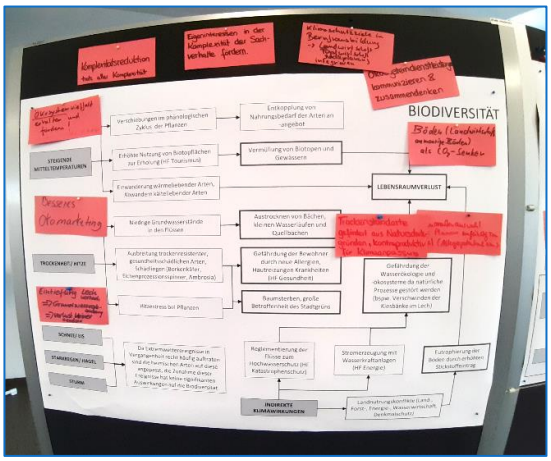


Abb. 8: Feedback, Ergänzungen und Korrekturen der Klimawirkungsketten (Version 1) durch die Teilnehmenden im Stakeholder-Workshop I. Hier: Beispiel der Wirkungskette im Handlungsfeld Biodiversität.
Quelle: GreenAdapt.

[2] Dieser Austausch beeinflusste die Erstellung des Konzepts in verschiedener Weise. An Stellen, wo direkt auf den Input aus der Beteiligung rekurriert wird, ist dies im Text angegeben („Interview“).

Abb. 9: Eindrücke vom Stakeholder-Workshop I (v. links oben n. rechts unten): Begrüßung und Einführung von Umweltreferent Rainer Erben (Quelle: GreenAdapt), Vorstellung des Projekts und seiner Ziele durch PD Dr. Fritz Reusswig (Projektleitung) (Quelle: A. Repper / Stadt Augsburg); Arbeit in Kleingruppen (Quelle: GreenAdapt) und an den Klimawirkungsketten. Quelle: GSF.

Das Hauptaugenmerk des ersten Stakeholder-Workshops lag auf der intensiven Diskussion der Verwundbarkeiten in den einzelnen Handlungsfeldern. In interaktiven Formaten wurden die bisherigen Ergebnisse des Projektteams durch die Teilnehmenden kommentiert und ggf. ergänzt (Abb. 8).

Je nach Arbeitsphase wurde im Plenum oder in Kleingruppen gearbeitet (Abb. 9). Den Abschluss bildete eine soziometrische Aufstellung der Teilnehmenden zur individuellen Einschätzung von Betroffenheit und Anpassungskapazität. Eine ausführliche Workshop-Dokumentation findet sich im Anhang A8.

Stakeholder-Workshop II: Gesamtstrategie

Die wesentlichen Fragen für den zweiten Stakeholder-Workshop „Gesamtstrategie“ lauteten: Welche Strategieansätze sind vor dem Hintergrund der festgestellten Verwundbarkeiten in den einzelnen Handlungsfeldern aus fachlicher Sicht richtig und geboten? Wo bestehen Überlappungen und Synergien, wo mögliche Konflikte mit bestehenden Planwerken und Strategien der Stadt Augsburg? Welche Schritte müssten ergriffen werden, um zu einer möglichst kohärenten Umsetzung unter Berücksichtigung bestehender oder absehbarer Institutionen und Prozesse in Augsburg zu kommen?

Aufgrund der Corona-Pandemie musste der für den 18. März 2020 geplante Workshop II kurzfristig als Präsenzveranstaltung abgesagt werden. Ersatzweise wurden Inhalte und Fragestellungen des Workshops in einem Fragebogen abgebildet und Anfang Juni an die 45 ursprünglich für den Workshop angemeldeten Stakeholder gesendet. Jeder Stakeholder konnte sich zu allen für ihn relevanten Handlungsfeldern mit jeweils einem Fragebogen pro Handlungsfeld äußern. Von 21 Stakeholdern gingen 80 auswertbare Fragebögen ein. Die Ergebnisse fließen sowohl in den übergreifenden strategischen Ansatz als auch in die Handlungsfeld-spezifischen Teilstrategien ein.

Am 14.9.2020 wurden Methodik, Ergebnisse der Klimaanalyse Augsburgs sowie Verwundbarkeiten in den Handlungsfeldern (auszugsweise) und die priorisierten Handlungsfelder im **Umweltausschuss** vorgestellt. In der Endphase der Erstellung (gingen für alle Handlungsfelder **Rückmeldungen der Fachabteilungen** zu den Verwundbarkeits- und Teilstrategie-Kapiteln ein.

3. Augsburg im Kurzprofil

In diesem Kapitel werden wesentliche Charakteristika der Stadt überblicksartig vorgestellt. Mit Blick auf die folgenden Kapitel interessiert besonders die zukünftige demographische Entwicklung und es wird ein Schwerpunkt auf die „Umweltstadt Augsburg“ gelegt.

3.1. Eckdaten im Überblick

Die Stadt Augsburg ist nach München und Nürnberg drittgrößte Stadt Bayerns und hat aktuell rd. 300.000 Einwohnerinnen und Einwohner. Sie ist Sitz der Regierung von Schwaben und gilt entsprechend der bayerischen Landesplanung seit 2017 als dritte Metropole im Freistaat. Damit ist Augsburg ein überregional bedeutsamer Standort für Wirtschaft, Wissenschaft, Kultur, Bildung und Verwaltung und soll als Schwerpunktregion beständig weiterentwickelt werden.

Augsburg grenzt im Norden, Westen und Süden vom Landkreis Augsburg umschlossen, im Osten an den Landkreis Aichach-Friedberg. Zusammen mit diesen beiden Landkreisen bildet die Stadt Augsburg den Wirtschaftraum A³, der einen positiven Pendlersaldo aufweist. Die wirtschaftliche Stärke Augsburgs liegt in einer breit gefächerten mittelständischen Unternehmensstruktur und in der Nähe zur Forschung an Universität, Hochschule und Universitätsklinikum. Mit mehr als 25.000 Studierenden ist Augsburg ein bedeutender Bildungs- und Wissenschaftsstandort. Dies trägt auch zur vielfältigen Bevölkerungsstruktur in Bezug auf Altersverteilung und kultureller Herkunft bei. Neben dem Staatstheater verfügt die Stadt über zahlreiche weitere kulturelle Einrichtungen und Veranstaltungen, von denen das Brecht-Festival und das Mozart-Fest auf zwei der berühmtesten Söhne der Stadt verweisen – Bertold Brecht und Leopold Mozart, den Vater des großen Komponisten.

Augsburg ist eine der ältesten Städte Deutschlands und die über 2.000 Jahre alte Geschichte der Stadt prägt auch heute noch das Stadtbild. Für das hervorragend erhaltene historische Wassermanagement-System wurde jüngst der Titel des Weltkulturerbes verliehen. Das nasse Element kann ebenfalls an den Flüssen Lech, Wertach, Singold, am Kuhsee und den zahlreichen Bächen und Kanälen der Stadt erlebt werden. Der weitläufige Stadtwald mit seinen vielfältigen Lebensräumen dient nicht nur zur Erholung, sondern auch zur Trinkwassergewinnung und befindet sich zu einem großen Teil unter Naturschutz. Augsburg zeichnet sich durch seine Vielfalt aus und bietet seiner Einwohnerschaft, Besucherinnen und Besuchern sowie ansässigen Unternehmen eine hohe Lebens-, Aufenthalts- und Standortqualität.

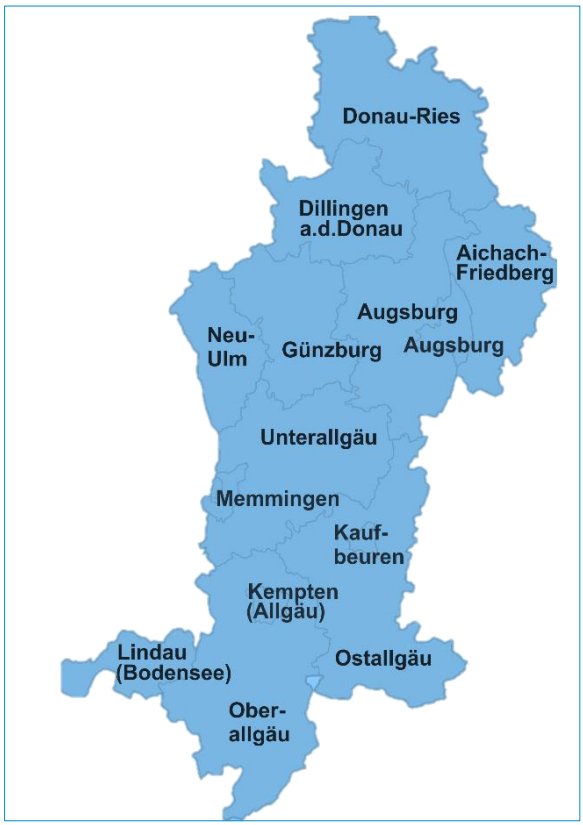


Abb. 10: Lage der Stadt Augsburg im Regierungsbezirk Schwaben. Quelle: Regierung von Schwaben.[3]

Das in einem breit angelegten Beteiligungsprozess erarbeitete Klimawandel-Anpassungskonzept soll nun den Handlungsrahmen schaffen, um Augsburgs vielfältige Qualitäten und Charakteristika in Zeiten des voranschreitenden Klimawandels zu erhalten.

3.2. Umweltstadt Augsburg

Bayernweit ist Augsburg als Umweltstadt bekannt, nicht zuletzt deshalb, weil Umweltpolitik in ihrer ganzen Breite traditionell ein zentrales Politikfeld der darstellt. Mit den Schlagworten „naturnah, umweltfreundlich und lebenswert“ wirbt die Stadt für ihre umweltpolitischen Leistungen und sieht sich als bayerisches Umweltkompetenzzentrum.

[3] Siehe: https://www.regierung.schwaben.bayern.de/wiruebun/Regierungsbezirk_Schwaben.php?PFAD=/index.php:/index4.php; Zugriff: 6.7.2020.

Dieser Anspruch lässt sich nur einlösen, wenn die gesamte Stadtgesellschaft – von der Politik bis zu den Unternehmen, Organisationen und Initiativen sowie die Einwohnerschaft – sich an den entsprechenden Aktivitäten beteiligt: Der gemeinsame Einsatz für ein sauberes Augsburg, die Biodiversitätsstrategie, die Luftreinhaltung, die Umweltbildung oder die Lokale Agenda 21, die hier eine besonders lange und lebendige Tradition hat, sind wichtige Beispiele für solche Aktivitäten.

Der 1998 gegründete Förderverein KUMAS (Kompetenzzentrum Umwelt e.V.) fungiert als eine zentrale Schaltstelle im Netzwerk für Umweltkompetenz. Hier wirken Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Verwaltung zusammen, um für die Umweltwirtschaft günstige Rahmenbedingungen zu schaffen und eine nachhaltige Entwicklung in ganz Bayern voranzutreiben. Ein weiterer Schwerpunkt ist das Thema Ressourceneffizienz; das Ressourceneffizienz-Zentrum Bayern (REZ) hat seinen Hauptsitz in Augsburg. Klimaschutz und Klimaanpassung sind vergleichsweise junge umweltpolitische Felder und fügen sich ein in diese lebendige Tradition.

3.3. Klimawandel im Kontext

3.3.1. Randbedingungen im Überblick

Der Klimawandel ist nicht die einzige Herausforderung, auf die es sich einzustellen gilt. Wie viele andere Städte hat auch Augsburg sich einer Reihe anderer langfristiger Entwicklungen („Megatrends“) zu stellen, die oft nur in engen Grenzen mit den Mitteln der Kommunalpolitik beeinflussbar sind. Sofern es Zusammenhänge zu den Klimaauswirkungen oder entsprechenden Schutzstrategien gibt, werden diese Entwicklungen in den folgenden Kapiteln als **Randbedingungen** in den einzelnen Handlungsfeldern berücksichtigt.[4]

- Solche Randbedingungen bzw. sozial-/ naturräumlichen Szenarien können die Verwundbarkeit städtischer Teilbereiche durch Klimafolgen abschwächen, aber auch erhöhen. Ihre Berücksichtigung erhöht die Anwendungsorientierung und Praxistauglichkeit des Klimaanpassungskonzepts. Im Folgenden werden wichtige Beispiele für aktuelle Randbedingungen mit Relevanz für die Verwundbarkeit durch Klimafolgen genannt.

- Der **demographische Wandel** führt

  a) zu einer größeren Anzahl vulnerabler Bevölkerung und b) zu einer Abnahme der Personen im erwerbsfähigen Alter mit u.a. Konsequenzen für das Vorhandensein von medizinischem Personal bzw. Hilfskräften.

- Der globale Klimawandel führt bereits gegenwärtig dazu, dass Lebensbedingungen in bestimmten Regionen auf der Erde zunehmend schwieriger bzw. diese dauerhaft unbewohnbar werden. In den kommenden Jahren werden Millionen von Menschen in Küstenwohnorten ihre Heimat allein aufgrund des zu erwartenden Meeresspiegelanstiegs dauerhaft verlassen müssen; andere klimabedingte Ursachen sind z.B. Wassermangel und Trockenheit.

  Europa dürfte von dem Migrationsdruck der Menschen in Not nicht unberührt bleiben. Wie bereits die Einwanderung von rd. 1 Mio. Menschen im Jahr 2015 nach Deutschland gezeigt hat, können solche Fluchtbewegungen auch zu Spannungen in den Zielländern führen. Quantitative Abschätzungen über die Anzahl möglicher ➤ **Klimaflüchtlinge** sind aufgrund der vielen Unbekannten schwierig. Klimawandel könnte schon heute zu mehr Migration führen, als kriegerische Auseinandersetzungen – Tendenz steigend; eine Studie der Weltbank (unter Beteiligung des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)) rechnet bis zum Jahr 2050 mit mehr als 100 Mio. Menschen, die weltweit ihre Landesgrenzen verlassen müssen (Rigaud et al. 2018).

- Zuzug von Menschen („positiver Wanderungssaldo“ der Bevölkerungsentwicklung), einschl. der Binnenbewegungen sowie (ressourcenintensives) Wirtschaftswachstum erhöhen tendenziell den **Nutzungsdruck** auf Flächen auch auf Grünflächen.

- **Steigender Ressourcenverbrauch** (Böden, Wasser), Nutzungs- und Interessenskonflikte führen zu teilweise dramatischen Verlusten von Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen (siehe auch das anhaltende Vorrücken des ➤ **Earth-Overshoot-Days**).

- Noch sind die längerfristigen Folgen der **COVID-19-Pandemie** nicht absehbar. Dennoch steht schon heute fest: Die Corona-Krise zwingt Städten die Frage auf, wie sie sich verändern müssen, um krisenfester, nachhaltiger und lebenswerter zu werden – um damit attraktiv zu bleiben.

[4] Oftmals ist nicht im Vorhinein absehbar, wie sich diese Megatrends mittel- und langfristig entwickeln; es ist daher mit begründeten Hypothesen bzw. Szenarien zu arbeiten.

- Der massive Anstieg von Homeoffice könnte dauerhafte **Veränderungen der Arbeitswelt** zur Folge haben und ggf. den Bedarf an Büroraum in Städten senken, wovon andere Flächennutzungen wie z.B. Grünflächen oder Wohnraum tendenziell profitieren würden.
- Auch nach der Entwicklung eines Impfstoffs gegen COVID-19 können neue Erreger auftreten. Das würde das strapazierte **Gesundheitssystem** vor weitere Herausforderungen stellen und könnte – im günstigen Fall – zu einer Verbesserung der medizinischen Versorgung innerhalb des Stadtgebiets führen; insbesondere in überregional bedeutsamen Zentren wie Augsburg. Gleichzeitig könnte ein Damoklesschwert Pandemie-Gefahr dazu führen, dass die Bedeutung der **Gesundheitswirtschaft** nebst zugehöriger Forschung in der Universitätsstadt Augsburg weiter zunimmt.
- Die wirtschaftlich starken Einbußen und die Umstellung bekannter Strukturen und Prozesse führen zu einer erhöhten Flexibilisierung der Arbeitswelt. Die zunehmende **Digitalisierung** in Haushalt, Schule und Berufswelt könnte einer weiteren Verzahnung von Medizinforschung und Digitalisierungsunternehmen Vorschub leisten. Auch hier könnte Augsburg profitieren.
- Die *Lockdowns* während der Krise haben die Bedeutung von **Grün- und Freiflächen** für Stadtbewohner gezeigt. Die „Post-Corona-Stadt" könnte eine viel grünere Stadt werden.
- Aus Furcht vor Ansteckung wurde deutschlandweit der ÖPNV phasenweise gemieden. Die Menschen sind, je nach Bedarf und Ausstattung, auf den Privat-Pkw oder aber auf Rad- und Fußverkehr umgestiegen. Hier zeigt sich ein klarer Gestaltungsbedarf für den umweltfreundlichen **Stadtverkehr der Zukunft.** Eine gelingende Verkehrswende mindert die Luftverschmutzungsproblematik in der Stadt.
- Bestimmte Branchen wie Kultur und Gastronomie wurden besonders hart getroffen. Auch der innerstädtische Einzelhandel – einschl. der großen Kaufhäuser und Ketten – hatten große Umsatzeinbußen zu Gunsten des Onlinehandels zu verzeichnen. Hier droht die Gefahr einer **Verödung der (Innen-) Städte**, der begegnet werden muss. Eine ***Green Recovery*** böte (doppelte) Chancen für diese Wirtschaftssektoren.
- **Kohleausstieg/ Energiewende** – Durch Strukturwandel in der Energiewirtschaft entstehen neue Abhängigkeiten der Energieerzeugung/-transport/-speicherung; Sinkende globale Ressourcen für Energieträger/-speicher.
- **Globalisierung** – Abhängigkeit von tendenziell unsicherer werdenden, globalen Lieferketten führt zu steigendem Bedarf regionaler Produktion/ regionaler Lieferketten.
- **(EU-) Agrarpolitik** verstärkt gegenwärtig tendenziell eher die naturräumlichen Problematiken, Konzentrationsprozesse und Betriebsaufgaben unter den landwirtschaftlichen Betrieben im Agrarsektor.

Die häufige Verwendung des Konjunktivs in den ausgewählten Punkten dieser Auflistung ist Absicht: Sie deuten auf die **Offenheit der Zukunft** und gleichzeitiger Notwendigkeit von Entscheidungen hier und heute – also **Entscheidungen unter Unsicherheit**.

Die Auflistung dieser Randbedingungen hat insofern auch illustrativen Charakter, als sie verdeutlicht, dass kommunale Klimapolitik kein isoliertes Dasein als Fachpolitik führt, sondern eingebettet in einen breiten, oft schwer überschaubaren Strom politischer Handlungsbedarfe zu gestalten ist. Manche Randbedingungen (wie etwa der demografische Wandel, siehe 3.3.2. und 5.2.) wirken im Kontext des Klimawandels als zusätzliche Problemverstärker, andere verlangen ähnliche Lösungswege. Je deutlicher sich **Synergien zwischen Klimaanpassung und solchen anderen Herausforderungen der Stadt** identifizieren lassen, desto besser kann Klimaanpassung gelingen und zum Gesamtwohl der Stadt beitragen (Kap. 6).

3.3.2. Fokus: Bevölkerungsentwicklung

Auf eine gesellschaftliche Randbedingung soll bereits an dieser Stelle näher eingegangen werden, da sie an vielen Stellen in KASA 1 eine Rolle spielt: der demografische Wandel.

Augsburgs **Bevölkerung** ist im 20. Jahrhundert stetig gewachsen: Um 1910 wurde die 100.000-Einwohner-Marke genommen, um 1955 die 200.000er Marke, und Ende 2019 lebten bereits rund 300.000 Menschen in der Stadt (Stadt Augsburg 2020b). 46,8% davon hatten einen Migrationshintergrund;[5] in dieser Hinsicht liegt Augsburg knapp vor Nürnberg (45%) und München (41%) (Schneider 2020)

[5] Die Stadt Augsburg bezieht sich dabei auf die sog. „wohnberechtigte Bevölkerung", also Personen mit Haupt- und Nebenwohnsitz in der Stadt (ohne Doppelzählungen). Das Bayerische Landesamt für Statistik bezieht in seinen Daten zu Augsburg nur die Personen mit Hauptwohnsitz ein.

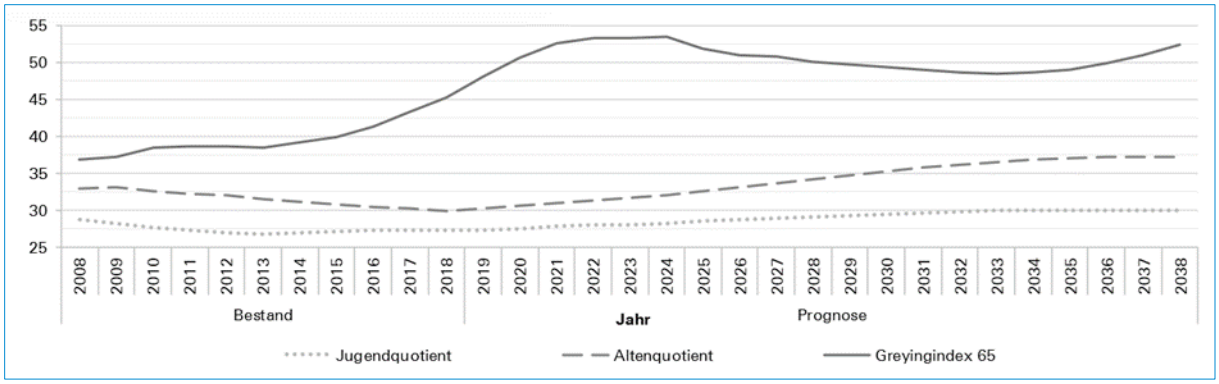


Abb. 11: Jugend- und Altenquotient sowie Greying-Index in der Stadt Augsburg 2008-2038. Die Bevölkerungsprognose der Stadt Augsburg reicht bis zum Jahr 2038 und rechnet für dieses Jahr mit einer Einwohnerschaft von rd. 325.000 Menschen. Quelle: Stadt Augsburg 2019.

Der Außenwanderungssaldo (Zuzüge minus Wegzüge über die Stadtgrenze) ist positiv, aber von 5.230 im Jahr 2014 auf 1.437 in 2019 gesunken. Der natürliche Bevölkerungssaldo (Geburten minus Sterbefälle) ist negativ (-72 in 2019), der Trend verlangsamte sich zuletzt aber (-159 in 2014) (Stadt Augsburg 2019).

Im Jahr 2019 gab es in Augsburg 160.307 private Haushalte, 2014 waren es erst 151.903. Über die Hälfte (52,6 %) der Haushalte sind Single-Haushalte, 26,6 % Zweipersonen-Haushalte, 10,2 % Dreipersonen-Haushalte und 10,5 % Vier- oder Mehrpersonen-Haushalte (ebd.). Es wird davon ausgegangen, dass die Zahl der Sterbefälle die der Geburten zunehmend übersteigt (zunehmendes „Geburtendefizit“). Der Wanderungssaldo bleibt voraussichtlich positiv, auch wenn er etwas abnimmt.

Zwischen 2018 und 2038 sollen den **Prognosen** der Stadt zufolge mehr als 26.000 Menschen in Augsburg hinzukommen. Die stärksten Bevölkerungszuwächse werden dabei in den Stadtbezirken Kriegshaber (+5.350), Am Schäfflerbach (+2.630) und Oberhausen Nord (+2.250) erwartet. Das neue Stadtquartier Haunstetten Südwest soll Heimstätte für 10.500 Menschen werden (Stadt Augsburg 2019).

Aus Klimawandel-Anpassungssicht ist die Frage besonders wichtig, wie die **Alterszusammensetzung der zukünftigen Augsburger Bevölkerung** aussehen wird. Demographische Prozesse und Entwicklungen lassen sich auch mit Hilfe von Indikatoren beschreiben (vgl. Abb. 11).

Das Durchschnittsalter der Augsburger Bevölkerung wird voraussichtlich von 41,9 Jahre (2019) auf 43,1 Jahre in 2038 ansteigen. Der Altenquotient steigt im gleichen Zeitraum von 29,9 auf 37,2, der Abhängigkeitsquotient von 57,0 auf 67,1. Der sog. Greying-Index setzt die Zahl der 80-Jährigen und Älteren ins Verhältnis zur Zahl der 65- bis 79-Jährigen. Er steigt von 47,7 auf 52,5 (Stadt Augsburg 2019, 2020b). Lebten 2019 noch knapp 74.000 Menschen über 60 Jahren in Augsburg, so werden es im Jahr 2038 etwa 89.000 sein. Die für Augsburg zu erwartenden Klimaveränderungen treffen also auf eine immer älter werdende Bevölkerung („demografischer Wandel“, vgl. Kap. 3.3.1.).

Die Frage, wie viele Menschen zukünftig in Augsburg leben werden, ist nicht unabhängig davon, wieviel Wohnraum zur Verfügung gestellt werden kann – und zu welchen Immobilien- und Mietpreisen. Nach den Schätzungen des Stadtplanungsamtes könnten in Augsburg bis zum Jahr 2038 neue Wohneinheiten für ca. 36.000 Personen entstehen. Allerdings verändert sich der Nettoeffekt auf die gesamte Bevölkerungsgröße etwa durch zukünftige Wohnraumverluste an anderer Stelle, durch die absehbare weitere Verringerung der durchschnittlichen Haushaltsgröße und die Erhöhung des individuellen Wohnraumbedarfs (Prognos 2017). Änderungen z.B. in der beanspruchten Wohnfläche pro Kopf und der Vorstellungen über das Alleine- oder Zusammenleben in der Zukunft können den Wohn- und Flächenbedarf beeinflussen.

4. Klimaveränderungen in Augsburg

4.1. Aktueller Stand der Klimaforschung

Die Veränderung des Klimas auf der Erde unterliegt schon immer natürlichen Schwankungen. Seit Beginn der Industrialisierung, insbesondere innerhalb der letzten drei Jahrzehnte, hat sich das Klimasystem jedoch in einem rasanten Tempo verändert (*anthropogener* (➤ *Treibhauseffekt*). Gegenüber dem vorindustriellen Niveau hat sich die ➤ globale Mitteltemperatur (GMT) der Erde bereits um etwa 1° C erhöht; in Deutschland sind die Temperaturanomalien sogar größer (Abb. 12). Die klimabedingten Risiken für natürliche und menschliche Systeme steigen rasant: Der Anstieg des Meeresspiegels, die Versauerung der Ozeane und das Abschmelzen der Eisschilde und Gletscher, insbesondere in der Nordhemisphäre, sind nur ein Teil dieser globalen Veränderungen.

In unseren Breiten ist dieser Wandel auf regionaler und lokaler Ebene insbesondere durch wetterbezogene Extremereignisse gekennzeichnet: Dürren, Hitzewellen, Starkniederschläge werden mit größerer Wahrscheinlichkeit, Intensität und Dauer auftreten. Ein wichtiger Indikator zur Entwicklung verschiedener Szenarien für die zukünftige Veränderung des Klimas stellt die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre dar, welche maßgeblich *anthropogen*, d. h. durch den Menschen, beeinflusst wird. Die Kohlendioxidkonzentration ist seit vorindustrieller Zeit um mehr als 50 % angestiegen (Lindsey 2020).

Durch die Weltklimakonferenz von Paris im Jahr 2015 ist auch auf globaler politischer Ebene ein Zeichen gesetzt worden, das die Wichtigkeit der Folgen des Klimawandels und der Anpassung an diesen als eine gesamtgesellschaftliche und gesamtwirtschaftliche Aufgabe verdeutlicht. Um das ehrgeizige 1,5°C-Ziel einzuhalten, müssten die globalen anthropogenen CO_2-Emissionen im Jahr 2050 netto null erreichen; Um die Erwärmung auf zumindest unter 2 °C zu begrenzen, müsste das Netto-null-Ziel um das Jahr 2070 erreicht werden (IPCC 2018).

Seit dem Beginn der flächendeckenden Wetteraufzeichnungen in Deutschland im Jahr 1881 ist die mittlere Jahrestemperatur in Bayern bis 2015 um 1,4 °C angestiegen, im bayerischen Alpenraum hat diese sich über die letzten 100 Jahre doppelt so stark erhöht wie im globalen Durchschnitt (LfU 2018). Die Auswertung im Rahmen des KASA 1 der DWD-Daten von 1881 – 2020 identifiziert das Jahr 2018 als das wärmste Jahr in Bayern.

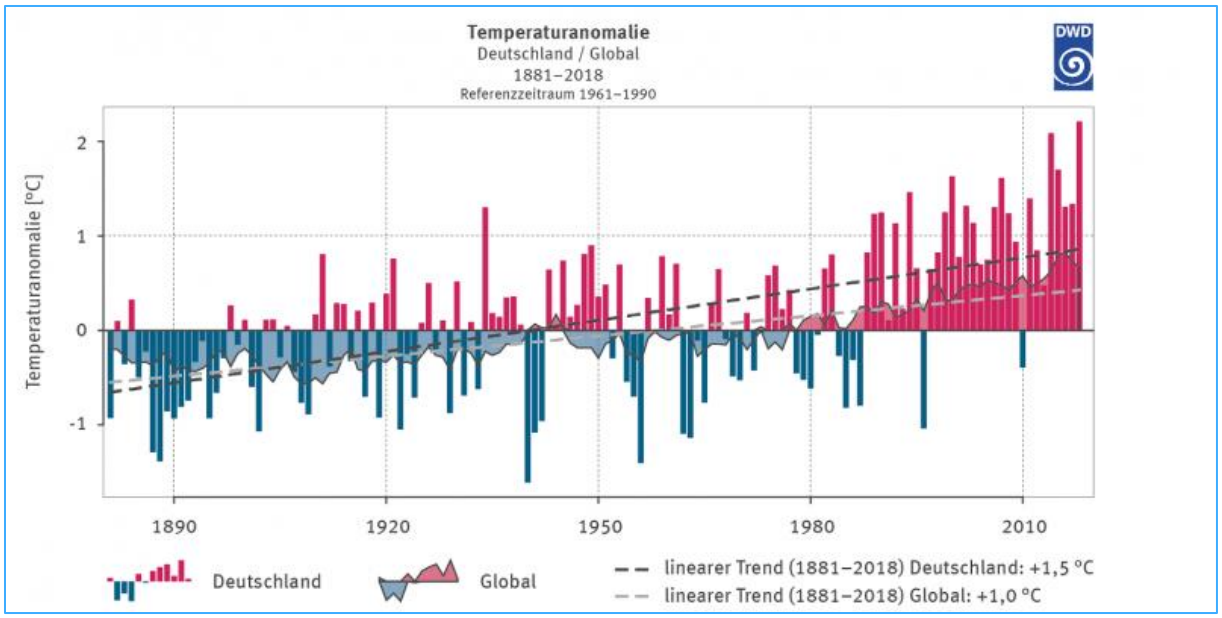


Abb. 12: Temperaturanomalie. Abweichung der Jahresmittel der Temperatur für Deutschland und Global vom vieljährigen Mittel 1961–1990 (Daten: DWD, NOAA). Quelle: Umweltbundesamt 2019: 19.

4.2. Methodik, Klimadaten, Modelle

Auf Grundlage verschiedener Daten werden für die Region Augsburg einerseits vergangene und andererseits zukünftige klimatische Veränderungen analysiert. **Vergangene klimatische Entwicklungen** werden unter anderem durch die qualitative Analyse und Bewertung von Fachdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) betrachtet. Die dargestellten Klimaindikatoren wurden mittels Rasterdaten des DWD für die Vergangenheit im Zeitraum 1951-2019, einige sogar bis 2020, ausgewertet. Trendanalysen zeigen, ob eine Entwicklung zufällig oder statistisch relevant ist. Die Rasterdaten verfügen über eine Auflösung von 1 km x 1 km und wurden über die Fläche Augsburgs aggregiert.[6] Für eine systematische Auswertung der Klimadaten werden jeweils Zeiträume von 30 Jahren betrachtet.[7]

Für die **Analyse zukünftiger Entwicklungen** dient häufig der 30-Jahres-Zeitraum 1971-2000 als Vergleichszeitraum. Daneben bietet die erstmals 2009 erstellte und 2016 aktualisierte BayKLAS (2016) des LfU (Landesamt für Umwelt Bayern) eine Datengrundlage für die systematische und detaillierte Analyse und Auswertung der Klimaindikatoren hinsichtlich vergangener Klimaveränderungen sowie zukünftiger Szenarien. Aussagen zum zukünftigen Klima werden anhand von **Klimaprojektionen** getroffen (Abb. 13). Sie basieren auf **Repräsentativen Konzentrations-Pfaden** (*Representative Concentration Pathways - RCPs*), die für den 5. Sachstandsbericht des IPCC im Jahr 2013/2014 entwickelt wurden. Die RCPs gehen jeweils von verschiedenen Treibhausgaskonzentrationen und

➤ Strahlungsantrieben bis zum Jahr 2100 aus:

- Bei den Szenarien des RCP8.5 (rot in Abb. 13) handelt es sich um den „Worst-Case"-Pfad, bei dem die Berechnungen zu einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur um bis zu 4,8 °C bis zum Jahr 2100 führen.
- die mittleren Szenarienfamilien (RCP4.5, orangefarben in Abb. 13) und RCP6.0 (hellblau in Abb. 13) führen zu einem Temperaturanstieg von etwa 2,6 °C bzw. 3,1 °C. bis 2100.
- Die Szenariofamilie des RCP2.6 (violett in) geht schließlich von sehr ambitionierten Klimaschutzzielen aus und projiziert (nur) eine globale Erwärmung von unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Wert bis zum Jahr 2100.

In KASA 1 werden im Folgenden die beiden Szenarien RCP8.5 und RCP4.5 näher betrachtet. Wie oben dargelegt, gehen die RCP8.5-Szenarien von einem weiteren starken Anstieg der globalen Emissionen bis zum Jahr 2100 aus, während die RCP4.5-Szenarien einen Rückgang der weltweiten Emissionen ab etwa dem Jahr 2050 annehmen. Beide Szenarien gehen allerdings nicht davon aus, dass die Pariser Klimaziele (Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5-2 °C über vorindustriellem Niveau) erreicht werden. Bliebe es bei den Klimapolitiken, wie sie derzeit weltweit in Kraft sind, dann wäre eine Erwärmung um ca. 3° C tatsächlich der wahrscheinlichste Erwartungswert – also das RCP4.5-Szenario.

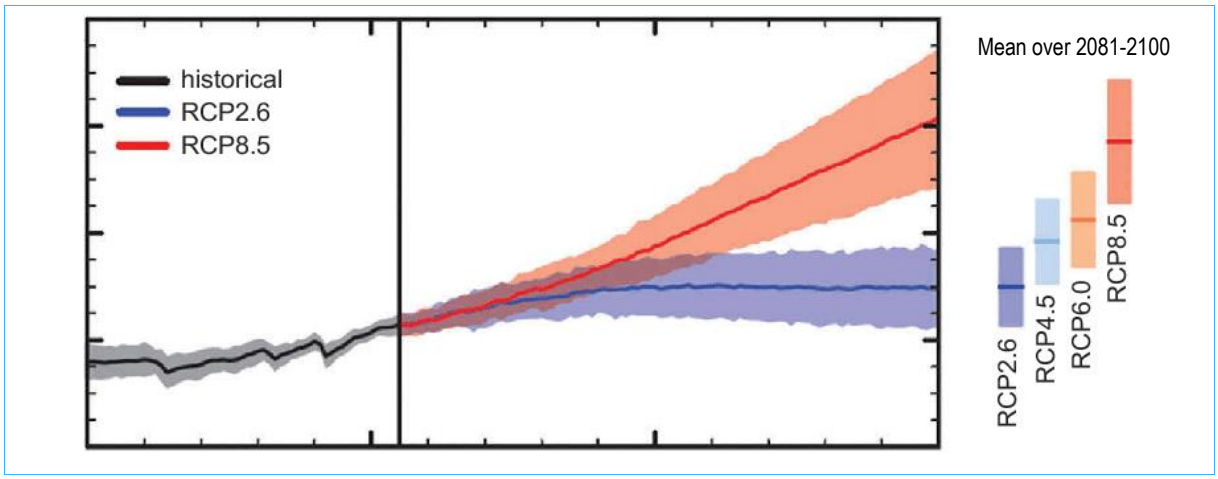


Abb. 13: Entwicklung der global gemittelten Oberflächentemperatur im Zeitraum 1950-2100. Angaben der Mittelwerte (engl.: Mean) für die RCPs rechts im Bild beziehen sich auf den Zeitraum 2081 bis 2100. Quelle: IPCC 2013.

[6] Im Vergleich dazu wurden in der Vorstudie 2017 lediglich Daten einer Analyse auf Ebene der Region Iller-Lech zugrunde gelegt.

[7] Ein aktuelles ePaper des AfS Augsburg wertet die Messdaten einer Augsburger Wetterstation für die Vergangenheit aus; vgl. AfS 2021.

Ein RCP8.5-Szenario erscheint heute manchen eher unwahrscheinlich (Hausfather/ Peters 2020), andere halten es für nicht ausgeschlossen werden (man denke an Unsicherheiten z.B. durch ➤ Tipping points (Kap. 2) oder politische Faktoren (Rihaj et al. 2017). Nimmt man die kumulierten Emissionen als Basis, stimmt das RCP8.5-Szenario zudem mit den gemessenen Klimadaten gegenwärtig am besten überein (Schwalm et al. 2020).[8]

Beide Szenarien stehen daher für *nicht* wünschenswerte, aber doch *realistische* Entwicklungen, die die Stadt bei einer Risikoanalyse zugrunde legen muss und auf die es sich proaktiv einzustellen gilt. Um die Spannbreite der möglichen Entwicklungen für Augsburg besser abzubilden, wird in Kap. 4.3. stets mit *beiden* Optionen kalkuliert.

Tab. 1: Veränderung der globalen Mitteltemperatur („Mean“) bis zum Jahr 2100 (Referenzzeitraum 1986 bis 2005) in RCP4.5 und RCP8.5. Quelle: IPCC 2013.

	2046-2065		2081-2100	
RCP	Mean [°C]	Unsicherheit [°C]	Mean [°C]	Unsicherheit [°C]
RCP4.5	+1,4	0,9 bis 2,0	+ 1,8	1,1 bis 2,6
RCP8.5	+2,0	1,4 bis 2,6	+3,6	2,6 bis 4,8

Klimaveränderungen können sich teils rasch, teils in relativ langen Zeiträumen vollziehen. Es werden daher für die Zukunft zwei Zeiträume („Zukünfte“) betrachtet: Projektionen jeweils für die **mittlere Zukunft** (2031 - 2060) und die **ferne Zukunft** (2071 - 2100).

Beide werden jeweils im Vergleich zum Zeitraum 1971 - 2000 (Referenzperiode) betrachtet. Zur Einschätzung der Schwankungsbreite der Projektionen sind das 15. und 85. ➤ Perzentil der Verteilung angegeben.

Für KASA 1 wurden Projektionsdaten aus dem Projekt CORDEX (engl.: Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) ausgewertet. In CORDEX wurden kleinräumige regionale Klimamodelle in globale Klimamodelle eingebettet. Die erzielte Auflösung von 12 km x 12 km ist deutlich höher als die räumliche Auflösung von globalen Klimamodellen, ermöglicht die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten (wie Topographie, Landbedeckung) und eignet sich daher für die Einschätzung von regionalen Klimafolgen. Die CORDEX-Daten umfassen Daten aus Simulationsläufen verschiedener Klimamodelle. Dies ist erforderlich, um mit den existierenden Unsicherheiten bei der Analyse des zukünftigen Klimas umgehen zu können. Klimatische Projektionen eines Ensembles, die bei den verwendeten Modellen übereinstimmen, können als gesicherter betrachtet werden, während Abweichungen zwischen den Modellen mit größerer Vorsicht zu interpretieren sind.

4.3. Klimatische Veränderungen in Vergangenheit und Zukunft

Die Auswirkungen der globalen Erwärmung können durch die Analyse und die Auswertung sogenannten **Klimaindikatoren** dargestellt werden. Diese klimatologische Analyse bildet eine **Grundlage für die Verwundbarkeitsanalyse** (Kap. 5) und letztlich auch für die dann folgende Entwicklung von Strategien und konkreten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Die relevanten **Klimaindikatoren** (auch: Klimaparameter oder Klimasignale) und deren Definitionen aus Tab. 2 werden in der weiteren Analyse des Augsburger Klimas detailliert betrachtet. Sie lassen sich in **temperatur- (4.3.1.) und niederschlagsbezogene (4.3.2.) Indikatoren** unterscheiden und geben Aufschluss über die Entwicklung und regionale bzw. lokale Ausprägung des Klimawandels.

Dabei erfolgt die Darstellung der Ergebnisse im weiteren Verlauf des Kap. 4.3. in zweifacher Weise:

(1.) Es werden die Daten für die gemessene Veränderung der Klimaindikatoren (Vergangenheit) in der Regel als **Graphen** abgetragen;

- Die **Änderungsrate des jeweiligen Klimaindikators** (in den folgenden Grafiken immer oben links) entspricht der jährlichen Veränderung pro Jahr. Signifikante Trends sind in grün (■) gekennzeichnet, nicht signifikante in Rot (■).Von einem **signifikanten Trend** spricht man, wenn sich durch den *Mann-Kendall-Test* ein Signifikanzniveau von ≥ 95 % ergibt. Damit gilt der Trend als nicht nur zufällig, sondern als statistisch belegt).
- Für jeden Klimaindikator ist außerdem jeweils das **Mittel im Referenzzeitraum** 1971 bis 2000 oben rechts in der Grafik angegeben (grau (■) eingefärbt).

(2.) die Ergebnisse der Projektionen (Zukunftsszenarien) werden in **Tabellenform** dargestellt (RCP4.5, RCP8.5).

[8] Rückschritte in der Klimapolitik sind keine Spekulation, sondern eine reale Möglichkeit: Der Austritt der USA aus dem Pariser Klimaabkommen in 2019 oder die Verschärfung der Entwaldungssituation im Amazonasgebiet belegen dies eindrücklich.

Ähnliche Vorbehalte muss man bei der Klimapolitik einzelner europäischer Länder machen, in denen klimaskeptische Populisten an der Regierung beteiligt sind.

Tab. 2: Übersicht über relevante Klimaindikatoren. Dabei Temperaturangaben: Lufttemperatur in 2 m über dem Boden.

	Klima-indikator	Definition
Temperaturbezogene Indikatoren	**Jahresmittel-temperatur**	Jahresgemittelte Tagesmittel-temperatur
	Saisonale Mittel-temperaturen	Frühling: Mar-Mai; Sommer: Jun-Aug; Herbst: Sep-Nov; Winter: Dez-Feb
	Frosttage	Tage mit Tiefsttemperaturen < 0 °C
	Eistage	Tage mit Höchsttemperaturen < 0 °C
	Sommertage	Tage mit Höchsttemperaturen ≥25 °C
	Hitzetage	Tage mit Höchsttemperatur ≥ 30 °C
Niederschlagsbezogene Indikatoren	**Schneetage**	Tage mit Schneebedeckung
	Jahresnieder-schlag	Jährliche Summe des Nieder-schlags
	Saisonale Nieder-schläge	Saisonale Summen des Nie-derschlags
	Starkregen	Anzahl der Tage mit Nieder-schlägen über 10/ 20/ 30 mm
	Trocken-phasen	Trockenheitsindex nach *de Martonne*; N/(T+10) (N = Jahresniederschlag in mm; T = Jahresmitteltempe-ratur in °C)

4.3.1. Temperaturbezogene Indikatoren

Jahresmitteltemperatur

Die Auswertungen der Beobachtungsdaten zur Jahresmitteltemperaturen in Augsburg im Zeitraum 1951-2019 offenbart, neben den natürlichen jährlichen Schwankungen, eine signifikante **jährliche Temperaturzunahme** von durchschnittlich 0,02 °C (Abb. 14). Diese Entwicklung zeigt sich grundsätzlich auch über den graphisch dargestellten Zeitraum hinaus. So beträgt der Mittelwert im ersten 30-Jahres-Zeitraum des DWD-Datensatzes 1881 - 1910 7,8 °C. Im aktuellen 30-Jahres-Zeitraum 1990 - 2019 liegt die Jahresmitteltemperatur bereits bei 8,9 °C, ist also um 1,1 °C angestiegen.

Das **Temperaturmittel im Zeitraum 1971 bis 2000** liegt bei 8,3 °C (BayKLAS 2016). Das Jahr 2018 war seit Beginn der flächendeckenden Wetteraufzeichnungen des DWD im Jahr 1881 das wärmste Jahr in Augsburg. Auch die Jahre 1994 und 2015 hatten außergewöhnlich hohe Durchschnittstemperaturen.

Saisonale Temperaturentwicklung

Hinsichtlich der jahreszeitlichen Temperaturen ist festzustellen, dass im Sommer und im Winter (beide Änderungsraten: 0,026 °C/Jahr) **signifikant ansteigende Trends** zu verzeichnen sind. Die **Sommertemperaturen** (Abb. 14) werden durch das Mittel der Temperaturen in Juni, Juli und August gebildet.

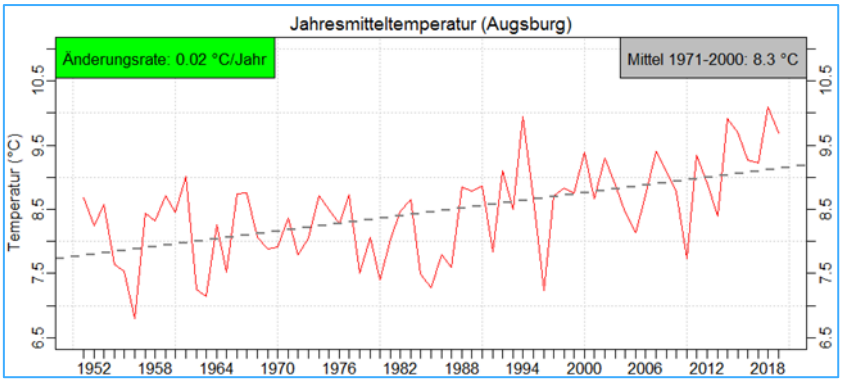


Abb. 14: Jahresgemittelte Tagesmitteltemperatur (1951-2019) in Augsburg. Eigene Abb. auf Basis von DWD-Daten.

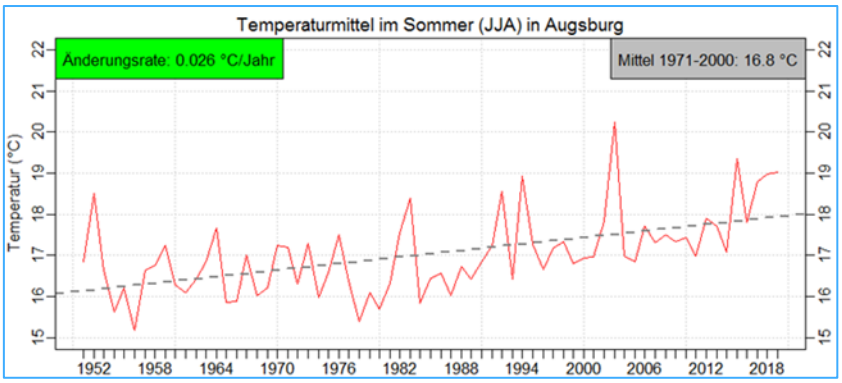


Abb. 15: Gemittelte Temperaturen im Sommer (1951-2019) in Augsburg. Eigene Abb. auf Basis von DWD-Daten.

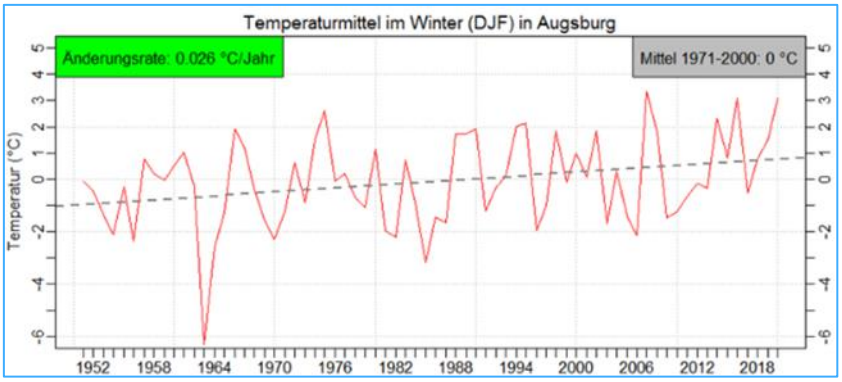


Abb. 16: Gemittelte Temperaturen im Winter (1951-2020) in Augsburg. Eigene Abb. auf Basis von DWD-Daten.

In Abb. 15 sticht besonders der Sommer 2003 mit über 20 °C Mitteltemperatur hervor. Im Winter fällt besonders der kalte Winter 1962/63 mit unter -6 °C Mitteltemperatur über die Wintermonate Dezember, Januar und Februar auf.

Die Werte für die Wintermonate eines Jahres werden aus dem Dezember-Wert des Vorjahres und den Januar- und Februar-Werten des entsprechenden Jahres gebildet. Im Laufe der letzten Jahre wurden **Winter** mit einem saisonalen Durchschnitt unter 0 °C immer seltener (Abb. 16). Der Winter 2019/ 20 war nach 1915/ 16 (nicht in der Abb.) und 2006/ 07 der wärmste Winter seit Aufzeichnungsbeginn in 1881. Der **Frühling** zeigt mit +0,02 °C ebenfalls einen statistisch zuverlässigen (d.h. signifikanten) Temperaturanstieg. Lediglich im **Herbst** zeigt sich mit +0,01°C zwischen 1951 und 2019 kein signifikanter Trend in der saisonalen Temperaturentwicklung.

Als Vergleich kann das Klima-Monitoring im Rahmen des Kooperationsvorhabens Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA) herangezogen werden (Abb. 17, Folgeseite). Dort wurden ebenfalls statistische Trendanalysen auf Basis von Messreihen von 1931 bis 2010 für sogenannte KLIWA-Regionen durchgeführt und die Entwicklung der mittleren Temperatur in Bayern aufgezeigt.

Im Sommerhalbjahr (links) betrug die Erwärmung für die Region Iller-Lech +0,9 °C und im Winterhalbjahr (rechts) +1,2 °C.

Im Vergleich zu den Änderungswerten in der KLIWA-Studie zeigt die Auswertung der DWD-Daten für das Stadtgebiet Augsburg mit etwa 1,8°C (Änderungsrate 0,026 mal 69 Jahre im betrachteten Zeitraum) eine höhere Temperaturzunahme im Sommer bzw. im Winter an. Diese größere Änderung ist zum einen auf den späteren und bereits stärker vom Klimawandel geprägten Zeitraum (1951 - 2019) sowie auf die kürzere Saison (dreimonatige Jahreszeit und nicht Halbjahr) und die kleinere räumliche Abdeckung (Stadt Augsburg gegenüber Region Iller-Lech) zurückzuführen. Im Vergleich zum Rest Bayerns zeigen sich lediglich geringe regionale Unterschiede – so gab es im Nordwesten geringere Temperaturanstiege im Sommer und die östlichen Regionen weisen etwas stärkere Temperaturzunahmen im Winterhalbjahr auf. Die Auswertung der Projektionsdaten zeigt weiterhin, dass sich dieser Trend im Jahresmittel und auch in den saisonalen Temperaturen fortsetzen wird.

Gegenüber 1971 bis 2000 wird sich beispielsweise die Jahresmitteltemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts im Weiter-wie-bisher-Szenario um 3,5 bis 4,3 °C in Augsburg erhöhen (Tab. 3, Folgeseite).

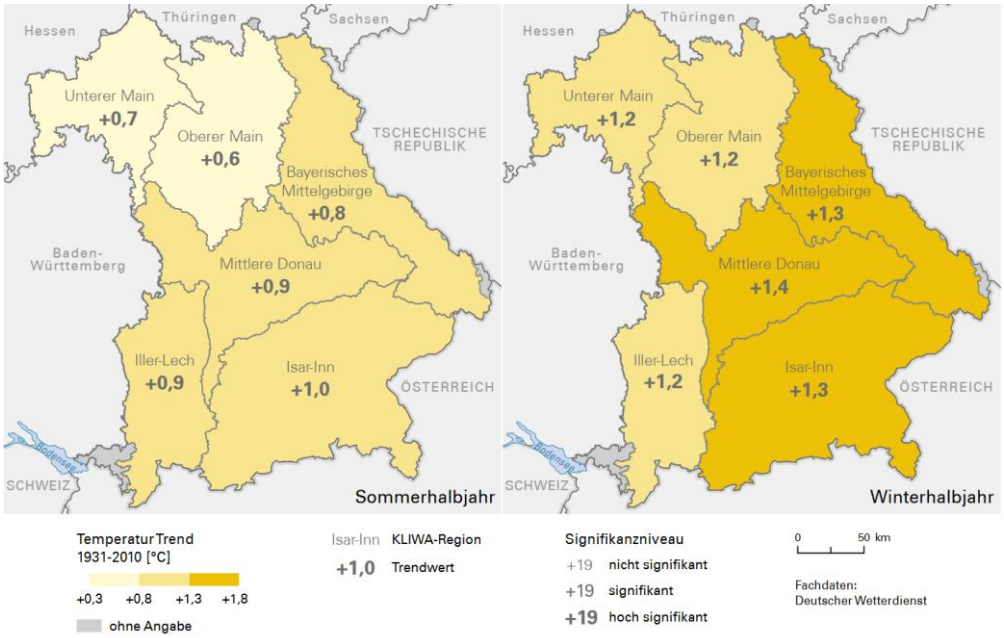


Abb. 17: Trend der mittleren Lufttemperatur. Bayern im hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahr 1931-2010 (KLIWA-Regionen). Quelle: BayKLAS 2016 (Abb. 2).

Tab. 3: Ergebnisse der Projektionen der Jahresmitteltemperatur (15. und 85. Percentil) in Augsburg für die nahe und ferne Zukunft im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971-2000. Eigene Auswertung basierend auf CORDEX-Daten.

Zeitraum	Jahresmitteltemperatur RCP4.5	Jahresmitteltemperatur RCP8.5
2031-2060	+1,1 °C bis +1,5 °c	+1,5 °C bis +2,2 °C
2071-2100	+1,7 °C bis +2,2 °C	+3,5 °C bis +4,3 °C

.

Jahresmitteltemperatur

Abb. 18 stellt die **projizierte Jahresmitteltemperatur** dar. Hier wurde die Temperaturänderung bis zum Ende des Jahrhunderts auf die Mitteltemperaturen 1971 bis 2000 aufaddiert. Es wird deutlich, dass etwa Mitte des Jahrhunderts Mitteltemperaturen von um 10 °C und zum Ende des Jahrhunderts von über 12°C möglich sind.

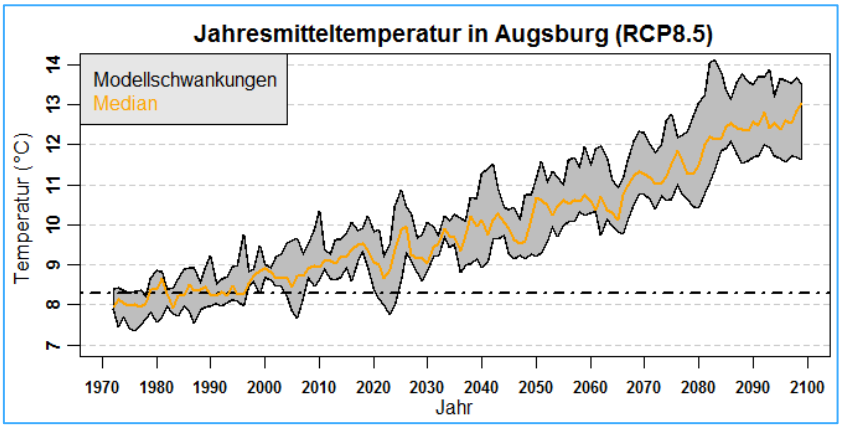


Abb. 18: Projizierte Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Augsburg unter RCP8.5. Eigene Darstellung basierend auf CORDEX-Daten.

Tab. 4: Projektionen der saisonalen Mitteltemperaturen für die beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 für die nahe und ferne Zukunft. Eigene Auswertung basierend auf CORDEX-Daten.

RCP4.5	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
2031-2060	+0,8 bis +1,4°C	+1,3 bis +1,7 °C	+1,1 bis +1,6 °C	+1,0 bis +1,6 °C
2071-2100	+1,2 bis +2,2°C	+1,8 bis +2,1 °C	+1,9 bis +2,3°C	+1,8 bis +2,4 °C
RCP8.5	**Frühling**	**Sommer**	**Herbst**	**Winter**
2031-2060	+1,0 bis +1,8 °C	+1,7 bis +1,9 °C	+1,6 bis +2,1 °C	+1,2 bis +2,7°C
2071-2100	+2,4 bis +3,6 °C	+3,6 bis +4,1 °C	+3,7 bis +4,3 °C	+3,5 bis +4,1 °C

Tabelle 4 zeigt detaillierte Infos zu den Entwicklungen in den einzelnen Jahreszeiten. Es wird deutlich, dass bis zur nahen Zukunft – ähnlich wie bei den Jahresmitteltemperaturen – die Zunahmen der Temperatur sich in den beiden Szenarien noch nicht stark unterscheiden. Zum einen weichen die Treibhausgasszenarien zu dieser Zeit noch nicht so stark voneinander ab und zusätzlich sorgt die Trägheit des Klimasystems für eine verzögerte Reaktion auf die Unterschiede in den Szenarien.

Vergleich Vergangenheit – Zukunft: Wie sind die Szenarien der zukünftigen saisonalen Temperaturentwicklung im Vergleich zu den Vergangenheitsdaten für die **Sommermitteltemperatur** Augsburgs einzuschätzen? Dieser Klimaindikator wurde (in Abb. 19) dafür ausgewählt, weil er – wie spätere Kapitel zeigen – von großem Interesse für Klimafolgen ist. Neben der Zeitreihe der Sommertemperatur (schwarze zackige Linie) sind die Sommermittel für den Referenzzeitraum 1971 bis 2000 (schwarz), die nahe Zukunft (2031 - 2060) (orange) und die ferne Zukunft (rot) eingetragen: Die 30-jährigen Mittelwerte sind mit der Verteilung der Sommermittel im jeweiligen Zeitraum hinterlegt (± 1 Standardabweichung); d.h. die Projektionen für die Sommertemperaturen schwanken um den Mittelwert. Etwas mehr als 2/3 aller Modellergebnisse liegen innerhalb der Standardabweichung.

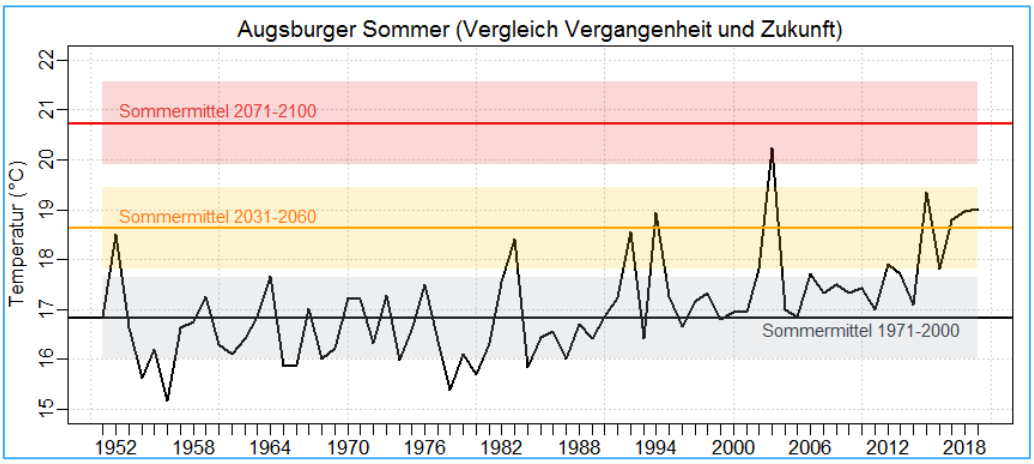


Abb. 19: Sommermitteltemperatur - Kombination von gemessenen Daten (DWD) und Projektionsdaten (Auswertung CORDEX-Daten). Eigene Abbildung.

Es wird deutlich, dass die Sommer immer öfter in den orangefarben hinterlegten Bereich rutschen – so z.B. 1994, 2003 und auch die letzten fünf Sommer. Wir haben also bereits einige Sommer erlebt, welche einen Vorgeschmack auf die üblichen Sommer in der nahen Zukunft geben können, wobei 2016 eher als kühler Sommer und 2015 eher als warmer Sommer in der nahen Zukunft gelten wird. Die Einflussmöglichkeiten auf Entwicklungen bis zur nahen Zukunft sind bereits relativ eingeschränkt. Wie Abb. 19 zeigt, sind im Klimaschutzszenario RCP4.5 die Zunahmen der Sommertemperatur nur geringfügig kleiner. Für die ferne Zukunft jedoch werden politische Entscheidungen der nächsten Jahre einen großen Unterschied machen. Für das ungünstigste Szenario (hellroter Bereich) haben wir bisher ein Ereignis bereits erlebt (Jahr 2003), das Einblick in die zukünftigen Sommer am Ende des Jahrhunderts in Augsburg gibt.

Der Jahrhundert-Sommer 2003 wird unter RCP8.5 am Ende des Jahrhunderts sogar als ein relativ kühler Sommer empfunden werden.

4.3.2. Niederschlagsbezogene Indikatoren

Jahres- und Saisonniederschlagssummen

Die jährlichen und saisonalen Werte wurden auch für die Niederschläge betrachtet. In Abb. 20 ist die Zeitreihe der **Jahresniederschläge** dargestellt.

Im Referenzzeitraum regnete es etwa 840 mm und die Niederschläge blieben im Beobachtungszeitraum im Durchschnitt in dem Zeitraum 1951 bis 2019 **nahezu unverändert**. Es gibt praktisch keinen langzeitlichen linearen Trend nach oben oder unten, aber in Abb. 20 ist eine **starke Variabilität in diesem Zeitraum** zu erkennen. D.h., dass es recht große Schwankungen gab: Niederschlagsreiche Perioden, die über mehrere Jahre gehen können, wechseln sich mit ebenfalls teils mehrjährigen niederschlagsarme Perioden ab.

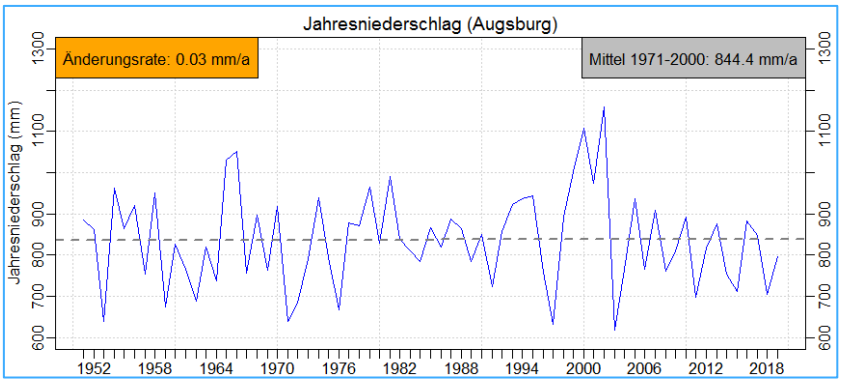


Abb. 20: Jahresniederschlagssummen in Augsburg (1951 - 2019). Eigene Darstellung auf Basis vonDWD-Daten.

Stärkere, jedoch nicht statistisch aussagekräftige, Änderungen lassen sich in den *Jahreszeiten* finden. So zeigen die **Sommermonate** im Zeitraum 1951 bis 2019 eine abnehmende Tendenz von etwa einem halben Millimeter pro Jahr (Abb. 21, oben).

Die **Wintermonate** (1951-2020) zeigen eine leichte Zunahme von etwa 0,2 mm pro Jahr (Abb. 21, unten). Im Frühling liegt die Zunahme leicht darüber und im Herbst leicht darunter.

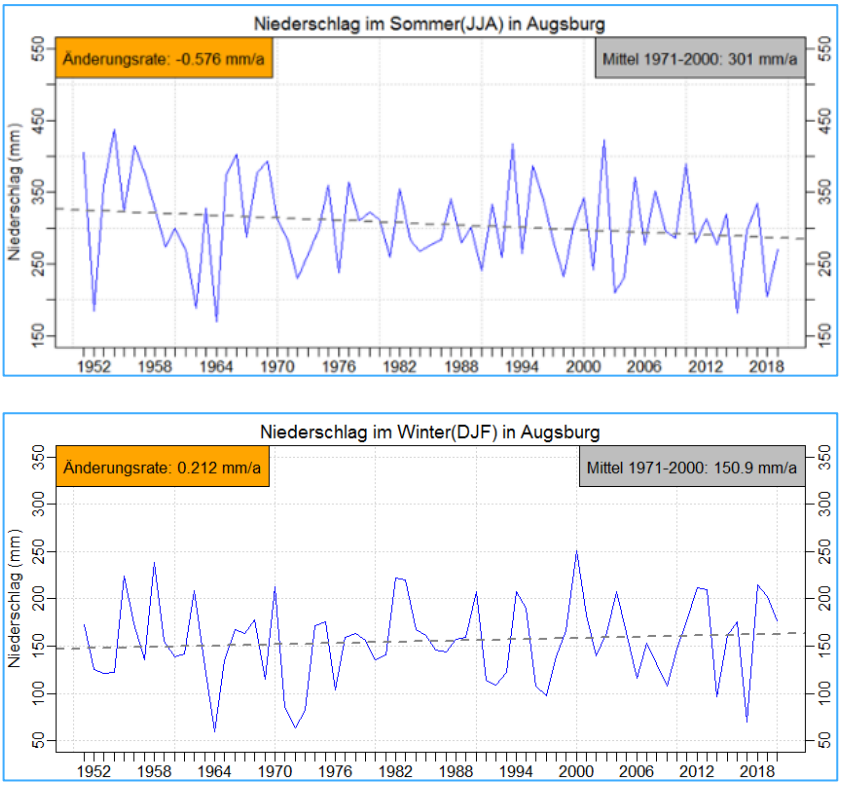


Abb. 21: Niederschlagssummen im Sommer (1951-2019) (oben) und im Winter (1951-2020) (unten) in Augsburg. Eigene Abb. auf Basis von DWD-Daten.

Tab. 5 gibt einen Überblick über die **projizierten Änderungen im Jahres- und Saisonniederschlag**. Zu großen Teilen setzen sich die Entwicklungen der Vergangenheit fort. Die Jahressummen nehmen leicht zu – mit nur geringen Unterschieden zwischen den Szenarien. Zum Ende des Jahrhunderts verstärkt sich diese Zunahme.

Im Frühling und im Winter deutet sich eine weitere Zunahme an – bis zu 30 % zum Ende des Jahrhunderts. Im Herbst sind auch Abnahmen möglich, jedoch weniger wahrscheinlich als Zunahmen. Der Sommer verbleibt in der nahen Zukunft indifferent. In der fernen Zukunft und in RCP8.5 ist von einer Abnahme bis zu 14 % auszugehen

Tab. 5: Projektionen der Jahres- und Saisonsummen des Niederschlages für beide Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 für die nahe und ferne Zukunft in Augsburg. Eigene Auswertung basierend auf CORDEX-Daten.

RCP 4.5	Gesamtjahr	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
2031-2060	0 bis +8 %	+4 bis +10 %	-5 bis +3 %	-5 bis +7 %	+7 bis +16
2071-2100	+4 bis +8 %	+6 bis +11 %	-1 bis +5 %	-1 bis +4 %	+8 bis +25
RCP 8.5	**Gesamtjahr**	**Frühling**	**Sommer**	**Herbst**	**Winter**
2031-2060	+4 bis +7 %	+5 bis +18 %	-5 bis +2 %	-4 bis +13 %	+4 bis +31
2071-2100	+5 bis +11 %	+7 bis +30 %	-7 bis -14 %	-2 bis +18 %	+15 bis +30

4.3.3. Indikatoren für Extremwetter

Für die Analyse der Klimafolgen in Augsburg ist die Entwicklung der Extremwetterereignisse von großer Relevanz. Zu den Extremwetterereignissen gibt es meist verschiedene Methoden der Messung – wir verwenden hier in den meisten Fällen die auch vom DWD verwendeten Kennwerte, welche auf Tagesdaten basieren.

Hitzeereignisse

Zur Einschätzung der Entwicklung von Hitzeperioden werden die jährliche Anzahl von **Heißen Tagen** (auch „Hitzetage“) betrachtet.

Bei diesen handelt es sich um die meteorologische Bezeichnung für Tage, an denen die Tageshöchsttemperatur 30 °C erreicht oder überschreitet. Diese nehmen stark und statistisch zuverlässig zu – mit einer Steigerung von einem weiteren Heißen Tag alle 10 Jahre (Abb. 22). Im Referenzzeitraum betrug die Häufigkeit von Heißen Tagen etwa 5 pro Jahr. Die Jahre 2003 und 2015 zeigen mit 22,4 und 24,4 Tagen mehr als drei Wochen lang eine auffallend hohe Anzahl von Heißen Tagen. Die Jahre 2018 und 2019 liegen mit etwa 13 Heißen Tagen im oberen Mittelfeld.

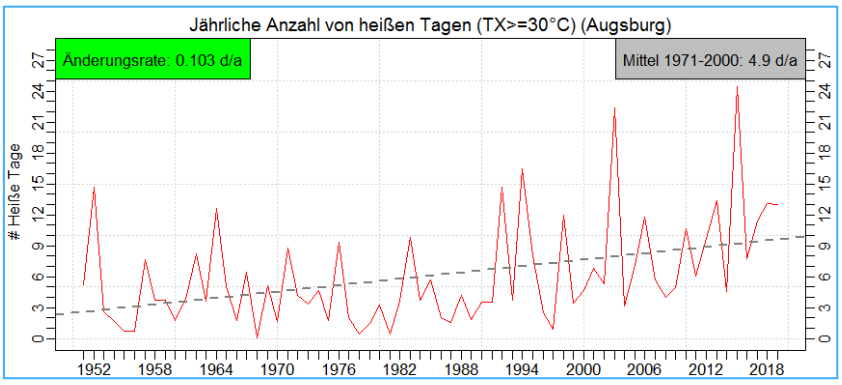


Abb. 22: Jährliche Anzahl von Heißen Tagen (Tageshöchsttemperatur von mindestens 30 °C) in Augsburg. Eigene Abbildung basierend auf DWD-Daten.

Bei den ebenfalls betrachteten **Sommertagen** (Tageshöchsttemperatur von mind. 25 °C) fällt neben dem Jahr 2003 auch das Jahr 2018 mit besonders hohen Werten auf (Abb. 23, Folgeseite, oben). Offensichtlich gab es im Sommer 2015 kürzere, aber intensivere Hitzephasen, und im Sommer 2018 nicht ganz so heiße, jedoch langandauernde Perioden mit hohen Temperaturen.

Die Tageshöchsttemperaturen lagen in Augsburg in 2018 an mehr als 70 Tagen bei über 25 °C. Im Referenzzeitraum traten im Mittel nur etwa halb so viele Sommertage auf. Der Trend ist signifikant und stark positiv – etwa alle vier Jahre kommt ein Sommertag hinzu. Die jährliche Anzahl der **Sonnenstunden** (Abb. 23, unten) bestätigt ebenfalls, dass es im Sommer 2018 relativ lange Schönwetterphasen gab. So war die Sonnenscheindauer eine der höchsten im betrachteten Zeitraum. Im Mittel scheint die Sonne etwa 1650 Stunden im Jahr. Dieser Wert nahm im Zeitraum 1951 bis 2019 um rund eine Stunde pro Jahr zu – jedoch ohne statistische Signifikanz.

In sommerlichen Hitzephasen ist aufgrund des Hochdruckeinflusses mit geringer Bewölkung und damit **erhöhter UV-Strahlung** zu rechnen.

Bei Analyse der Globalstrahlung, welche sich u. a. aus der UV-Strahlung zusammensetzt, wurde in der Vergangenheit (1951-2015) eine Zunahme um ca. 3,5 % festgestellt. Mit +7,4 % war die stärkste Zunahme in Deutschland im Sommer festzustellen (Brienen et al. 2020). Diese Zunahmen sind neben dem Rückgang der Bewölkung durch vermehrten Hochdruckeinfluss (Sanchez-Lorenzo et al. 2017) auch auf eine Abnahme von Aerosolen seit den 1980er Jahren zurückzuführen. Unter dem RCP8.5 Szenario wird aufgrund des temperaturbedingten Anstiegs des Wasserdampfes in der Atmosphäre mit einer Zunahme der Bewölkung und damit einer über das Jahr gemittelten Abnahme der Globalstrahlung gerechnet. Im Sommer und Herbst sind jedoch Zunahmen bis zu 5 % möglich (Brienen et al. 2020).

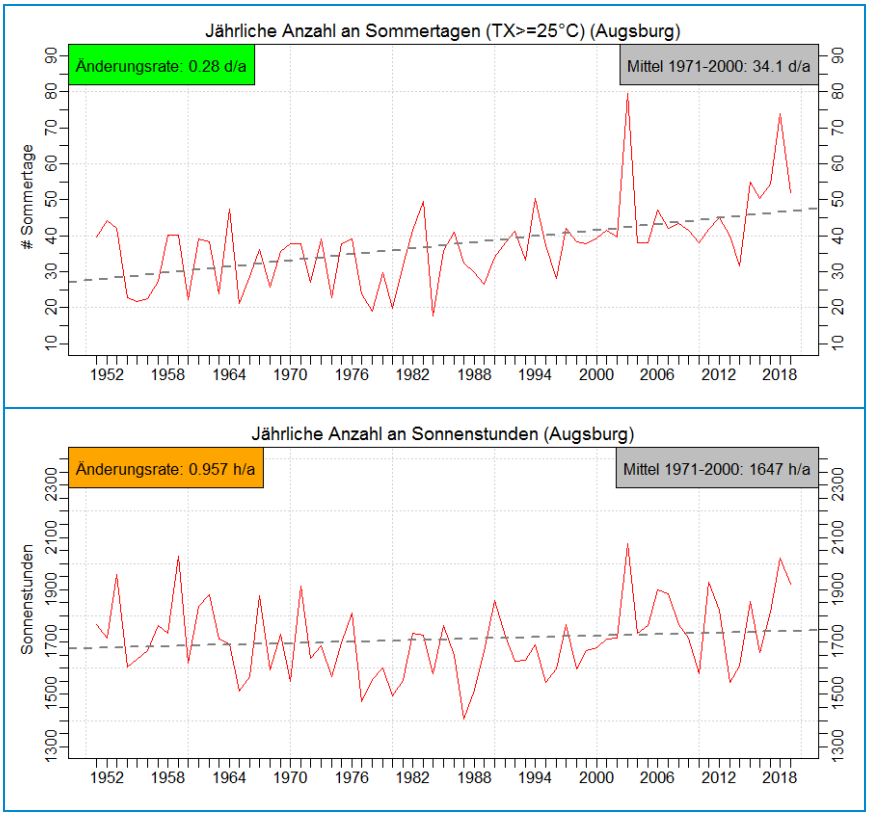


Abb. 23: Jährliche Häufigkeit von Sommertagen (Höchsttemperatur mindestens 25 °C) (oben) und die jährliche Anzahl von Sonnenstunden (unten) in Augsburg in 1951 bis 2019. Eigene Darstellung basierend auf DWD-Daten.

Kälteereignisse

Nicht nur eine steigende Anzahl warmer bis heißer Tage kennzeichnet den fortschreitenden Klimawandel in Augsburg, auch eine **Abnahme von Kälteereignissen** ist zu verzeichnen. So hat beispielsweise die Häufigkeit von Tagen, an denen die Temperatur den Gefrierpunkt nicht überschreitet - sogenannte **Eistage** – im Zeitraum 1951 bis 2019 stark abgenommen (Abb. 24, Folgeseite). Eistage gab es im Referenzzeitraum etwa 27-mal im Jahr – also etwa einen knappen Monat. Der berechnete Trend zeigt jedoch eine signifikante Abnahme um etwa einen Eistag alle sechs Jahre.

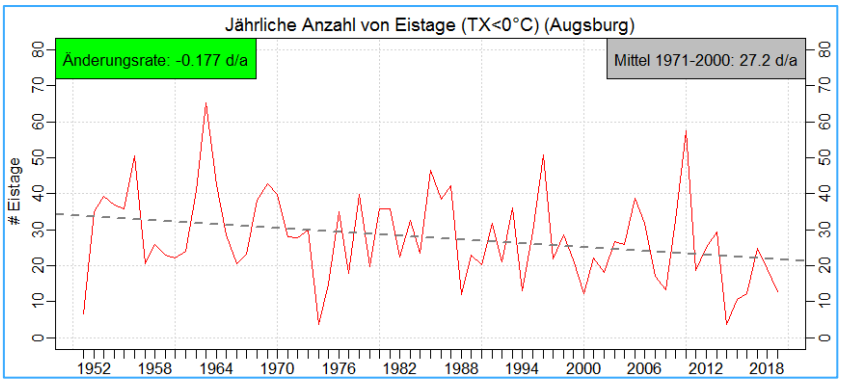


Abb. 24: Jährliche Anzahl von Eistagen (Tageshöchsttemperatur < 0 °C) in Augsburg. Eigene Abb., basierend auf DWD-Daten.

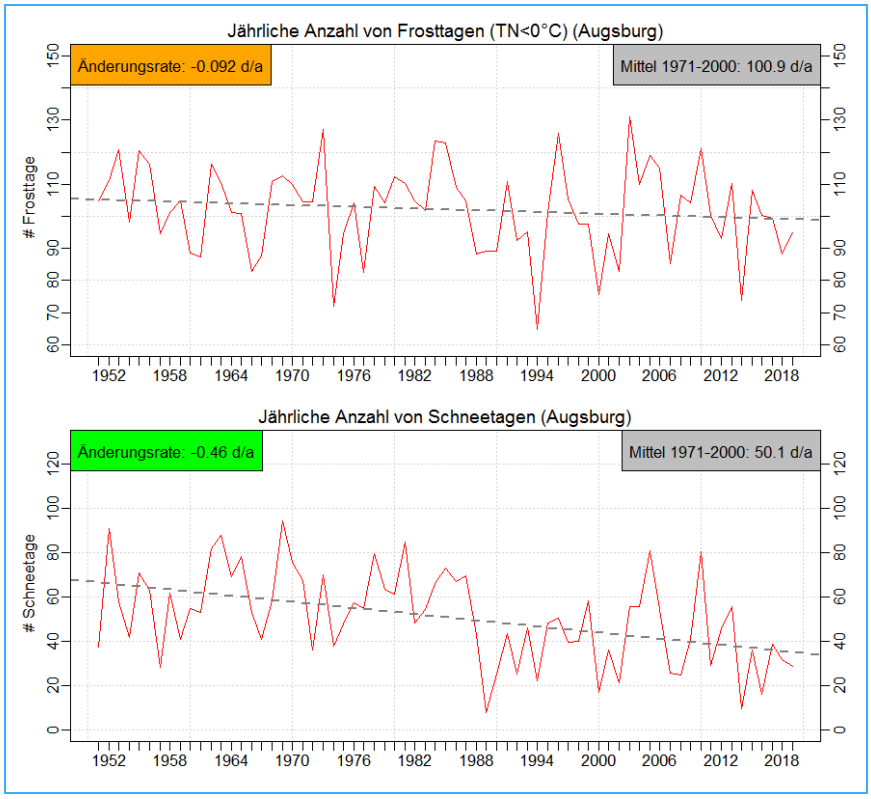


Abb. 25: Jährliche Anzahl von Frosttagen (Tagestiefsttemperatur unter 0 °C) (oben) und jährliche Anzahl an Schneetagen (unten) in Augsburg. Eigene Abb. basierend auf DWD-Daten.

An etwa 100 Tagen im Jahr (im Referenzzeitraum) liegt die Temperatur zumindest einmal am Tag unter 0°C – sogenannte **Frosttage**. Diese Kenngröße verzeichnet eine relativ schwache und auch nicht signifikante Abnahme von rund 0,1 Frosttagen pro Jahr (Abb. 25, oben). **Schneetage** zeigen eine **Abnahme** von einem Schneetag alle zwei Jahre, bei einer Häufigkeit von etwa 50 Tagen mit Schneebedeckung im Referenzzeitraum (Abb. 25, unten).

Der Vergleich mit den Auswertungen in der BayKLAS (2016) bestätigt die Ergebnisse (Tab. 6, Folgeseite). So gab es in Bayern im Zeitraum 1971 bis 2000 durchschnittlich 5 Heiße Tage, 32 Sommertage, 109 Frosttage sowie 30 Eistage. Zusätzlich sind die Minima und Maxima der ➤ Kenntage im Zeitraum 1951 bis 2014 dargestellt. Auch hier zeigt sich eine Übereinstimmung – wie beispielsweise für die Heißen Tage sowie Sommertage im Jahr 2003.

Tab. 6: Mittlere Anzahl klimatologischer Kenntage im Zeitraum 1971 bis 2000 sowie Jahre mit Extremwerten im Zeitraum 1951-2014. Quelle: BayKLAS 2016 (Tab. 1).

Indikator	Bayern 1971-2000	Minimum 1951-2014	Maximum 1951-2014
Heiße Tage ($T_{max} \geq 30°C$)	5	0 (1956)	24 (2003)
Sommertage ($T_{max} \geq$	32	17 (1978)	76 (2003)
Frosttage ($T_{min} < 0°C$)	109	76 (1994)	138 (1973)
Eistage ($T_{max} < 0°C$)	30	9 (2014)	68 (1963)

Starkregen

Neben den temperaturbezogenen Kenntagen wurden auch niederschlagsbasierte Kenntage betrachtet. Diese analysieren die Entwicklung der Intensität des Niederschlags. Zuerst werden dafür **Tagesdaten** zur Häufigkeit von Überschreitungen von Grenzwerten betrachtet. Diese können jedoch nur eingeschränkt für die Analyse von Starkniederschlägen verwendet werden. Es werden daher zusätzlich noch **Stundendaten** der Wetterstation Augsburg analysiert. Die Station ist seit Ende der 70er Jahre am Flughafen Augsburg/ Mühlhausen. Davor lag sie in Kriegshaber.

Grundsätzlich spricht man von Starkregen wenn große Niederschlagsmengen in verhältnismäßig kurzer Zeit fallen. Meist bezieht sich das auf Ereignisse von wenigen Stunden, wie bspw. an den DWD-Warnstufen[9] zu erkennen. Aber auch Dauerregen von vielen Stunden bis einigen Tagen kann sehr intensiv ausfallen und als Starkregen bezeichnet werden. Häufig gehen solche langanhaltenden Niederschläge mit Großwetterlagen wie bspw. der Vb-Wetterlage, aber auch „Trog Mitteleuropa" (TrM) oder „Tief Mitteleuropa" (TM) einher.

Der Klimawandel verändert die Häufigkeiten dieser Wetterlagen. So geht der DWD bei der TM-Wetterlage von einer Zunahme um 20 % in den letzten 70 Jahren aus.

Starkregen kann beispielsweise zu Überlastungen der Entwässerungssysteme oder an Gewässern, insbesondere durch länger andauernde Niederschläge, zu Hochwasser führen. In Augsburg kann zusätzlich die Überlagerung mit der Schneeschmelze zu einer verstärkten Hochwasserbelastung führen – wie bspw. im Jahre 1999 beim Pfingsthochwasser geschehen.

Bei Starkregenereignissen von kurzer Dauer (auch als sogenannte ➤ **Popcorn-Zellen** bezeichnet) handelt es sich häufig um konvektive, kleinräumige Ereignisse (Polak 2019), die relativ plötzlich entstehen und hohe Niederschlagsmengen verursachen können. Während ihrer Entstehung bilden sich emporschießende Quellwolken, welche für die Namensgebung verantwortlich sind.

Die Vorhersage des genauen Orts und des Zeitpunkts des Auftretens sind schwierig. Im ungünstigen Fall kann es bei solchen **Gewitterzellen** dazu kommen, dass sie sich nur mit geringen Zuggeschwindigkeiten bewegen oder gar ortsfest sind. Dies kann zu entsprechen kleinräumigen, aber ausgeprägten Schadensereignissen führen. Das konvektive Ereignis kann mit Starkregen, Hagel und lokalen Böen einhergehen.

[9] Ereignisse von fünf Minuten bis drei Stunden laut Eintrag „Unwetterklimatologie: Starkregen“ im DWD-Wetterlexikon (2021).

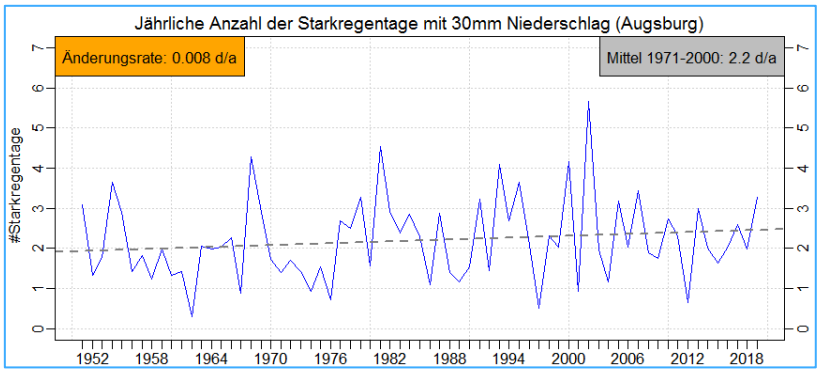


Abb. 26: Jährliche Anzahl von Starkregentagen mit Niederschlagsmengen von mindestens 30 mm in Augsburg von 1951 bis 2019. Eigene Darstellung basierend auf DWD-Daten.

Abb. 26 zeigt die Zeitreihe der jährlichen Häufigkeit von Tagen mit mindestens 30 mm Niederschlag. Solche Ereignisse traten im Referenzzeitraum etwas mehr als 2-mal im Jahr auf. Der Trend ist im Zeitraum 1951 bis 2019 leicht ansteigend (nicht statistisch zuverlässig). Die meisten Ereignisse traten im Jahr 2002 auf. Auch Tage mit mehr als 20 mm bzw. 10 mm zeigen eine geringe, nicht signifikante Zunahme: Die Häufigkeiten sind 6,5-mal (20 mm) bzw. 24,3-mal (10 mm) im Jahr. Von besonderem Interesse ist auch die Betrachtung der **stündlichen Niederschlagsereignisse**. Dafür wurden Stundendaten der Wetterstation Augsburg untersucht, die für die Jahre 1997 bis 2019 vorliegen (Abb. 27). Es wurde die jährliche Anzahl von Ereignissen mit mehr als 5 mm Niederschlag pro Stunde untersucht und kein signifikanter Trend erkannt. Für die monatliche Anzahl an 5 mm-Ereignissen zeigte sich zumindest bei den Monaten Mai und Juni eine leichte, aber ebenfalls nicht signifikante **Zunahme** der Ereignisse (Abb. 28).

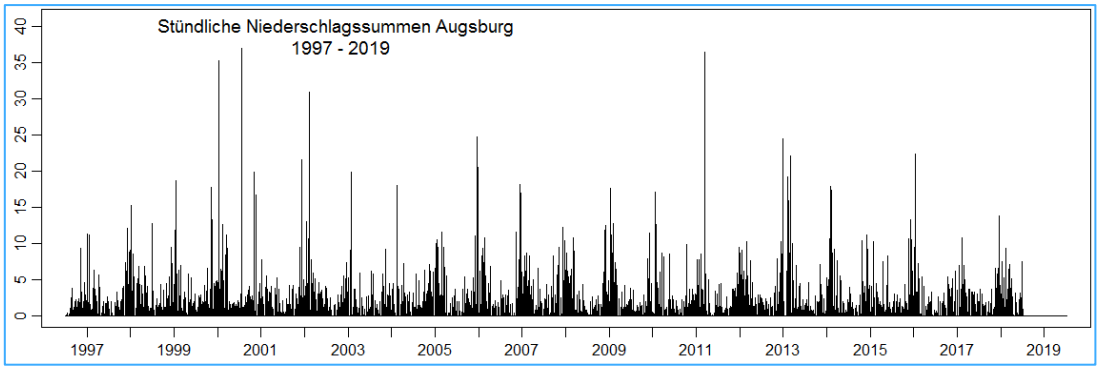


Abb. 27: Stündliche Niederschlagssummen an der DWD-Wetterstation Augsburg von 1997 bis 2019. Eigene Darstellung basierend auf DWD-Daten.

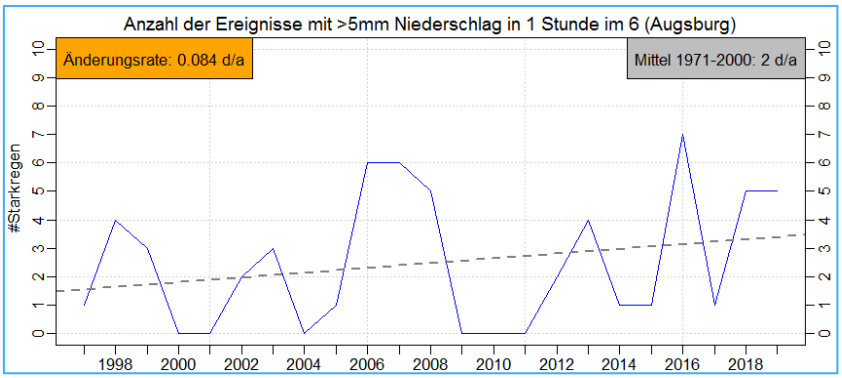


Abb. 28: Zeitreihe der Ereignisse mit mehr als 5 mm Niederschlag in einer Stunde für die Station Augsburg in den Jahren 1997 bis 2019. Eigene Darstellung basierend auf DWD-Daten.

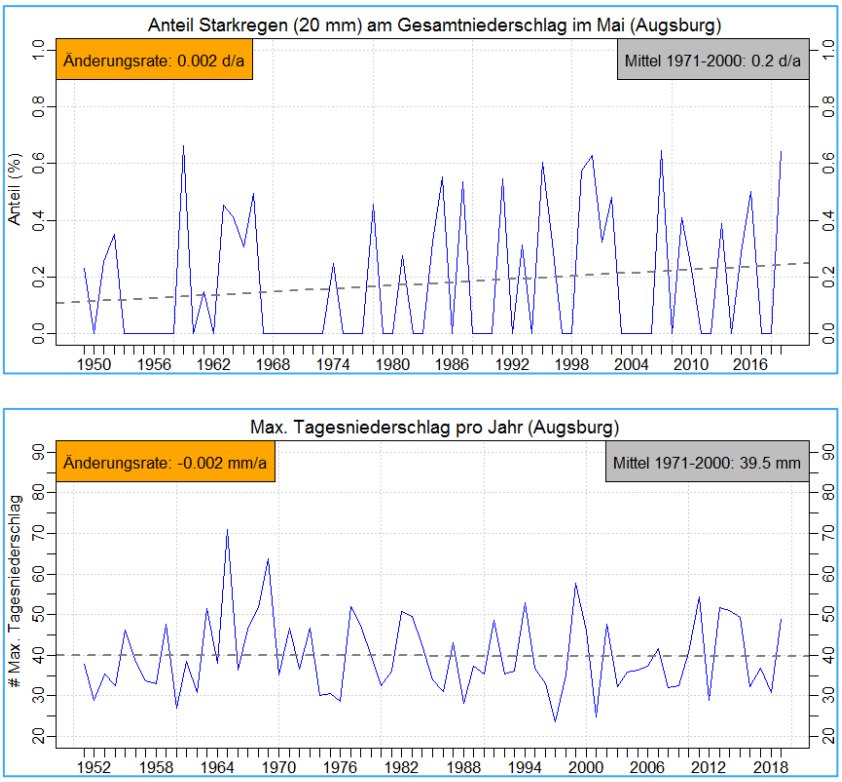


Abb. 29: Anteil des Starkregens am Gesamtniederschlag für den Monat Mai (1951-2019) (oben) und der höchsten Tagesniederschläge pro Jahr (1951-2019) (unten) für die Station Augsburg. Eigene Darstellung basierend auf DWD-Daten.

Es wurden auch die Tagesdaten der Station Augsburg auf die Entwicklung von Starkregenereignissen hin untersucht (Abb. 29: oben). Hierfür wurde monatsweise der Anteil des Niederschlags betrachtet, welcher in Form von Starkniederschlag mit über 20 mm pro Tag fällt. Für einzelne Monate wie z.B. Mai, August oder September konnten leichte, nicht signifikante **Anstiege** festgestellt werden.

Abb. 29 (unten) zeigt die **maximalen Tagesniederschläge** pro Jahr (1-tägige Niederschlagsmaxima). Diese zeigen keinen Trend im Zeitraum 1951 bis 2019. - Doch wie entwickeln sich diese Kennwerte für Extremwetterereignisse in der Zukunft weiter? Tab. 7 stellt die Projektionen für das Hitzeereignis **Heißer Tag**, das Kälteereignis **Eistag** und einen **Starkregen** von 20 mm pro Tag dar.

Tab. 7: Projizierte Veränderung der drei relevanten Extremwetterereignisse (15. und 85. Perzentil)

Extremwetterereignis	RCP4.5 2031-2060	RCP8.5 2031-2060	RCP4.5 2071-2100	RCP8.5 2071-2100
Hitzeereignisse/ Heiße Tage (Tmax ≥ 30°C)	+98 bis +168 %	+129 bis +213 %	+133 bis 193 %	+413 bis +647 %
Kälteereignisse/ Eistage (Tmax < 0°C)	-26 bis -41 %	-34 bis -61 %	-43 bis -57 %	-73 bis -86 %
Starkregen (> 20 mm/ Tag)	+3 bis +30 %	+11 bis +25 %	+12 bis +31 %	+26 bis +53 %

Basierend auf den oben dargestellten Häufigkeiten der Extremwetterereignisse im Referenzzeitraum würden unter dem Weiter-wie-bisher-Pfad aus fünf Heißen Tagen zum Ende des Jahrhunderts 36 **Heiße Tage** werden (das entspricht etwa einer Versiebenfachung). Zum Vergleich: Das *bisher häufigste Auftreten* waren etwa 25 Heiße Tage im Sommer 2015. Die genannten 36 Heißen Tage beschreiben jedoch den *Mittelwert* für *alle* Jahre in 1971 bis 2100.

Die 27 **Eistage** im Referenzzeitraum verringern sich im RCP8.5 Szenario auf im Mittel 5 Tage in 2071 bis 2100 und würden zu einem sehr seltenen Ereignis werden.

Die Häufigkeit von **Starkregentagen** mit 20 mm würde sich von 6,5 auf 9 Tage pro Jahr erhöhen, was einer Zunahme um ein gutes Drittel entspricht.

Die größere Schwankungsbreite der Projektionen der Modelle (Abweichung zwischen 15. und 85. Perzentil in Tab. 7) macht deutlich, dass zwischen den Modellen größere Uneinigkeit besteht und daher auf eine größere Unsicherheit geschlossen werden muss. Dies gilt insbesondere für die hydrometeorologischen Extremereignisse.

4.3.4. Weitere Indikatoren

Trockenheitsindex

Eine Größe, welche Niederschlags- und Temperaturdaten kombiniert, ist der **Trockenheitsindex**. Dieser gibt das Verhältnis von Niederschlag zu Temperatur an, um auch die Verdunstung als Einflussfaktor in Trockenphasen einzubeziehen.

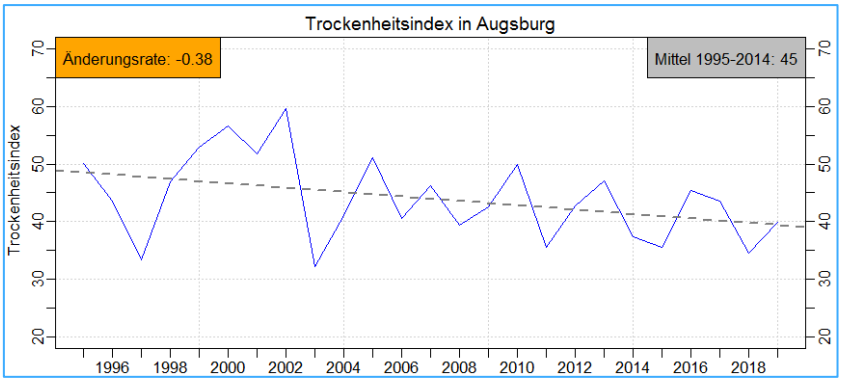


Abb. 30: Darstellung des Trockenheitsindex nach *de Martonne* für Augsburg in 1995 bis 2019. Eigene Darstellung basierend auf DWD-Daten.

Der Trockenheitsindex nach *de Martonne* bestimmt das Verhältnis mit N/(T+10) (N = Jahresniederschlag in mm; T = Jahresmitteltemperatur in °C). Es gilt: Umso niedriger der Trockenheitsindex, desto trockener ist es in der Region. In Abb. 30 ist der Index für den Zeitraum 1995 bis 2019 dargestellt.

Die Entwicklung über diesen Zeitraum ist mit einer Rate von -0,38 (nicht signifikant) abnehmend. Der Mittelwert in der 20-Jahresperiode 1995 - 2014 betrug 45 (LK Bamberg: 42). Aufgrund der steigenden Temperatur und der potentiell abnehmenden Sommerniederschläge, insbes. in den Sommermonaten, ist mit häufigeren Trockenphasen in Zukunft zu rechnen.

Windgeschehen

Beim Witterungsereignis „Starkwind“ sollte nach der räumlichen Ausdehnung des Ereignisses unterschieden werden, z.B. zwischen Starkwinden aufgrund von großflächigen Stürmen im Einflussgebiet von starken Tiefdruckgebieten einerseits und Sturmböen im Zuge von kleinräumigen konvektiven Gewitterereignissen andererseits.

Für die Station Augsburg wurde zum einen die **mittlere Windgeschwindigkeit** für die Jahre 1970 bis 2019 (Abb. 31, Folgeseite) und die Häufigkeit von **Tagen mit Windböen über 9 Beaufort** [Bft] (Abb. 32, Folgeseite) ausgewertet.

Für die **mittlere Windgeschwindigkeit** zeigt sich ein leichter signifikanter **Anstieg** von 0,003 m/s bei einem Referenzmittel von 2,8 m/s an der Augsburger Wetterstation.

Im Gegensatz dazu zeigen die Anzahl der Tage mit 9 Bft, was einer Windgeschwindigkeit von mehr als 21,1 m/s entspricht und einen **Sturm** definiert, eine signifikante **Abnahme** von -0,108 d/a bei einem Referenzwert von 8,5 Sturmtagen im Jahr.

Die Interpretation der Daten sollte unter Vorbehalt vorgenommen werden, da das Erscheinungsbild der Zeitreihe auf eine Änderung an der Messstation hindeutet. Hier kommen verschiedene Ursachen in Frage – beispielsweise ein neuer Standort oder eine Veränderunge an den Instrumenten (Siehe https://cdc.dwd.de/rest/metadata/station/html/812300255207).

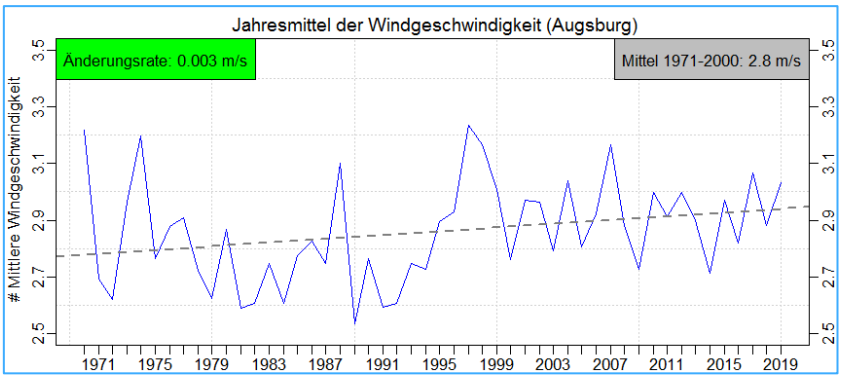


Abb. 31: Jahresmittel der Windgeschwindigkeit an der Wetterstation Augsburg. Eigene Darstellung (Daten: DWD).

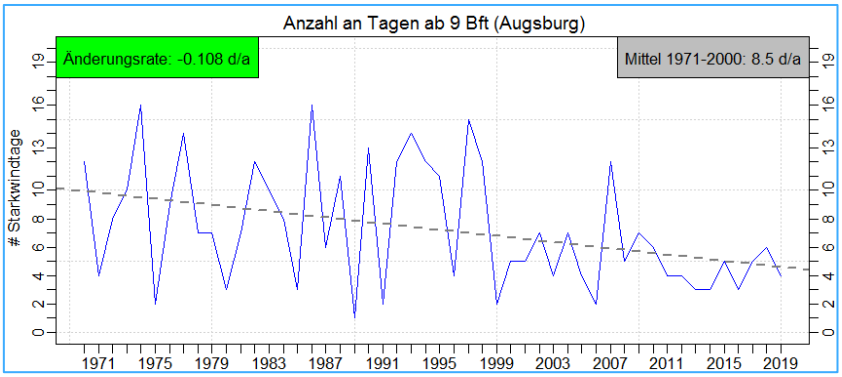


Abb. 32: Jährliche Anzahl an Tagen mit Windspitzen über 9 Bft (ab 21,1 m/s) an der Station Augsburg Eigene Darstellung (Daten: DWD).

Der Klima-Report Bayern (StMUV 2015) stellt eine vergleichbare Entwicklung bei der Analyse eines hochaufgelösten Datensatzes monatlicher Windgeschwindigkeiten in Deutschland fest. So liegt dort für den Zeitraum 1961 bis 2001 ein fallender Trend von -0,05 m/s vor – für diesen Zeitraum lässt sich ein ähnlicher Trend wie in Abb. 31 vermuten. Für den Zeitraum 1981 bis 2001 kehrt sich der Trend zu +0,3 m/s um. - Das Umweltbundesamt analysierte 17 Kombinationen globaler und regionaler Klimamodelle auf Basis des SRES-Szenarios A1B. Die Aussagen der Modelle sind uneinheitlich. Die Aussagen für die Windspitzen schwanken zwischen Zu- und Abnahme, was auf **größere Unsicherheiten** hin deutet. Auch der DWD sieht für die **Zahl der Sturmtage** im deutschen Binnenland in den letzten 30 Jahre eher eine Abnahme (DWD 2020). Brasseur et al. (2017) weist darauf hin, dass die Einschätzungen zur Entwicklung des Windes in Deutschland teilweise stark auseinander gehen. Sie führen dies auf unterschiedliche Methoden und eine eingeschränkte Datenlage zurück.

In Bezug auf **Zyklone, also großflächige Sturmereignisse**, lässt sich keine klare Aussage über vergangene Trends treffen. In Bezug auf zukünftige Trends für das großräumige Windgeschehen sind die Aussagen lt. Brasseur et al. (2017) unsicher und es werden nur geringe Änderungen im Vergleich zum heutigen Klima in Deutschland erwartet. Aber die Klimaforschung beschäftigt sich zur Zeit intensiv mit der Frage, wie sich der Klimawandel auf die **Häufigkeit und Stärke von Gewittern oder konvektiven Ereignissen** und deren Begleiterscheinungen wie Fallwinde (**Down-Burst**), **Starkregen, Blitze oder Hagel** auswirkt. Das *Climate Service Center* (CSC 2012) gibt in einer Metastudie zu Extremwetterereignissen an, dass die Anzahl an Tornados sich zwischen 1998 und 2003 verglichen mit dem Zeitraum 1950 bis 2003 von im Mittel 9 auf 26 erhöht hat. Sie führen dies auf veränderte Häufigkeiten von Tornado-begünstigenden Wetterlagen zurück.

Auch der DWD beschreibt eine zunehmende Anzahl von beobachteten **Tornados** – 7 pro Jahr in 1986 bis 1995, 80 pro Jahr in 1996 bis 2005 und 200 bis 250 pro Jahr in 2006 bis 2019. Diese Entwicklung ist zum großen Teil auf die stark zunehmende Verbreitung von Geräten mit Foto- und Videofunktion zurückzuführen. Aus den Beobachtungsdaten lässt sich laut DWD noch kein Schluss auf eine klimawandelbedingte Veränderung ziehen (DWD 2020).

Pucik et al. (2017) konnten bei der Analyse von 14 regionalen Klimamodellen unter Verwendung der Szenarien RCP8.5 und RCP4.5 eine deutliche Zunahme

der für starke konvektive Stürme günstigen Witterungsbedingungen in Mitteleuropa feststellen. Rädler et al. (2019) gehen ebenfalls davon aus, dass konvektive Wetterereignisse, inklusive Blitz, Hagel und starken Böen, über Europa zunehmen werden.

Sie verwenden ebenfalls 14 regionale Klimamodelle und die Szenarien RCP8.5 und RCP4.5. Aufgrund der komplexen meteorologischen Bedingungen bei solchen Witterungsereignissen, verbleiben große **Unsicherheiten** bzgl. der Entwicklung im Klimawandel. In der Zusammenfassung in 4.4 wurden die Einschätzungen zur Entwicklung von gewitterbedingten Böen oder Tornados an die Häufigkeitsentwicklung von Starkregenereignissen gekoppelt.

4.4. Klima wie auf dem Westbalkan? Das Augsburger Klimaanalogon

Es stellt sich die Frage, wie die ermittelten Veränderungen der Klimaparameter – insbes. die Temperatur- und Niederschlagsänderungen - greifbarer dargestellt werden könnten. Klimaanpassung ist wie Klimaschutz eine Gemeinschaftsaufgabe, aber viele Betroffene (einschl. der Entscheidenden in Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft) können nur schwer eine Vorstellung darüber entwickeln, was z.B. die Angabe „Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 3° C bis zum Ende des Jahrhunderts“ tatsächlich bedeutet.

Vor diesem Hintergrund bieten sich die sogen. **Klimaanaloge** als eine mögliche und gleichzeitig sehr plausible Darstellungsweise an. Klimaanaloge wurden von Hallegatte et al. (2007) verwendet und erfahren seitdem immer breitere Anwendung und Weiterentwicklung. Die Kernidee besteht darin, einen Ort in Europa zu finden, welcher heute schon das für Augsburg zum Ende des Jahrhunderts projizierte Klima aufweist. Hallegatte et al. (2007) führten eine Ermittlung von Klimaanlogen auf der Grundlage zweier Klimamodelle für verschiedene europäische Städte durch; dabei wurden die monatlichen Werte von Temperatur und Niederschlag als Vergleichskriterien verwendetet.

Im Kontext der klimatologischen Untersuchung für Augsburg wurde diese Untersuchung nun auf der Basis eines deutlich größeren Modellensembles durchgeführt. Es wurden ebenfalls die Monatswerte für Temperatur und Niederschlag für das Szenario RCP8.5 zum Ende des Jahrhunderts betrachtet. Diese Werte wurden dann mit dem gegenwärtigen Klima in Europa verglichen. Dafür wurden WorldClim-Daten mit einer Auflösung von 10 min verwendet (WorldClim 2015). Abb. 33 (Folgeseite) zeigt einen Ausschnitt aus der Europakarte mit den Regionen, die das zukünftige Augsburger Klima schon heute aufweisen. So ist die Abweichung zum zukünftigen Klima in Augsburg und dem gegenwärtigen Klima im Hinterland von Venedig und auf dem Westbalkan – speziell einer Region zwischen Kroatien und Bosnien – am geringsten (blaue Bereiche).

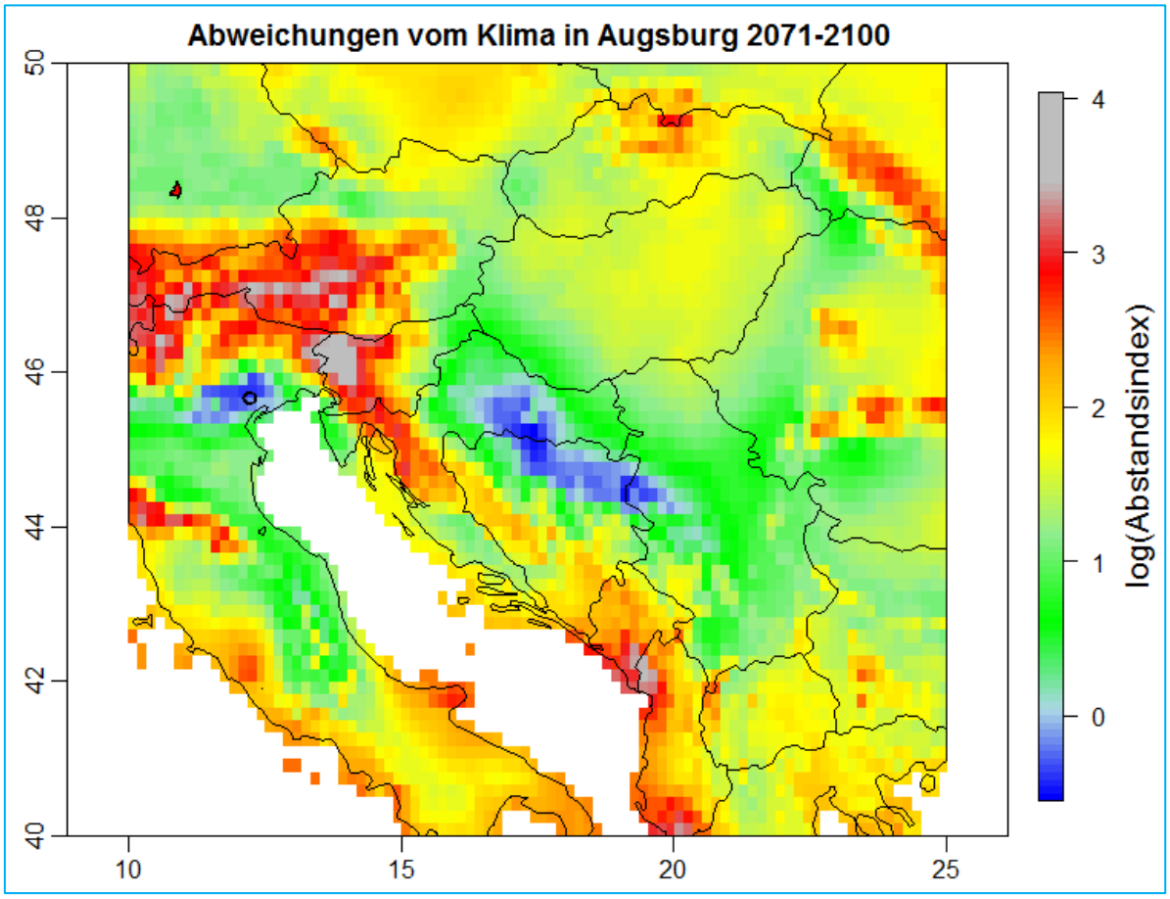


Abb. 33: Darstellung der farbcodierten Abweichung (logarithmiert) zwischen gegenwärtigem Klima in der dargestellten Region und dem zukünftigen Klima in Augsburg (RCP8.5, Ende des Jahrhunderts). Blau – geringe Abweichung; rot, grau – starke Abweichung (Eigene Darstellung basierend auf WorldClim-Daten).

Als mögliches Klimaanalogon käme daher die Stadt Tuzla im Nordosten von Bosnien und Herzegowina in Frage (Abb. 34). Die Industriestadt liegt in einem Seitental der Spreča am Fluss Jala und hat etwa 110.000 Einwohner.

Abb. 34: Blick auf Tusla in Bosnien. Bildnachweis: Wikipedia: Boabo, 2004.[10]

[10] Siehe: Wikimedia Inc. Foundation (URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tuzla_View_of_Tuzla.jpg, abgerufen: 16.6.2020).

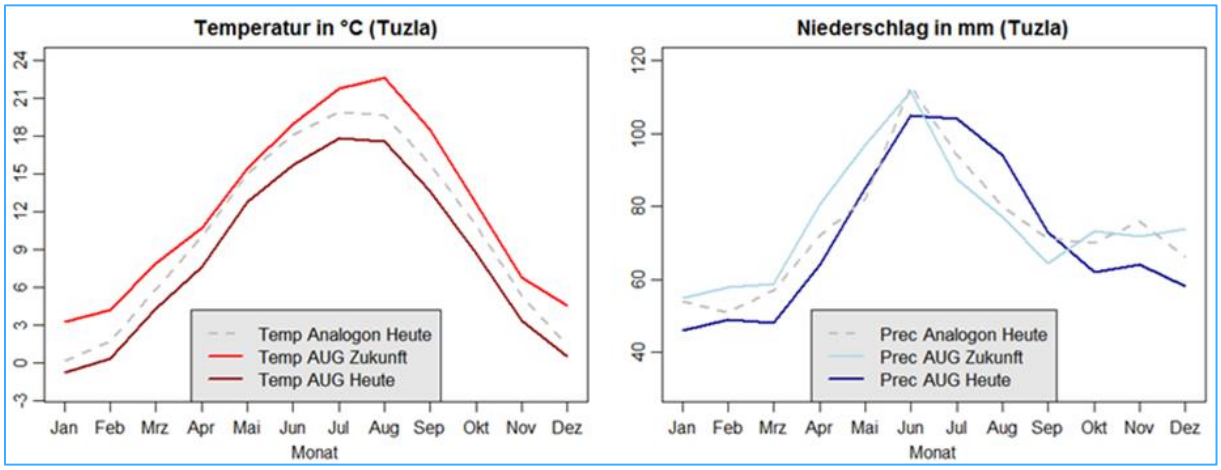


Abb. 35: Monatswerte für Niederschlag und Temperatur für Augsburg in der Gegenwart (1971-2000) (hellrot, hellblau) und in der Zukunft (2071-2100) (dunkelrot, dunkelblau) unter RCP8.5 im Vergleich zu den Werten in Tuzla (gestrichelte Linien). Eigene Darstellung basierend auf WorldClim-Daten.

Diese Auswahl wird bestätigt durch Abb. 35, die die monatlichen Werte für Temperatur und Niederschlag für Augsburg in der Gegenwart (1971 - 2000), der Zukunft unter RCP8.5 (2071 - 2100) im Vergleich zu den Monatswerten in Tuzla darstellt.

Zum einen wird deutlich, wie die Temperatur in Augsburg über alle Monate zunehmen wird und die Temperaturen in Tuzla in den meisten Monaten noch leicht unter denen Augsburgs am Ende des Jahrhunderts liegen. Die Niederschläge verteilen sich in der Zukunft neu übers Jahr. In den meisten Monaten wird eine leichte Zunahme zu verzeichnen sein – lediglich in Juli bis September kommt es zu einer Abnahme. Bis auf kleinere Abweichungen folgt damit auch die Verteilung des Niederschlags in Tuzla dieser zukünftigen Verteilung in Augsburg sehr gut.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass das Analogon lediglich auf Basis des Medians (50. Perzentil), also der mittleren aller Projektionen berechnet werden konnte. Der gesamten Bandbreite der möglichen Entwicklungen innerhalb des RCP8.5-Szenarios wird nicht Rechnung getragen. Obwohl ein solches Klimaanalogon tatsächlich einen groben Eindruck über das zukünftige Augsburger Klima vermitteln kann, da wesentliche Temperatur- und Niederschlagswerte berücksichtigt werden, ist zu beachten, dass nicht alle wichtigen Wettervariablen abgeglichen werden. So bleiben z.B. Extremwetterereignisse wie Hitzewellen/ Hitzephasen, Starkregenereignisse unberücksichtigt.

Nichtsdestotrotz erfüllt bereits diese Analyse eine wichtige Funktion: Sie trägt dazu bei, sich einen in der Zukunft liegenden Zustand heute zu vergegenwärtigen.

Vergegenwärtigt man sich die klimatischen Bedingungen, wie sie in Süd-Ost-Europa herrschen, so wird deutlich: Die Anpassung Augsburgs an den Klimawandel wird zukünftig in vielen Bereichen große Anstrengungen notwendig machen. Sicher ist auch, dass damit Veränderungen in vielen Lebensbereichen einhergehen werden.

Damit Augsburg diesen Veränderungen nicht plötzlich und unerwartet, sondern bestmöglich vorbereitet entgegentreten kann, ist eine gute Anpassungspolitik notwendig.

4.5. Zusammenfassung

Tab. 8 (Folgeseite) fasst die in den vorherigen Kapiteln abgeleiteten Klimaänderungen für Augsburg in einer schematischen Übersicht zusammen.

Im Einzelnen werden hier die Änderungen der betrachteten Klimavariablen

- für die Vergangenheit,
- die nahe Zukunft (2031-2060) und
- die ferne Zukunft (2071-2100)

dargestellt. Dabei werden für die beiden Zukünfte jeweils die aus der Analyse bekannten zwei Klimawandel-Szenarien (ein mittleres (RCP4.5) und ein höheres (RCP8.5)) unterschieden.

Tab. 8: Zusammenfassende Übersicht der Klimaveränderungen in Augsburg in Vergangenheit und Zukunft, qualitative Darstellung. Quelle: Eigene Darstellung.

		Änderung...				
		...in der-Vergan-genheit	... in der nahen Zukunft (2031-2060)		... in der fernen Zukunft (2071-2100)	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
TEMPERATUR	JAHRESMITTELTEMPERATUR	↗	↗	↗↗	↗↗	↗↗↗
	TEMPERATUR - SOMMER	↗	↗	↗↗	↗↗	↗↗↗
	TEMPERATUR - WINTER	↗	↗	↗↗	↗↗	↗↗↗
	HITZETAGE	↗↗	↗↗	↗↗	↗↗	↗↗↗
	KÄLTEEREIGNISSE	↘	↘	↘↘	↘↘	↘↘↘
NIEDERSCHLÄGE	JAHRESNIEDERSCHLAG	→	↗	↗	→	↗
	NIEDERSCHLAG - FRÜHLING	→	↗	↗	↗	↗↗
	NIEDERSCHLAG - SOMMER	→	→	→	→	↘
	NIEDERSCHLAG - HERBST	→	→	→	↗	↗
	NIEDERSCHLAG - WINTER	→	↗	↗↗	↗↗	↗↗
	STARKREGEN	→	↗	↗	↗	↗↗
	TROCKENPHASEN	↗	↗	↗	↗	↗↗
WIND	STÜRME (GRÖßRÄUMIGE)	→	→	→	→	→
	BÖEN (GEWITTER)	→	↗	↗	↗	↗↗

In Tab. 8 ist eine qualitative Darstellungsform gewählt: Dabei werden für alle betrachtete Klimasignale Änderungsrichtungen und die Stärke der Änderungen (im Vergleich zu dem, was wir in der Vergangenheit erlebt haben) durch Pfeilsymbole angegeben.

Es bedeutet: Pfeil nach oben (↗) = Anstieg, waagerechter Pfeil (→) = keine Veränderung; Pfeil nach unten (↘) = Rückgang. Es bedeuten: ein Pfeil = leichte Veränderung, zwei Pfeile = starke Veränderung, drei Pfeile = sehr starke Veränderung.

5. Verwundbarkeitsanalyse

Die Analyse in Kapitel 4 hat gezeigt, dass sich der Klimawandel bereits in der Stadt bemerkbar macht und dass für die Zukunft eine weitere Veränderung verschiedener Klimaindikatoren zu erwarten ist. In Kapitel 5 geht es nun um die Auswirkungen dieser Klimaveränderungen für Augsburg.

5.0. Einleitung

Gegenstand der Verwundbarkeitsanalyse (Fachbegriff: Vulnerabilitätsanalyse) ist die Frage, inwieweit die Stadt für Auswirkungen von Klimaänderungen anfällig ist und inwiefern entsprechende Bewältigungskapazitäten zur Verfügung stehen. Die Verwundbarkeit Augsburgs für die Folgen des Klimawandels ergibt sich aus der Verwundbarkeit der verschiedenen städtischen Teilbereiche bzw. Sektoren, die die Stadt prägen (**Handlungsfelder**). Diese werden wiederum in sogen. **Schutzgüter** („Cluster" in der DAS) gruppiert. Das methodische Vorgehen folgt somit wichtigen Leitstudien wie insbes. der Deutsche Anpassungsstrategie (DAS 2008) und der Bayerische Anpassungsstrategie (BayKLAS 2016), wobei hier die spezifischen Bedingungen der Stadt Augsburg Berücksichtigung finden.

5.0.1. Schutzgüter und Handlungsfelder

Städte sind menschliche Siedlungsräume hoher Dichte bei gleichzeitiger starker funktionaler Differenzierung. Auf nächstem Raum finden sich also nicht nur viele Menschen an einem Wohnort zusammen, sondern auch sehr unterschiedliche soziale Funktionsbereiche, neben dem Wohnen vor allem das Arbeiten, das Einkaufen, die Mobilität, die Kultur, die Bildung etc. Diese Funktionsbereiche haben infrastrukturelle Voraussetzungen (Gebäude, Straßen, Netze der Ver- und Entsorgung, der Kommunikation etc.), die den städtischen Raum prägen. In Städten finden wir schließlich anthropogen teilweise stark überprägte und mehr oder weniger fragmentierte Ökosysteme, wie Wälder, Parks, Wasserläufe, aber auch sehr kleinteilige Strukturen wie etwa Dachgärten oder Straßenbegleitgrün.

Handlungsfelder

Für Augsburg wurden folgende zwölf Handlungsfelder (HF) gewählt, um die örtlichen Gegebenheiten abzudecken (Abb. 36, Folgeseite). Dieser Handlungsfeldzuschnitt gibt insgesamt die funktionalen Bereiche Augsburg und teilweise auch die administrativen Zuständigkeiten bestmöglich wieder. Dabei darf nicht vergessen werden, dass die zwölf Handlungsfelder durchaus miteinander interagieren („Wechselwirkungen") und sie nicht völlig überschneidungsfrei sind. So hängen z.B. Katastrophenschutz und Gesundheit eng zusammen, oder Biodiversität und Stadtgrün. Auch kann eine solche Abgrenzung nicht überschneidungsfrei sein: Manche Elemente oder Subsysteme der Stadt ließen sich mit gleichem Recht zwei verschiedenen Handlungsfeldern zuordnen (z.B. die Kleingärten sowohl dem HF Landwirtschaft als auch dem HF Stadtgrün).

Der Raumbezug der Handlungsfelder ist unterschiedlich stark ausgeprägt. Im Infrastrukturbereich beispielsweise lassen sich Gebäude, Straßen oder Wasserläufe i.d.R. gut räumlich abbilden. Tourismus, Kultur oder Gesundheit dagegen weisen einen unschärferen Raumbezug auf.

Schutzgüter

In einem nächsten Schritt werden die zwölf Augsburger Handlungsfelder in Anlehnung an die DAS (2008) in sogen. **Schutzgüter** (auch Cluster) gruppiert (Abb. 36). In der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS 2008) wird eine Clusterung in die folgenden sechs Schutzgüter vorgenommen: (1.) Bauen und Planen; (2.) Wasser; (3.) Infrastrukturen (Energie, Verkehr); (4.) Land (Biologische Vielfalt inkl. Stadtgrün, ggf. Land- und Forst); (5.) Gesundheit und Katastrophenschutz; (6.) Wirtschaft.

Diese für die deutschlandweiten Gegebenheiten entwickelte DAS-Clusterung wird für die Situation in Augsburg modifiziert:[11]

- Zu (1.) bis (3.): Der Bereich der Planung spielt erst in KASA 2, wo es um Lösungen und Maßnahmen geht, eine größere Rolle. Für Augsburg passender schien es, die Bereiche Gebäude (Teilbereich im DAS-Cluster (1.)) und Wasser (2.) zusammen mit Energie und Verkehr (3.) in einem **KASA-Schutzgut „Infrastruktur"** zu behandeln. Da der Wassersektor in Augsburg primär in seiner anthropogen überprägten Form (Flussbegradigungen, Wasserkraft, Kanalsystem) eine Rolle spielt, gelingt es in diesem KASA-Schutzgut, den infrastrukturellen Unterbau für das gesellschaftliche und wirtschaftliche Leben in Augsburg zu beschreiben.

[11] Die Erläuterung zur Clusterung der Handlungsfelder und zur Reihenfolge der Schutzgüter wird an dieser Stelle ausgeführt, da es sich in beiden Fällen um wichtige Themen im Stakeholder-Dialog handelte.

Abb. 36: Schutzgüter und Handlungsfelder in Augsburg. Quelle: Eigene Darstellung.

- Das DAS-Schutzgut „Gesundheit und Katastrophenschutz“ (5.) knüpft – wie kein anderes Cluster – an die Menschen, die in der Stadt leben, und ihr Wohlergehen an. Es ist für die kommunale Ebene, die im föderalen System am unmittelbarsten in Austausch mit der Bevölkerung steht, ein sinnvoller Zuschnitt und wird für das KASA übernommen. Die Bezeichnung als **KASA-Schutzgut „Mensch“** betont die Bedeutung für den unmittelbaren Schutz der Bevölkerung und grenzt gleichzeitig zu anderen eher materiellen oder ökologischen Systemen ab.
- Um der Urbanität der Großstadt Augsburgs besser Rechnung zu tragen, wurde das DAS-Schutzgut Wirtschaft (6.) in das **KASA-Schutzgut Produktive Stadt** überführt, welches neben der Wirtschaft auch das Handlungsfeld „Tourismus und Kultur“ umfasst.
- Das DAS-Schutzgut Land (4.) wurde mit den Handlungsfeldern Stadtgrün, Biodiversität, Landwirtschaft, Wald und Forstwirtschaft für Augsburg ebenfalls übernommen. Die Bezeichnung **KASA-Schutzgut Natur** greift seine Charakteristik noch deutlicher auf und grenzt das Schutzgut deutlich zu den anderen sozio-technischen Clustern ab.

Im Folgenden werden die Schutzgüter und ihre Handlungsfelder nacheinander erläutert. Von der *Reihenfolge* her gibt es dazu verschiedene Möglichkeiten: Gute Gründe würden dafürsprechen, mit den Schutzgütern Natur oder der Infrastruktur zu beginnen, handelt es sich hierbei doch um die ökologischen und infrastrukturellen Lebens- bzw. Produktionsgrundlagen. Mit Blick auf den großstädtischen Charakter Augsburgs wird hier jedoch eine anthropozentrische, d.h. am Menschen ansetzende Perspektive gewählt. Es werden die Bürgerinnen und Bürger, die in Augsburg leben sowie ihr produktives Schaffen (mithin die Schutzgüter Mensch und Produktive Stadt) vorangestellt. Damit soll keine Wertung der Schutzgüter getroffen werden; es geht vielmehr darum, die Eigenlogik der Stadt bestmöglich zu erfassen.

Schutzgut Mensch

Im Zentrum der Klimaanpassung steht aus unserer Sicht der Mensch. Mit Blick auf das in Rede stehende Problem Klimawandel sind es das Leben, die körperliche Unversehrtheit und das Wohlbefinden der Menschen in Augsburg, die es zu erhalten und möglicherweise zu verbessern gilt. Dabei müssen die Unterschiede in der Verwundbarkeit aufgrund von sozialer, räumlicher und Lebensstil-bedingter Lage beachtet werden, die gerade in einer zunehmend heterogen werdenden Großstadt wie Augsburg auftreten.

Aus der Logik der Handlungsfelder heraus sind dafür die Bereiche des **Katastrophenschutzes** (Feuerwehr, technisches Hilfswerk etc.) sowie der menschlichen **Gesundheit** (Gesundheitssystem, Gesundheitsbildung, Ärzte, Krankenhäuser, Apotheken etc.) relevant.

Schutzgut Produktive Stadt

Eine Stadt ist nicht nur ein Siedlungsraum mit Wohnfunktion, sondern vor allem auch ein Ort der Produktion und der Kreativität. Der Begriff der „produktiven Stadt“ soll diese zentrale Facette von Stadt abbilden.

Alle wirtschaftliche Aktivität im Stadtbereich gehört daher unter dieses Schutzgut, also in erster Linie das Handlungsfeld **Industrie und Gewerbe**.

Je nach städtischer Wirtschaftsstruktur (Sektoren, Unternehmensgrößenklassen etc.) ist die produktive Stadt unterschiedlich ausgeprägt; das gilt nicht allein im Vergleich zwischen Städten, es gilt auch innerhalb der Stadt im Vergleich von Stadtteilen.

Unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten gehören auch die Land- und Forstwirtschaft hierher. Mit Blick auf das spezifische Erkenntnisinteresse der Herausarbeitung sektoraler Verwundbarkeiten und Handlungsoptionen werden diese beiden Handlungsfelder dem Schutzgut Natur zugeschlagen.

Der **Tourismus**, der hier mit der Kultur zusammen betrachtet wird, ist einerseits ein Wirtschaftszweig, andererseits aber auch ein prägender Faktor für das Image einer Stadt.

Auch, ja gerade die **Kultur** einer Stadt ist produktiv oder bringt etwas hervor. Damit ist nicht in erster Linie gemeint, dass auch Kultureinrichtungen wie Theater oder Museen wirtschaftliche Erträge generieren. Vielmehr geht es darum, dass sich im kulturellen Rahmen angesichts der wechselhaften Herausforderungen die Identität einer (Stadt-) Gesellschaft immer wieder neu entwickelt. Kultur ist ein Ort der Kreativität und Wegbereiterin für Neues. Gerade angesichts der Herausforderung „Klimawandel“ zeigt sich eine immer stärkere Präsenz des Kultursektors, die sehr wertvoll sein kann, da es um den kreativen Umgang mit Veränderungen geht.

Schutzgut Infrastruktur

Gesunde Lebensbedingungen und Produktivität hängen in weiten Teilen von einer funktionierenden technisch-infrastrukturellen Grundlage ab. Das Handlungsfeld **Verkehr** umfasst etwa das Straßen-, Schienen- und Wegenetz einer Stadt nebst seiner Nutzung durch den Betrieb von ÖPNV, privater Mobilität etc.

Der städtische Metabolismus setzt eine funktionierende **Energieversorgung** ebenso voraus wie die Ver- und Entsorgungssysteme der **Wasserwirtschaft**. Schließlich leben und arbeiten Menschen in **Gebäuden**, die den flächenmäßig größten Teil der Infrastruktur ausmachen. Hierzu rechnen auch die Gebäude der sog. sozialen Infrastruktur, also z.B. Kitas, Schulen oder Altenheime.

Weitere, hier nicht betrachtete Bestandteile der materiellen Infrastruktur umfassen die Telekommunikation, die Abfallwirtschaft und die Smart City (z.B. Sensoren).

Schutzgut Natur

Auch in einem anthropogen überprägten Raum wie der Großstadt bildet das Naturkapital eine charakteristische Komponente, deren essentielle Bedeutung für die Schutzgüter Gesundheit und Produktive Stadt im Zeichen des Klimawandels noch zunehmen wird. Das Handlungsfeld **Stadtgrün** umfasst die Grün- und Freiflächen der Stadt (Parks, Friedhöfe etc.) sowie das Straßenbegleitgrün.

Die Natur/ der Naturschutz ist weiterhin mit dem Handlungsfeld **Biodiversität** vertreten und fokussiert hier auf die innerstädtischen Schutzgebiete. Auch eine Blumenwiese im Schul- oder privaten Dachgarten fördert die urbane Biodiversität, ohne in einem FFH-Gebiet zu liegen. Gerade im Zeichen des Klimawandels ist es erforderlich (neben dem räumlichen Schwerpunkt der Schutzgebiete) das gesamte Stadtgebiet im Blick zu behalten. Verglichen mit anderen Großstädten in Deutschland sind die Handlungsfelder **Landwirtschaft** sowie **Wald und Forstwirtschaft** in Augsburg aufgrund ihrer hohen Flächenanteile durchaus wichtig.

Die Stadtnatur stellt nicht nur ein schützenswertes Ensemble verwundbarer Handlungsfelder dar, sondern ist auch Lebensgrundlage der Menschen in der Stadt, da sie essentielle Leistungen (wie Atemluft, Trinkwasser), aber auch z.B. die Grundlagen für produktive Tätigkeiten (wie Boden, Ressourcen) bereitstellt. Stadtnatur wird in der Literatur daher auch häufig als **„Naturkapital“** bezeichnet, das durch seinen Bestand und seine funktionalen Beziehungen eine Fülle von ➤ **Ökosystemdienstleistungen** (ÖSD) für die Stadt erbringt. Dieses Kapital wird durch den Klimawandel bedroht und muss geschützt werden.

5.0.2. Begriffe und Methodik der Verwundbarkeitsanalyse

Bei der Untersuchung der Verwundbarkeit in den gewählten zwölf Handlungsfeldern orientieren wir uns an den Begriffen und methodischen Vorgaben, die das Umweltbundesamt im Rahmen seiner Arbeiten zur Vulnerabilitätsanalyse Deutschland erarbeitet hat (UBA 2017b). Gegenstand der Verwundbarkeitsanalyse ist die Frage, inwieweit die Stadt für nachteilige Auswirkungen von Klimaänderungen anfällig ist und inwiefern entsprechende Bewältigungskapazitäten zur Verfügung stehen.

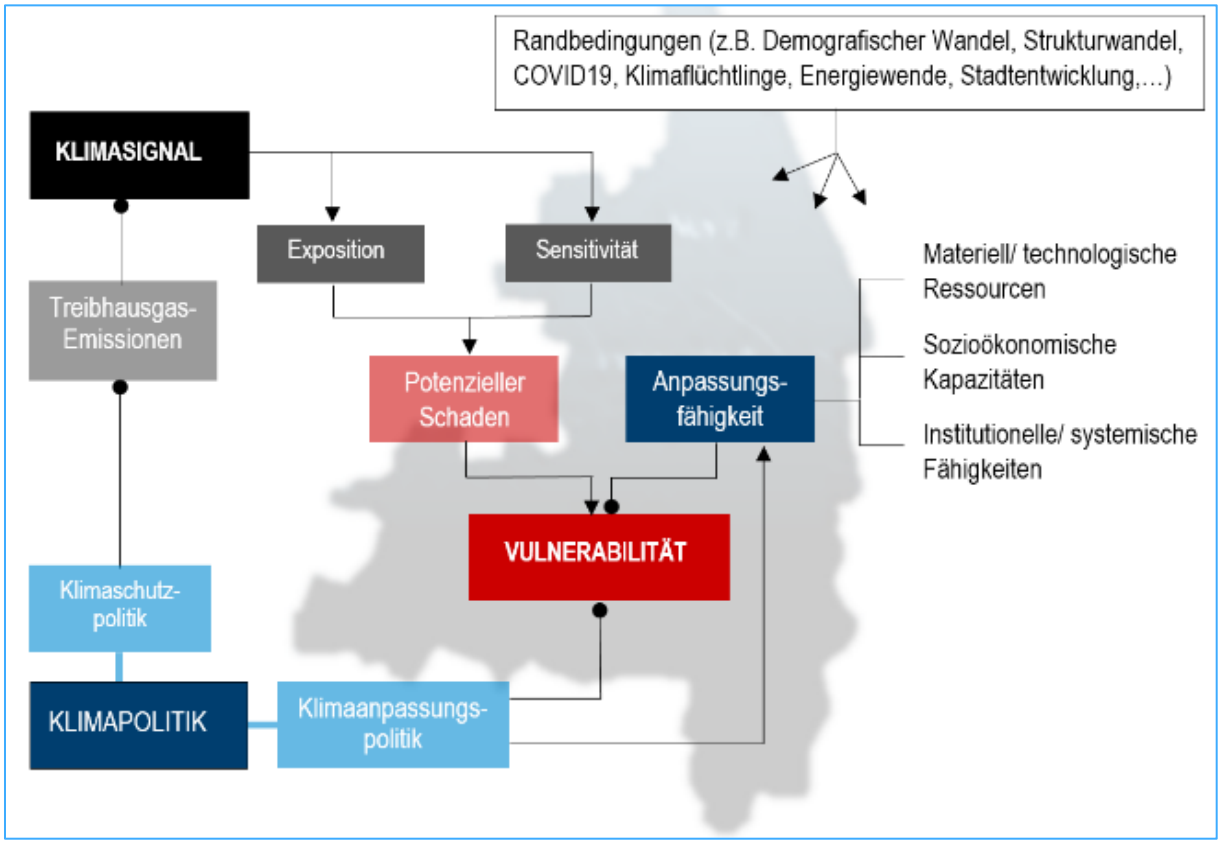


Abb. 37: Determinanten der Verwundbarkeit / Vulnerabilität (dabei: THG = Treibhausgasemissionen; kreisförmige Pfeilspitze = reduzierende Wirkung). Quelle: Eigene Darstellung.

Schlüsselbegriffe der Verwundbarkeitsanalyse

Ausgangspunkt der Verwundbarkeitsanalyse sind die Kenntnis der klimatischen Entwicklung in Augsburg (Kap. 4) und die Identifikation der verwundbaren Teilsysteme im Untersuchungsgebiet (Kapitel 5.0.1).

Zur Ermittlung der **potenziellen Auswirkungen** des Klimawandels wird dann für die verschiedenen Handlungsfelder untersucht, wie sehr sie den festgestellten Klimasignalen ausgesetzt sind (➤ **Exposition**) und wie empfindlich sie für die einzelnen Klimasignale sind (➤ **Sensitivität**) (vgl. im Folgenden Abb. 37).

Indem man das Zusammenwirken der Faktoren Exposition und Sensitivität betrachtet, erhält man zunächst eine Abschätzung der **potenziellen Schäden** (bzw. in Einzelfällen auch Chancen) des Klimawandels im Untersuchungsgebiet.

Ob diese Auswirkungen eintreten, hängt nun entscheidend von der ➤ **Anpassungsfähigkeit** (auch: Anpassungs*kapazität*) des betrachteten Systems ab: Sind in den betrachteten Sektoren angetrieben durch politischen Willen und Eigeninitiative der Bevölkerung genügend Ressourcen, Fähigkeiten und Kapazitäten zur Anpassung vorhanden?

Ist eine ausreichende Anpassungsfähigkeit gegeben, so können negative Folgen des Klimawandels für Augsburg abgewehrt oder mindestens abgeschwächt werden.

Damit wäre die **Verwundbarkeit** entsprechend reduziert und es entsteht bestenfalls kein (bzw. nur geringer) Schaden. Fehlt es an der betrachteten Stelle hingegen an Anpassungskapazität hinsichtlich bestimmter Risiken, ist dieser Bereich den Klimafolgen mehr oder weniger ungeschützt ausgeliefert und es können (hohe) Schäden entstehen.

Die Anpassungskapazität besteht aus 1.) materiellen und technologischen Ressourcen, 2.) sozioökonomischen Kapazitäten und 3.) institutionellen bzw. systemischen Fähigkeiten. Der 4.) politische Wille wird oft als weitere Determinante der Anpassungsfähigkeit genannt. Er ist in diesem Politikfeld besonders wichtig (u.a. da Klimaanpassung keine kommunale Pflichtaufgabe ist). Tatsächlich ist die **Klimaanpassungspolitik** (in Abb. 37) der entscheidende Faktor, um durch die Implementierung geeigneter Anpassungsmaßnahmen die Anpassungskapazität zu erhöhen.

Zweifellos ist auch der andere Pfeiler der Klimapolitik – die **Klimaschutzpolitik** – insofern für Art und Ausmaß der Klimafolgen relevant, da jede Reduktion der Treibhausgasemissionen zu einer Abschwächung des Klimawandels und seiner teils gravierenden Folgen beiträgt.

Verschiedene **Randbedingungen** (→ Kap. 3) können schließlich die Wirkungen an verschiedenen Stellen positiv und negativ beeinflussen.

Anmerkungen zum weiteren Vorgehen

Dieser Methodik folgend wird für jedes der zwölf Augsburger Handlungsfelder eine **Verwundbarkeitsanalyse** durchgeführt (Kap. 5.1. bis 5.12.). Es werden bereits akute Schäden, aber auch zukünftig zu erwartenden Gefahren und Risiken aufgezeigt.

In Einzelfällen lassen sich auch Chancen identifizieren; auch sie werden in den einzelnen Kapiteln benannt.

Zudem wirken die Klimasignale in den Handlungsfeldern teils unmittelbar, teils entfaltet sich ihre Wirkung auch indirekt über mehrere Stufen, d.h. es sind ggf. **(primäre) Auswirkungen und (mehrstufige) Folgewirkungen** zu berücksichtigen. Sie können mitunter in andere Handlungsfelder hineinreichen und sind als **Wechselwirkungen** mit anderen Handlungsfeldern zu berücksichtigen.

Hinsichtlich des **Faktors Zeit** sind bereits eingetretene Schäden von kurzfristig erwartbaren bzw. mittel oder langfristigen Risiken/ Gefahren zu unterscheiden.

Dabei ist - wie immer, wenn Aussagen über die Zukunft zu treffen sind -, mit dem Faktor **Unsicherheit** umzugehen: Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge, aufgrund veränderlicher Rahmenbedingungen und Sensitivitäten und allem voran aufgrund des dynamischen Charakters des Klimawandels unterliegen die zu treffenden Abschätzungen gewissen Unsicherheiten. Die Aussagen erfolgen daher immer auf der Basis des heutigen Sachstandes.

Diese Zusammenhänge werden in den einzelnen Handlungsfeldern im Detail untersucht und – im Sinne eines vereinfachten Gesamtüberblicks – zu Beginn der einzelnen Handlungsfelder in einem **Klimawirkungskette** (auch: Klimawirkungsgeflecht) dargestellt. Dabei handelt es sich um eine schematische Darstellung der wichtigen Zusammenhänge von den Klimasignalen hin zu den Verwundbarkeiten, die ähnlich auch in der Vulnerabilitätsanalyse Deutschlands angewendet wird (Buth et al. 2015, 2017). Da Klimafolgen und ihre Folgewirkungen manchmal über die Grenzen der Handlungsfelder hinauswirken (s.o.), werden darin auch wichtige **Wechselwirkungen** mit anderen Handlungsfeldern angegeben.

Alle identifizierten Verwundbarkeiten verdienen die Aufmerksamkeit der jeweils Verantwortlichen. Gleichwohl werden am Ende jeder der zwölf Handlungsfeldanalysen die wichtigsten Verwundbarkeiten zusammenfassend dargestellt.

Für diese **Priorisierung** ist ausschlaggebend, wie groß der bereits eingetretene oder zukünftig zu erwartendem Schaden ist; auch spielt die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts eine Rolle und es werden schließlich Auswirkungen für andere Handlungsfelder (Wechselwirkungen) - mithin die Bedeutung des Handlungsfeldes für die Stadt - berücksichtigt. In diesen Bewertungsprozess gingen auch die örtlichen Erfahrungen, die im Rahmen der Stakeholder - Beteiligung (Fragebögen, Interviews, Stakeholder-Workshop I) ermittelt wurden, ein.

5.1. Katastrophenschutz

Die **Bewältigung** von Extremwetterereignissen wie Stürmen, Hitzeperioden, Starkregen oder Überschwemmungen und deren Folgen zählt zu einer der wichtigen Aufgaben des Katastrophenschutzes (BBK 2019). Der Katastrophenschutz gewährleistet die Sicherheit und Versorgung der Bevölkerung, schützt Sachwerte und kritische Infrastrukturen und trägt zur Aufrechterhaltung der Grundversorgung und der staatlichen Ordnung bei.

Abb. 38: Das internationale Symbol für den Zivil- und Katastrophenschutz. Quelle: Gemeinfreie Abbildung.

Dem Katastrophenschutz kommt zudem eine hohe Bedeutung in der **Schadensprävention** zu, d. h. er unterstützt die Resilienz anderer Handlungsfelder (Gesundheit, Wasser, Energie, Industrie/ Gewerbe usw.) gegenüber dem Klimawandel. Aufgrund dieser vielfältigen engen Wechselwirkungen ordnet die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) den Bevölkerungs- und Katastrophenschutz als **Querschnittsaufgabe** ein. Auch die Vorstudie 2017 behandelt Katastrophenschutz als Querschnittsthema, ohne es selbst als klimawandelsensiblen städtischen Bereich bzw. Themenfeld für Augsburg hervorzuheben.

5.1.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Der Katastrophenschutz ist eine staatliche und kommunale Aufgabe. Im Katastrophenfall nimmt die örtlich zuständige Katastrophenschutzbehörde die Gesamt-Einsatzleitung wahr. Für Augsburg ist dies das **Amt für Brand- und Katastrophenschutz** (ABuK). Während in anderen Handlungsfeldern die Kommune in der Klimaanpassung oft über nur beschränkte Gestaltungsmöglichkeiten verfügt, sind diese im Handlungsfeld Katastrophenschutz durch die direkte Zuständigkeit gut gegeben. Das ABuK erstellt in Vorbereitung auf Schadensereignisse für verschiedenste Szenarien Notfallpläne.

Der Jahresbericht 2018 der Feuerwehr (ABuK 2018) thematisiert **vorbeugende Maßnahmenplanungen** und Überwachungen gegenüber einer Hitze-Lage, Wassermangel oder eines Eisstaus in Kanälen/ Gewässern. Planungen für Extremwetterereignisse sind somit bereits Bestandteil der Gefahrenabwehr. Auslöser dafür waren die extremen Witterungsbedingungen im Jahresgang (die nicht näher benannt werden). Das zeigt: Der Klimawandel und Extremwetterereignisse bringen bereits heute **neue Herausforderungen und Bedrohungsszenarien** für den Katastrophenschutz mit sich, für die Schutzkonzepte auszuarbeiten sind.

Abb. 39: Logo der Freiwilligen Feuerwehr Augsburg. Quelle: FFW Oberhausen 2020.

Wichtiges Instrument für die Planung ist der **Feuerwehrbedarfsplan**. Er stellt die Leistungsfähigkeit der Feuerwehren sowie die Risiken und Gefahrenpotentiale in der Stadt Augsburg dar, schafft einen Rahmen zur Steuerung durch das ABuK und ist Entscheidungsgrundlage für politische Verantwortungsträger.

Hilfeersuchen bzw. Notrufe der Bevölkerung, etwa aufgrund von unwetterbedingten Schadensfällen und Personengefährdungen, werden von der **Integrierten Leitstelle (ILS) Augsburg** entgegengenommen. Sie alarmiert die Feuerwehr sowie die Rettungsdienste und koordiniert die Einsätze. Steigen durch Extremwetter die Notrufe und die zu disponierenden Einsätze an, so bedeutet dies einen höheren Personaleinsatz. Die ILS Augsburg koordiniert außerdem die Rettungs- und Hilfseinsätze in den Landkreisen Augsburg-Land, Aichach-Friedberg, Dillingen und Donau-Ries. Dies ist bei lokalen Extremwetterereignissen (Starkregen, Gewitter) vorteilhaft, da dann flexibel andere Feuerwehren herbeigerufen werden können und so die Belastung auf die zur Verfügung stehenden Kräfte verteilt werden kann.

Die Augsburger Feuerwehr besteht aus der **Berufsfeuerwehr** mit zwei ständig besetzten Wachen und acht **Freiwilligen Feuerwehren**. Die Berufsfeuerwehr der ist mit rund 280 Mitarbeitenden die drittgrößte in ganz Bayern. Die Freiwillige Feuerwehr zählt mehr als 500 aktive Mitglieder. Zusammen bewältigen sie jährlich ca. 6.000 Einsätze. Die **Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)** ist in Augsburg mit einem Ortsverband vertreten – dem zweitältesten des Bundeslandes Bayern. Das THW unterstützt bei Bedarf und auf Anforderung lokale Behörden, Feuerwehr und Polizei mit technischem Groß- und Spezialgerät. Seit 2008 bilden die fünf großen **Hilfsorganisationen** Arbeiter-Samariter-Bund, Bayerisches Rotes Kreuz,

Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft, Johanniter-Unfall-Hilfe und Malteser Hilfsdienst die „Arbeitsgemeinschaft der Hilfsorganisationen in der Stadt Augsburg“. Mehr als 1.200 Helferinnen und Helfer engagieren sich derzeit ehrenamtlich für die verschiedenen Hilfsorganisationen (johanniter.de 2019). Seit 2016 gehört das THW Augsburg ebenfalls zur Gemeinschaft der Hilfsorganisationen (THW OV Augsburg 2019).

Eine Randbedingung im Hinblick auf das Einsatzgeschehen ist der **zunehmende Mangel an Selbsthilfe- und Selbstschutzfähigkeit** der Bevölkerung. Besonders problematisch wird dies, wenn Einsatzkräfte dadurch nicht für dringliche Einsätze zur Verfügung stehen bzw. Priorisierung/ Einsatzplanung erschwert werden. Nach Einschätzung der Berufsfeuerwehr ist es die Stadtbevölkerung immer weniger gewohnt, beispielsweise Äste oder kleinere Überschwemmungen des Kellers selbst zu beseitigen oder handwerkliche Sicherungsmaßnahmen vorzunehmen (Quelle: Interview). Hier mangelt es an **eingeübten Vorsorge- und Bewältigungsmechanismen**.

In der **Selbsthilfe**[12] und in der **Fremdhilfe**[13] innerhalb der Bevölkerung liegt eine noch ausbaubare Anpassungskapazität im Katastrophenschutz, die es zu fördern gilt.

Dabei sind unterschiedliche soziale und individuelle Kompetenzen zu berücksichtigen. Im Jahr 2005 in den USA zeigte etwa das Beispiel des Hurrikans Katrina nicht nur, wie unterschiedlich die Betroffenheit sein kann, sondern auch, dass der Umgang einer Gesellschaft mit dem schweren Schaden auf der individuellen Ebene sehr unterschiedlich war in Abhängigkeit von Faktoren wie sozialer Lage, Alter, Einkommen, Bildung, Quartier.

In Augsburg rief die Freiwillige Feuerwehr Pfersee rief im Zuge von Sturmtief Sabine (Winter 2020) über *Facebook* dazu auf, heruntergefallene Äste selbst zu beseitigen (sofern gefahrlos möglich). Auch das BBK empfiehlt der Bevölkerung, **mehr Eigenvorsorge** zu betreiben. Selbsthilfe und Selbstschutz sind ein wichtiger Bestandteil einer resilienten Gesellschaft.[14]

5.1.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Katastrophenschutz detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 40) einen schematischen Gesamtüberblick. Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt im Folgenden anhand der verschiedenen, in Kap. 4 analysierten Klimasignale (5.1.2.2.). Wegen des besonderen Charakters des Handlungsfelds (Querschnittsfunktion gemäß DAS 2008) werden zusätzlich die Analyse der Auswirkungen auf Prozesse und Akteure im Katastrophenschutz vorangestellt (5.1.2.1.).

5.1.2.1. Auswirkungen des Klimawandels auf Prozesse und Akteure

Warnungen vor Extremereignissen

Die **akute Warnung vor Gefahren** ist bereits heute ein wichtiges Aufgabenfeld des Katastrophenschutzes.[15] Aufgrund von Hochwasserereignissen wurde ein umfangreiches Warn- und Informationssystem in Augsburg konzipiert. Dazu zählen 52 elektrische Hochleistungssirenen, die über das Stadtgebiet verteilt sind, damit Menschen unabhängig von ihrem Aufenthaltsort erreicht und kurzfristig gewarnt werden können. Das ist wichtig, wenn Extremwetterereignisse (wie z.B. auch Gewitter) mit nur geringer Vorlaufzeit eintreten. Darüber hinaus verfügt die Stadt über **mobile Lautsprecher**, ein **Gefahrentelefon mit Bandansage** sowie ein **Bürgertelefon** für ausführliche Informationen und Warnhinweise. Die landes- und europaweite Notrufnummer 112 sollte hingegen ausschließlich genutzt werden, um in Notfällen die Leitstelle zu verständigen.

---

12 Die Fähigkeit, sich während oder nach Eintritt einer Katastrophe (mindestens teilweise bzw. bis zum Eintritt der Rettungskräfte) *selbst* helfen zu können.

13 Die Fähigkeit und Bereitschaft zur Hilfe gegenüber *anderen* während oder nach Eintritt der Katastrophe. Gerade in Zeiten, in denen sich Menschen tendenziell weniger an feste Strukturen binden, kommt ihr eine zentrale Bedeutung für die Steigerung der kommunalen Resilienz zu (CP 2019).

14 Wie stark die Bevölkerung selbst vorsorgend aktiv wird, hängt auch von der **Kommunikation** der Verantwortlichen ab: So zeigt die psychologische Naturgefahrenforschung, dass die Schilderung möglicher Risiken bzw. Katastrophenszenarien eher zu einer Abwehrhaltung führt. Werden dagegen konkrete Hinweise auf Schutzmaßnahmen gegeben, wirkt dies motivierend auf die Betroffenen und deren Engagement (Kahlenborn et al. 2016).

15 Dies umso mehr, als die **Sensibilisierung der Bevölkerung für Gefahren durch Naturkatastrophen** in unseren Breiten relativ schwach ausgeprägt ist. Mit Blick auf die möglichen Folgen des Klimawandels wurde bereits auf dem Akteursworkshop „Klimawandel in der Stadt Augsburg“ im Rahmen der Vorstudie (2017) die Sensibilisierung der Bevölkerung für das richtige Verhalten bei Extremereignissen als Bedarf, als notwendige Maßnahme und als wichtige Zielsetzung genannt. Denn klar ist: Extremwetter können Verletzte und Tote fordern.

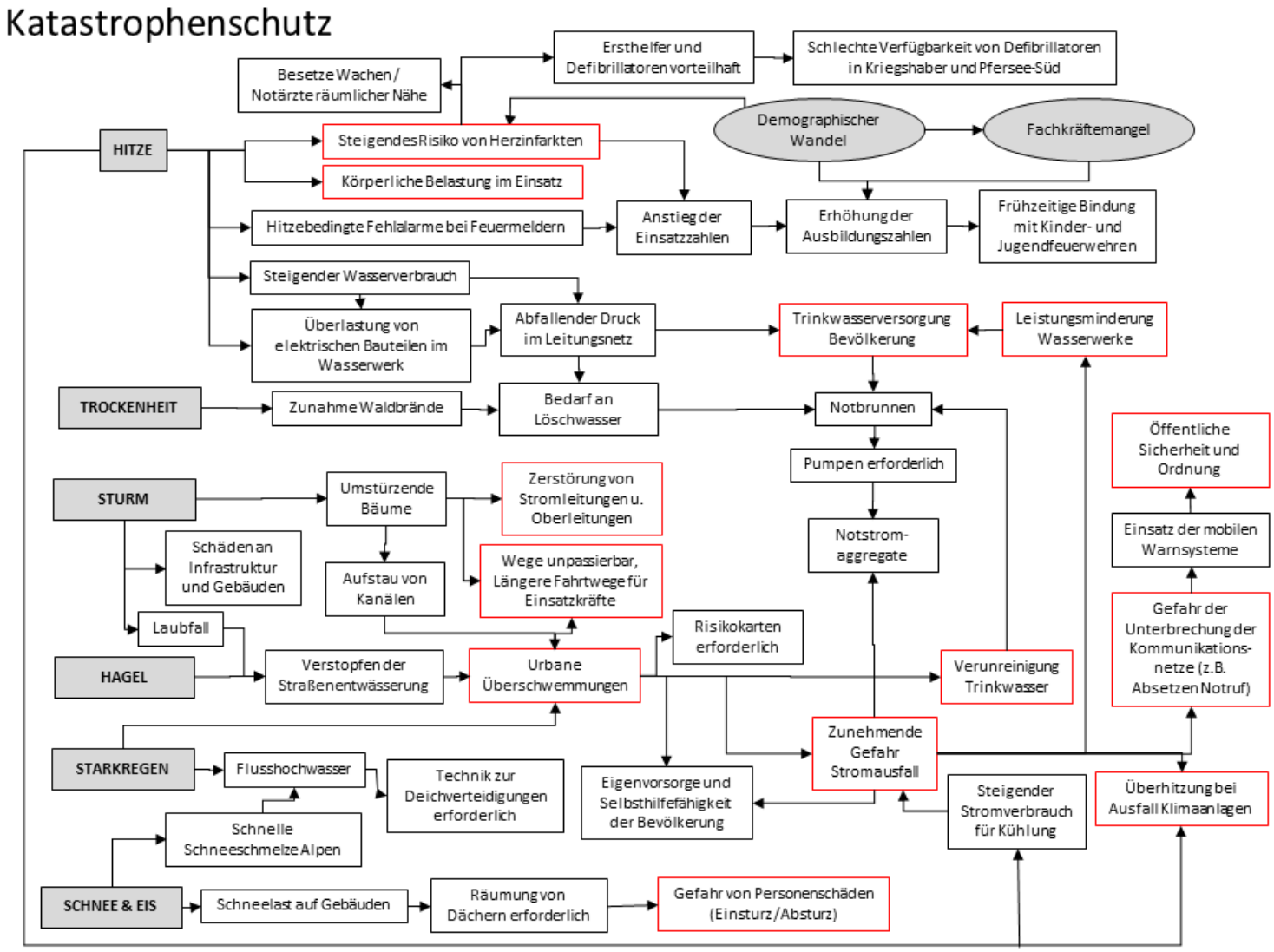
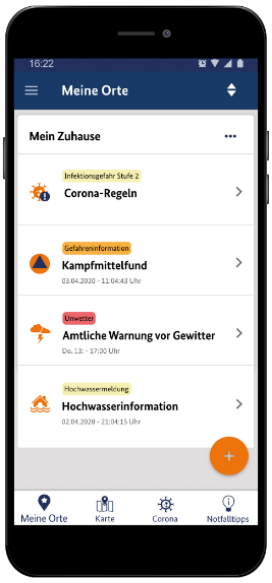


Abb. 40: Klimawirkungsgeflecht im Handlungsfeld Katastrophenschutz. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Verwundbarkeiten (rote Kästen) sowie signifikanter Randbedingungen (graue Ellipsen). Quelle: Eigene Darstellung.



NINA
Notfall-Informations- und Nachrichten-App

Abb. 41: Die App NINA zeigt die aktuellen Warnmeldungen für die abonnierten Orte. Quelle: BBK 2021.

Der Bevölkerung stehen zudem kostenlose **Warn- und Informations-Apps** zur Verfügung (z.B. die App NINA des BBK; Abb. 41). Die Apps warnen bei Gefahrenlagen, Unwettern und Hochwasser und geben Verhaltenshinweise. Immer mehr Menschen nutzen zudem in Notsituationen **soziale Netzwerke**, um Informationen über Wetterlagen und Schäden zu suchen oder zu verbreiten. Mit steigender Verbreitung dieser Medien und ihrer Verankerung in der Gesellschaft wird gemeinhin erwartet, dass Stadt und Feuerwehren über diese Plattformen (auch bei Extremwetter) kommunizieren und ohne größeren Zeitverzug Anfragen beantworten. Dieses **Community Management** ist jedoch mit beträchtlichem personellem Aufwand verbunden.

Anders als z.B. die Duisburger Feuerwehr verfügt die Augsburger Feuerwehr über kein eigenes **Social-Media-Team**. Die Social-Media-Accounts der Freiwilligen Feuerwehren (Facebook, Instagram) werden unterschiedlich intensiv betreut, ein durchgängiger Warn- und Informationsauftrag für (extremwetterbedingte) Gefährdungen ist (noch) nicht zu erkennen.

Im Falle eines langanhaltenden (ggf. extremwetterbedingten) Blackouts und eines **Ausfalls der Kommunikationsinfrastrukturen** fungieren Feuerwehrgerätehäuser, polizeiliche Dienststellen, Rettungswachen der Hilfsorganisationen sowie Technisches Hilfswerk als Anlaufstelle, die mit einer Notstromversorgung ausgestattet sind (ggf. im Bedarfsfall nachrüstbar).

Anstieg der Einsatzzahlen

Die örtliche Feuerwehr verzeichnet seit Jahren einen **kontinuierlichen Anstieg der Einsätze** (Abb. 42). Für die Zukunft wird erwartet, dass die Einsatzzahlen weiter ansteigen (ABuK 2019). Es ist davon auszugehen, dass der Klimawandel einen zusätzlichen Anstieg an Einsätzen hervorruft. Eine gesonderte Erfassung **extremwetterbedingter Einsätze** im Stadtgebiet Augsburg ist bisher noch nicht vorhanden. Den zu erwartenden Mehranstieg gilt es im Rahmen der Klimaanpassung abzumildern und in die Kapazitätsplanungen einzubeziehen. Es gibt **saisonale Entwicklungen**: Bei den Einsätzen zu technischen Hilfeleistungen ist in den Sommermonaten Mai bis August eine Häufung an Einsätzen gegenüber dem Mittel zu beobachten. Dies ist u. a. auf Unwetterereignisse (Sommergewitter und Starkregen) zurückzuführen (ABuK 2019).

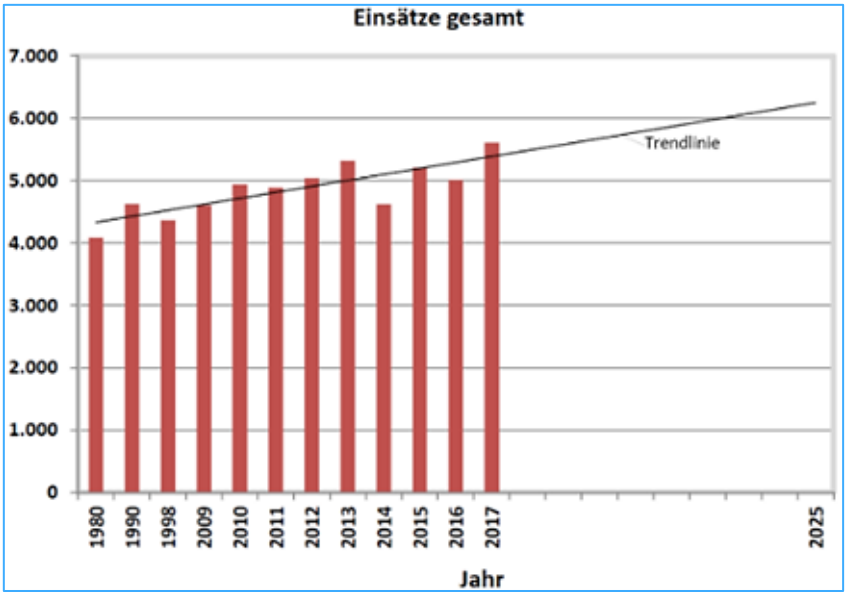


Abb. 42: Entwicklung der Einsatzzahlen der Feuerwehr Augsburg im Zeitraum 1980-2017 und Prognose bis 2025. Quelle: ABuK 2019.

Veränderungen der Einsatzzeiten

Die häufiger zu erwartenden kleinräumigen Extremereignisse gehen mit kürzeren **Vorlaufzeiten** einher. Kurzfristige Alarmierungen erfordern seitens der ehrenamtlichen Einsatzkräfte **erhöhte Flexibilität**. Mit dem Klimawandel verändert sich das **Einsatzaufkommen im Tagesgang**: Klassischerweise liegt der Einsatzschwerpunkt tagsüber (höheres Aktivitätsniveau in Betrieben und der Bevölkerung, mehr Verkehr, mehr Arbeit auf Baustellentätigkeit). Starkregen, Gewitter und Stürme führen jedoch zu mehr Einsätzen in den Tagesrandzeiten und in der Nacht.

Extremwetterbedingte Einsätze sind oft mit zeitlich unkritischen **Sicherungs- und Aufräumarbeiten** verbunden. Für diese Arbeiten ist die Anfahrtszeit zum Einsatzort weniger entscheidend als bei einer Gefährdung von Menschenleben und sie können gut von den freiwilligen Feuerwehren nacheinander bewältigt werden. Diese stellen auch aus diesem Grund neben der Berufsfeuerwehr ein wichtiges Standbein dar, dass es zu erhalten und zu stärken gilt.

Parallele Einsätze und Hilfsfristverletzungen

Der Feuerwehrbedarfsplan stellt fest, dass es immer wieder zu Verletzungen der Hilfsfrist (Abb. 43) kommt.[16]

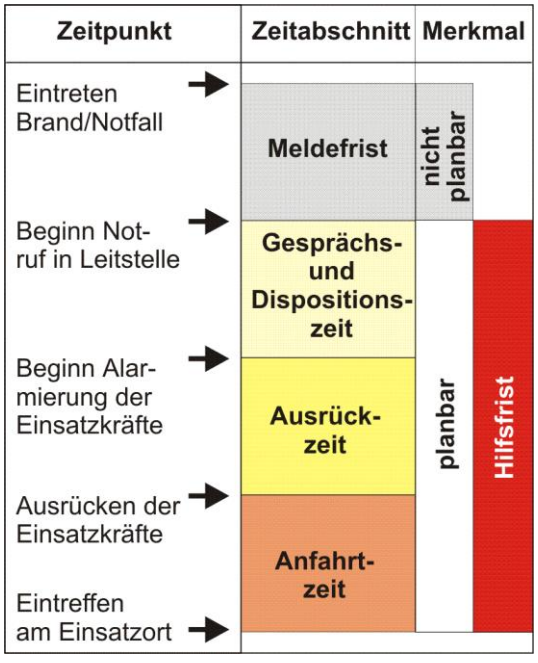


Abb. 43: Zeitabschnitte der Hilfsfrist. Bildnachweis: Bruno Walter, Wikipedia (URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hilfsfrist2.png, Zugriff: 7.3.2020).

Ursachen können hohes Verkehrsaufkommen, aber auch **Störungen** auf Einsatzwegen (z.B. Überschwemmungen von Unterführungen, blockierte Fahrbahnen bei Sturm) sein. Einsatzkräfte werden „ausgebremst“: Je schlechter das Vorankommen im Stadtgebiet, desto geringer der Radius, in dem die Hilfsfristen der Schutzzielstufen eingehalten werden können.

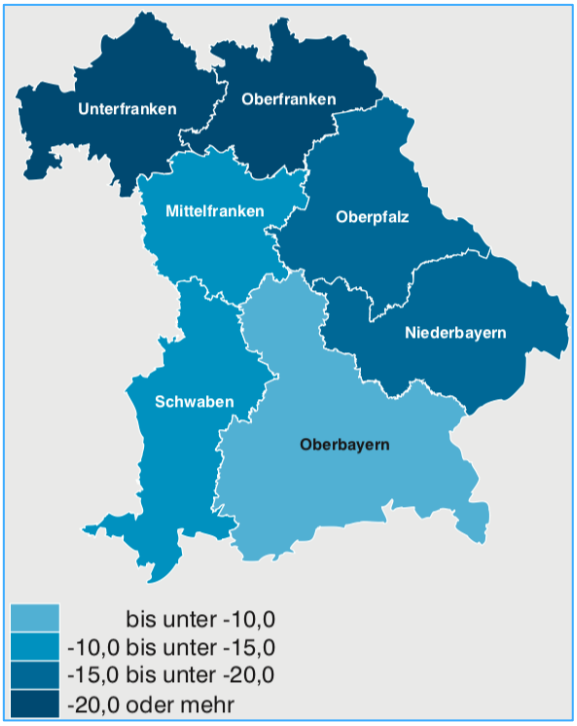
Eine überdurchschnittliche Häufung von Paralleleinsätzen im Stadtgebiet (**Duplizität**) aufgrund von vielen Extremwetterereignissen wie Sturm oder Starkregen kann ebenfalls die Einhaltung der Hilfsfristen gefährden. Ein anders geartetes Beispiel für die Anforderungen eines parallelen Einsatzgeschehens ist die COVID-19-Pandemie des Jahres 2020. Während der Bewältigung der Pandemie ist der Katastrophenschutz sensitiver für extremwetterbedingte Lagen, da viele Kräfte durch die Pandemie gebunden sind, ehrenamtlich in weiteren Hilfsorganisationen tätig sind oder hauptberuflich im medizinischen Bereich arbeiten.

Herausforderung für das Ehrenamt

Die Arbeit der im Katastrophenschutz organisierten Hilfsorganisationen wird zu einem großen Teil von Ehrenamtlichen geleistet. Damit stehen nur wenige Personen dauerhaft auf Abruf bereit. Ausnahmen bilden die Angestellten des ABuK, der Berufsfeuerwehr und der Integrierten Leitstelle. Herausforderungen wie der Klimawandel führen damit zu **Mehraufwänden,** die zu großen Teilen durch ehrenamtlich Tätige geleistet werden und zu Mehrbelastungen führen, ohne die wahren Kosten sichtbar zu machen. Hierzu zählen auch **Arbeitszeitausfälle** angestellter Feuerwehreinsatzkräfte bei deren Arbeitgeber/ Arbeitgeberinnen. Dadurch wird das Ehrenamt tendenziell unattraktiver für die Freiwilligen selbst, ihre Familien und Arbeitgeber bzw. Arbeitgeberinnen. Besonders in den letzten fünf Jahren verzeichnete der Katastrophenschutz zudem eine erhebliche Fluktuation, was zu Arbeitsengpässen und einsatzbedingten Überstunden in der Berufsfeuerwehr führte, die teils über einen langen Zeitraum aufgebaut wurden und *de facto* nicht abgetragen werden können.

Nach einer Studie von Franzke (2013) steht Schwaben unter den bayerischen Regierungsbezirken noch vergleichsweise gut da (Karte 1, Folgeseite). Absolut betrachtet hat man sich jedoch immerhin mit einem prognostizierten **Rückgang der Einsatzkräfte in Höhe von 10-15%** bis 2031 (Basisjahr 2011) auseinanderzusetzen.

[16] *Hilfsfrist* als Zeit zwischen Alarmierung und Eintreffen der Hilfe vor Ort. Die Dauer der gesetzlichen Hilfsfrist richtet sich nach dem zu erreichenden Schutzziel, also einem definierten Sicherheitsniveau.



Karte 1: Erwarteter Rückgang der Mitgliederentwicklung der Freiwilligen Feuerwehr. Bayernweit (2031 gegenüber 2011) [in %]. Quelle: Franzke 2013.

Aus- und Fortbildungsbedarf

Allein in der Feuerwehrgrundausbildung werden etwa **150 Einsatzszenarien** durchgespielt. Weiterhin sorgt der Augsburger Katastrophenschutz dafür, dass es über das Jahr verteilt ausreichend Übungen und Ausbildungslehrgänge (z.B. Hochwasserabwehr, Waldbränden oder Stromausfällen) gibt (Interview Feuerwehr Augsburg 2019). Eine Herausforderung stellen Pensionierungen erfahrener Ausbilder dar, da die Praxiserfahrung der Ausbilder der Qualität der Ausbildung zuträglich ist. Der Umgang mit der COVID-19-Pandemie eröffnet mitunter neue Wege: So hat die Freiwillige Feuerwehr Pfersee virtuelle Übungen via *Skype* durchgeführt. Neben allgemeinen Neuerungen und Verhaltensregeln ging es dabei – passend zur Lage im Frühjahr 2020 – um Wald- und Vegetationsbrände.

Materialbedarfe

Mit dem Klimawandel ändern sich auch **Ausrüstungs- und Materialbedarfe:** Bei starkregenbedingten Überschwemmungen kommen etwa mobile Saugpumpen zum Einsatz, für Vegetationsbrände werden andere Schutzausrüstungen und Einsatzmittel benötigt. Zusätzliche Ausstattung ist gleichzeitig ein beträchtlicher Kostenfaktor (Lagerung, Wartung, Ersetzungen). Der Feuerwehrbedarfsplan macht deutlich, dass für die Lagerung der Hochwasserschutzausrüstung (wie insbesondere die Hochwasserpumpen usw.) ein zentrales **Katastrophenschutzlager** sinnvoll ist. Zugleich bietet ein solcher zentraler Standort bessere Übungsmöglichkeiten (z.B. Aufbau von Ölsperren, Hochwasserschutzsystemen, Abfüllen von Sandsäcken, Dekontaminationsübungen). Aus Sicht der Klimaanpassung erscheint ein zentrales Lager sinnvoll, um Vorhaltungen für verschiedenste – nicht nur extremwetterbedingte – Einsatzszenarien zu machen (Hochwasser, Starkregen, Vegetationsbrände). Durch die zentrale Lagerung wird die Materialübersicht verbessert, die Lagerlogistik effizienter (Personal- und Kostenersparnis) und das Material kann den Einsätzen an verschiedenste Einsatzorte in der Region schnell zugeführt werden. Selbstverständlich ist das Lager selbst als kritische Infrastruktur auch klimaresilient zu gestalten.

Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS)

Die **Aufrechterhaltung zentraler Versorgungsleistungen** (und damit sog. **kritischer Infrastrukturen, „KRITIS“**) bei Extremwetter ist ein wichtiges Ziel des Katastrophenschutzes in Zusammenarbeit mit den Betreibern der Einrichtungen. In diesem Zusammenhang sind auch die **Feuerwehren und die Hilfsorganisationen selbst in ihrer Resilienz** gegenüber Extremwetter zu bewerten und ggf. stärker zu schützen. Dies betrifft Personal, Ausrüstung und Bauten. Schäden an Feuerwehrgerätehäusern, etwa durch eindringenden Starkregen, könnten **Einschränkungen in der Einsatzfähigkeit** zur Folge haben.

Im Stakeholder-Workshop I zum HF Katastrophenschutz wurde betont, dass **bauplanerische Anpassung** generell einen wichtigen Beitrag leistet, um Schäden durch Extremwetterereignisse und daraus resultierende Einsätze zu vermeiden – nicht nur bei kritischen Infrastrukturen. Diese planerische Vorsorge sei zu stärken und systematisch zu adressieren. Wichtiges Anliegen der lokalen Akteure im Rahmen der Betroffenheitsanalyse war, dass auch **soziale und gesundheitliche Einrichtungen** als kritische Infrastrukturen gesehen werden, deren Betrieb es bei Extremwetter aufrecht zu erhalten gilt.[17]

[17] Insbesondere die bauliche Prävention hat in diesem Bereich große Bedeutung, wenn man mögliche Schadens- und Einsatzszenarien (z.B. Evakuierung Altenheim) vergegenwärtigt. Das Gleiche gilt selbstverständlich auch für die anderen Dimensionen der Anpassungskapazität in medizinischen oder Pflegeeinrichtungen (wie die adäquate Ausbildung des medizinischen Personals oder organisatorisch-institutionelle Prozesse).

Anhand einer vom Amt für Brand- und Katastrophenschutz aufgebauten **Liste kritischer Infrastrukturen** (Strom, Wasser, Gesundheit) wurden die betreffenden Einrichtungen deshalb bereits im Nachgang der Vorstudie 2017 vom ABuK kontaktiert und auf die Folgen bestimmter Szenarien für ihre Einrichtungen abgefragt. Damit sollte der Wissensstand darüber verbessert werden, wo sich nach welcher Zeit (etwa nach einem Ausfall der Stromversorgung) welche Gefährdungslagen entwickeln können. Dies und der weitere Austausch mit den Einrichtungen stellten einen wichtigen Schritt zum Ausbau der Anpassungskapazität dar.

5.1.2.2. Auswirkungen spezifischer Klimaveränderungen (Klimasignale)

Hitze

Die Feuerwehr registriert die höchsten **Einsatzzahlen im Sommer** (Abb. 44). Der Monat Juni hat einen Anteil von rd. 10,5 % an allen Einsätzen (im Zeitraum 2013 – 2017), bei einer Gleichverteilung der Einsätze auf die Monate wären es 8,33 %. Januar und Februar sind die Monate mit den wenigsten Einsätzen (7,29 % und 6,81 %). Bezogen auf die Brandeinsätze ist der Juli der Monat mit dem höchsten Anteil an Einsätzen.

Ältere Menschen, deren Anteil steigt (Kap. 3) sind bei Hitze besonders vulnerabel. Das macht tendenziell kontinuierlich **mehr Rettungseinsätze** erforderlich.

Laut einer wissenschaftlichen Studie werden hitzebedingt Herzinfarkte in der Region Augsburg (Stadt Augsburg, Landkreis Augsburg, Landkreis Aichach-Friedberg) bei einer Erwärmung von 32 °C bereits 1,1 % der Fälle ausmachen, während es bei einer Erwärmung von 1,5 °C lediglich 0,2 % der Herzinfarkte sind. um 18 %, bei einer Erwärmung von 3 °C um 63 % steigen (Chen et al. 2019). Dies hat entsprechend Wirkung auf den **Bedarf an schneller medizinischer Hilfe**. Im Juni 2010 während langanhaltend hoher Temperaturen sprach das Bayerische Rote Kreuz von 10-20 % mehr hitzebedingten Notfällen für den Augsburger Rettungsdienst. Es kam vermehrt zu Kreislaufstörungen und Blutdruckproblemen (BRK KV Augsburg-Stadt 2010).

Um die Möglichkeit der Ersthilfe zu unterstützen, sind an vielen öffentlichen und meist belebten Orten innerhalb Augsburgs **Defibrillatoren** verteilt (Interview Feuerwehr Augsburg 2019). Vom DRK-Kreisverband Nordschwaben wurde die sog. ‚Defi-App' entwickelt, die den nächstgelegenen Defibrillator-Standort anzeigt. Betrachtet man die räumliche Verteilung der Defibrillatoren im Stadtgebiet (Karte 2, Folgeseite), so zeigt sich, dass die Innenstadt sehr engmaschig ausgestattet ist. Im Augsburger Westen, in Kriegshaber und in Pfersee sind demgegenüber nur sehr wenige Geräte vorhanden.

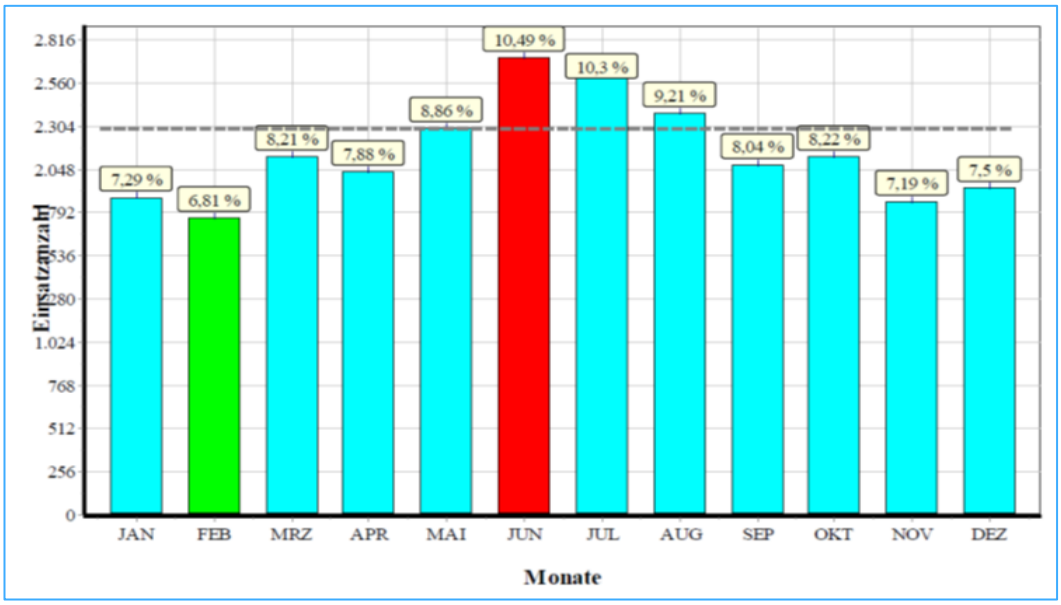


Abb. 44: Verteilung der Einsätze der Feuerwehr über die Monate im Jahresschnitt. Quelle: ABuK 2019.

Karte 2: Verfügbarkeit (grünes Symbol) und Fehlen (roter Kreis) von Defibrillatoren. Quelle: DefiNetz e.V. 2020.

Vom DRK-Kreisverband Nordschwaben wurde die sog. ‚Defi-App' entwickelt, die den nächstgelegenen Defibrillator-Standort anzeigt. Auch für die Einsatzkräfte im Katastrophenschutz selbst stellen hohe Außentemperaturen eine zusätzliche körperliche Belastung dar und der „Einsatzwert" der Feuerwehrkräfte sinkt bei hohen Temperaturen rasch, insbesondere wenn schwere Schutzausrüstung und Einsatzmittel zu tragen sind und der Einsatzort in unwegsamem Gelände (z.B. bei Waldbränden) liegt.

Trockenheit

Langanhaltende Trockenheiten, unter Umständen in Verbindung mit hohen Temperaturen, erhöhen die Gefahr von Vegetationsbränden (→ HF Gesundheit, HF Forst). Die zunehmende Persistenz von Wetterlagen führt außerdem dazu, dass die Brandgefahr länger andauert. Bei hoher Waldbrandgefahrenstufe ist besondere Aufmerksamkeit geboten. Meldet der DWD für die Region Augsburg Waldbrandgefahrenindex-Werte von 4 oder 5 (wobei 5 das Maximum darstellt), so erlässt die Stadt regelmäßig Grillverbote und weist auf die Gefahr hin. Der Feuerwehrbedarfsplan gibt für den Zeitraum 2013 – 2017 zwar den Anteil der Vegetationsbrände an allen Bränden in Augsburg als relativ gering an (0,05 %).

Zum einen dürfte der tatsächliche Anteil etwas höher liegen, da viele der Brände der Kategorie „Kleinbrände" zugeordnet und schnell gelöscht werden können. Zum anderen ist die Anzahl bestimmter Vorkommnisse ein unzureichender Indikator für das Ausmaß der jeweils verursachten Schäden. Die der Einteilung zugrundeliegenden Szenarien berücksichtigen nicht die Auswertbarkeit hinsichtlich des Brandgutes. Gleiches gilt analog für die technischen Hilfeleistungen, die bei Unwetter notwendig werden. Hier entfallen 59 % der Einsätze auf „technische Hilfeleistungen kleinen Umfangs" und entziehen sich damit einer weiteren Auswertung.

Die Ausbreitungsbedingungen für Vegetationsbrände verbessern sich mit dem Klimawandel, konkret durch zunehmende Sommertrockenheiten. - Wenn man allerdings bedenkt, dass die meisten Brände in Deutschland eine **menschliche Ursache** als Auslöser haben (z.B. achtlos weggeworfene Zigarettenkippen, heiße Katalysatoren von Kraftfahrzeugen, die z.B. in hohem Gras abgestellt werden, Grillen/ Lagerfeuer in freier Natur etc.), besteht ausreichend Gestaltungsspielraum, um Brände präventiv zu verhindern. Durch Brände können (neben dem Verlust für Flora und Fauna) **Personen** zu Schaden kommen, schlimmstenfalls ihr Leben lassen (→ HF Gesundheit).

Abb. 45: Freiwillige Feuerwehr Kriegshaber im März 2017 beim Ablöschen einer brennenden Wiese im Reese Park. Quelle: Stadt Augsburg Rathaus 2020.

Angrenzend an Siedlungsgebiete können Vegetationsbrände auf **Gebäude** (und ggf. deren brennbare Wärmedämmungen) oder andere **Sachwerte** übergreifen (→ HF Gebäude).

Auch **Grünflächen**, z.B. städtisches Straßenbegleitgrün, können in Brand geraten. Die Sensitivität des Straßenbegleitgrüns steigt im Klimawandel tendenziell, da man u. a. bestrebt ist, Blühstreifen mit höherem Gras und mit Stauden anzulegen und den Mähzeitpunkt aus Gründen der Biodiversität zu verschieben

Im März und April 2020 kam es im bewaldeten Gebiet östlich des Haunstetter Krankenhauses (in Verlängerung der Krankenhausstraße) zu Waldbränden. Die Nähe zum Krankenhaus gab dabei besonderen Anlass zur Sorge.

Abb. 46: Grillverbot. Um die Brandgefahr zu mindern, hat die Stadt Augsburg etwa im Sommer 2018 und 2020 das Grillen an den öffentlichen Grillplätzen untersagt Quelle: Stadt Augsburg.

Die zunehmende Trockenheit der örtlichen Vegetation und des Bodenstreus führen immer häufiger dazu, dass sich Brandherde schneller ausbreiten, da das Feuer mehr „Nahrung“ findet.

Auch in Zusammenhang mit Gewittern und den dabei auftretenden Fallböen kann es zu **hohen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Feuers** und/ oder sich spontan ändernden Ausbreitungsrichtungen kommen. Personen müssen ggf. evakuiert, Verkehrswege gesperrt werden.

Die Bekämpfung von Vegetationsbränden stellt sich nicht nur als personal-, sondern auch als wasserintensiv dar: Bei größeren Bränden in abgelegenen Gebieten muss **Löschwasser** teils über weite Strecken herangeschafft werden, wenn im Umfeld des Einsatzortes keine Entnahmemöglichkeiten (wie insbes. Bäche, Teiche, Notbrunnen, Hydranten) vorhanden sind.

Abb. 47: Feuerwehr Bergheim beim Brand im Siebentischwald bei Haunstetten. Quelle: Freiwillige Feuerwehr Bergheim 2020.

Abb. 48: Einsatz der Feuerwehr Inningen im Kampf gegen Überschwemmungen. Quelle: Feuerwehr Inningen 2017.

Speziell für die Wasserförderung über längere Wegstrecken, wie sie bei der Bekämpfung von Waldbränden erforderlich sein kann, wurden durch den Freistaat Bayern leistungsfähige Pumpen vom Typ *Hytrans Fire Systems* (HFS) angeschafft, zu denen zwei Kilometer Schlauchleitung gehören (Interview Feuerwehr Augsburg 2019). Über die Schlauchleitung kann Löschwasser personal- und zeitsparend herbeigeführt werden.

Auch durch gezielte Weiterbildung lässt sich die Anpassungskapazität erhöhen: Vegetationsbrände erfordern die Weiterbildung der Einsatzkräfte, da hier im Vergleich zur Bekämpfung von Wohnungsbränden spezielle Taktiken und andere Schutzausrüstungen benötigt werden.

Zunehmende Trockenheit steht schließlich in Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgung (→ HF Wasser). Zur **Sicherung der Trinkwasserversorgung** wurden vom Bund mehrere Trinkwassernotbrunnen errichtet, die von der Freiwilligen Feuerwehr Augsburg regelmäßig überprüft und gespült werden. Bei akutem Wassermangel, etwa durch einen Ausfall der Wasserwerke und des Leitungssystems, kann der Katastrophenschutz auf diese Notfallbrunnen zurückgreifen und daraus die Bevölkerung versorgen (Interview Feuerwehr Augsburg 2019).

Starkregen

Die Stadt Augsburg war in der Vergangenheit immer wieder von Starkregen und Überschwemmungen betroffen (Abb. 49). Aufgrund von schweren Unwettern kam es beispielsweise im Sommer 2013 zu zeitweiligen **Überschwemmungen** im Stadtgebiet, sodass die Augsburger Feuerwehr über 700 Einsätze zu bewältigen hatte (Augsburger Allgemeine 2013). 2019 führte das Tief „Axel“ mit rund 20 Liter Niederschlag pro Quadratmeter zur Überschwemmung eines Tierheims in Augsburg und zu Sachschäden (Augsburger Allgemeine 2019).

Das Risiko von starkregenbedingten Einsätzen ist im urbanen Raum besonders gegeben, da hier weniger Flächen für Versickerung und Wasserrückhalt zur Verfügung stehen (→ HF Gebäude/ HF Stadtgrün).

Begünstigt werden Überschwemmungen teils von **verstopften Sinkkästen und Kanalisationseinläufen**. Diese setzen sich durch Laub, Hagel und Äste zu, die beispielsweise bei Gewitter auf die Verkehrswege fallen. Die zunehmende Belegung der Verkehrsflächen durch den **ruhenden Verkehr** (vgl. Feuerwehrbedarfsplan sowie Vorstudie 2017) erschwert die zyklische Reinigung und Schadensbehebung bei Verstopfung.

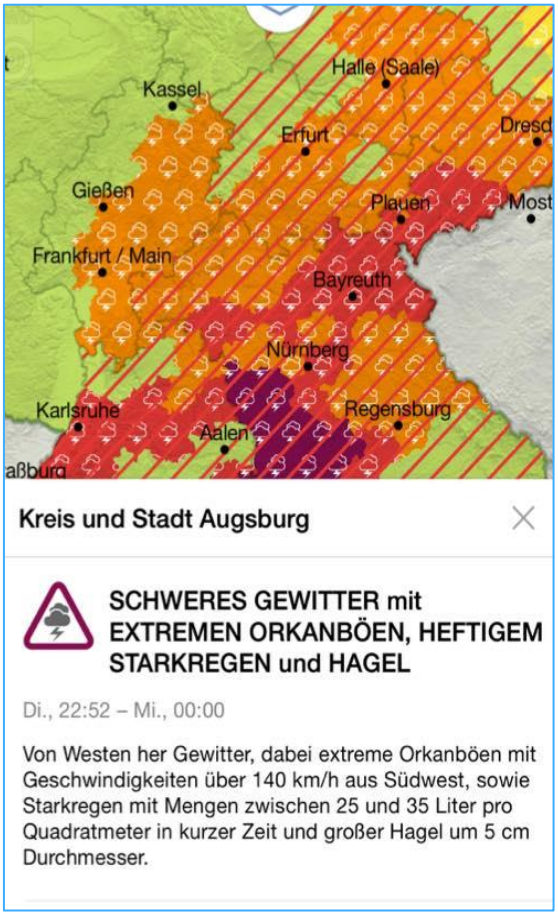


Abb. 49: Unwetterwarnung vor schwerem Gewitter und dadurch resultierenden extremen Windböen, Starkregem und Hagel Meldung auf einer Warn-App am 07.07.2015. Quelle: facebook.com/schoenesaugsburg.

Der ruhende Verkehr ist bei (unwetterbedingten) Einsätzen oft im Weg und blockiert ggf. Aufstellfläche. Sofern das Regenwasser weder abgeführt noch versickert werden kann, kommt es zu **Überschwemmungen von Straßen** und ggf. auch Gebäuden, anderen Objekten/ Infrastrukturen. Dabei können Gefahren durch eine feuchte Elektroinstallation entstehen.

Privatleute bringen sich bei dieser Art von Ereignissen teils selbst in Gefahr (überflutete Keller). Die Aufgabe der Rettungskräfte ist es, diesen Personen zu helfen, nicht aber, die Schäden zu beseitigen.

Überflutete Verkehrsflächen sind für die Anfahrt von Feuerwehr/ Rettungsdiensten problematisch. Straßen oder Unterführungen können unpassierbar und Hilfsfristen aufgrund notwendiger Umwege ggf. nicht eingehalten werden. Auf dem Workshop zur Betroffenheitsanalyse wurde der Stadtteil Spickel insofern als gefährdet genannt, da er von Norden her nur durch Unterführungen unter den Bahngleisen zugänglich ist.

Um überschwemmungsgefährdete Stellen zu identifizieren, wurde Ende 2020 begonnen, bei Teilen des Stadtgebietes das **Abflussverhalten bei Starkregen** zu simulieren. Auf Basis diese Erfahrungen soll später eine Simulation für das gesamte Stadtgebiet erfolgen.

Hochwasser

Bei der folgenschweren Pfingstflut 1999 wurde bei einem Dammbruch an der Wertach der Augsburger Stadtteil Pfersee überflutet, es wurden mehrere Menschen verletzt und ein Sachschaden in Millionenhöhe ausgelöst. Nach Niederschlägen im August 2005 mit teilweise 200 Liter pro Quadratmeter musste das THW die Deiche bei Pfersee erneut mit Sandsäcken sichern und den Wertachdamm an einer kritischen Stelle um 40 Zentimeter erhöhen (THW Augsburg 2011). Im Zuge des Projektes *Wertach Vital* wurde daraufhin das Flussbett der Wertach aufgeweitet. Böschungen abgeflacht und Deiche höher gelegt (→ HF Wasser).

Die Vorstudie 2017 thematisiert bereits die Betroffenheit sozialer Einrichtungen gegenüber starkregenbedingten Überschwemmungen und Hochwasser. Soziale Infrastrukturen in Überschwemmungsgebieten wurden als besonders vulnerabel ausgemacht. Die Augsburger Hilfsorganisationen halten zur Bewältigung von **Hochwasserereignissen** notwendiges Material und Technik (Pumpen, Sandsäcke) vor und üben insbesondere die Deichverteidigung regelmäßig.

Sturm und Starkwind

Zunehmende extreme Windgeschwindigkeiten können zu **Schäden an Dächern, Gebäuden, Stromleitungen, Bäumen** usw. führen. Je schlechter Bauten und lose Gegenstände gegen Windlasten gesichert sind, desto eher treten Schäden auf.

Resultieren aus dem Schaden akute Gefahren, so ist die Feuerwehr im Einsatz. Ein Charakteristikum von Sturmereignissen besteht darin, dass sie die Feuerwehr in der Regel vielerorts zur selben Zeit fordern. Die Abarbeitung der Einsätze (Sicherungs- und Aufräumarbeiten) benötigt oft auch noch den Tag nach dem Sturmereignis.

Das Staatliche Schulamt ordnet bei aufziehendem Sturm ggf. **Unterrichtsausfall** an, so etwa im Februar 2020 bei Sturm Sabine an allen Schulen im Stadtgebiet.

Um das Gefährdungspotential für Menschen zu mindern, werden bei Sturmereignissen oft der **Zoo, der botanische Garten sowie Friedhöfe geschlossen**. Die Forstverwaltung empfiehlt bei Sturmwarnung den **Stadtwald** zu meiden.

Abb. 50: Freiwillige Feuerwehr Inningen bei Aufräumarbeiten bei einem umgestürzten Baum. Quelle: Feuerwehr Inningen 2015.

Abb. 51: Freiwillige Feuerwehr Augsburg Oberhausen bei Sicherungsarbeiten an einer Tankstelle, deren Dach durch starken Wind beschädigt wurde. Quelle: Facebookseite der FFW Oberhausen.

Um Schäden an Bäumen und durch Bäume und Geäst zu vermeiden, erfolgt die Baumkontrolle der Straßenbäume zweimal im Jahr, um Bäume mit unzureichender Standfestigkeit und loses Astwerk zu entfernen. (Im Handlungsfeld Stadtgrün werden ergänzend Stressoren und Einschränkungen diskutiert, die die Stadtbäume anfälliger machen).

Die Einsatzkräfte sind bei der Beseitigung von Sturmschäden einem erhöhten **Unfallrisiko** ausgesetzt (Abb. 50, 51). Durch Stürme und Starkwinde werden vermehrt Laub und Äste im Straßenraum zu Boden fallen. Sie können Straßensinkkästen zusetzen, wodurch es beim nächsten (Stark)Regen zu **überfluteten Straßenbereichen** kommen kann.

Bei Gewittern, in denen sich diese Energien entladen, können kleinräumige Fallwinde, sogenannte **Downbursts,** entstehen. Diese entwickeln ein hohes Zerstörungspotential, sie können Dächer abdecken und hin-

terlassen teils „Schneisen der Verwüstung“ mit den offensichtlichen Folgen für den Katastrophenschutz (Verletzte, ausgefallene Stromversorgung, Sicherungsarbeiten). Im Augsburger Umland ist ein solches Ereignis im Frühjahr 2015 aufgetreten und in den Medien teils als **Tornado** beschrieben worden (→ HF Gebäude).

Eine besonders gefährliche Wirkung können Stürme entfalten, wo Bäume an Uferböschungen von Gewässern 3. Ordnung stehen. Im Augsburger Stadtteil Bleich und Pfärrle hatte sich 2005 das Wasser eines Stadtbaches durch einen quergestellten Baum aufgestaut. Keller, Tiefgaragen und ein Kindergarten wurden überflutet. Stürzen Äste oder (trockenheitsgeschwächte) Bäume in fließende Gewässer, können sich Bäume und Geäst an Wasserbauwerken verfangen und das Wasser aufstauen.

Anderseits kann die Uferbefestigung durch einen ausbrechenden Wurzelballen destabilisiert werden und Wasser kann angrenzende Areale fluten. Am Herrenbach wurde zur Abwendung dieses Schadensszenarios (mit einem möglichen Abfluss von 10 bis 20 Kubikmetern Wasser pro Minute in das Stadtgebiet) der Baumbewuchs 2018 präventiv entfernt.

Die Entscheidung löste großen Unmut in Teilen der Bevölkerung aus (Interview Feuerwehr Augsburg 2019). Der Vorgang machte einen **Abwägungskonflikt** zwischen dem Erhalt der Bäume (insbes. aufgrund der klimatischen Bedeutung und ihres Beitrags zur biologischen Vielfalt) einerseits und der Fällung zur Minderung des Überschwemmungsrisikos[18] andererseits deutlich.

Um eine Aufstauung schnell zu beheben, sind Zuwegungen für Einsatzkräfte (z.B. Greiffahrzeuge) zu Engstellen und Sonderbauwerken allgemein unabdingbar (Quelle: Interview). Das Augsburger THW verfügt dafür etwa über einen modernen Multigreifer.

Schnee und Eis

Auch wenn Schnee und Eis aufgrund der milderen Winter zukünftig seltener werden, bleiben sie weiterhin ein Einsatzszenario, auf das Hilfskräfte vorbereitet sein müssen. Insbesondere sogenannte Omegalagen bzw. Blocking-Situationen stellen eine klimawandelspezifische Wetterlage mit Gefährdungspotential in Bezug auf extreme Minusgrade und Eisbildung dar.

Dabei strömen arktische Luftmassen sehr gen Süden, während die Hoch- und Tiefdruckgebiete in ihrer Position verharren. Da mit dem Klimawandel die Temperaturdifferenz zwischen Pol und Äquator abnimmt, verlangsamen sich die Höhenströmungen (➤ Jetstream), entlang derer die Hoch- und Tiefdruckgebiete „wandern“. Ein langsamerer Jetstream kann dann dazu führen, dass eine Wetterlage über einen langen Zeitraum konstant bleibt (d.h. blockiert ist = „Blocking-Situation“). Der Klimawandel begünstigt also Omegalagen bzw. Blocking-Ereignisse.

Mit zunehmender Seltenheit von Eis und Schnee schwindet unter Umständen auch die Vorsicht und Erfahrung der Bevölkerung mit dieser Witterung. Eisregen oder überfrierende Nässe führt dann zu einem höheren Risiko von Verkehrsunfällen.

Schnee und Eis auf den Straßen behindern das Vorankommen der Einsatz- und Rettungskräfte und verzögern die Anfahrten zu Einsatzorten. Insofern stellt ein Rückgang der Eis- und Frosttage einen Vorteil (Einhaltung der Hilfsfristen) dar. Schnee, v.a. Nassschnee, der bei Temperaturen um den Gefrierpunkt auftritt, kann außerdem die Traglasten von Dächern übersteigen. Bei der Räumung insbesondere großer Flachdächer unterstützt das THW, um eine **Einsturzgefährdung** zu vermeiden. Aufgrund steigender Mitteltemperaturen kommt es im Winter seltener zur Bildung von **Eisschichten auf Gewässern**. Eisschichten werden auch tendenziell dünner, da für eine nennenswerte Eisausbildung die Temperaturen über ein bis zwei Wochen weit im Minusbereich liegen müssen.

Die Gefahr, dass Menschen ins Eis einbrechen, sich unterkühlen oder gar ertrinken, besteht fort. Lösen sich Eisschollen auf Fließgewässern, etwa bei plötzlichem Tauwetter, so können sie sich an Verengungen und Wehren aufstauen. Der Abfluss wird dadurch gemindert; es kommt durch den Rückstau zu einem Anstieg des Gewässers. **Eisstau** stellt aufgrund der vielen Bäche und Kanäle im Stadtgebiet eine Bedrohung dar. In den letzten Jahren mussten Einsatzkräfte deshalb vereinzelt ausrücken. Auch kann es zu Ausuferungen (z.B. **Unterspülungen** und **Hangabtragungen)** kommen, da die Strömungsgeschwindigkeit durch den Eisstau erhöht wird. Das Eis muss dann mit schwerem Gerät entfernt werden (Abb. 52).

[18] Auf die Betroffenheit hinsichtlich einer Aufstauung durch herabgesetzte Fließgewässerquerschnitte wurde bereits in der Vorstudie 2017 aufmerksam gemacht.

Abb. 52: Feuerwehr baggert im Februar 2012 Eisschollen aus der Singold. Quelle: Berufsfeuerwehr Augsburg.

5.1.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Im Handlungsfeld Katastrophenschutz bestehen die folgenden prioritären Verwundbarkeiten:

- Bevölkerung wie Privatwirtschaft sind durch Extremwetter zunehmend gefährdet (Personen- und Sachschäden), **Sensibilisierung und Eigenvorsorge** nehmen tendenziell ab.
- Extremwetterereignisse und Schadensereignisse nehmen zu. Es werden dadurch **mehr Einsätze** durch die Feuerwehr und die Hilfsorganisationen notwendig.
- Die **Arbeitsbelastung** für die im Handlungsfeld tätigen – zumeist ehrenamtlichen – Personen steigt (auch angesichts des zu erwartenden Rückgangs der Hilfskräfte), mit entsprechenden Konsequenzen für Arbeitgeber, Familien.
- Veränderliche, teils schwer kalkulierbare **Bedarfe an Material und Technik**.
- **Sensitive Sonderobjekte** („besonders vulnerables Inventar“) wie z.B. Alten- und Pflegeheime („demografischer Wandel“) oder Tiefgaragen sind durch Hitzewellen und Starkregen besonders gefährdet.
- **Kritische Infrastrukturen** (etwa aus den Bereichen Energie und Wasser sowie der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) können durch Extremwetter in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt sein.
- Die Vulnerabilität wird nicht nur durch den zunehmenden Klimawandel erhöht (d.h. zunehmende Exposition), sondern gleichzeitig nimmt durch ein **(nicht-nachhaltige) Stadtwachstum** (mehr Menschen, mehr Verkehr, Nachverdichtungen mit Verlusten an Puffer-, Versickerungs- und Aufstellflächen) die Sensitivität zu.

Als **Querschnittsthema ist der Katastrophenschutz** in besonderer Weise auf Klimaanpassung und Resilienz der anderen Handlungsfelder angewiesen.

Nach den obigen Ausführungen muss kaum betont werden, dass die mit dem Klimawandel zukünftig zunehmende Verwundbarkeit im Handlungsfeld Katastrophenschutz vielfältige, teils unmittelbare Folgen für die gesamte Stadt mit sich bringen wird.

5.2. Gesundheit

5.2.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Dass dem Handlungsfeld menschliche Gesundheit eine oft unterschätzte Bedeutung zukommt, hat zuletzt die **Corona-Krise** unterstrichen. Und auch der Zusammenhang zwischen Umwelt und Gesundheit wurde offenbar, stammt der SARS-CoV-2-Erreger doch hochwahrscheinlich von Fledermäusen und wurde durch die Abholzung und Verdrängung von Tierarten aus ihren angestammten Gebieten „freigesetzt" (Gatti 2020). In gewisser Weise kann die Corona-Krise als „Stresstest" für das Gesundheitssystem betrachtet werden, das auch bei fortschreitendem Klimawandel stärker gefordert sein wird. Aber es gibt auch wesentliche Unterschiede: Während es im Fall der COVID19-Pandemie realistisch ist zu erwarten, dass neben dem Impfstoff auch ein Medikament gegen das Virus gefunden werden, kann man sich gegen den Klimawandel leider nicht „impfen" (Tab. 9). Es bleiben nur Klimaschutz und Klimaanpassung.

Tab. 9: Parallelen und Unterschiede zwischen COVID-19-Pandemie und Klimawandel. Eigene Darstellung.

COVID 19	Klimawandel
Globale Krise	Globale Krise
Plötzlich und intensiv	Teils langsam, teils stetig/ teils plötzlich und intensiv; nichtlineare Dynamiken beim „Umkippen" der Tipping-Points
Gesamte Bevölkerung/ Risikogruppen	Gesamte Bevölkerung/ Risikogruppen
Kurzfristige Belastung des Gesundheitssystems (mit ggf. mittelfristigen Auswirkungen auf die soziale und psychische Gesundheit)	Langfristige Belastung des Gesundheitssystems
Impfstoff wahrscheinlich in absehbarer Zeit verfügbar	Impfstoff/ Medikament nicht verfügbar

Aus den gesundheitsrelevanten Umweltbedingungen generell tritt der Klimawandel zunehmend in den Vordergrund. In der Medizin wird immer deutlicher der enge **Zusammenhang zwischen Klimawandel und Gesundheit** gesehen: Im Deutschen Ärzteblatt wird der Klimawandel bereits gegenwärtig als ein „Ernstfall für die Gesundheit" identifiziert (Eckert 2019); die renommierte medizinische Fachgesellschaft „The Lancet" bezeichnet den **Klimawandel als „weltweit größte gesundheitspolitische Herausforderung dieses Jahrhunderts"** (Watts et al. 2019).

Ein gut ausgestattetes **Gesundheitswesen** – etwa hinsichtlich der Erreichbarkeit von Ärzten - wird immer wichtiger, um den wachsenden gesundheitlichen Folgen des Klimawandels entgegen zu treten (Abb. 53). Die vorhandenen personellen, technischen und systemischen Ressourcen können als **Anpassungskapazitäten** gewertet werden, die gesundheitliche Folgen abmildern bzw. im Vorhinein vermeiden. Augsburg verfügt über zehn **Krankenhäuser**, darunter das Universitätsklinikum Augsburg als Krankenhaus der höchsten Versorgungsstufe. Die Anzahl der Krankenhausbetten pro 100.000 Einwohner liegt mit 894,6, (Stand: 2017, Stadt Augsburg 2019) deutlich über dem bayerischen Durchschnitt (588,3) und stellt ebenfalls eine günstige Anpassungskapazität dar.

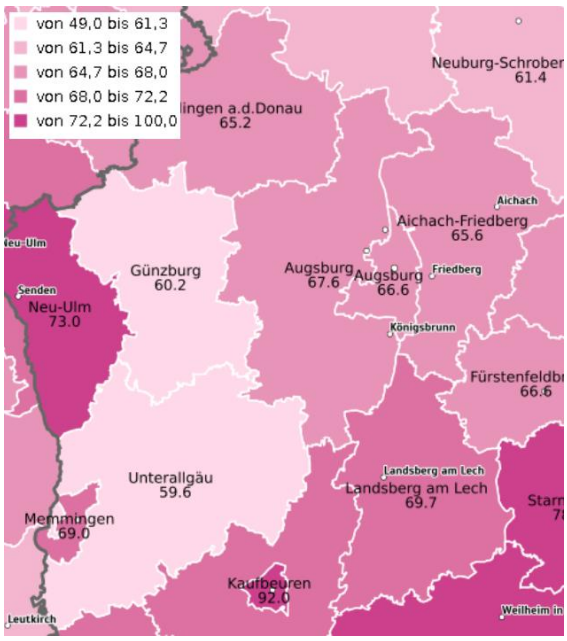


Abb. 53: Augsburg weist im Bereich der Hausarztversorgung mit knapp 68 Ärzt*innen je 100 Tsd. Einw. eine Arztdichte im oberen Mittelfeld auf. Quelle: KBV 2020.

Das Engagement der **Gesundheitsregion**plus Stadt Augsburg ist ein positiver Faktor, da eine Optimierung der wohnortnahen Gesundheitsvorsorge und -versorgung, abgestimmt auf die Bedürfnisse der Augsburger Bevölkerung, angestrebt wird (www.augsburg.de/gesundheitsregion-plus).

Gleiches gilt für das **Universitäre Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg (UNIKA-T)**, ein 2011 von Universitätsklinikum Augsburg, Universität Augsburg, Technischer Universität München und Ludwig-Maximilians-Universität München getragener Forschungsverbund, innerhalb dessen die Thematik „Gesundheit – Klimawandel" eine große Rolle spielte. Das UNIKA-T wurde 2021 in die Medizinische Fakultät der Universität Augsburg bzw. in das Universitätsklinikum Augsburg überführt.

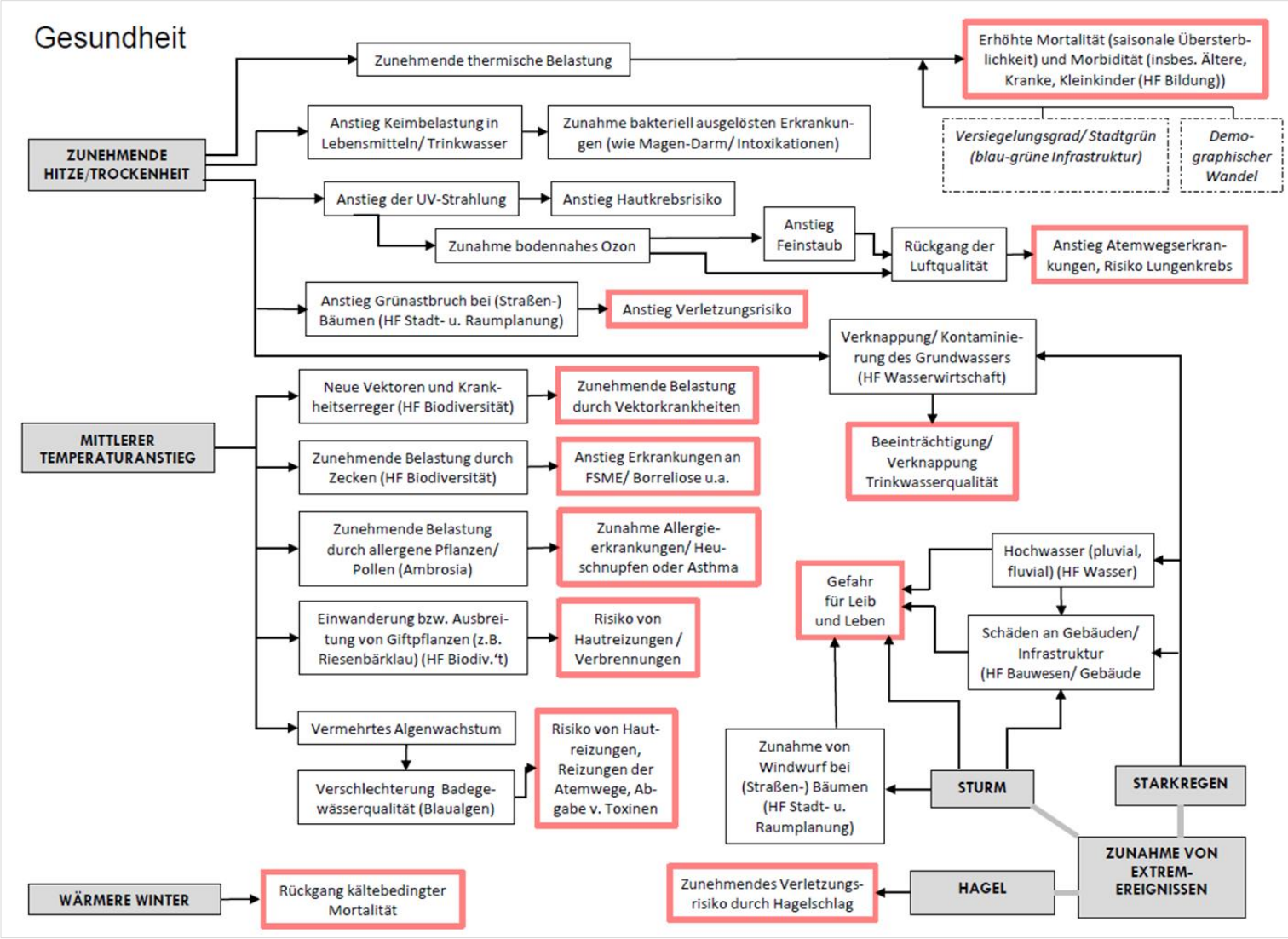


Abb. 54: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Gesundheit. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Verwundbarkeiten (rote Kästen) sowie signifikanter Randbedingungen (gestrichelte Kästen). Eigene Darstellung.

Durch die Vernetzung können passgenaue Lösungen entwickelt, Abstimmungsprozesse erleichtert und die regionalen Besonderheiten berücksichtigt werden.

Auch die Mitgliedschaft Augsburgs im bundesweiten **Gesunde-Städte-Netzwerk** ist hilfreich, zumal hier der Einfluss des Klimawandels auf die Gesundheit in den Städten aktiv thematisiert wird (www.gesunde-staedte-netzwerk.de).

Die Abschätzung der Folgen des Klimawandels für die menschliche Gesundheit in Augsburg setzt zunächst voraus, dass das vulnerable „Inventar" der Region näher charakterisiert wird. Im Falle des vorliegenden Handlungsfeldes handelt es sich dabei um die Bevölkerung, ihre Zusammensetzung, ihre Entwicklung sowie ihr Anfälligkeitsprofil für die sich ändernden Klimasignale.

In Kapitel 3 wurde die Bevölkerungsentwicklung in Augsburg bereits näher charakterisiert. Für den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Gesundheit ist die Bevölkerungsprognose und insbes. die zukünftig zu erwartende Altersverteilung (**demographischer Wandel**) von Bedeutung.

5.2.2. Verwundbarkeitsanalyse

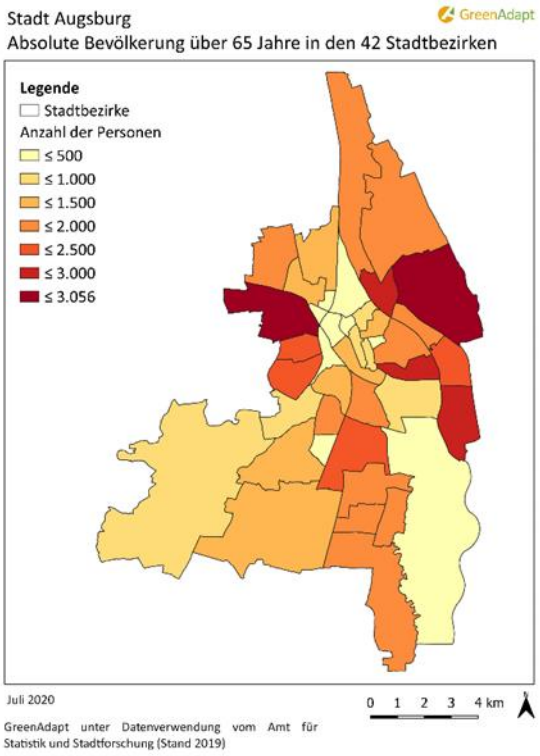
Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Gesundheit detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 54, oben) einen schematischen Gesamtüberblick.

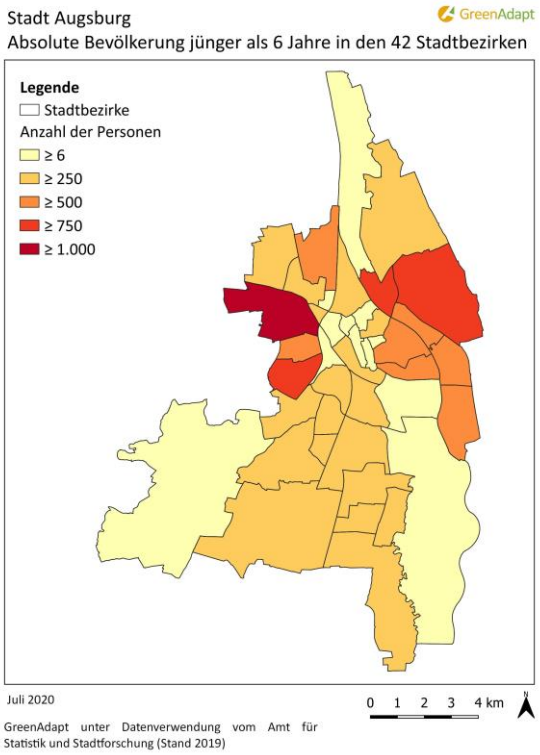
Für die menschliche Gesundheit sind direkt und indirekt wirkende Klimasignale relevant. Bei den direkt wirkenden Klimafolgen geht es primär um vermehrtes Auftreten von Hitzephasen, den Anstieg der Durchschnittstemperatur sowie die Zunahme von Extremwetterlagen. Bei indirekt wirkenden Klimafolgen tritt zunächst eine klimabedingte Veränderung der Umwelt ein, die dann gesundheitliche Effekte hervorruft (insbes. Vektoren/ Infektionskrankheiten, Toxine, Allergene).

Hitze

Die klimatische Entwicklung in Augsburg (vgl. Kap. 4) lässt erwarten, dass es in Augsburg zukünftig **wärmere Sommer**, mehr **Hitzetage** und häufiger mehrtägige Phasen extremer thermischer Belastung (Hitzewellen) geben wird.

Hitzesommer wie die der Jahre 2003, 2018 oder auch 2019, die heute noch als extrem empfunden werden, könnten schon in naher Zukunft zum Normalfall werden. Mit dieser Entwicklung sind gravierende gesundheitliche Risiken (**Morbidität: Erkrankung; Mortalität: Sterblichkeit)** verbunden.





Karte 3: Räumliche Verteilung ausgewählter Risikogruppen im Stadtgebiet. Anteil der Über-65-Jährigen (oben) sowie der Unter-6-Jährigen (unten) in den 42 Augsburger Stadtbezirken. Quelle: GreenAdapt; Daten (Stand 2019): AfS.

Dieses zunehmende Risiko betrifft tendenziell die gesamte Bevölkerung Augsburgs, gleichwohl lassen sich bestimmte **Risikogruppen** identifizieren (Exkurs 1). Darunter werden in diesem Zusammenhang Personengruppen gefasst, für die das Gesundheitsrisiko bei mehrtägiger, extremer thermischer Belastung höher ist als für den Durchschnitt der Bevölkerung (An der Heiden/ Buchholz/ Uphoff 2018).

Eine Hauptrisikogruppe ist die **ältere Generation** (65+, besonders stark ab 75+); viele Studien belegen hier deutlich erhöhte Sterblichkeitsraten in Phasen starker Hitze (Michelozzi et al. 2009). Für die besondere Verwundbarkeit Älterer sind verschiedene Faktoren verantwortlich, so etwa die reduzierte Akklimatisationsfähigkeit des Körpers an extreme Temperaturen. Alter ist zudem oft mit Pflegebedürftigkeit gekoppelt: Wenn die Fähigkeit, sich selbst zu versorgen eingeschränkt ist, ist der ältere Mensch von familiären Strukturen bzw. vom Pflegesystem abhängig – gerade auch in Extremsituationen.

Auch **Kinder** zählen zu den Gruppen mit erhöhter Sensitivität. Vom Alter her ist bereits das Kind im Mutterleib besonders gefährdet, auch Säuglinge sowie jüngere Kinder bis etwa 6 Jahren sind besonders sensitiv.

Ein räumliches Bild der Verwundbarkeit dieser beiden Risikogruppen erhält man, wenn man die Anzahl der Kinder und der Älteren in den städtischen Teilräumen betrachtet (Karte 3).

Stadtbezirke[19] mit einer besonders hohen Anzahl von Menschen über 65 sind Kriegshaber, Lechhausen-Ost und -West, Wolfram- und Herrenbachviertel sowie Hochzoll-Süd. Aber auch in vielen anderen Stadtbezirken ist der Anteil älterer Menschen erheblich. Kinder unter 6 finden sich über das gesamte Stadtgebiet verteilt, besondere Schwerpunkte sind aber in Kriegshaber, Pfersee-Süd, Lechhausen Ost und -West zu finden.

Exkurs 1: Gesundheitsfolgen extremer Hitze – Risikogruppen im Überblick

Neben älteren Menschen und hier insbes. den Hochbetagten zählen auch **Pflegebedürftige, (Chronisch) Kranke sowie Schwangere und Kinder** (zu den Personengruppen, die eine besonders hohe Sensitivität für Gesundheitsfolgen durch extreme Hitze aufweist.

Eine weitere Risikogruppe sind **Kinder**, u.a. da der Körper bis zur Pubertät weniger gut transpirieren kann und Kinder von selbst sowohl das Durstgefühl als auch erste Anzeichen von Beschwerden leicht übersehen. **Säuglinge sowie Kinder zwischen 1 und 2** sind aufgrund ihrer hohen Sensitivität besonders schutzbedürftig.

Verschiedene Studien identifizieren - je nach Lebensphase - das **Geschlecht** als einen signifikanten Faktor für stärkere Verwundbarkeit; die Forschungsergebnisse sind jedoch insgesamt noch nicht eindeutig ist. Gut belegt ist hingegen der Einfluss verschiedener sozialer Faktoren: So erhöht beispielsweise eine sozial **isolierte Lebensweise** das Gesundheitsrisiko; auch andere soziale Faktoren wie die Beschaffenheit des **Wohnumfelds oder des Arbeitsplatzes (Draußen-Beschäftigte)** können die Verwundbarkeit des/ der Einzelnen beeinflussen.

Symptome können sich unter Hitzeeinfluss ebenso verändern wie andererseits die Wirkungen von Medikamenten: Nicht-angepasste Lagerung und Dosierung (z.B. blutdrucksenkende Mittel, Antidepressiva, Betablocker) (Zielo/ Matzarakis 2018) sind mit erhöhten Risiken verbunden. Eine Reihe von Studien zeigt, dass mit Blick auf die allgemeine Bevölkerung die Mehrzahl der Todesfälle während Hitzewellen auf **Herzkreislauf- und Hirngefäßerkrankungen** zurückzuführen ist (Breitner et al. 2013); desweiteren ist – weniger bekannt – eine erhöhte Sterblichkeit aufgrund von **Atemwegserkrankungen** (Witt et al. 2015) zu verzeichnen. Mit einer Verstärkung der Thrombosebildung steigt insbesondere das **Herzinfarktrisiko**. Für Augsburg liegt eine Studie vor, die diesen positiven Zusammenhang bereits in der jüngeren Vergangenheit (1987-2014) feststellt (Chen et al. 2019a). Der Klimawandel wird das **zukünftige Herzinfarktrisiko** in Augsburg aber noch deutlich erhöhen (Chen et al. 2019b).

So gab es in der Region Augsburg (Stadt Augsburg, Landkreise Augsburg und Aichach-Friedberg) von 2001 bis 2014 jährlich 566 Herzinfarkte. Wird das Ziel des Übereinkommens von Paris – nämlich die Eindämmung der Erwärmung auf 1,5 °C – erreicht, werden die hitzebedingten Herzinfarkt-Fälle in Augsburg um 17 Fälle pro Jahrzehnt zunehmen. Eine Erwärmung um 2 °C führt zu einer Zunahme von hitzebedingten Infarktfällen um 54 pro Jahrzehnt, bei einer globalen Erwärmung um 3 °C steigen die Herzinfarkte auf 109 pro Jahrzehnt. Die Studie betrachtet im Übrigen auch die Abnahme kältebedingter Herzinfarkte durch den Kli-

[19] Bezeichnungen der Planungsräume und Stadtbezirke siehe Anhang A.4.

mawandel sowie den Nettoeffekt aus Wärme- und Kälteeffekt. Bei dem 1,5° Szenario halten sich Zu- und Abnahme die Waage, aber schon ab einer Erwärmung von 2 °C überwiegt der Wärme- den Kälteeffekt.

Aber auch unterhalb der extremen Folge Herzinfarkt sind Hitzewellen mit Tagestemperaturen über 30 °C eine gesundheitliche Herausforderung. **Erschöpfung, Müdigkeit, Abgeschlagenheit** sind oft die Folge, besonders wenn die Temperaturen auch nachts nicht unter 20 °C absinken („Tropennächte“) und der Schlaf gestört ist. Dies betrifft nicht nur ältere oder kranke Menschen, sondern auch die Gesunden: spürbare Einschränkungen der Arbeitsproduktivität bei den Beschäftigten können die Folge sein (→ HF Industrie/ Gewerbe). Es besteht zunehmende Gefahr von z.B. Hitzeerschöpfung, Sonnenstich oder Herz-Kreislauf- sowie Atemwegserkrankungen. Das führt zu einer Zunahme an **ärztlichen Behandlungen**, ggf. Inanspruchnahme des Rettungsdienstes (→ HF Katastrophenschutz), berufsbedingten Ausfällen (→ HF Industrie/ Gewerbe) und zu höheren Einweisungszahlen in **Krankenhäuser**, d.h. insgesamt zu einer steigenden Belastung des **Gesundheitssystems**.

Exkurs 2: Zusammenhang Klimasignal „Hitze“ und Erstaufnahmedaten ins Universitätsklinikum

Um herauszufinden, ob bereits in den letzten Jahren ein Zusammenhang zwischen Hitzeereignissen und gesundheitlichen Hitzefolgen in Augsburg festzustellen war, wurden Erstaufnahmedaten des Universitätsklinikums Augsburg analysiert. Der dem Projekt zur Verfügung gestellte Datensatz umfasst die Einlieferungen von 2017 bis 2019 zusammen mit der Angabe der Erkrankung, welche zur Einlieferung geführt hat.

Dieser Einlieferungsgrund wird als ICD-Kennung angegeben und stellt die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) herausgegebene internationale Klassifikation der Krankheiten dar (ICD: *International Classification of Diseases*, deutsch: „Internationale Klassifikation von Krankheiten“)). Da Hitzebelastung häufig zu Kreislauf- und Atemwegserkrankungen führt, wurden diese Kennungen („I“ und „J“) zur weiteren Analyse ausgewählt.

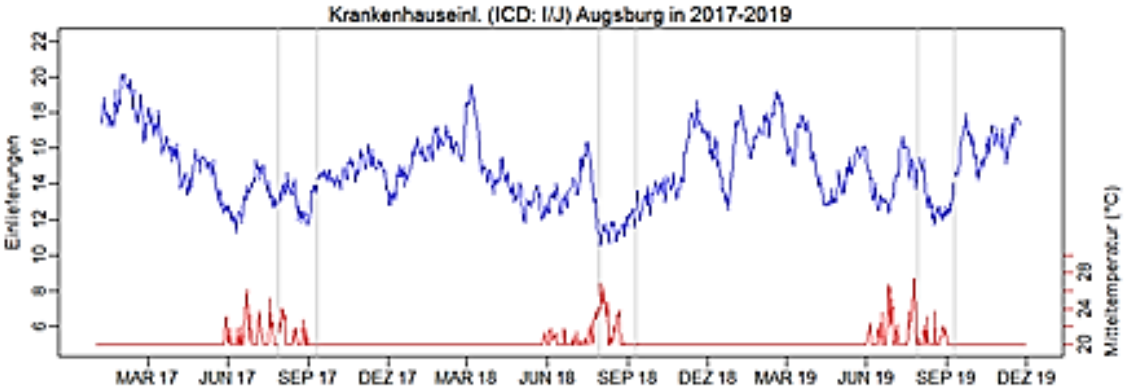


Abb. 55: Mitteltemperatur (rot) und Anzahl der Einlieferungen (2017-2019). Nach ICD Kennung der Kategorie I und J (Kreislauf- und Atemwegserkrankungen) im Universitätsklinikum Augsburg (blau). Die grauen Balken umfassen die Sommerferien.

Die Daten zeigen besonders ausgeprägte tägliche Schwankungen. Die Erstaufnahmezahlen unterscheiden sich bspw. stark an unterschiedlichen Wochentagen. So sind die Gesamteinlieferungen am Montag im Mittel mehr als doppelt so hoch wie an einem Samstag. Zur besseren Darstellung wurden die Daten geglättet, das heißt jeder Tageswert wird mit den Werten von ± 1 Woche gemittelt.

Abb. 55, oben, zeigt die geglättete tägliche Häufigkeit von Erstaufnahmen von Patienten mit Kreislauf- und Atemwegserkrankungen. Im Winterhalbjahr liegen die Zahlen bei diesen Krankheitsbildern über jenen des Sommerhalbjahres. Es lässt sich weiterhin ein deutlicher Rückgang der Einlieferungen während der Sommerferien (zwischen den grauen Linien) feststellen. Da diese naturgemäß in dem besonders hitzeanfälligen Monat August liegen, verzerrt die Auswertung. Ein direkter zeitlicher Zusammenhang zwischen Temperatur und Krankenhauseinlieferungen wegen Kreislauf- und Atemwegserkrankungen lässt sich auf den ersten Blick nicht erkennen. Allerdings fällt der Anstieg von Einlieferungen gegen Mitte der Sommerferien und kurz nach dem Höhepunkt der Temperaturwerte auf.

Andere Studien zeigen, dass sich Hitzewellen erst zeitversetzt (2-7 Tage nach deren Ende) in Krankenhausaufnahmen abbilden (Scherer et al. 2014). Insofern könnte der Anstieg der Erstaufnahmen ab etwa Mitte August in den Jahren 2017, 2018 und 2019 durchaus ein Effekt der hohen Sommertemperaturen gewesen sein.

Einen weiteren Hinweis auf diesen Zusammenhang gibt die Tatsache, dass an Tagen mit über 25 °C eine Erhöhung von Dehydration/ Wassermangel (ICD-Code E86) um mehr als das Dreifache gegenüber Tagen unter 25 °C festgestellt werden kann. Dehydration tritt insbesondere bei älteren Menschen als eine mögliche Folge von Hitzebelastung auf. Auch andere witterungsbedingte Folgen wie beispielsweise die toxische Wirkung durch Kontakt mit giftigen Tieren (T63) steigen bei über 25 °C von einem Fall alle 40 Tage auf einen Fall alle 6 Tage an. Frakturen (S62) treten an Tagen mit über 20 °C etwa 30% häufiger auf als an Tagen unter 20 °C. Hier ist allerdings das Verhalten der betroffenen Personen der entscheidende Faktor, nicht (so sehr) ihre körperliche Disposition. Zu beachten ist, dass die Vergleiche auf teilweise recht geringen Fallzahlen basieren. Treten Einlieferungen wegen Kreislauf- und Atemwegserkrankungen mehr als 5.000 Mal pro Jahr auf, sind es etwa nur 45 Frakturen pro Jahr; Schäden durch Hitze und Sonnenlicht (T67) wurde in der dreijährigen Zeitreihe sogar nur einmal genannt. Für eine aussagekräftigere Analyse wären längere Zeiträume zu analysieren, um auch Störfaktoren wie Ferien, Wochenenden und Feiertage besser filtern zu können. Auch könnten Daten von weiteren Gesundheitsversorgungseinrichtungen wie z.B. Hausarztpraxen oder Pflegeeinrichtungen ergänzende Perspektiven über die Belastung der Bevölkerung durch Hitze liefern.

Wenn sich, wie gesehen, bereits heute ein gewisser Zusammenhang von Hitzeereignissen und Krankenhauseinweisungen nachweisen lässt, so dürfte dieser sich durch die kombinierte Wirkung aus Klimawandel und demographischem Wandel schon in naher Zukunft deutlich verstärken. Umso wichtiger ist es, sich auch die Risikowahrnehmung der lokalen Bevölkerung näher anzusehen. Hier kann das Projekt "Augsburg bleibt cool" (Abc) Aufschlüsse geben.

Exkurs 3: Projekt „Augsburg bleibt cool" (Abc)

Das Problem der klimawandelbedingten Zunahme von Hitzewellen und den dadurch resultierenden Gesundheitsgefahren (neben der Einschränkung von Wohlbefinden und Arbeitsproduktivität) wurde in Augsburg frühzeitig erkannt. Unter Beteiligung von bifa Umweltinstitut GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen (SLU), Universität Augsburg und Umweltamtes widmete sich zwischen 2018 und 2020 ein vom Bundesumweltministerium (BMU) gefördertes Forschungsvorhaben (Federführung: Universität Ulm) speziell dieser Problematik (https://www.uni-ulm.de/projekt-abc).

Das Abc-Projekt hatte folgende **Ziele**:

- Identifizierung von Hitze-Hotspots im öffentlichen Raum und in Wohnungen unter aktuellen sowie Klimawandel-Bedingungen.
- Sensibilisierung der (vulnerablen) Bevölkerung für Risiken und Stärkung von Selbsthilfe-Kompetenz.
- Transfer von Ergebnissen ian relevante Akteure sowie themenbezogene Vernetzung der Akteure.

Eine hervorzuhebende Besonderheit des Projekts ist die ➤ Citizen-Science-Komponente, also die aktive Beteiligung der Bevölkerung an Mess- und Forschungsaktivitäten. So wurden im Sommer 2019 rund 600 Temperaturdatenlogger an Haushalte verteilt, um Temperaturen in Schlafräumen zu messen. Durch die Kombination dieser Abc-Messstandorte mit dem bestehenden Stadtklimamessnetz der Universität Augsburg ergab sich ein fein aufgelöstes temporäres „Hybrid"-Messnetz im Messgebiet (Abb. 56).

Im Rahmen einer Haushaltsbefragung wurden die Belastungswahrnehmung und die Anpassungsmaßnahmen der 465 teilnehmenden Haushalte erhoben. Dabei zeigen sich eine Reihe interessanter Befunde (vgl. Beckmann 2020):

- „Eine Mehrzahl der Befragten (54 und 60,3%) sieht sich in der Stadt und im Haus zwar von Hitzewellen betroffen, aber im Vergleich der Risikowahrnehmung „eigene Gesundheit" (42,1% volle oder weitgehende Zustimmung) versus „Pflanzen und Tiere" (78,4%) wird deutlich, dass die Wahrnehmung des Gesundheitsrisikos noch relativ schwach ausgeprägt ist.
- Die wahrgenommene Hitzebelastung ist am stärksten im ÖPNV (35,3% „stark"), gefolgt von der Situation bei der Arbeit (24,7%), beim Sport (24,1%), in der Stadtmitte (20,8%) und zu Hause nachts (15%). Hier spielen Lebensalter und -umstände eine große Rolle.
- Schlafprobleme, Trägheit, Konzentrationsprobleme, Kopfschmerzen, Schwindel und Herz-Kreislauf-Probleme sind die häufigsten Beschwerden bei Hitzebelastung.
- Während die Risikogruppe chronisch Kranker (immerhin 20% der Teilnehmenden) eine überdurchschnittliche Risikowahrnehmung aufweist, schätzt die Risikogruppe 65+ die Hitzerisiken am geringsten ein. Das deutet auf einen klaren Sensibilisierungs- und Handlungsbedarf bei den Älteren in Augsburg.

- Gefragt nach Aktivitäten, die bei Hitze eher vermieden werden, steht das Einkaufen an erster Stelle (81,9% der Befragten schränken dies ein), gefolgt von sportlichen Aktivitäten (56,4%), Gartenarbeit (29,8%) und dem Aufenthalt im Freien allgemein (19,1%). Hier wird eine Querverbindung zwischen Gesundheit und Wirtschaft sichtbar: Hitzeereignisse dämpfen das Einkaufsverhalten.
- Gefragt nach den Wünschen gegenüber der Stadt Augsburg zur Ergreifung von Anpassungsmaßnahmen gegen Hitzeereignisse wurde an erster Stelle die Einrichtung kostenloser Trinkbrunnen genannt, gefolgt von mehr Stadtgrün, mehr Schattenplätzen in der Stadt, weniger Verkehrsflächen, besseren Radwegen, Klimaanlagen im ÖPNV und mehr Informationen zur Vorbeugung."

Die Befunde des Abc-Projekts stellen damit nicht nur ein aufschlussreiches wissenschaftliches Ergebnis dar, sondern vor allem auch eine hilfreiche **Planungsgrundlage für die Klimawandelanpassung in Augsburg**.

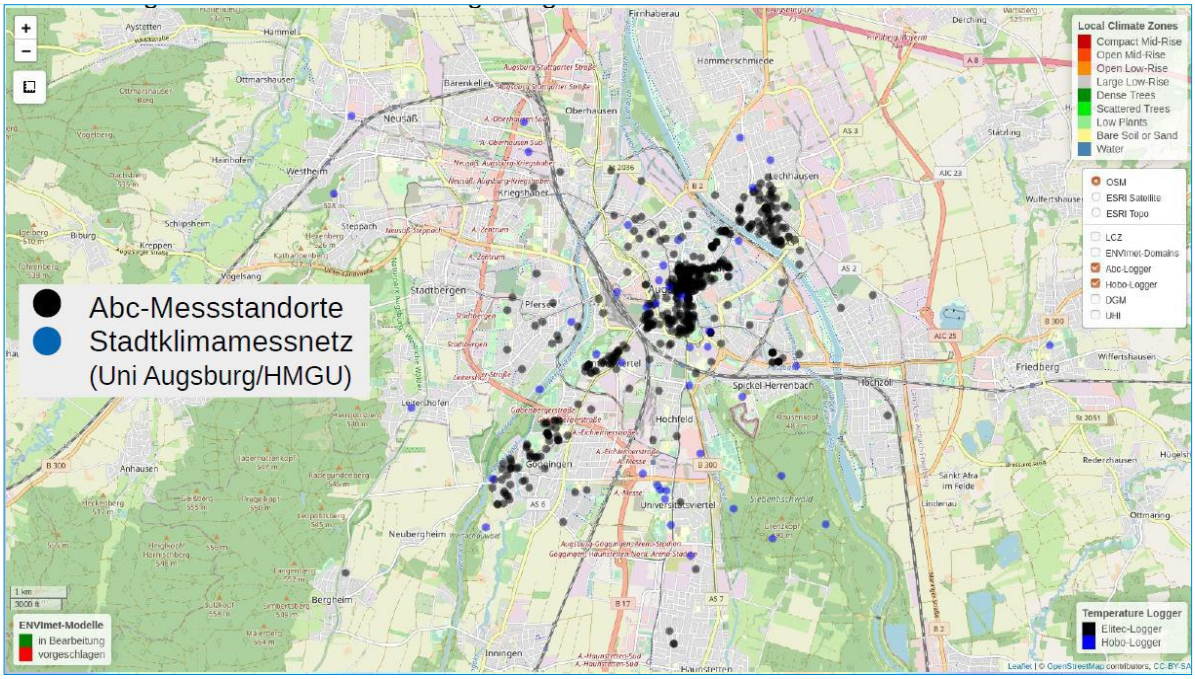


Abb. 56: Standorte der Datenlogger während des Messzeitraums; Darstellung: Universität Augsburg; Quelle: Beckmann 2020.

Neuere vergleichende Studien in mehreren internationalen Städten in 12 Ländern legen die Vermutung **psychologischer Auswirkungen** nahe; so finden sich Anzeichnen, dass die Zunahme der Mittel-, vor allem aber der Höchsttemperaturen auch die Anzahl von Selbstmorden erhöhen könnte (Kim et al. 2019). In Deutschland hat die Zahl der Depressionen – ein wichtiger Antriebsfaktor für Suizide – zwischen 2009 und 2017 von 12,5% der erwachsenen Bevölkerung auf 15,7% zugenommen; besonders häufig treten Depressionen dabei in Großstädten auf (Steffen et al. 2020); der Forschungsbedarf zu diesen Zusammenhängen und insbes. der Rolle des Klimawandels scheint hier jedoch noch relativ hoch. Umgekehrt beeinträchtigen höhere Temperaturen beeinträchtigen die Serotonin-Produktion und führen damit zu höherer Impulsivität bzw. Aggressivität, die sich nach einigen Studien auch in verändertem Fahrverhalten (verbunden mit entsprechenden Gesundheitsrisiken) umsetzen könnte.[20]

Mildere Winter

Die für Augsburg zu erwartenden milderen Winter sind einer der wenigen Aspekte des Klimawandels, die mit gewissen **positiven Effekten** für die menschliche Gesundheit einhergehen. Unabhängig davon, wie man unterwegs ist (zu Fuß, per Rad, Motorrad oder Auto), sinkt die Wahrscheinlichkeit, von einem Unfall aufgrund von Eisglätte auf Verkehrswegen betroffen zu

[20] Wie die Bedarfs- und Bestandsanalyse der Gesundheitsregion*plus* Stadt Augsburg ergab, ist eine Zunahme von Verkehrsverunglückten von 11 % im Zeitraum 2010-2016 (Stand: 2019) zu beobachten. Neben verkehrspolitischen u.a. Ursachen (mangelnde Radwege → HF Verkehr), könnte ein Anstieg von aggressivem Fahrverhalten dazu beitragen.

sein (→ HF Verkehr). Auch **kälteassoziierte Krankheiten** bzw. **Todesfälle** dürften zurückgehen (Chen et al. 2019b), wobei die Rückgänge aufgrund des demographischen Wandels (Jap. 3) überkompensiert werden dürften (Rai et al. 2019).

Weitere extreme Wetterereignisse

Die zunehmenden, lang anhaltenden Perioden großer Hitze und Trockenheit sind mit einem Anstieg der **Waldbrandgefahr** verbunden (→ HF Forstwirtschaft, → HF Katastrophenschutz). In den Sommermonaten werden oft die zweithöchste (Warnstufe 4) oder höchste (Warnstufe 5) Warnstufen ausgerufen. Waldbrände sind immer auch mit Gefahren für Leib und Leben von Menschen verbunden, die z.B. gerade im Wald Erholung suchen oder Sport treiben, aber auch für alle, die im Wald arbeiten (einschl. Jägerschaft) und für die Feuerwehrleute. Auch nahe gelegene Siedlungen sind tendenziell zunehmenden Risiken ausgesetzt, etwa in Form von Rauchentwicklung und Aschebelastung; auch die Brandgefahr für Gebäude steigt tendenziell. Jeder Flächenbrand hat zur Folge, dass große Mengen an winzigen Rauch- und Staubpartikeln (*Aerosole*) in die Luft steigen. Diese kleinsten Teilchen reizen Rachen, Bronchien und Lunge. Besonders sensitiv darauf reagieren Säuglinge und kleine Kinder sowie Menschen mit Atemwegserkrankungen.

Weitere Extremwetter-Ereignisse wie die steigende Intensität winterlicher Sturmtiefs, intensivere und häufige Gewitterereignisse, Hagelschauer oder zunehmender Starkregen sind mit **ansteigender Verletzungsgefahr** (z.B. umstürzende Bäume, Astbruch, Schädigungen an Bauten wie Brücken, Geländer oder Dächern) für die Bevölkerung verbunden.

UV-Strahlung, Luftschadstoffe, Ozon

Der mit dem Klimawandel einhergehende Anstieg der sonnigen Tage führt zu einem Anstieg der Tage mit hohen **UV-Werten**. Zusätzlich problematisch wirkt der Umstand, dass sich die Ozonschicht nicht in dem Maße erholt wie noch vor einiger Zeit erwartet (Baldermann/ Lorenz 2019). Auch hat sich das Freizeitverhalten langfristig verändert: Im Vergleich etwa zu den 1950er/60er Jahren verbringen die Menschen ihre Freizeit immer mehr im Freien, wodurch die Exponiertheit gestiegen ist. Personen, die unter freiem Himmel arbeiten, sind ebenfalls besonders exponiert (→ HF Industrie/ Gewerbe).

Laut Bundesamt für Strahlenschutz (BfS 2020) ist die Gefahr von **Erbgutveränderunge**n (Mutationen) das gravierendste Gesundheitsrisiko übermäßiger Sonnenexposition. Für den seit Jahren zu beobachtenden Anstieg der **Erkrankungen an Hautkrebs** gilt die vermehrte Belastung mit UV-Strahlung als eine Hauptursache. Seit den 1980er Jahren hat sich deutschlandweit das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken, verdreifacht.

Die zunehmende Exposition gegenüber UV-Strahlung ist nicht nur eine Gefahr für die Haut, sondern auch für die **Augen**, u.a. weil die Hornhaut einen Sonnenbrand erleiden kann, ähnlich wie unsere Haut. Kinder sind eine Risikogruppe, die dringend mehr zu schützen ist. Gesundheitliche Spätfolgen treten oft im Alter auf: Im Fall des Grauen Star (*Katarakt*) ist beispielsweise davon auszugehen, dass ca. 20% durch Sonnenschäden verursacht werden. Auch gut ein Drittel der altersbedingten Hornhaut- und Bindehautveränderungen bei chronisch stärker lichtexponierten Personen werden mit UV-Lichtschäden assoziiert.

Mehr heiße und trockene Tage werden zu einer erhöhten fotochemischen **Produktion sekundärer Luftschadstoffe** führen (Schultz et al. 2017). Generell wirken die erwarteten Klimaänderungen eher in Richtung einer **Zunahme der Schadstoffbelastung**, sodass sie das Erreichen von Reduktionszielen, die sich etwa die Kommune setzt, zunehmend erschweren werden (Giorgie/ Meleux 2007).[21]

Gesundheitsrelevant ist besonders das bodennahe **Ozon**, das in höheren Konzentrationen gesundheitsschädlich ist. Ozon ist ein farbloses Gas und ein natürlicher Spurenbestandteil der Luft. Bereits im Frühjahr wird mit zunehmendem Sonnenstand unter dem Einfluss der bodennah ankommenden, energiereichen UV-Strahlung durch chemische Umwandlungen zusätzlich Ozon gebildet, das den Großteil der bodennahen Ozonkonzentration ausmacht. Im Sommer liegt die bodennahe Ozonkonzentration in Bayern etwa 40 µg/m³ über der Konzentration im Winter (LfU 2020).

In Deutschland gilt ein Zielwert von 120 µg/m³ als höchster 8-Stunden-Mittelwert während eines Tages bei 25 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr (LfU 2020). Die Informations- und Alarmschwellen liegen bei 180 µg/m³ bzw. 240 µg/m³ als Stundenmittelwerte. Gesundheitlich bedenklich ist Ozon, weil es in höheren Konzentrationen als Reizgas wirkt. Vor allem bei Asthmatikern sowie Menschen mit Atemwegserkrankungen kann es **Atemprobleme** verursachen

[21] Das bedeutet umgekehrt, dass Fortschritte bei Klimaschutz und Luftreinhaltung auch den Zielen der Klimaanpassung dienen.

und schlimmstenfalls zu einer **erhöhten Sterblichkeit** führen (z.B. Filleul et al. 2006). Neuere Studien deuten darauf hin, dass auch niedrigere Ozonkonzentrationen den menschlichen Organismus langfristig schädigen können (Zhang et al. 2019). Die Weltgesundheitsorganisation hat 2005 den Zielwert von 120 µg (2-4% höhere Mortalität) auf 100 µg (1-2% erhöhte Mortalität) herabgesetzt (WHO 2005).[22]

Eine Auswertung der **Ozonbelastung in Augsburg** (Station LfU) zwischen 2000 und 2016 zeigt, dass die Ozonkonzentration hier im Frühjahr und Sommer vor allem in den frühen Nachmittagsstunden besonders hoch ist (Hertig et al. 2019). In der gesamten Periode schwankten die Werte zwischen 18 und 205 µg/m³. Interessanterweise kommt diese Studie zu dem Ergebnis, dass der Zusammenhang zwischen Ozonkonzentration und **Herzinfarktrisiko in Augsburg** nicht linear ist, sondern umgekehrt U-förmig verläuft. Der Schwerpunkt des Infarktrisikos liegt demnach in einem Korridor von 96–135 µg.[23]

In ihrer Studie zur Änderung der Ozonkonzentration in Bayern im Zuge des Klimawandels kommt Hertig (2020) zu dem Schluss, dass im Falle von Augsburg bis zum Ende des Jahrhunderts eine klimawandelbedingte **Zunahme der Ozonkonzentration** in den Monaten April bis September in der Größenordnung von 18-20 µg/m³ zu erwarten ist. Der Schwellwert von 100 µg/m³ würde dann an 62,3% der Tage überschritten, der von 120 µg/m³ an 38,8% der Tage, und der von 180 µg/m³ an 2,6% der Tage. Von den räumlichen Schwerpunkten her findet sich die höchste Ozonbelastung eher im suburbanen Raum, anders als z.B. Luftschadstoffe wie Feinstaub, die sich in den verkehrsdichteren Zentren der Stadt kumulieren (Quelle: Interview).

Gesundheitsgefährdende Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen

Der klimatisch bedingte langfristige Anstieg der Durchschnittstemperatur in der Region hat nicht nur massive ökologische Auswirkungen (→ HF Biodiversität, HF Forstwirtschaft, HF Landwirtschaft), sondern begünstigt auch die **Ausbreitung verschiedener gesundheitsgefährdender Pflanzen und Tiere**, die von dem wärmeren Klima profitieren. Im Folgenden werden verschiedene Risiken aus diesem Bereich näher vorgestellt.

Heimischer Vektor: Zecken

Zecken sind eine in ganz Deutschland heimische Art, und ein sog. **Vektor**, der – neben den Stechmücken - weltweit als zweitwichtigster **Überträger von Krankheiten** fungiert.[24] Es ist hauptsächlich der Gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*), der vom Anstieg der Durchschnittstemperatur und den wärmeren Wintern profitiert und mit einer Verlängerung der saisonalen Aktivitätszeiten (teils bis in die Wintersaison) und der Erhöhung seiner Produktivität reagiert.

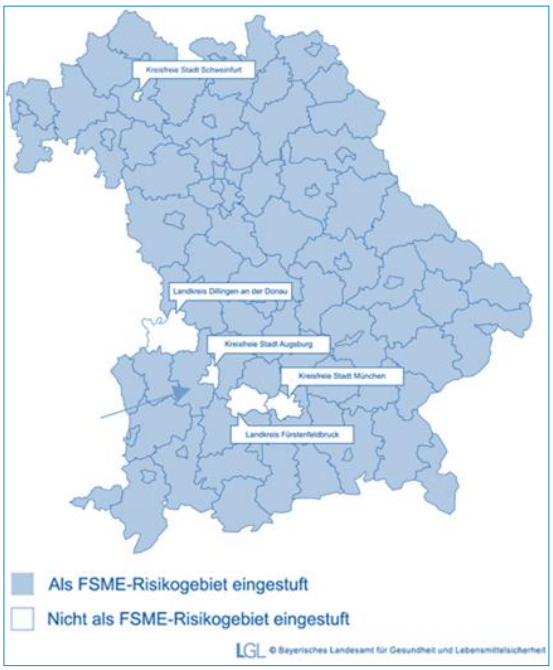


Abb. 57: Der Stadtkreis Augsburg als eine der wenigen Ausnahmen unter den FSME-Risikogebieten in Bayern. Quelle: leicht modifiziert n. LGL 2020.

Die gesundheitlichen Folgen für einen ihrer wichtigsten Wirte, den Menschen, können z.B. Erkrankungen an **Lyme-Borreliose** (rd. 60 Tsd. – 100 Tsd. Neuerkrankungen jährlich (RKI 2020)) oder **FSME** (*Frühsommer-Meningoenzephalitis*) sein. Für FSME besteht seit 2001 eine Meldepflicht:

[22] Eine Vergleichsstudie zur Übersterblichkeit durch bodennahes Ozon (Basis: 406 Städte aus 20 Ländern) gibt 6.262 Todesfälle pro Jahr durch Ozon-Expositionen von über 100 µg/m3 an (Vicedo-Cabrera et al. 2020).

[23] Diese Nicht-Linearität kann durch Verhaltensanpassungen erklärt werden: Da die Ozonkonzentration näherungsweise der Außentemperatur folgt und Menschen sich bei höheren Temperaturen häufiger in (kühlere) Innenräume zurückziehen, sinkt auch ihre Exposition (Sarnat et al. 2006).

[24] „Vektorkrankheiten“ sind Krankheiten, die durch andere Organismen („Vektoren“) übertragen werden.

Zwar verlaufen rd. 70-95% solcher Infektionen harmlos, aber in anderen Fällen können **gravierende neurologische Komplikationen** wie z.B. *Meningitis* (Hirnhautentzündung) die Folge sein. Aktuell sind 91 der 96 Landkreise und Kreisfreien Städte in Bayern als FSME-Risikogebiet deklariert (Abb. 57, Folgeseite), wobei die Stadt Augsburg zu den fünf Regionen in Bayern (und ganz Süddeutschland) zählt, die *nicht* als FSME-Risikogebiet klassifiziert werden.

Allerdings ist die **Dynamik** des weiter stattfindenden Verbreitungsprozesses zu beachten; der Landkreis Augsburg ist erst seit 2018 als Risikogebiet klassifiziert.

Zusätzliche Gesundheitsrisiken erwarten uns zukünftig durch das Auftreten zweier **neue Zeckenarten**, die sich aufgrund des Anstiegs der Mitteltemperatur zunehmend heimisch fühlen: *Auwaldzecke* (*Dermacentor reticulatus*) und die aus Afrika einwandernde *Hyalomma-Zecke* (Hagedorn 2019). Auch in Bayern wurden von letzterer bereits einige Exemplare entdeckt, Tendenz steigend. Im Sommer 2019 hatte die tropische Riesenzecke nach ihrer ersten Überwinterung in Deutschland erstmals das Zecken-Fleckfieber übertragen; betroffen war ein Pferdehalter aus NRW. Die *Hyalomma*-Zecke ist etwa fünfmalgrößer als der Gemeine Holzbock und anders als diese eine aktive Jägerin, die ihre Opfer bis zu 200 Meter weit verfolgt.

Neozoen

Im Zuge des Klimawandels dringen bereits seit einigen Jahren weitere, bislang nur in Afrika oder Asien bekannte Überträger teils lebensgefährlicher Krankheiten (Vektoren) in unsere Breiten vor.[25] Oft wurden einzelne Exemplare zufällig durch Reisen oder den internationalen Gütertransport eingeschleppt und manchen gelingt das Überleben in unseren Breiten.

Die **Asiatische Tigermücke** *(Aedes albopictus)* ist z.B. eine solche, sich aggressiv ausbreitende Art und gesundheitlich bedenklich, da sie verschiedene gefährliche Viren (wie z.B. Dengue-Fieber oder Chikungunya) überträgt (FLI 2016). Sie wurde in Bayern bereits nachgewiesen ebenso wie eine andere Stechmückenart (*Asiatische Buschmücke, Aedes koreicus*, 2015 erstmals in Bayern gefunden).

Die gesundheitliche Problematik beschränkt sich bislang auf Einzelfälle (so beziffert das Robert-Koch-Institut etwa die Anzahl der *Chikungunya*-Infektionen in Deutschland in 2017 mit 27). Gleichwohl wird – neben weiterer Erforschung und Monitoring – zu proaktiven Eindämmungsmaßnahmen geraten, um einer nicht mehr aufhaltbaren Dynamik entgegenzutreten. Besorgniserregend ist etwa das Auftreten des bislang in Deutschland unbekannten West-Nil-Virus im Jahr 2018. Einer von drei Nachweisen fand in Bayern statt. Ein Tierarzt, der im Wildpark Poing südlich von München einen Kauz obduziert hatte, gilt als der erste Mensch in Deutschland, der sich nachweislich mit diesem Virus infiziert hat (LGL 2019).

Giftpflanzen

Verschiedene **Trockenheit bzw. Wärme liebende Giftpflanzen** breiten sich auch im Raum Augsburg aus (→ HF Biodiversität). Gesundheitliche Gefahren für Mensch (teils auch für Tiere) können auf zwei Wegen auftreten:

- Möglichkeit des direkten Kontakts: Bei Hautkontakt z.B. mit dem Riesenbärenklau kommt es zu Verbrennungserscheinungen und Blasenbildung. Die krebserregenden Eigenschaften des Gifts führen dazu, dass später **Hautkrebs** auftreten kann.
- Möglichkeit der Toxineinträge in die **Nahrungskette**: Es besteht einerseits die Gefahr, dass eine Kontaminierung von Getreide etwa durch die Pollen von Kreuzkräutern erfolgt, außerdem könnte ein Eintrag in die Nahrungskette über die Kuhmilch stattfinden. Hier besteht großer Forschungsbedarf, dem sich derzeit das *Bundesinstitut für Risikobewertung* (BfR) stellt und dazu u.a. auch Futtermittel in Bayern analysiert.

Allergische Erkrankungen

Bereits heute leiden rd. 450 Tsd. Menschen in Bayern an allergischen Erkrankungen mit klinischer Relevanz. Zukünftig ist von einer weiter **zunehmenden Allergiebelastung der Bevölkerung** auszugehen. Der Klimawandel führt dazu, dass sich Wachstumsbedingungen für viele als allergen eingestufte Pflanzenarten verbessern (Bielory/ Lyons/ Goldberg 2012, Hamaoui-Laguel et al. 2015, Beggs 2015). Damit einher geht eine Verlängerung der Pollensaison bei gleichzeitigem Anstieg der Produktivität der einzelnen Pflanzen (d.h. ihrer Pollenproduktion). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zukünftig im Zuge des Klimawandels mehr Menschen über längere Zeiträume mit mehr Pollen konfrontiert sein werden (Lake et al. 2017).

[25] Mit dem Begriff *Neozoen* werden Tierarten bezeichnet, die entweder ohne oder mit menschlichem Einfluss in ein Gebiet gelangt sind, in dem sie ursprünglich nicht beheimatet waren und dort längerfristig wild heimisch werden.

Eine der weltweit gefährlichsten allergenen Pflanzen ist die **Beifuß-Ambrosie** (*Ambrosia artemisiifolia*). Die hochaggressiven Ambrosia-Allergene lösen Reizungen der Augen und der Atemwege (allergenes Asthma) aus. Aktuell ist das Auftreten der Ambrosia im Regierungsbezirk Schwaben noch als moderat zu bezeichnen, die räumlichen Schwerpunkte liegen in Oberbayern und Mittelfranken (vgl. Abb. 58). Ein Zeitvergleich zeigt, dass die „Einschläge" näherkommen: Zwischen 2007 und 2015 waren nur 3,9% aller 363 bayerischen Funde von Ambrosia-Hotspots (über 100 Pflanzen) im Regierungsbezirk Schwaben zu verzeichnen, aber immerhin 18,5% der 27 Neufunde des Jahres 2015 traten hier auf (→ HF Stadtgrün).

Ungefähr die Hälfte der Funde ist an Verkehrsflächen (vor allem an Straßenrändern) gelegen, gefolgt von Ruderalflächen/ Brachen/ Baustellen, Blumenfeldern, privatem und öffentlichem Grün und landwirtschaftlichen Nutzflächen (STMGP 2017). Standorte ab 100 Pflanzen sind meldepflichtig, kleinere Standorte sollen von Privatpersonen unter Schutzmaßnahmen selbst bereinigt werden. Es ist von einer **erheblichen Dunkelziffer** auszugehen. Nawrath/ Alberternst 2013, 2014 schätzen sie auf das Zwei- bis Vierfache der gemeldeten Bestände.

Der Klimawandel wird die Lebensbedingungen für die wärmeliebende Ambrosia-Pflanze in Europa in vielen Regionen deutlich verbessern. Das Klima der Region Augsburg wird Modellberechnungen zufolge schon um das Jahr 2030 herum so beschaffen sein, dass sie von „gelegentlich besiedelt" durch die Ambrosie zu „etabliert" umklassifiziert wird, und schon um 2060 kann die Ambrosie in der Region als „fest etabliert" gelten (Storkey et al. 2014).

Damit **erhöht sich die Vulnerabilität der Bevölkerung** deutlich. Unter Berücksichtigung der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung wird sich die Zahl der für Ambrosiapollen empfindlichen Bevölkerung in Europa von jetzt 33 auf dann 77 Mio. Personen in Europa mehr als verdoppeln. Schon jetzt sind weite Teile Polens, Italiens und Frankreich von großen Vorkommen befallen, die praktisch nicht mehr beherrschbar sind.

Anders als z.B. in der Schweiz, in der jede einzelne Pflanze meldepflichtig ist und vernichtet wird, setzt die Bekämpfung in Deutschland bislang nur bei großen Vorkommen an und es gibt keine generelle Meldepflicht.

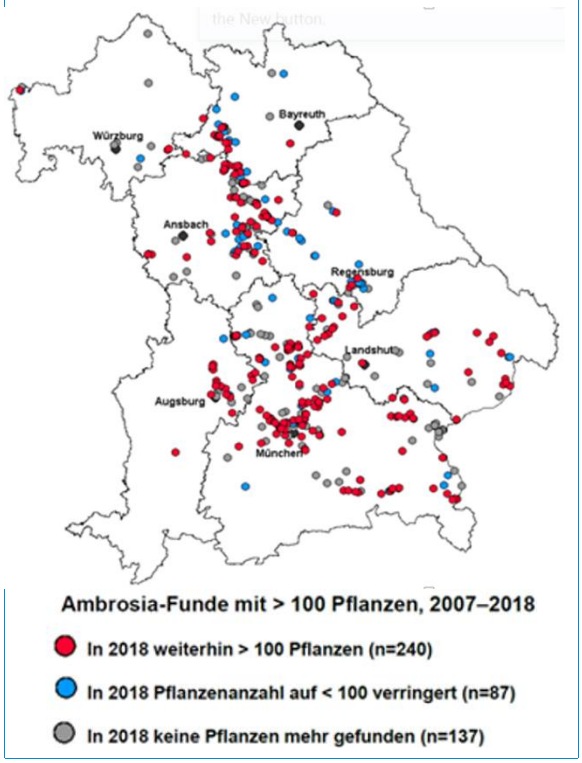


Abb. 58: Allergiebelastung durch Ambrosia. Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), oben; Ambrosia-Funde in Bayern 2007-2018 (Standorte mit über 100 Pflanzen), Quelle: Gehring/ Thyssen (LfL) 2019, unten.

Mikroorganismen

Durch den langfristigen Anstieg der Durchschnittstemperatur werden **gesundheitsgefährdende Mikroorganismen** befördert. Diese, meist einzelligen, Kleinstlebewesen wie Bakterien oder (Schimmel-) Pilze erfüllen nützlichen Funktionen für den Menschen.

Abb. 59: Blaualgenblüte in Badegewässer. Quelle: Wikiwand.

Mikroorganismen rufen aber auch steigende Gesundheitsrisiken in den Bereichen Lebensmittel, Trinkwasser und Badegewässer hervor: Hohe Temperaturen stellen besondere Anforderungen an die Lebensmittelhygiene, da sich **Mikroorganismen wie Salmonellen und andere Krankheitserreger** bei Hitze und hoher Luftfeuchtigkeit besonders schnell vermehren. **Pathogene Bakterien und Viren in Nahrungsmitteln** (wie Salmonellen, Campylobacter, EHEC[26] oder Noroviren) können Lebensmittelvergiftungen (mit Magenkrämpfen, Durchfall und Erbrechen) hervorrufen, die für Kleinkinder, Schwangere, immungeschwächte oder alte Menschen im Extremfall sogar lebensbedrohlich verlaufen können (Semenza et al. 2012).

Der Klimawandel wird schließlich auch unser **Lebensmittel Nr. 1, das Trinkwasser** betreffen**,** das für die Gesundheit sehr wichtig ist. Die mengenmäßige Verfügbarkeit sowie Trinkwasserqualität in der Stadt Augsburg sind durch bereits laufende Anpassungsmaßnahmen allerdings gegenwärtig gut und Beeinträchtigungen mindestens in der näheren Zukunft eher nicht zu erwarten. Schon heute zeichnet sich jedoch eine Konkurrenz um das immer knapper werdende Gut „Wasser" ab (→ HF Wasser).

Wärmere Umwelttemperaturen können aber die **Keimbildung in häuslichen Leitungen** befördern, Abkochgebote vor Verwendung als Trinkwasser sind häufig die Folge. Die Stadt hatte bislang noch nicht mit dieser Problematik zu kämpfen, auf längere Sicht ist das Risiko jedoch im Auge zu behalten. Neben Luft- können auch höhere Bodentemperaturen das Leitungswasser wärmer und dadurch keimanfälliger werden lassen. Schließlich kann zunehmende Trockenheit auch die Filterkapazität der Böden beeinträchtigen (Niehues/ Merkel 2020, Rohn/ Mälzer 2010).

Eine ansteigende Gefahr für die **Verunreinigung mit „Blaualgen" (*Cyano*-Bakterien) oder *Vibrio*-Bakterien** ist nahezu in allen **Badegewässern** vorhanden. Kuhsee, Autobahnsee, Naturfreibad Haunstetten oder Bergheimer Baggersee werden regelmäßig überprüft und weisen bisher eine ausgezeichnete Wasserqualität auf. Mit dem Klimawandel nehmen Hitze und Trockenheit jedoch zu. Wenn z.B. zu hohe Nährstoffeinträge (wie Düngemittel, Nitrate) hinzukommen, kann die plötzliche, explosionsartige Vermehrung dieser Mikroorganismen befördert werden. Eine Gesundheitsgefahr ist insofern gegeben, als Blaualgen Stoffe produzieren, von denen einige zu den stärksten natürlichen Giften gehören - insofern ist das Verschlucken von betroffenem Wasser gefährlich. Im Stadtgebiet ist diese Problematik gegenwärtig noch nicht aktuell (→ HF Wasser). Aber im Sommer 2019 kam es zum Auftreten von Blaualgen im Mandichosee südlich von Augsburg; dort starben an Vergiftungen durch die Blaualgen mehrere Hunde (Stadtzeitung 2020).

5.2.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Für die Priorisierung der Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Gesundheit ist es sehr wichtig, neben dem künftigen Klimawandel auch den demographischen Wandel im Blick zu haben. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden Trends in beiden Bereichen sind folgende Verwundbarkeiten prioritär:

- Anstieg der **hitzebedingten Morbidität und Mortalität** bei besonders verwundbaren Zielgruppen (Ältere, Kinder, Menschen mit chronischen Erkrankungen, behinderte Menschen).
- Zunahme **von allergischen Reaktionen und chronischen Allergien** durch vermehrtes Auftreten von Pollen und anderen Allergenen (z.B. durch Neophyten).
- Wachsendes Risiko der **Ausbreitung (neuer) Infektionserkrankungen** aufgrund verbesserter Lebensbedingungen von Vektoren.
- Anstieg der Gesundheitsrisiken (Mortalität, Morbidität) durch vermehrtes Auftreten bodennahen **Ozons**.
- Anstieg des **Hautkrebsrisikos** (UV-Strahlung).

Nach den gemachten Ausführungen muss kaum betont werden, dass die sektorale Verwundbarkeit bereits heute gravierende Folgen für die Gesundheit der Augsburger Bevölkerung, insbes. der Risikogruppen, hat, die zukünftig zunehmen werden.

[26] EHEC ist die Abkürzung für *Enterohämorrhagische Escherichia (E.) coli*. Dabei handelt es sich um Bakterien, die von Natur aus im Darm von Wiederkäuern (Rinder, Schafen, Reh- oder Rotwild) vorkommen und die Giftstoffe (*Shigatoxine*) produzieren können.

5.3. Industrie/ Gewerbe

5.3.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Die Universitätsstadt Augsburg ist ein leistungsfähiger und innovationsfreudiger Wirtschaftsstandort mit langer Tradition – schließlich waren hier seit dem ausgehenden Mittelalter schon die Fugger und Welser aktiv. Traditionell stark im Bereich der Finanzdienstleistungen, der Textilherstellung und des Maschinenbaus, ist Augsburg heute ein Wirtschaftsstandort mit einem breiten Branchenspektrum. Schwerpunkte finden sich in Mechatronik/ Automation, Faserverbund, IuK, Logistik, Umwelttechnologie, Gesundheitswirtschaft und Kultur- und Kreativwirtschaft.

Die Bezüge zwischen der Wirtschaft und dem anthropogenen Treibhauseffekt gehen in *beide* Richtungen: Wirtschaftliche Tätigkeit trägt zur Verursachung der Treibhausgasemissionen bei und wird gleichzeitig zunehmend von den Folgen des Klimawandels betroffen sein. In Augsburg trägt der Industriesektor mit rd. 44% zu den städtischen Treibhausgasemissionen bei, der Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (incl. Straßenbeleuchtung und öffentliche Gebäude) zu rd. 25% (Werte für 2016, Stadt Augsburg/ Umweltreferat 2018). Die Betroffenheit kann in teils großen Risiken liegen, die es zu minimieren gilt, vereinzelt sind Chancen gegeben.

Die Wirtschaftsstruktur Augsburgs wird durch einen hohen Anteil des **verarbeitenden Gewerbes** geprägt**:** Hier finden sich 15,6% der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, die 22,5% der Bruttowertschöpfung (BWS) Augsburgs erzielen (Stand 2017, Abb. 60). Augsburgs Wirtschaftsstruktur ist durch einen sehr hohen Anteil kleiner und kleinster Unternehmen gekennzeichnet (Anteil 0-9 Beschäftigte: 88,9%). Mittelgroße und große Unternehmen (über 50 Beschäftigte) machen nur 2,5% der Unternehmen aus (VDI/VDE 2020).

Augsburg ist ein dynamischer Wirtschaftsstandort. Seit über 10 Jahren übertrifft die Zahl der **Gewerbeanmeldungen** deutlich die der Abmeldungen (ebd.). Die **Kaufkraft** in Augsburg beträgt 95,9% des deutschen Durchschnitts (IHK 2018). Die **Arbeitslosenquote** war seit Jahren rückläufig und lag 2019 bei 5,2% (VDI/VDE 2020: 8). Das **Handwerk** hat eine wichtige Bedeutung. Etwa 50.000 Beschäftige arbeiten in rd. **7.000 Handwerksbetrieben,** die der **Kreishandwerkerschaft Augsburg** bzw. der **Handwerkskammer für Schwaben** angehören. Letztere betreut auch das **Klimaschutznetzwerk**, dem rd. 750 Handwerksbetriebe sowie weitere Partner in ganz Schwaben angehören.

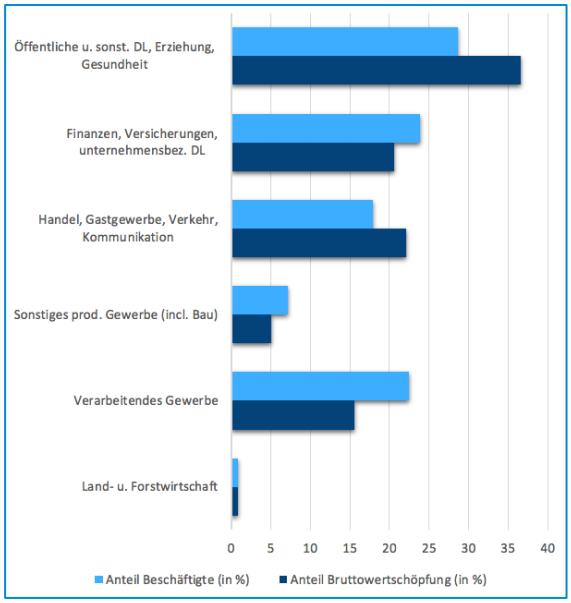


Abbildung 60: Anteil der Wirtschaftszweige an der Bruttowertschöpfung und den Beschäftigten in Augsburg. Stand: 2017, Angaben in %; (Sektor Landwirtschaft Werte jeweils 0,1%; hier grafisch überproportional dargestellt). Quelle: Stadt Augsburg 2019a.

Auch die **Industrie- und Handelskammer** hat ihren Sitz in Augsburg. Die **Messe Augsburg** ist der drittgrößte Messeplatz Bayerns. Unterstützt wird die Augsburger Wirtschaft von der **Wirtschaftsförderung** der Stadt sowie der **Regio Augsburg Wirtschaft** GmbH.

Die Regio Augsburg Wirtschaft GmbH betreibt das **Regionalmarketing** für den weiter gefassten Wirtschaftsraum Augsburg (A³) (Stadt sowie die Landkreise Augsburg und Aichach-Friedberg). Das **Güterverkehrszentrum** (GVZ) im Dreieck der Städte Augsburg, Gersthofen und Neusäß ermöglicht mit eigenem Bahnanschluss eine hochmoderne Produktions- und Verteilungslogistik. Logistikunternehmen und GVZ bilden zusammen eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Produktionsstandortes. Innovationspark und Technologiezentrum Augsburg (TZA) stehen für die enge Verknüpfung von Wissenschaft und Wirtschaft in der Stadt. Der Wirtschaftsstandort ist ein überregionaler Verkehrsknotenpunkt, der durch den **Flughafen Augsburg** nördlich der A 8 bereichert wird.

Die Bevölkerungsentwicklung (→ Kap. 3) stellt eine wichtige Randbedingung dar. Bis Ende der 2030er Jahre wird mit einem leichten Wachstum der Bevölkerung gerechnet, wobei der Altersdurchschnitt deutlich ansteigen wird („demographischer Wandel“).

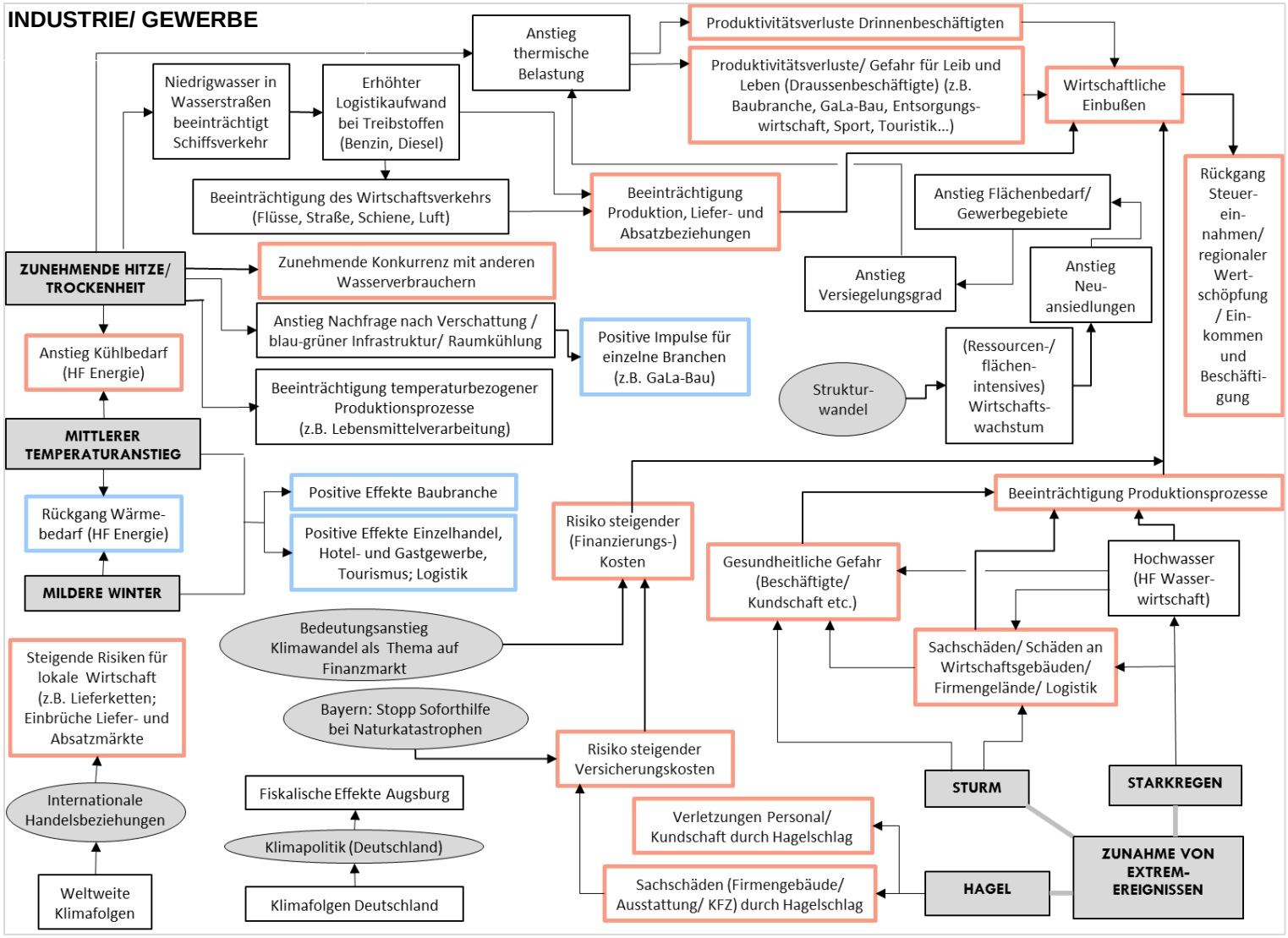


Abb. 64: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Industrie/ Gewerbe. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (graue Kästen) und Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen) und Randbedingungen (Ellipsen) sowie der Verwundbarkeiten (rote Kästen) bzw. Chancen (blau).

5.3.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Wirtschaft detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 61) einen schematischen Gesamtüberblick. Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt im Folgenden anhand verschiedener Teilbereiche des Sektors Industrie und Gewerbe.

Folgen für Unternehmen und Branchen

Perspektive der Unternehmen

Wie bewerten Unternehmen selbst die Folgen des Klimawandels? Der 2020er Weltrisikobericht des *World Economic Forums* in Davos (vgl. Abb. 62) identifiziert auf der Basis einer Umfrage den Klimawandel als das wichtigste Risiko, mit dem in den kommenden zehn Jahren zu rechnen ist.

Eine bayernweite **Bewertung der Klimasignale aus Sicht der Unternehmen** zeigt, dass es insbes. die Zunahme von Extremereignissen ist, die die befragten Betriebe als Risiko bewerten (72,4%); nur 9,8% sehen hier auch Chancen für die Wirtschaft (Abb. 63).

Hitze, Trockenheit und geringere Niederschläge im Sommer rangieren ebenfalls auf den vorderen Risiko-Plätzen, während der prognostizierte Rückgang der Frosttage eher als Chance bewertet wird (ebd.). Am stärksten betroffen zeigen sich hier Branchen, die auch in Augsburg stark vertreten sind: das Gastgewerbe, gefolgt von Verkehrsunternehmen, Finanzdienstleistern, dem produzierenden Gewerbe, dem Einzelhandel, dem Großhandel und sonstigen Dienstleistungen. Infrastrukturschäden, Versorgungsengpässe und Probleme bei Verkehr und Transport werden als wichtigste mögliche Schäden genannt.

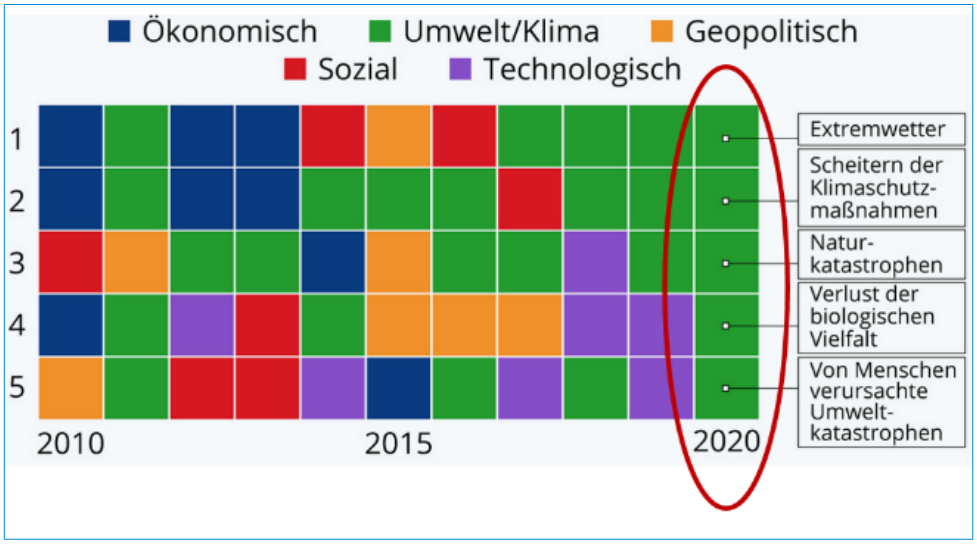


Abb. 62: *World Economic Forum 2020*: Klimawandel als wichtigstes globales Risiko der nächsten zehn Jahre. Quelle: modifiziert nach WEF 2020.

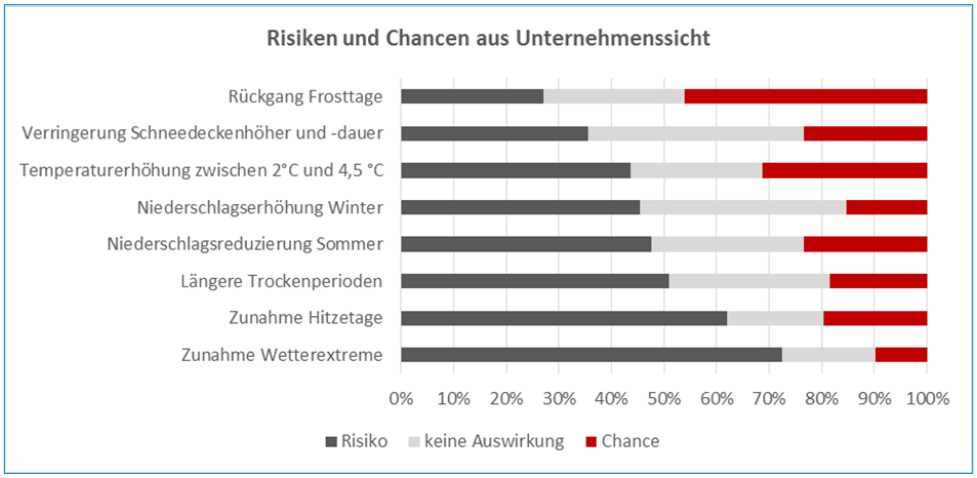


Abb. 63: Einschätzung verschiedener Klimasignale nach Risiko oder Chance aus Sicht bayerischer Unternehmen. Quelle: StMUV 2017: 10.

Folgen für betriebliche Funktionsbereiche

Die Folgen durch die zu erwartenden Klimaveränderungen können verschiedene Betriebsfunktionen des Unternehmens betreffen, abhängig etwa vom Standort des Unternehmens im Augsburger Stadtgebiet, Art/ Größe des Betriebsgebäudes oder der Ausstattung.

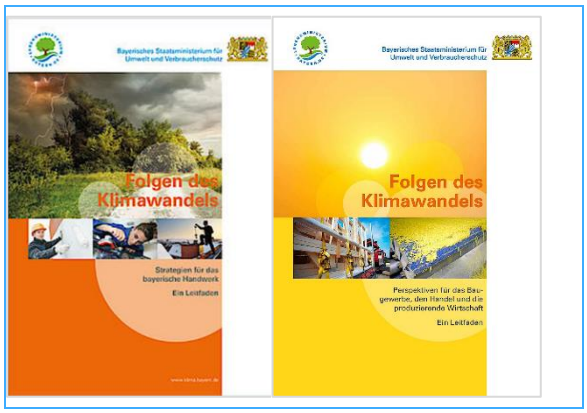


Abbildung 64: Analysen von Fallbeispielen in Bayern zu Klimafolgen und Anpassung im Rahmen des Umweltpaktes Bayern im bayerischen Handwerk (links) und in ausgewählten Branchen (rechts). Quelle: StMUV 2019, StMUV 2014.

Auch die Beschaffenheit der direkten Umgebung, der Gesundheitsschutz, die Branche, die Art und Organisation der betrieblichen Abläufe oder der Internationalisierungsgrad sind relevante Faktoren. Je nach betrieblicher Situation sind verschiedene Folgen möglich:

- So kann beispielsweise die zunehmende extreme Hitze zu Belastungen der Mitarbeiterschaft führen, was besonders für die Augsburger Dienstleistungsbranchen mit geringer Innenkühlung relevant ist (siehe ausführlich unten).
- Auch können hitzeempfindliche Maschinen oder Kommunikationsinfrastruktur (z.B. hitzeempfindliche Prozessoren) mit Störungen reagieren.
- Lagerung und Verarbeitung von temperaturanfälligen Produkten kann erschwert werden, Kosten für Qualitätssicherung von Produkten steigen.
- Der Bedarf und die Kosten für Kühlung werden tendenziell ansteigen.
- Perioden extremer Hitze können zu Beeinträchtigungen des Wirtschaftsverkehrs führen (z.B. infolge von Blow-ups an Straßen; Niedrigwasser bei Frachtschiffen kann auch Lieferketten der Augsburger Unternehmen betreffen etc.).
- In der Folge drohen der Ausfall bzw. eine Beeinträchtigung von Liefer-, Produktions- oder Absatzprozessen (insbesondere, wenn der gesamte Materialfluss zeitlich auf den Produktionsprozess hin optimiert ist („Just-in-time-Strategie“).
- Im Rahmen des **Umweltpaktes Bayern** wurden potenzielle Verwundbarkeiten und Anpassungsmöglichkeiten für das Handwerk, das Baugewerbe, den Handel und den Dienstleistungsbereich bereits aufgezeigt (vgl. Abb. 64).
- Im Unterschied zu anderen Regionen ist auf mittlere Sicht in Augsburg ein Risiko für brauch- oder trinkwasserabhängige Produktionsprozesse nicht zu befürchten (→ HF Wasser).
- Die zu erwartenden **wärmeren Temperaturen im Winter** sind mit Chancen für manche Branchen verbunden: z.B. kann sich die Zahl der Städtetouristen in der Wintersaison erhöhen, im Baugewerbe ist von einem Rückgang der Frost- bzw. kältebedingten Arbeitseinschränkungen auszugehen.
- **Zunehmende Hochwasser- oder Extremwetterereignisse** können zu Beschädigungen oder zum Verlust von Betriebsgebäuden, Lagerbeständen, Fahrzeugen, Ausrüstungs- oder anderem Betriebskapital führen oder auch Baustellen beeinträchtigen; so hat beispielsweise im August 2017 ein starkes Unwetter im Gewerbegebiet Königsbrunn Nord, das direkt südlich an Augsburg angrenzt, größeren Sachschaden verursacht (abgedecktes Dach, umgeknickte Zäune und Schilder etc.) (Quelle: Interview).
- Es können Beschädigungen an Versorgungsinfrastrukturen auftreten, die zu Versorgungsengpässen oder –ausfällen (z.B. Stromausfall) führen.

Trotz der im Mittel stetig wärmer werdenden Winter (→ Kap. 4) ist weiterhin mit teils plötzlichen und starken **Schneefällen** zu rechnen. In Augsburg spürte man dies etwa im März 2006, als die Stadt innerhalb weniger Stunden unter rd. einem halben Meter Schnee versank (Quelle: Interview).

Schneelasten sind eine besondere Herausforderung für Gewerbebauten, die oft Flachdachkonstruktionen aufweisen und können – neben Personenschäden - zu Dacheinstürzen führen. In Augsburg wurde im März 2006 etwa das Dach der Schwabenhalle zügig geräumt.

Die Versicherungsbranche ist mit steigenden Schadenssummen konfrontiert, die sie tendenziell über Prämienerhöhungen an die Versicherungsnehmer weitergeben wird (→ Exkurs 4: Finanzrisiko Klimawandel).

Exkurs 4: Klimawandel als Versicherungs- und Finanzrisiko

Neben physischen Risiken gehen vom Klimawandel und seinen Folgen auch zunehmende Finanzrisiken verschiedenster Art aus. So machen sich zunehmende Risiken und Schäden etwa für die **Versicherungsbranche** bemerkbar. Speziell für die Versicherungen der Erstversicherer („Rückversicherungen") steigen die Risiken signifikant. In den letzten Jahrzehnten wird weltweit eine Zunahme der Schadensummen durch wetterbedingte Naturkatastrophen beobachtet. Versicherer müssen diese ansteigenden Schadensummen an die Versicherungsnehmer weitergeben, was für die Endverbraucher, aber auch z.B. für Augsburger Betriebe tendenziell höhere Versicherungsprämien erwarten lässt; im Extremfall (z.B. Hochwasser-Risikogebiet, Zone 4) wird kein Versicherungsschutz für Elementarschäden angeboten.

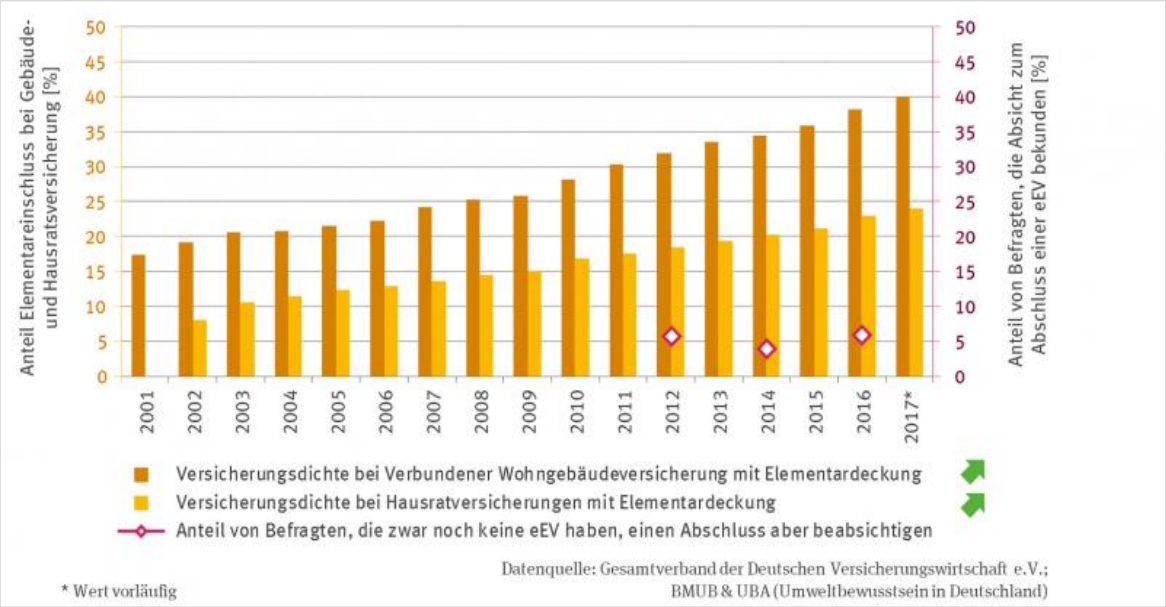


Abb. 65: Steigende Versicherungsdichte gegen Elementarschäden (2001-2017). Quelle: UBA 2016.

Seitens der Versicherten steigt die Nachfrage nach Elementarschadenversicherungen (Abb. 65). Dies wird umso wichtiger, da staatliche **Soforthilfen im Fall von Naturkatastrophen**, wie sie etwa anlässlich des Wirbelsturms am 13./14.5.2015 auch an Gewerbetreibende in der Region Augsburg geleistet wurden (StMFH 2015), für die Zukunft *nicht* mehr vorgesehen sind. Auf Beschluss der bayerischen Staatsregierung wurde die Soforthilfe im Fall von Schäden durch Naturkatastrophen ab dem 1.7.2019 gestoppt bzw. auf minimale Ausnahmen reduziert (StMWi o.J.). Damit soll angesichts der zunehmenden Risiken der verstärkte Aufbau individuellen Versicherungsschutzes für Elementarschäden angeregt werden.

Auch deutet sich bereits heute an, dass der Klimawandel die Marktbedingungen im Bereich **Finanzierung** stark verändern wird. Schon seit einigen Jahren ist unter dem Schlagwort („*divestment*") ein verändertes Investitionsverhalten durch große Vermögensverwalter zu erkennen, die Transparenz bezüglich der Emission von CO_2 verlangen und damit das Klimawandelrisiko minimieren (vgl. „Green Banking" im Bankensektor) (Weeber 2020). Von der Finanzbranche werden sehr schnelle **Umbrüche am Finanzmarkt** für möglich gehalten (z.B. ein „Platzen der fossilen Energien Blase"), die Risiken im Bereich „Finanzierung" von Unternehmen tendenziell erhöhen.

Aus betrieblicher Sicht stellen Anpassungsmaßnahmen für das einzelne Unternehmen einen Kostenfaktor dar, den es mit den potentiellen Klimaschäden abzugleichen gilt. Eine **monetäre Bezifferung der drohenden Schäden für die Wirtschaft** ist jedoch schwierig. Die Organisation *Carbon Disclosure Project* (CDP) gibt an, dass 215 der 500 weltgrößten Konzerne Geschäftsrisiken in Höhe von 970 Mrd. US-Dollar für Unternehmensrisiken durch extremes Wetter, höhere Temperaturen und Treibhausgasemissionen kalkuliert haben (CDP-Climate Change Report 2019). Etwa 250 Milliarden Dollar davon beziehen sich auf Wertminderungen oder Abschreibungen, die sowohl auf Übergangs- als auch auf physische Risiken zurückzuführen sind. Von den insgesamt 6.937 dem CDP berichtenden Unternehmen identifizieren 53 % klimabedingte Risiken als Unternehmensrisiken mit potenziell erheblichen finanziellen oder strategischen Auswirkungen.

Internationale Liefer- und Absatzbeziehungen

Als Exportnation weist Deutschland typischerweise eine überdurchschnittlich hohe Außenhandelsquote auf, dies trifft auch für Augsburg zu. Aufgrund der **hohen Außenverflechtung** ist die Augsburger Wirtschaft nicht nur durch die Klimawandelfolgen in Augsburg betroffen, sondern auch durch Folgen, die in internationalen Zuliefer- oder Absatzregionen auftreten („indirekte Klimafolgen“).

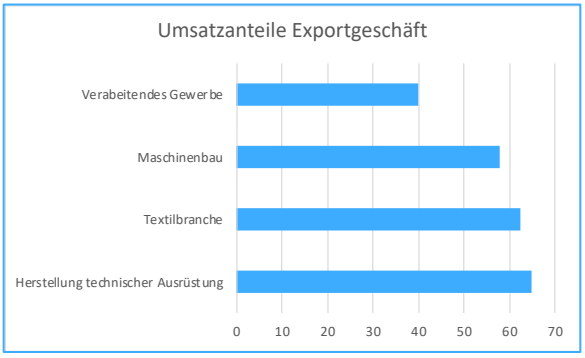


Abb. 66: Internationale Vernetzung ausgewählter Branchen in Augsburg: Umsatzanteile Exportgeschäft. Eigene Darstellung; Daten: Stadt Augsburg 2019a.

Die Augsburger Wirtschaft ist international stark vernetzt. Einige Branchen erzielen 40 bis knapp 70% ihres Umsatzes im Ausland (Abb. 66), in anderen Fällen – wie etwa beim verarbeitenden Gewerbe – spielt die Abhängigkeit von Importen der Vorleistungen aus dem Ausland eine größere Rolle. In einer Studie des Umweltbundesamtes wurde versucht, diese **indirekten Klimafolgen für die deutsche Wirtschaft** quantitativ abzuschätzen (Peter et al. 2020) (Abb. 67). Als weltweit besonders stark vom Klimawandel betroffen gelten die Regionen Südostasien, China, Indien, Afrika und die ölexportierenden Länder. Aufgrund der relativ höheren Betroffenheit der Nicht-EU-Staaten kommt es deutschlandweit zukünftig zu einer **Verlagerung des Handels in Richtung EU**. Dabei kommt es insgesamt zu einem leichten Rückgang der Importe (-0,4%), während die Exporte leicht steigen (+0,1%). Einzelne Branchen bzw. Unternehmen können aufgrund ihrer besonders hohen internationalen Verflechtung deutlich stärker betroffen sein.

Die Lebensmittel-, Textil- und Holzindustrie zum Beispiel verzeichnet **sowohl im Import- wie im Export-Bereich deutliche Einbrüche**, ähnliches gilt für den Transport-, Dienstleistungs- und Bausektor, während Maschinenbau und elektrische Geräte beim Export leicht zulegen können.

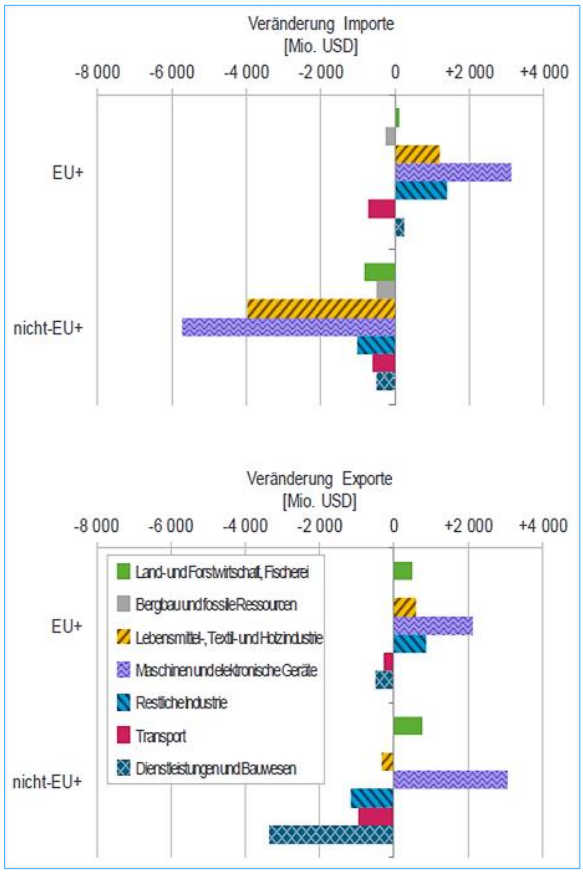


Abb. 67: Klimawandelbedingte Rückgänge und Zuwächse bei Im- und Exporten heimischer Unternehmen. Mit Partnern in EU- und Nicht-EU-Ländern nach Wirtschaftszweigen bis 2050. Quelle: Peter et al. 2020.

Zusammenfassend gilt: (1.) Die Risiken durch den globalen Klimawandel, die über internationale Handelbeziehungen deutsche Firmen treffen können, sind für die Importe heimischer Firmen größer als für die Exporte; (2.) Die Handelsbeziehungen mit Partnern innerhalb der EU sind deutlich weniger betroffen als die Handelsbeziehungen mit Nicht-EU-Ländern.

Beschäftigte und Arbeitsproduktivität

Der Anstieg der Temperaturen insbesondere in den Sommermonaten führt auch zu einem **Rückgang der Arbeitsproduktivität** bei Menschen, die in nicht-klimatisierten Innenräumen wie Büros und Werkstätten arbeiten („**Drinnenbeschäftigte**“).

In einer Auswertung von 24 Studien am Arbeitsplatz wie im Labor kommen Seppänen et al. (2006) zu dem Ergebnis, dass das Leistungsoptimum bei ca. 22° C erreicht wird. Abweichungen nach unten und nach oben führen zu einem Leistungsabfall. Bei einer Temperatur von 25 °C werden nur noch 98 % der optimalen Leistung erreicht, bei 30 °C fällt das Niveau auf 90 %, bei 35 °C auf unter 80 %.

Zu ähnlichen Werten kommt Bux (2007): Hier wird die Verringerung der Produktivität im Temperaturbereich 26 bis 36 °C mit zwischen 3 % und 12 % angegeben. Hübler und Klepper (2007) kommen unter dieser Annahme und bei starkem Klimawandel für ganz Deutschland zu einem Rückgang des BIP von rd. 0,5% im Jahr 2100. Geht man von Leistungsverlusten von 30-50% aus, dann ginge das BIP gar um 5% zurück. Es kann davon ausgegangen werden, dass rd. 50% der Büro- und Dienstleistungsarbeitsplätze in klimatisierten Gebäuden liegen. Gewerbliche und Industriearbeitsplätze weisen im Durchschnitt einen geringeren Klimatisierungsgrad auf. In Augsburg sind diese Arbeitsplätze überdurchschnittlich häufig zu finden.

Exkurs 5: Kosten des Rückgangs der Arbeitsproduktivität für die Augsburger Wirtschaft

Zur groben Abschätzung der **Kosten des Rückgangs der Arbeitsproduktivität** bei Drinnenbeschäftigten für die Wirtschaft in Augsburg im Jahr 2050 stützen wir uns auf die Klimaprognosen in Kapitel 4: Den Berechnungen dieses Gutachtens zufolge wird sich die jährliche Mitteltemperatur in Augsburg bis 2050 um 1,1-2,2 °C (je nach Szenario) erhöhen, bis 2100 steigt die Jahresmitteltemperatur um 1,7-4,3 °C an. Im Sommer steigt die Temperatur um 1,3-1,9 °C (2050) bzw. 1,8-4,1 °C (2100) an. Zudem wird die Zahl der Hitzetage (Höchsttemperatur mindestens 30 °C) sich deutlich erhöhen: von 5 Tagen pro Jahr (Referenzperiode 1971-2000) auf 10-15 Tage (2050) bzw. 12,5-37,5 Tage (2100).

Auf der Grundlage der Werte von Seppänen et al. (2006) entspräche dies einem Produktivitätsverlust von rd. 4%, der aber nur im Sommerquartal wirksam wird, also nur ein Viertel dieses Wertes ausmacht (= 1%). Im Jahr 2017 betrug die Bruttowertschöpfung der Wirtschaft in der Stadt Augsburg 14.035 Mio. € (Stadt Augsburg 2019a). Das Wachstum der Wertschöpfung zwischen 2007 und 2017 betrug im Schnitt 2,43% pro Jahr.

Geht man von einem etwas vorsichtigeren Wachstumspfad von 2% pro Jahr für die Zukunft aus (z.B. aufgrund von Corona sowie dem demographischen Wandel), dann betrüge die Bruttowertschöpfung in Augsburg im Jahr 2050 26.890 Mio. €.

Der Verlust von 1% aufgrund von Produktivitätsrückgängen im Sommer beträgt dann allein in diesem einen Jahr 269,80 Mio. € in 2050. Das entspricht von der Größenordnung her den Bruttoeinnahmen aus der Gewerbesteuer der Stadt Augsburg im Jahr 2017 (217,05 Mio. €).

Von Hitzeereignissen besonders betroffen sind „**Draußenbeschäftigte**“, Menschen also, die vorwiegend im Freien arbeiten (z.B. Bauarbeiter, Dachdecker, Sportlehrer/innen, Kellner/innen, Fahrradkuriere, Gärtner/innen, Beschäftige in Abfallwirtschaft und Grünflächenunterhalt) (Risikogruppe; → HF Gesundheit).

Rund 14% aller sozialversicherungspflichtig Beschäftigten arbeiten teilweise oder überwiegend im Freien (BAUA 2019). Geht man für Augsburg von einem analogen Prozentsatz aus, dann würden hier **rd. 20.340 Personen** bei ihrer Berufstätigkeit potenziell besonders von Hitze betroffen sein.

Neben direkter **Gesundheitsrisiken** wie Sonnenstich oder Hitzschlag ist aus unternehmerischer Sicht die **Einschränkung der Arbeitsproduktivität** bei großer Hitze zu beachten.

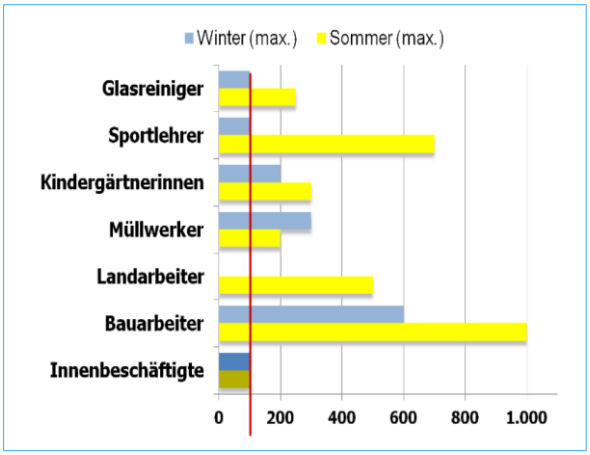


Abb. 68: Durchschnittliche UV-Exposition von Beschäftigten im Freien. Relativwerte [%] (Innenbeschäftigte = 100%), Quelle: UM-BW 2015: 109 (auf Basis von Knuschke et al. 2007).

Draußenbeschäftigte sind zudem oftmals einer **erhöhten Belastung durch Feinstaub und Ozon ausgesetzt**. Auch sind sie – je nach Tätigkeit – im Vergleich zu Beschäftigten im Innenbereich deutlich **stärker der UV-Strahlung** ausgesetzt (Abb. 68) und unterliegen dadurch einem höheren Risiko, an **Hautkrebs** zu erkranken. So verdoppelt sich das Risiko des nicht-melanomen Weißen Hautkrebses, wenn die Strahlungsexposition um 40 Prozent zunimmt (SUVA 2020). Wegen der langen Latenzzeiten zwischen erstmaliger Exposition und der Manifestation eines Hautkrebses wird die Gefahr häufig unterschätzt.

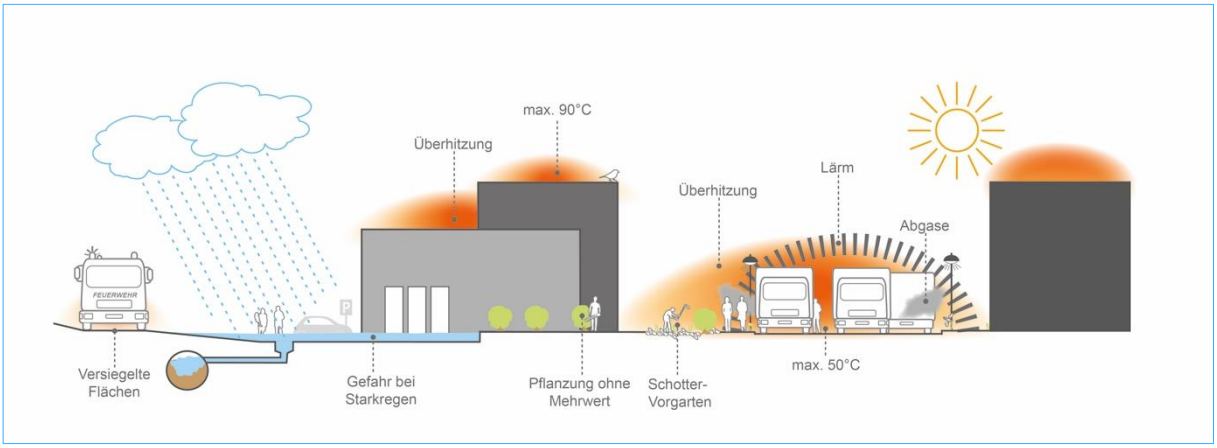


Abb. 69: Hoher Versiegelungs- und Bebauungsgrad herkömmlicher Gewerbegebiete erhöht die Anfälligkeit der Wirtschaft für Hitze und Starkregen im Klimawandel. Quelle: Sieber/GeWa 2019: 70.

Präventionsmaßnahmen sind wegen dieser Latenzzeit besonders wichtig. Wenn mit den steigenden Durchschnittstemperaturen vermehrt **Vektoren, Infektionskrankheiten, Schadpflanzen und -tiere** auftreten (→ HF Gesundheit), sind Berufsgruppen, deren Tätigkeit draußen in der Natur stattfindet (GaLa-Bau, Land- und Forstwirtschaft, Landschaftspflege u.ä.) besonders betroffen.

Gewerbegebiete

Die Besonderheiten des Wirtschaftsstandorts Augsburg schlagen sich auch in der **Flächenstruktur** der Stadt nieder. Von den 14.689 ha Stadtgebiet sind 660 ha Industrie- und Gewerbeflächen, 334 ha Handel- und Dienstleistungsflächen sowie 323 ha Flächen mit gemischter Nutzung. Insgesamt sind damit knapp 10% der Augsburger Stadtfläche Wirtschaftsflächen.

Räumliche Schwerpunkte liegen in den Stadtbezirken Oberhausen Nord und Süd, Lechhausen Ost, Rechts der Wertach, Am Schäfflerbach, Haunstetten Nord sowie in Göggingen Nordost (Strukturatlas 2019). Das Gewerbegebiet Augsburg Ost ist mit seinen rd. 500 Unternehmen und rd. 11 Tsd. Beschäftigten das größte Gewerbegebiet in Schwaben.

Gewerbegebiete sind beim Thema „Klimafolgen“ auf zweifache Weise relevant: Zum einen weisen sie aufgrund ihrer speziellen Gestaltung und Funktionen **spezifische Anfälligkeiten für bestimmte Klimaänderungen** auf. Die ansiedelnden Betriebe sind hinsichtlich Gewerbebauten, Infrastrukturen, Ausrüstungen und nicht zuletzt der Beschäftigten besonders betroffen. Zum anderen können suboptimal gestaltete Gewerbegebiete **die Klimafolgen vor Ort verschärfen**.

So ist sich das klassische, klimatisch *nicht* gut angepasste Gewerbegebiet z.B. durch Faktoren wie hohen Versiegelungsgrad, kompakte Bebauung, geringe blau-grüne Infrastrukturausstattung, hohe Verkehrsdichte (auch Lkw-Verkehr) sowie – je nach Branche – hohen zusätzlichen Wärmeeintrag durch Produktionsprozesse gekennzeichnet (Abb. 69).

In Perioden extremer Hitze erhitzen sich die Flächen regelmäßig auf bis zu 50 °C. Punktuell können die Oberflächentemperaturen sogar auf bis zu 80 °C steigen (WILA Bonn 2019), was die Hitzeproblematik vor Ort extrem verschärft. Eine hohe Versiegelung und der Mangel an blau-grüner Infrastruktur mindert die ➤ Evapotranspiration und führt schnell zu einer **Überlastung der Kanalisation**. Ist die örtliche Versickerung von Niederschlagswasser in den Boden nicht gegeben, steigt die Anfälligkeit für urbane Überflutungen im Falle von Starkregen.

Tatsächlich finden sich in Augsburg **ältere Gewerbegebiete**, die aus klimatischer Sicht Risiken bergen. Sie sind stark versiegelt und dicht bebaut, ihnen mangelt die Grünausstattung, die Entkoppelung von der zentralen Kanalisation ist nicht oder nicht hinreichend gegeben, und ihre allgemeine städtebauliche sowie Aufenthaltsqualität – Faktoren, die heute wichtiger sind als in den 1960er oder 1980er Jahren, als diese Gebiete oft entstanden sind – ist als mäßig bis schlecht zu bezeichnen. Im STEK werden sieben solcher Gewerbegebiete mit besonderem Entwicklungsbedarf benannt.

Ein Positivbeispiel ist das Gewerbegebiet Lechhausen Nord, das an das Gewerbegebiet „Umweltpark“ grenzt (Gesamtfläche: 334 ha). Im Rahmen der Erarbeitung des Entwicklungskonzepts Lechhausen Nord wurde der Gewerbestandort Lechhausen als Pilotprojekt näher untersucht. Zugleich war er Gegenstand im bundesweiten Forschungs- und Förderprogramm „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt).

Exkurs 6: Flächen im Nutzungsdruck

Die klassische Nutzungskonkurrenz der Flächen (insbes. Naturraum, Landwirtschaft, Gewerbe, Wohnraum) erscheint aufgrund des fortschreitenden Klimawandels in neuem Licht, da nichtversiegelte Flächen, Naturräume und landwirtschaftlich genutzte Flächen **zusätzliche Funktionen** erhalten. Diese Funktionen haben teils essentiellen Charakter für den langfristigen Schutz der Stadt, ihrer Menschen und Einrichtungen vor Klimafolgen. D.h. gegenwärtige und zukünftige Klimafolgen führen zu einer Neubewertung der Nutzungsformen; ein „Weiter-so" scheint auch hinsichtlich der Gewerbeflächen mehr und mehr kontraproduktiv.

In der Forschungsliteratur wird die Ansicht vertreten, dass **Raum- und Stadtplanung** angesichts der Doppelherausforderung von Klimawandel *und* demographischem Wandel neu über bestimmte „Tabus" (Versiegelungsstopp, Siedlungsrückzug) und Prämissen (Innen- vor Außenentwicklung) nachdenken muss (Schulze Dieckhoff et al 2018).

Besteht wie in Augsburg das Risiko eines perspektivischen Defizits an Gewerbeflächen (s. STEK), ist dieses angesichts teils gegenläufiger Trends wie der aktuellen Einbrüche im Zuge der Corona-Krise, aber auch dem langfristigen wirtschaftlichen Strukturwandel von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft oder dem demografischen Wandel zu überprüfen. Ist die flächenmäßige Ausdehnung von Gewerbeflächen zukünftig immer weniger geboten, so sollten innovativere Lösungen gesucht werden, die den wirtschaftlichen Bedarfen Rechnung tragen, *ohne* den Zielen der Zukunftsfähigkeit und Resilienz zu widersprechen (**Paradigmenwechsel**).

Die Umsetzung entsprechender moderner Konzepte (wie Revitalisierung und Neunutzung bestehender Brachflächen, Aufhebung Leerstand, Vermeidung von Fremdnutzungen bestehender Gewerbegebiete Errichtung flächensparender mehrstöckige Gewerbebauten und Parkflächen, Sharing-Konzepte für Betriebe: → KASA 2) liegt letztlich nicht nur im Interesse der Stadt, sondern insbes. auch der Unternehmen.

In einigen bestehenden Gewerbegebieten lässt sich die Anpassungskapazität durch eine zukunftsorientierte, städtebaulich **höherwertige Gestaltung** nachhaltig steigern, wodurch bestehende Betriebe besser geschützt und die Attraktivität des Standorts mit Blick auf ansiedlungswillige neue Firmen gesteigert werden kann. Einen Ansatzpunkt für die Qualifizierung des Bestands bieten etwa die sieben, im STEK als „Gewerbegebiete mit besonderem Entwicklungsbedarf" benannten Flächen.

Das im neuen Stadtteil Haunstetten Südwest vorgesehene Gewerbegebiet ist ein positives Beispiel in diesem Sinne: Ein breiter Beteiligungsprozess brachte etwa die Möglichkeit hervor, dass sich ansiedlungswillige Unternehmen mit Konzepten bewerben, in denen sie darlegen, was ihr Beitrag zur Gemeinschaft sein könnte (z.B. offene Werkstätten, öffentliche Kantine oder „Ridesharing"-Flächen (Quelle: Interview).

Das **Modellvorhaben „Integrierte Gebietsentwicklung Augsburg Umweltpark"** wurde von der Wirtschaftsförderung Stadt Augsburg gemeinsam mit dem Stadtplanungsamt und unter Beteiligung weiterer Dienststellen und den Stadtwerken durchgeführt. Im Zuge der Ausweisung einer Erweiterungsfläche wird die Zielsetzung verfolgt, ein hochwertiges, flexibles und nachhaltiges Gewerbegebiet (z.B. hinsichtlich Grünflächen, sozialer Infrastruktur, umweltfreundlichem Bauen und Wirtschaften) zu entwickeln (Quelle: Interview).

5.3.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Die Augsburger Wirtschaft hat sich mit verschiedensten Herausforderungen auseinanderzusetzen, die teils branchenübergreifendende, teils branchenspezifische Risiken (und ggf. Chancen) bergen:

- **Beeinträchtigung der Produktivität** aufgrund von zunehmenden Phasen extremer Hitze sowie weiteren zunehmenden Extremwettern, die das Unternehmen an verschiedenen Stellen betreffen können (insbes. Betriebsablauf, Lieferprozesse, Arbeitsproduktivität der Beschäftigten)
- Zunehmende **Schäden am Betriebskapital** aufgrund von Extremwetterereignissen
- Steigender Nutzungsdruck auf die tendenziell immer knapper werdende **Ressource „Wasser"** (z.B. durch tendenziell zunehmende Nachfragen aus den Verwendungen Stadtgrün, Bewässerung Landwirtschaft, Energie, Trinkwasser, Tourismus, ökologische Nutzung) stellen ein Risiko für die gewerbliche Nutzung von Wasser im Sektor Industrie/ Gewerbe dar. Mit zunehmender Konkurrenz um die tendenziell knapper werdende Ressource „Wasser" werden die **Wasserpreise** steigen.
- Zunehmende Risiken aufgrund **internationaler Verflechtungen**, d.h. eine Beeinträchtigung der Augsburger Unternehmen durch Klimafolgen an anderen Orten der Welt
- Vulnerable **Gewerbegebiete** als räumliche Aggregation mit Folgen für die ansässigen Unternehmen und ihre Mitarbeiterschaft
- Zunehmende Klima-bedingte **Finanzrisiken**.

5.4. Tourismus/ Kultur

5.4.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

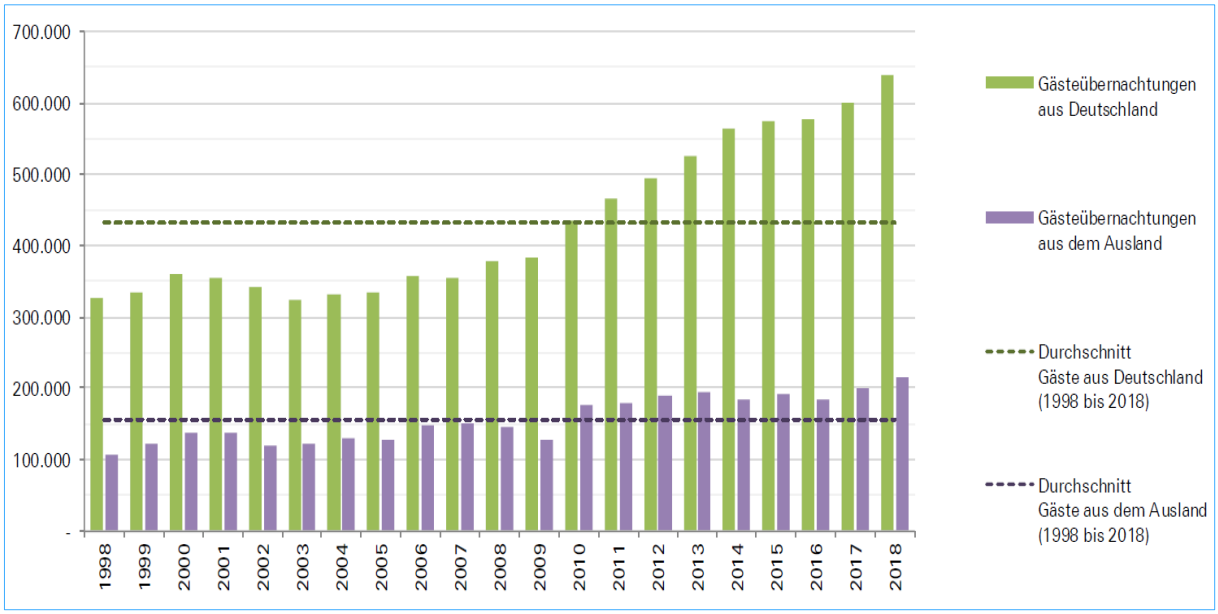
Eine gemeinsame Betrachtung der Bereiche Tourismus und Kultur ist im Falle Augsburgs deshalb besonders sinnvoll, weil Städtetourismus mit ausgeprägter kultureller Komponente in der Hauptstadt Bayerisch-Schwabens ein wesentliches touristisches Standbein darstellt. Einen prägenden Faktor für die touristische Attraktivität, aber auch den Kulturstandort Augsburg bildet zweifellos die über 2.000 Jahre alte Stadtgeschichte mit ihren diversen Höhepunkten vor allem im Mittelalter und der frühen Neuzeit, die mit den Namen der Fugger und Welser verknüpft sind. Augsburg als Wirtschaftsmetropole ist auch ein Ziel für viele Geschäftsreisen sowie eine erstrangige Destination für Messen, Kongresse und Tagungen: Die sog. MICE-Branche (MICE: Meetings, Incentives, Congress, Events) stellt neben den Geschäfts- und den Städtereisen das dritte Standbein des Tourismus in Augsburg dar.

Augsburg kann mit großen Namen wie Mozart und Brecht „punkten“, die ihrerseits die enge Verbindung zwischen Kultur und Tourismus unterstreichen. Obwohl Augsburg keine alpine Destination im engeren Sinn ist, gibt es durch die Lage im Alpenvorland vielfältige Bezüge – etwa durch die Flüsse, auf deren Grundlage sich das historische Augsburger Wassermanagementsystem entwickeln konnte und die künftig als Radwanderverbindungen in Richtung Alpen genutzt werden könnten. Der Kulturtourismus in Augsburg lebt vorwiegend von der Aufbereitung und Bewerbung der durch die Stadtgeschichte bedingten Facetten von der Römerstadt bis zur Industriekultur.

Die **Zahl der touristischen Gäste** in Augsburg steigt stetig an. 1998 konnten 245.079 Gästeankünfte verzeichnet werden, 2008 waren es 293.491 und 2018 478.115 (Stadt Augsburg 2019). Etwa drei Viertel der Gäste kommen aus Deutschland, etwa ein Viertel aus dem Ausland, vor allem aus Italien, der Schweiz, Österreich und den Niederlanden sowie den USA. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer beträgt 1,79 Tage (Wert 2018). Auch die Zahl der Übernachtungen hat deutlich zugelegt (vgl. Abb. 70).

Dem Tourismus kommt eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung zu. Durch ihre Ausgaben für Übernachtungen beziehungsweise durch die mit ihrem Aufenthalt verbundenen Tagesausgaben schaffen Übernachtungsgäste, Ausflugsgäste und Tagesgeschäftsreisende in der Region Augsburg jährlich Umsätze in einer Größenordnung von mehr als einer Milliarde Euro, in der Stadt Augsburg von knapp 700 Mio. Euro (Regio Augsburg Tourismus 2020a), das sind ca. 7% des Bruttoinlandsprodukts der Stadt. Im Beherbergungsgewerbe der Stadt – ca. 45 Beherbergungsbetriebe (ab 10 Betten, incl. Camping) – verteilen sich die Gäste auf Kurzurlauber (ca. 30% der Übernachtungen), Messe-, Tagungs- und Kongressgäste (ca. 40%) und Geschäftsreisende (ca. 30%). Hinzu kommen knapp 20 Mio. Tagesreisende (Tagesausflüge, Tagesgeschäftsreisen), die allein für knapp 580 Mio. Euro Bruttoumsatz sorgen (ebd.).

Abb. 70: Gästeübernachtungen aus dem In- und Ausland 1998-2018. Quelle: Stadt Augsburg 2019.



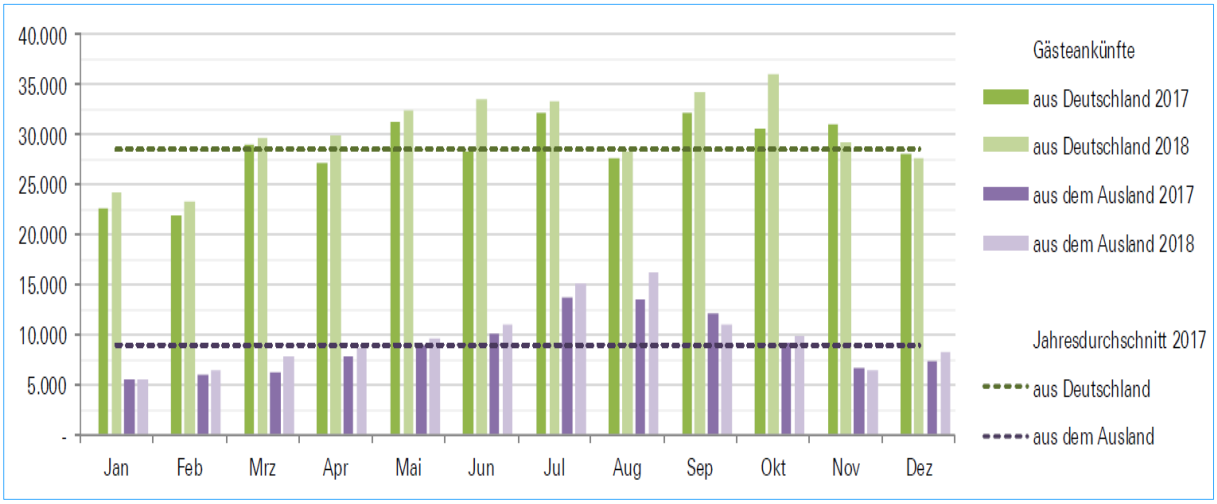


Abb. 71: Gästeankünfte aus dem In- und Ausland 2017 und 2018 nach Monaten. Quelle: Stadt Augsburg 2019.

Zu den größten Nutznießern der Tagesausgaben von Touristen zählt der lokale Einzelhandel. Diese Einnahmen gleichen teilweise die durch den Internethandel zu verzeichnenden Umsatzeinbußen aus. Die **Leitökonomie Tourismus** sorgt durch ihre Umsätze aber auch für die Stärkung anderer infrastruktureller Einrichtungen – vom Öffentlichen Nahverkehr bis hin zu den Kultureinrichtungen. Indirekt profitiert so auch die einheimische Bevölkerung von den Ausgaben der Besucherinnen und Besucher.

Mit Blick auf die Verwundbarkeit des Augsburger Tourismussektors für den Klimawandel ist es noch wichtig, sich die **saisonale Verteilung der Besuche** anzusehen (vgl. Abb. 71).

Es zeigt sich in klarer Abhebung zu einer klassischen Sommer- oder Wintertourismus-Destination, dass Augsburg als Städtetourismus-Destination quasi das ganze Jahr über „Saison" hat. Etwas schwächer ausgeprägt sind lediglich die Monate Januar und Februar. Mai bis Juli sowie September und Oktober bilden leichte Schwerpunktperioden. Augsburg verfügt über eine ganze Reihe von Attraktionen im Tourismus- und Freizeitbereich. Bis auf Zoo und Botanischen Garten liegen die räumlichen Schwerpunkte des Augsburg-Tourismus im Bereich der historischen Altstadt.

Messe- und Kongressveranstaltungen bieten einen weiteren Schwerpunkt des Augsburg-Tourismus. Das Kongresszentrum Augsburg „Kongress am Park" verzeichnete 2018 knapp 165.000 Besucherinnen und Besucher, hauptsächlich im Bereich Konzerte (38,6%), Kongresse/ Versammlungen (12,1%), Feste/ Partys (11,9%) sowie Kabarett/ Kleinkunst (10,1%). In der **Messe** Augsburg fanden 2018 64 Veranstaltungen mit 420.000 Besucherinnen und Besuchern statt (Stadt Augsburg 2019: 10).

Tab. 10: Anzahl der Besucherinnen und Besucher in Augsburger Museen, Galerien und Gedenkstätten. Stand: 2018. Quelle: Stadt Augsburg 2019.

Sehenswürdigkeit	Gäste (2018)	Sehenswürdigkeit	Gäste (2018)
Zoologischer Garten	674.080	**Planetarium**	37.000
Botanischer Garten	250.209	**Naturmuseum**	36.396
Fuggerei	220.624	**Römisches Museum**	21.195
Schaezlerpalais mit Staatsgalerie	152.632	**Schwäbisches Handwerkermuseum**	13.414
Goldener Saal	138.330(1)	**H2 – Zentrum für Gegenwartskunst**	12.943
Maximilianmuseum mit Viermetzhof	95.049	**Bert-Brecht-Gedenkstätte**	8.232
Perlachturm	39.888(2)	**Mozart-Gedenkstätte**	5.700(3)

(1) **Wert von 2017 (Rathausshop 2018 geschlossen).**

(2) **Wert von 2016 (ab 2017: Turmsanierung).**

(3) **Ohne Oktober bis Dezember 2018, da geschlossen. In den Vorjahren 6.500-7.000 Besuchende.**

Abb. 72: Fußballstadion WWK-Arena – Heimat des FC Augsburg.

Zentraler Player im Augsburg-Tourismus ist die Regio Augsburg Tourismus GmbH, die die touristischen Interessen ihrer Gesellschafter (Stadt Augsburg, Landkreis Augsburg und Landkreis Aichach-Friedberg) bündelt. Mit der Aufnahme in die **UNESCO Weltkulturerbe**-Liste 2019 wurde das historische Augsburger **Wassermanagement-System** in den Blickpunkt auch des Tourismus gerückt. Angesichts des Wachstums der Augsburger Tourismusbranche in den letzten Jahren bestehen begründete Wachstumshoffnungen für die Zukunft. Augsburgs **reichhaltiges Kulturangebot** umfasst zum Beispiel ein Staatstheater (ab Saison 2016/17 in Sanierung, zwei Ausweich-Spielstätten) mit 94.821 Besucherinnen und Besuchern (2018), die bundesweit bekannte Augsburger Puppenkiste (88.488), die Freilichtbühne (34.740), die Brechtbühne (21.656) sowie das Junge Theater Abraxas (3.806). 2018 haben 652.044 Menschen **Sportveranstaltungen** in Augsburg besucht, darunter vor allem Fußball (Aushängeschild ist hier der Erstligist FC Augsburg; Abb. 72) und Eishockey (Aushängeschild: Augsburger Panther).

Augsburg bietet Einheimischen und Gästen auch vielfältige **kulturelle Veranstaltungen**. Der Augsburger *Plärrer* ist mit etwa 1,2 Millionen Besucherinnen und Besuchern pro Jahr das größte Volksfest in Bayerisch-Schwaben. Er findet zweimal im Jahr statt (um Ostern und Ende August). Seit 2007 gibt es etwa auch das Jugend- und Popkulturfestival *Modular*, das jährlich stattfindet und rund 30.000 vorwiegend jüngere Gäste an jeweils drei Tagen anzieht. Bis 2018 fand es im Wittelsbacher Park rund um den Augsburger Hotelturm statt. 2019 wurde der Veranstaltungsort in das ehemalige Gaswerk in Augsburg-Oberhausen verlegt.

Über die Stadtgrenzen hinaus berühmt sind auch das Hohe Friedensfest, der Internationale Augsburger Jazzsommer, das Brecht-Festival, das Kleinkunstfest *La Strada* oder das Mozartfest. Unter die „**Dachmarke“ Augsburg** gehören weitere touristische Angebote aus der Region, etwa Fahrradtouren in die Umgebung, der digitale Geschichtspfad zur Schlacht auf dem Lechfeld mit dem Nukleus des Königsbrunner „Informationspavillons 955“ oder das „Wittelsbacher Land“ und die Sissi-Straße.

Exkurs 7: UNESCO-Weltkulturerbe-Stätte

Seit dem Jahr 2019 ist Augsburgs historische Wasserwirtschaft UNESCO-Welterbe. Wasserwerke und Wasserkraftwerke sind die Denkmäler am Aderngeflecht der von den Flüssen Lech, Wertach und Singold sowie von Quellen im Stadtwald gespeisten Kanäle. Hinzu kommen die manieristischen Bronzefiguren von drei Monumentalbrunnen der Renaissancestadt (https://wassersystem-augsburg.de/ ; Kluger 2019).

Abb. 73: Hochablass. Stauwehr im Lech und eines der 22 Weltkulturerbe-Objekte Augsburgs.

Seit 1276 sind erste Lechkanäle namentlich überliefert (Kluger 2015). Der jahrhundertelange Umgang mit einer für Wirtschaft und Gesellschaft zentralen Ressource kann in Augsburg an verschiedenen Bauwerken, Kanälen und technischen Einrichtungen studiert werden. In Augsburg würde früh auf die Wasserhygiene geachtet und das Trink- und Treibwasser[27] getrennt. Das größte Denkmal der Augsburger Trinkwasserversorgung ist das bis 1879 betriebene Wasserwerk am Roten Tor.

Während der „Augsburger Wassertage“ können sonst nicht zugängliche Wasserwerke und Wasserkraftwerke besichtig werden. Sie finden jeweils an den ersten Sonntagen in den Monaten Mai bis Oktober statt.

[27] Treibwasser dient als Antriebsquelle für Mühlen und andere Maschinen.

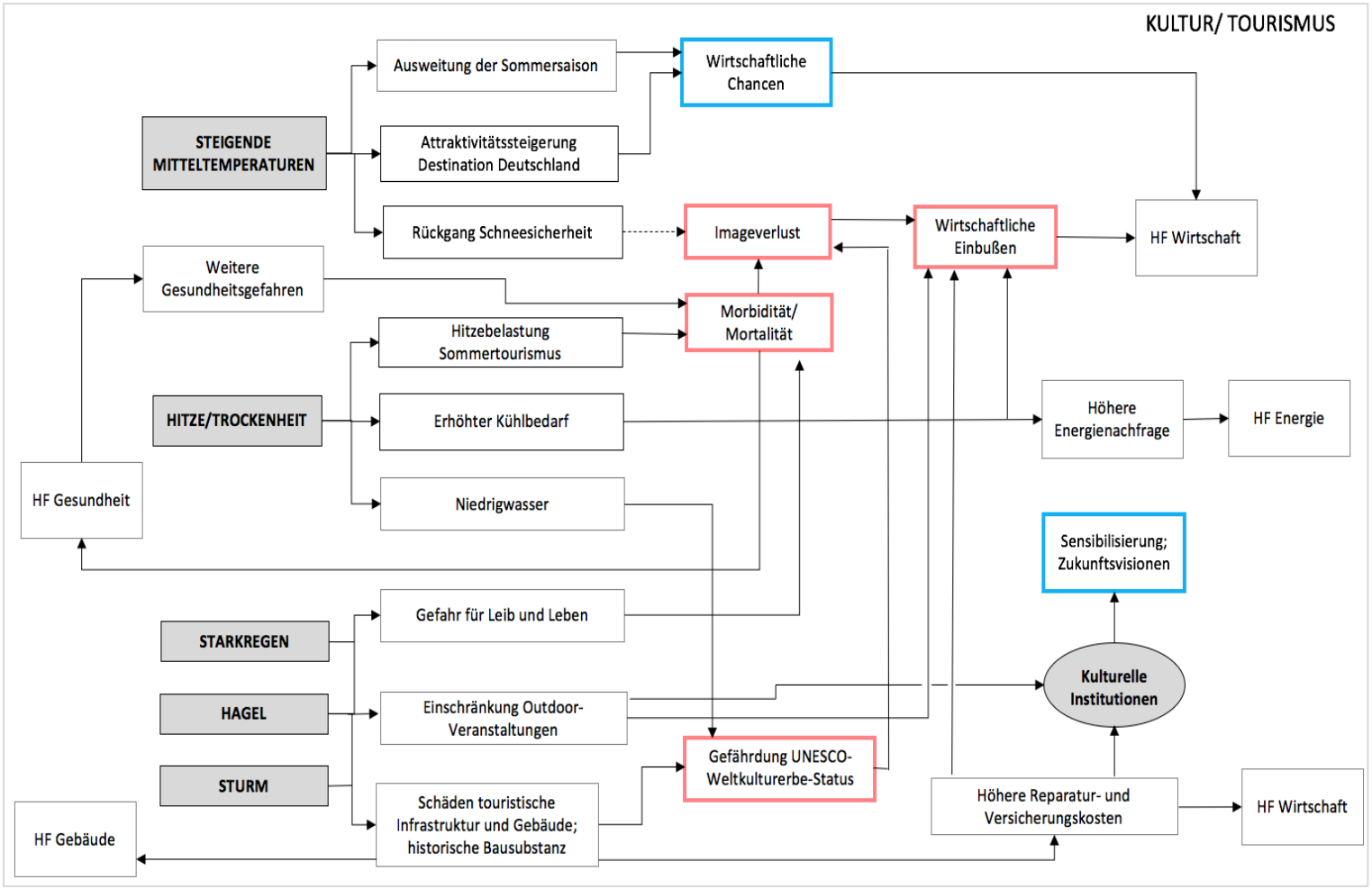


Abb. 74: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Tourismus/ Kultur. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (graue Kästen) sowie wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen) und Randbedingungen (Ellipsen) sowie der Verwundbarkeiten (rote Kästen) bzw. Chancen (blau).

Zentraler Player im Augsburg-Tourismus ist die Regio Augsburg Tourismus GmbH, die die touristischen Interessen ihrer Gesellschafter (Stadt Augsburg, Landkreis Augsburg und Landkreis Aichach-Friedberg) bündelt. Mit der Aufnahme in die **UNESCO Weltkulturerbe**-Liste 2019 wurde das historische Augsburger **Wassermanagement-System** in den Blickpunkt auch des Tourismus gerückt. Angesichts des Wachstums der Augsburger Tourismusbranche in den letzten Jahren bestehen begründete Wachstumshoffnungen für die Zukunft.

Dies gilt umso mehr, als Augsburg im Vergleich mit anderen bayerischen Städten eine deutlich geringere Tourismus-Intensität aufweist. Mit 159 Betten je 10.000 Einwohner/-innen liegt es im Bezugsjahr 2018 klar hinter München (548), Regensburg (416), Würzburg (383), Nürnberg (364), Erlangen (281) oder Ingolstadt (261). Auch Augsburgs 292 Gästeübernachtungen je 100 Einwohner/-innen – immerhin nahezu das Dreifache der Einwohnerzahl – werden durch die entsprechenden Werte in München (1.176), Bamberg (875), Würzburg (763), Regensburg (729), Nürnberg (701) oder Erlangen (457) teils deutlich übertroffen. Augsburg spielt hier in einer Liga mit Fürth (255) (Stadt Augsburg 2019).

Aufgrund des Ausbruchs der **COVID-19-Pandemie** weltweit war das Tourismus-Jahr 2020 auch in Bayern ein ganz besonderes. Der Lockdown im Frühjahr hat zu massiven Einbrüchen bei Besucherzahlen und Übernachtungen geführt. Insbesondere in den Monaten März und April sind nur 10-20% der Besuchenden des gleichen Vorjahreszeitraums nach Augsburg gekommen; in den Sommermonaten, nach der Aufhebung des ersten Lockdown, waren es rd. 65% der Vorjahresbesuchenden (Bayerisches Landesamt für Statistik 2020). Betroffen waren alle touristischen Segmente, aber auch die Gastronomie, der Einzelhandel und die Kultur. Ein Ende der Pandemie war bei Redaktionsschluss des vorliegenden Berichts nicht absehbar, damit auch nicht die tatsächliche Schadensbilanz. Schon im Mai 2020 hat die Regio Augsburg Tourismus (2020b) auf die Pandemie mit einem Strategiepapier reagiert, das kurz- und langfristige Maßnahmen umfasst. Eine Antwort auf die Krise sei der Ausbau der Digitalisierung im Tourismus, eine weitere die Fortsetzung der Diversifizierungsstrategie sowie die Verfolgung von Schlüsselthemen wie Wasser oder Gesundheit für den Tourismus.

Die **Stärkung des Tourismus in Stadt und Region** Augsburg haben sich Stadt und Regio Augsburg Tourismus gemeinsam zur Aufgabe gemacht. Sie setzt voraus, dass bestimmte Schwächen des Augsburg-Tourismus gezielt angegangen und bestehende Chancen gezielt genutzt werden.

Laut Stadtentwicklungskonzept kann die touristische Profilbildung Augsburgs noch geschärft werden. Als Schwächen werden erwähnt der (relative) Mangel an Hotelbetten insgesamt und an Busparkplätzen in der Innenstadt, ein unzureichender Fernbusbahnhof und eine unattraktive öffentliche Anbindung an internationale Flughäfen. Chancen sieht das STEK dagegen in der jüngsten Ernennung zum UNESCO-Weltkulturerbe, in der Vernetzung touristischer Angebote und im Ausbau tourismusbezogener Sportangebote (STEK 2020: 259). Laut Strategiekonzept der Regio Augsburg Tourismus (2020b) bietet darüber hinaus auch der Bereich Tagung/ Kongress/ Messe sowie das Thema Gesundheit (Universitätsklinikum) Zukunftschancen. Dort wird der Klimawandel als Themenfeld ausdrücklich erwähnt und als Treiber für nachhaltigen Tourismus gesehen.

5.4.2. Verwundbarkeitsanalyse

Eine positive Feststellung lässt sich zu Anfang treffen: Die **große Bandbreite des touristischen und kulturellen Angebots** in der Stadt und der Region reduziert insofern die Verwundbarkeit des Tourismus- und Kultursektors, da nicht eine einzige Attraktion prominent im Vordergrund steht (wie etwa Schloss Neuschwanstein im Landkreis Ostallgäu). Im Falle einer großen Betroffenheit durch den Klimawandel steht in Augsburg *nicht* zwangsläufig das Wohl und Wehe der gesamten Branche auf dem Spiel.

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Tourismus detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 74, oben) einen schematischen Gesamtüberblick. Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt im Folgenden entlang der verschiedenen Klimasignale.

Steigende Mitteltemperaturen

Unter allen für Augsburg betrachteten Klimaszenarien (vgl. Kap. 4) steigen die Jahresmitteltemperaturen, insbesondere unter dem RCP8.5-Szenario für die ferne Zukunft. Dieser Trend für Augsburg muss im Zusammenhang mit europaweiten Zukunftsentwicklungen gesehen werden. Die Mittelmeerregion wird aufgrund zunehmender Hitze und Trockenheit für deutsche Erholungssuchende tendenziell unattraktiver, was einen komparativen Vorteil für heimische Destinationen bedeuten kann.

Zudem wird der demographische Wandel dazu führen, dass ein höherer Anteil potentieller Touristikgäste in Deutschland verbleibt; speziell der Städtetourismus kann hier punkten, wenn die Städte entsprechende Angebote machen (u.a. Thema Barrierefreiheit).

Der leichte Rückgang des Augsburg-Tourismus in den Wintermonaten kann bei wärmeren Wintern etwas „ausgebügelt“ werden, der frühere Vegetationsbeginn im Frühjahr trägt dazu ebenso bei wie höhere Temperaturen im Herbst.

Diese Chancen können aber nur genutzt werden, wenn es gelingt, die potentiell negativen Witterungseinflüsse der Zukunft durch Anpassung abzumildern.

Hitze und Trockenheit

Die Klimaprojektionen für Augsburg zeigen eine starke Zunahme an Hitzetagen. Gefährdet sind alle Menschen, die sich im Freien oder in schlecht gekühlten Gebäuden befinden – insbesondere dann, wenn sie körperlich aktiv sind (z.B. Sport, Beschäftigte im Kultur- und Tourismussektor).

Viele **kulturelle Veranstaltungen** in Augsburg finden **im Freien** statt, meist im Sommerhalbjahr: vom *Plärrer* über das *Modular*-Festival oder die Freilichtbühne bis hin zum Kleinkunstfest *La Strada*. Mehr heiße Tage und mehr Tropennächte bedeuten mehr Hitzestress mit steigenden Mortalitäts- und Morbiditätsrisiken speziell für Ältere, chronisch Kranke oder Kleinkinder (→ HF Gesundheit).

Gleiches gilt für fast den gesamten Städtetourismus in Augsburg, der sich großteils in der **Innenstadt** konzentriert, wo viele Attraktionen fußläufig erreichbar sind. Bei höheren Temperaturen sinkt insbesondere für die genannten Zielgruppen die Aufenthaltsqualität im innerstädtischen Bereich, der bereits heute durch höhere Temperaturen gekennzeichnet ist (→ HF Gebäude, hier insbes. das Thema „Urbane Hitzeinseln“). Vermehrte hitzebedingte Erkrankungen/ Notfälle (Hitzekrämpfe, Hitzeerschöpfung, Hitzschlag, Sonnenstich bei Einstrahlung) bei den Touristikgästen können die Folge sein (→ HF Gesundheit).

Die Vulnerabilität im Bereich Kultur und Tourismus wird durch eine Reihe von klimaunabhängigen Faktoren zukünftig erhöht. Zum einen führt der **demographische Wandel** zu einem steigenden Anteil und einer steigenden absoluten Zahl älterer Menschen, die die Stadt bzw. die Kulturangebote besuchen. Zweitens werden **mehr Menschen** auf Augsburgs Straßen unterwegs sein, wenn die Tourismus-Destinationen besser beworben und vernetzt werden. Auch die geplante Förderung der Freiluftkultur (Freilichtbühne, freie Kulturszene) wird die Exposition des Kultur- und Tourismussektors für den Klimawandel erhöhen.

Laut Klimaprognose werden Phasen der Hitze und der Trockenheit zunehmen, so dass speziell die **Grünflächen Augsburgs** (→ HF Biodiversität, HF Stadtgrün) vermehrt unter Druck geraten.

Dies trifft im Grundsatz auch auf den Botanischen Garten sowie den Augsburger Zoo zu, die im Jahr 2018 zusammen fast eine Million Besucherinnen und Besucher verzeichnen durften. Allerdings sind hier auch die Schutz- und Bewässerungskapazitäten hoch.

Gerade bei Hitzespitzen steigt die **Nachfrage nach Kühlung**– stationär für Gebäude, aber auch temporär für einzelne Events. Bereits heute ist zu beobachten, dass während heißer Phasen im Sommer die Nachfrage nach Kleinklimaanlagen steigt. Das wird sich auch im Tourismus- und Kulturbereich verstärkt abbilden – mit Auswirkungen auf das Handlungsfeld Energie. Auch die **Wassernachfrage** kann in Hitzephasen zunehmen (→ HF Wasser) – ein Punkt, den die Vorstudie besonders hervorhebt. Eines der Ergebnisse des Abc-Projekts (→ HF Gesundheit) ist, dass sich die Befragten Bürger und Bürgerinnen mehr Trinkbrunnen in der Stadt wünschen. Dies käme natürlich auch den Besuchern und Besucherinnen zugute.

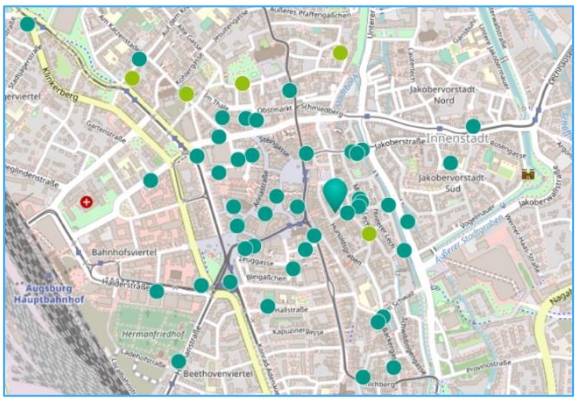


Abb. 75: Refill-Stationen in Augsburgs Innenstadt. Quelle: Refill-Deutschland 2021.

In diesem Zusammenhang ist auch ein bundesweites Projekt (Refill Deutschland) zu erwähnen: Läden mit dem Refill-Aufkleber am Fenster oder der Tür füllen kostenfrei Leitungswasser in jedes mitgebrachte Trinkgefäß. Neben der Versorgung mit Trinkwasser spielt dabei das Ziel der Plastikvermeidung eine wichtige Rolle. Bundesweit gibt es 5.500 Stationen (Stand Mai 2020). Auch Augsburg wird hier als „Refill-Stadt“ geführt (Abb. 75). Die vorhandenen Stationen und die Trinkbrunnen in Augsburg stellen ebenfalls eine Facette der Anpassungskapazität dar.

Starkregen, Hagel, Sturm

Die Zahl der Starkregentage hat sich in der jüngeren Vergangenheit in Augsburg kaum verändert. Aber alle Modelle gehen von einer deutlichen Zunahme bereits in der näheren Zukunft aus. Für die Sommermonate muss mit einem Nebeneinander von Hitze- und Tro-

ckenphasen einerseits und Starkregenereignissen andererseits gerechnet werden. Hagel- und Sturmereignisse sind durch Klimamodelle schlechter zu prognostizieren, dürften aber ebenfalls zunehmen.

Das setzt insbesondere die vielen Augsburger **Freiluftveranstaltungen** unter Druck. Neben der Gefahr für Leib und Leben bei Personal und Besuchern sind insbesondere Sachschäden (Zelte, elektrische Anlagen, Ausrüstungsgegenstände) zu befürchten. Auch kann die historische Gebäudesubstanz Schäden nehmen, wenn der Wettergang mehr Extreme enthält.

Forschungsergebnisse[28] verweisen zusätzlich darauf, dass das Außenklima einen großen Einfluss auf das Innenraumklima von **historischen Bauten** hat und damit auch die ausgestellten Exponate beeinträchtigt werden; gleiches gilt für die eingelagerten Stücke des kulturellen Erbes. Insbes. Hitze und Feuchtigkeit setzen demnach den Kulturgütern in Zukunft verstärkt zu; Schimmelbildung ist ein besonderes Risiko aufgrund der Gefährdung alter Kunstwerke. Dies ist angesichts der ***Irreversibilität* der drohenden Schäden** umso gravierender: „Unser Kulturerbe ist keine erneuerbare Ressource“, ist denn auch eine zentrale Botschaft an Politik und Öffentlichkeit, mit der etwa die *Forschungsallianz Kulturerbe* auf die zunehmende Bedrohung auch durch den Klimawandel aufmerksam macht (Forschungsallianz Kulturerbe 2020:1). Für die betreibenden Akteure erhöhen sich damit zukünftig nicht nur die Schadens-, sondern auch die **Versicherungskosten**. Auch die Aufwendungen zur Herstellung der Verkehrssicherungspflicht werden steigen.

Wasserschäden infolge von Starkregenereignissen oder Überschwemmungen betreffen vor allem die Gebäudesubstanz sowie die kulturell und/oder touristisch genutzte Infrastruktur (Straßen, Stromkästen, Gerätschaften etc.).

Eine Facette des Klimawandels betrifft insbesondere den **Kultursektor**. Anders als der Tourismus lebt Kultur von der Thematisierung individueller oder gesellschaftlicher Probleme und der expressiven Gestaltung möglicher Antworten darauf in kulturbereichsspezifischen Medien (Theater, Musik, Film…). Als Folge des sich verändernden Klimas haben sich in den letzten Jahren viele Kultureinrichtungen bereits aktiv mit dem Klimawandel befasst.

Exkurs 8: Klimawandel und Kultur

Abb. 76: Die damalige Bayerische Umweltministerin Ulrike Scharf besucht 2015 die Augsburger Puppenkiste anlässlich eines Theaterstücks zum Klimawandel. Links das Eisbär-Mädchen Nanuk. Quelle: StMUV 2015.

Das Thema Klimawandel wird mehr und mehr auch ein Thema des Kultursektors. Und das ist auch nicht verwunderlich, befasst sich Kultur doch letztlich mit der Frage, wer oder was der Mensch ist, oder:
Wie Mensch sich verstehen soll angesichts selbsterzeugter Problemlagen im Kontext des Klimawandels?

Immer mehr Theater in Deutschland befassen sich zum Beispiel mit dem Klimawandel. Nach Reusswig (2019) sind drei Ebenen zu unterscheiden:

- Das *Haus oder die Spielstätte* bezeichnet den physischen Ort, an dem Treibhausgasemissionen entstehen (z.B. durch Energieverbrauch) oder Klimawirkungen ansetzen können.
- Das primäre *Produkt* von Kultureinrichtungen sind Aufführungen und Events, also das kulturelle Programm, die Kulturproduktion.
- Schließlich ist da noch das *Publikum* als der sozio-kulturelle „Resonanzraum“ von Kultur.

Parallel zum Stadtentwicklungskonzept (STEK) untersucht das Kulturreferat der Stadt Augsburg nach und nach die Kulturlandschaft mit ihren unterschiedlichen Sparten und Akteuren, um ein zukunftsfähiges und nachhaltiges Gesamtkonzept mit strategischen Leitlinien für den Kultursektor zu entwickeln: das Kulturentwicklungskonzept (kek).

[28] Die Europäische Union förderte bis 2014 das große Forschungsprojekt „Climate for Culture“, das sich mit der Frage beschäftigt, wie **historische Bauten** vor den Folgen des Klimawandels geschützt werden können. Unter den 27 Partnern aus 16 Ländern war Deutschland mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen (Oberbayern), vertreten. Seit 2016 beschäftigt sich das EU-Projekt HERACLES mit dem Schutz von Baudenkmälern vor klimabedingten Schäden (www.heracles-project.eu) (deutscher Partner: Fraunhofer-Institut IOSB, Karlsruhe).

Ziel ist es, Kultur ganzheitlich zu betrachten und der gesamten Bandbreite kultureller Angebote Raum und Unterstützung zu gewähren. Auf allen diesen Ebenen können Kultureinrichtungen dazu beitragen, den Klimawandel zum Thema zu machen und damit auch in die Gesellschaft hineinzuwirken.

Es sollen vorhandene Strukturen aufeinander abgestimmt und Kulturschaffende und Stadtgesellschaft besonders im Hinblick auf die kulturelle Teilhabe in Einklang gebracht werden. Kulturelle Bildung spielt dabei ebenfalls eine wesentliche Rolle.

Dieser ohnehin laufende Prozess bietet ein hervorragendes Gelegenheitsfenster, um die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung – für viele Menschen gehören die beiden Facetten der Klimapolitik untrennbar zusammen – stärker im Kulturbereich zu verankern. Dabei muss übrigens keineswegs „bei Null“ angefangen werden. Wie das Beispiel Augsburger Puppenkiste zeigt, kann eine traditionsreiche, bundesweit populäre Kultureinrichtung Augsburgs für das Thema gewonnen werden.

In Zukunft käme es darauf an, die ganze Breite des Augsburger Kultursektors für diese Themen zu sensibilisieren und dafür zu gewinnen, mit jeweils eigenen, genre- und hausspezifischen Mitteln eine Art lokale „Klimakultur“ aufzubauen. Wichtig ist, dass dies auf Augenhöhe und nicht-instrumentalisierend geschieht. Hilfreich ist, dass in Augsburgs Nachhaltigkeitsbeirat auch Kulturschaffende vertreten sind.

5.4.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Überblickt man die möglichen Klimafolgen im Kultur- und Tourismusbereich für Augsburg, so stechen drei Aspekte besonders hervor:

- Der **Komplex Hitze** bedroht vor allem den für Augsburg sehr wichtigen Bereich der Outdoor-Veranstaltungen und den innerstädtischen Tourismus.
- **Extremereignisse** gefährden vor allem Gebäude und Infrastrukturen, darunter auch die UNESCO-Weltkulturerbe-Stätten.
- **Chancen** durch den Klimawandel ergeben sich vor allem durch die verlängerte Saison, auch im Vergleich zu heißer werdenden Regionen im Mittelmeerbereich.

5.5. Wasser

5.5.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Die Stadt Augsburg befindet sich am nördlichen Ende einer während der Eiszeit entstandenen Schotterzunge zwischen den beiden Alpenflüssen **Lech und Wertach**. Im Norden des Augsburger Stadtgebiets fließen beide Flüsse zusammen. Dieser eiszeitliche Schotterkörper stellt einen natürlichen Filter der grundwasserführenden Schicht dar und bildet dadurch eine unerschöpfliche Quelle für gereinigtes Trinkwasser (Stadt Augsburg 2018a).

In Augsburg hat die Bewirtschaftung der Ressource Wasser eine jahrhundertealte Geschichte. Das **Augsburger Kanalsystem** ist ein über Jahrhunderte historisch gewachsenes Wassersystem, geprägt von ständigem Wandel, Ausbau und Erneuerungen. Die Errichtung Augsburgs auf einer Hochterrasse zwischen den Flusstälern von Lech und Wertach barg damals einen erheblichen Nachteil für die Trinkwasserversorgung der Stadt: Höher gelegene Teile konnten nicht durch das natürliche Gefälle mit Wasser versorgt werden. Die Wasserwirtschaft bekam eine elementare Bedeutung und der Ausbau des Augsburger Wassersystems begann (Stadt Augsburg 2019b). Die Kanäle wurden bereits im frühen Mittelalter angelegt und dienten insbesondere der Wasserversorgung von Handwerks- und später Industriebetrieben.

Sie nutzten die Kraft des Wassers zum Antrieb von Wasserrädern für Mühlen, Webstühle oder Spinnmaschinen, später für Turbinen zur Stromerzeugung in Fabriken nutzten. Außerdem waren sie von Bedeutung für den Transport, die Abfall- und Abwasserentsorgung sowie zur Lieferung von Trink- und Brauchwasser, wobei hier seit Mitte des 16. Jahrhunderts bereits auf eine strenge Trennung dieser geachtet wurde und somit gute hygienische Verhältnisse herrschten. Exemplarisch hierfür steht der Galgenablass im Stadtwald. Hier kreuzen sich der mit Quellwasser gespeiste Brunnenbach und der mit Lechwasser gespeiste Grenzgraben. Das Prozesswasser wurde mithilfe eines Dükers unter dem Trinkwasserkanal hindurchgeführt. Über das Aquädukt am Roten Tor liefen Lech- und Quellwasser, durch eine Wand voneinander getrennt, in die Stadt.

Das herausragende **Wassermanagementsystem**, welches Gewerbe und Handel aufblühen ließ, führte zum wirtschaftlichen Aufstieg und Wohlstand der Stadt. Im Zuge von Maßnahmen der Städtebauförderung 1970 bis 1980 erfolgte die Wiederaufdeckung von Altstadtkanälen, womit heute die Kanäle größtenteils offen und oberirdisch verlaufen (Stadt Augsburg 2019a).

Abb. 77: Wasserwerk am Roten Tor.
Quelle: Martin Augsburger/ Stadt Augsburg.

Seit 2019 trägt das Augsburger Wassermanagement-System mit 22 Objekten, wie dem Augustusbrunnen oder dem Wasserwerk am Roten Tor (Abb. 77), den Titel UNESCO-Welterbe (Stadt Augsburg 2019a).

Im knapp 190 km langen Kanalsystem verteilt sich das Wasser der Schwerkraft frei folgend, also ohne Pumpenantrieb, in der gesamten Stadt. Der größte Teil des Wassers wird am Hochablass- Stauwehr vom Lech abgeleitet und fließt im Hauptstadtbach zur Innenstadt, ein zweiter Anstich befindet sich südlich davon an der Lechstaustufe 22 (Abb. 78). Von diesen beiden Punkten verzweigen sich die Kanäle über die Stadt und vereinigen sich nördlich von ihr wieder zurück in den Lech. Dort fließt auch die Wertach zu, welche mit ihren Kanälen einen Teil des Systems bildet (Stadt Augsburg 2019a). Die Kanäle sind im Normallfall ständig durchströmt, wodurch Wartungs- und Reinigungsarbeiten (z.B. an Kraftwerken oder Brückensanierungen) ein Ablassen des Wassers erfordern. So erfolgt alljährlich die sogenannte Bachablässe oder Bachkehr, während der das Tiefbauamt die Schleusen am Hochablasswehr schließt und es für knapp zwei Wochen zu Niedrigwasserständen kommt (dw.com 2019).

Nach dem Bau der Kanalisation und der schwindenden Bedeutung von Wasserwegen für den Transport wird die Wasserkraft heute hauptsächlich zur **Stromerzeugung** genutzt. Aufgrund des relativ starken Gefälles und des gut regelbaren Volumenstroms durch Wehre und Schütze eignet sich das Wassersystem hervorragend für die Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung und versorgt heute etwa 1/3 der Augsburger Haushalte mit nachhaltiger Energie (→ HF Energie). Mitte des 19. Jahrhunderts begann die **moderne Wasserversorgung** in Augsburg mit dem Bau des ersten Brunnenwerkes außerhalb der Stadtmauern im Siebentischwald (swa 2014). Dieser Schritt musste erfolgen, da die Brunnenwerke innerhalb der Stadtmauern den mengenmäßigen, aber auch qualitativen Bedarf der wachsenden Industriestadt nicht mehr decken konnte. Die Länge des Leitungsnetzes der Augsburger Wasserversorgung hat sich seit 1879 verzehnfacht und die **Zahl der versorgten Bewohnerinnen und Bewohner** stieg von 60.000 auf etwa 310.000 (swa 2014).

Die folgende Verwundbarkeitsanalyse (5.5.2.) ist in drei Bereiche unterteilt: (1) das Grundwasser und die darauf größtenteils aufbauende Trinkwasserversorgung; (2) die Oberflächengewässer und die Risiken, welche von diesen bei Hoch- oder Niedrigwasser ausgehen; (3) die Siedlungsentwässerung (Risiko pluvialer Überschwemmung).

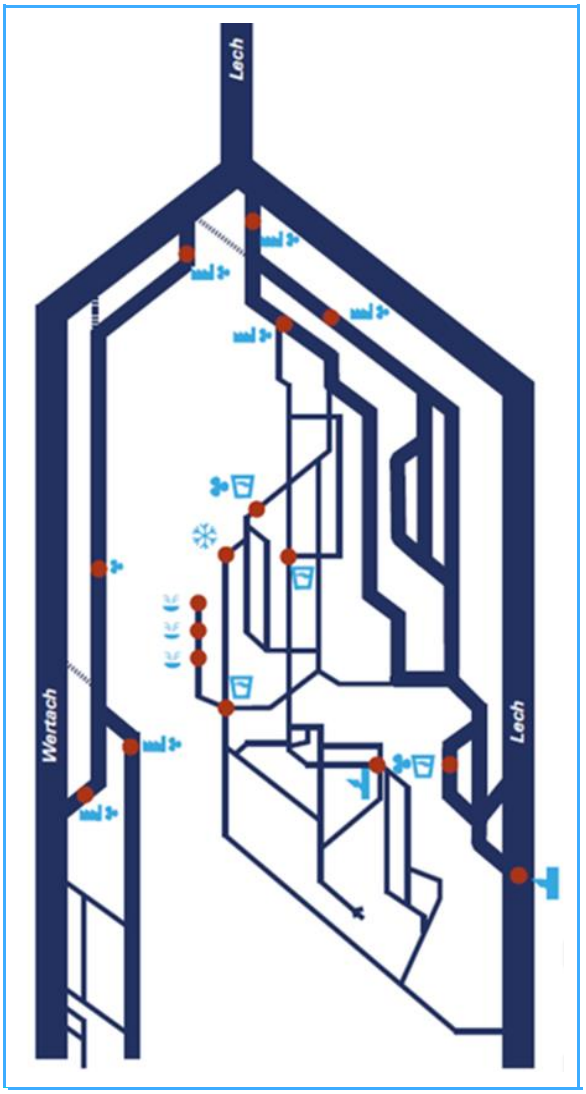


Abb. 78: Wassermanagement-System Augsburg. Schematische Darstellung nach Nominierungsdossier. Quelle: Stadt Augsburg 2018a.

5.5.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Wasser detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 79) einen schematischen Gesamtüberblick.

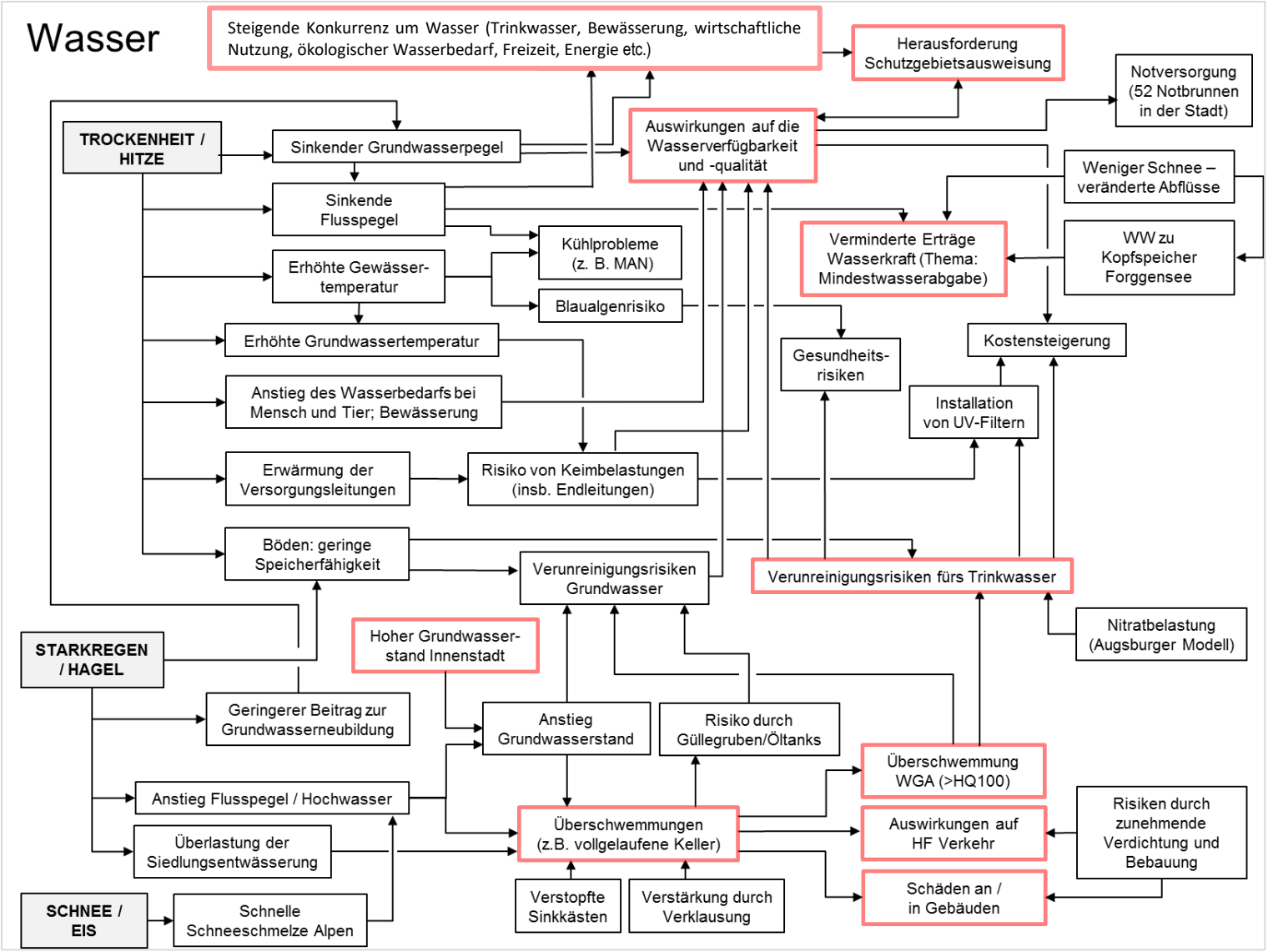


Abb. 79: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Wasser. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen) und Verwundbarkeiten (rote Kästen).

Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt im Folgenden anhand drei verschiedener Teilbereiche des Wassersystems: Trinkwasser/ Grundwasser, Oberflächenwasser, Siedlungsentwässerung.

Trinkwasser/ Grundwasser

Grundsätzlich beeinflusst die Witterung die **Grundwasser-Pegelstände** und auch die **Grundwasser-Temperatur**. Dies wiederum kann sich auf Trinkwasserdargebot und–qualität auswirken. Im Winter werden die Niederschläge durch den klimatischen Wandel leicht zu- und im Sommer leicht abnehmen.

In Verbindung mit einer durch die steigenden Temperaturen erhöhten Verdunstung kommt es zu einer geringen **Abnahme der Grundwasserneubildung** (Regierung von Schwaben 2014). Dies kann jedoch durch den ergiebigen Grundwasserleiter, über welchem sich Augsburg befindet, ausgeglichen werden - die prognostizierten Änderungen haben also lediglich geringe Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung in Augsburg.

Für die Versorgung der Einwohner der kreisfreien Stadt Augsburg sowie teilweise angrenzender Gebiete sind die **Stadtwerke Augsburg (swa)** zuständig. Diese betreiben mehrere Wassergewinnungsanlagen. Das Trinkwasser der Stadt stammt zum überwiegenden Teil aus dem Grundwasserstrom in den westlichen Lechauen südlich von Augsburg. Diese Gebiete sind vor Verunreinigungen des Trinkwassers durch die **Trinkwasserschutzgebiete Stadtwald Augsburg und Fohlenau** geschützt (swa, 2014).[29] Sie sind aber auch von großer Bedeutung für den Naturschutz (→ HF Biodiversität).

Der Fassungsbereich darf nicht betreten werden und ist in der Regel eingezäunt. Im Bereich innerhalb der 50-Tages-Linie – der sog. Engeren Schutzzone – ist aus hygienischen Gründen die Ausbringung von Gülle u. ä. nicht gestattet. In den weiteren Schutzzonen sind eingeschränkt Nutzungen wie Landwirtschaft oder Bebauung möglich.

Durch häufigere Starkregenereignisse, insbes. In Verbindung mit nach Trockenphasen wenig aufnahmefähigem Boden, könnte es zu einem erhöhten Eintrag von **Nitrat ins Grundwasser** kommen.[30]

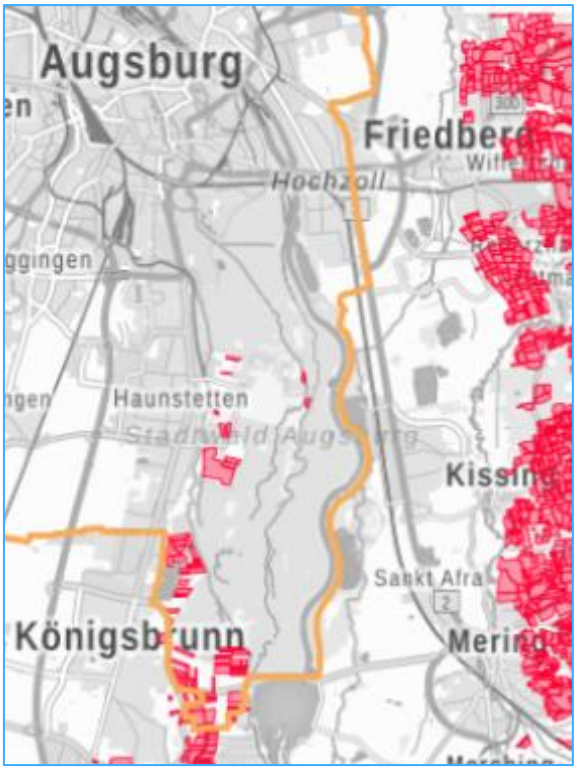


Abb. 80: Nitratgefährdete Gebiete nach AVDüV im Süden Augsburgs. Quelle: LfL 2020.

Das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) weist nitratgefährdete Gebiete nach AVDüV (Ausführungsverordnung Düngeverordnung 2020)) aus (Abb. 80). Laut swa wird mit den Landwirten eng zusammengearbeitet und sie werden bei der grundwasserschonenden Bearbeitung auch finanziell unterstützt (swa 2014). Die heutige und in Zukunft zu erwartender Belastung mit Nitrat stellt daher nur eine bedingte Herausforderung für Augsburg dar (Interview 2019, Regierung von Schwaben 2014).

[29] Auch das STEK misst der Sicherung der hervorragenden Trinkwasserqualität höchste Priorität bei; so heißt es dort: „Die hervorragende Trinkwasserqualität und das mengenmäßige Trinkwasserangebot in Augsburg sind dauerhaft zu sichern. Dazu sind insbesondere die Fassungsbereiche und Schutzzonen für die Trinkwasserversorgung im Stadtwald vor schädlichen Einflüssen durch konkurrierende Nutzungen wie Verkehr, Freizeit, Gewerbe und Überschwemmungen zu schützen. Weiter ist die Schaffung von naturnahen Wäldern fortzuführen. Außerdem ist die kontinuierliche Anpassung der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung in den Bereichen Leitungsnetz, Trinkwasserspeicherung und Notwasserverbund erforderlich“ (STEK 2020).

[30] Zum Zusammenhang siehe ausführlich: LAWA-Expertengruppe „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft“ (https://www.lawa.de/Ausschuesse-361-Staendiger-Ausschuss-Klimawandel.html).

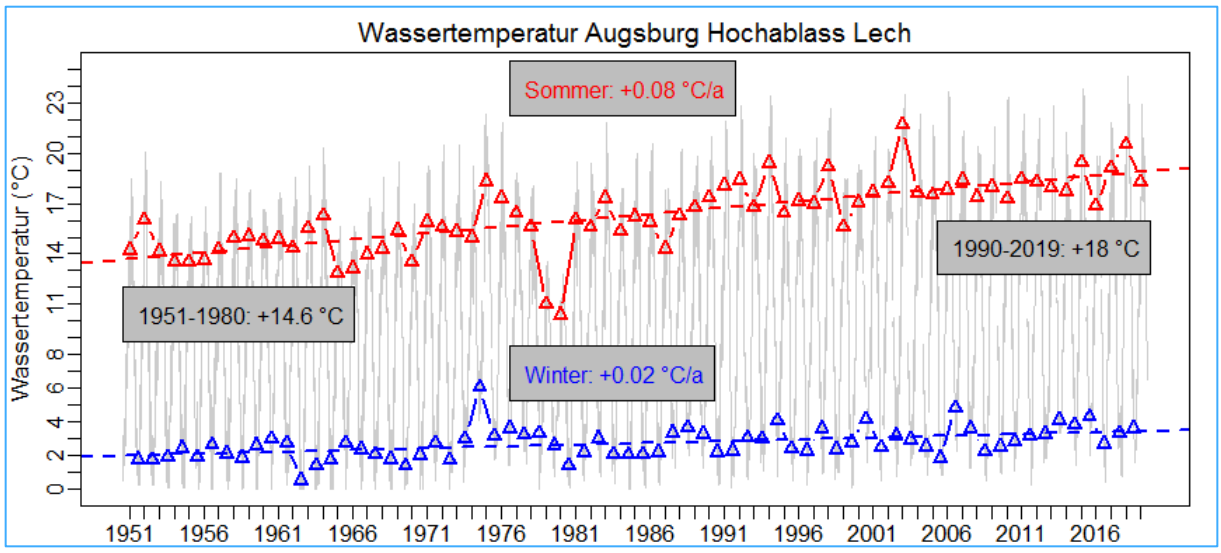


Abb. 81: Auswertungen zum Wasserverbrauch in Augsburg in den Jahren 2017 bis 2019. Zeitreihe der Wasserabgabe (oben) und Zeitreihe der Mitteltemperatur in Augsburg (unten). Quelle: Eigene Auswertung basierend auf Daten der Stadtwerke Augsburg.

Laut Stadtwerke Augsburg zeigte sich seit den 80-ger Jahren eine Abnahme der **Wasserabgabe** bei gleichzeitiger Zunahme der versorgten Bevölkerung (swa, 2014). Dies war u.a. auf einen sparsameren Umgang der Bevölkerung mit Wasser zurückzuführen. In den letzten Jahren hat die Wasserabgabe der Stadtwerke Augsburg wieder leicht zugenommen (Stadt Augsburg 2020).

Es ist jedoch zu erwarten, dass es im Zuge des Klimawandels zu **Auswirkungen auf den Wasserbedarf** kommen wird. So werden die steigenden Mitteltemperaturen, aber insbesondere die heißen und trockenen Phasen zu einem **erhöhten Bedarf** vor allem bei der Bewässerung führen. Im Bereich der Sonderkulturen (Z.B. Erdbeeren und Spargel) spielt die Bewässerung eine zunehmende Rolle. Diese erfolgt meist mit eigenen Grundwasserbrunnen – erhöht damit aber den Nutzungsdruck auf das Grundwasser (Interviews 2019, → HF Landwirtschaft).

Für die Trinkwasserversorgung kann laut Stadtwerke Augsburg die **Jahresfördermenge** von 18 auf 25 Millionen m³ erhöht werden. Auch die zu erwartende **Steigerung bei den Tagesspitzenverbräuchen** an durch den Klimawandel häufiger werdenden heißen und trockenen Tagen gefährdet laut Stadtwerke die Versorgung im Zeithorizont bis 2030 nicht (Interview 2019).

Auch in der **Wasserversorgungsbilanz 2025** wird die Wasserversorgung in der Stadt Augsburg hinsichtlich ihres Jahreswasserbedarfs mit „kein Defizit“ (d.h. Reserve >=5%)“ und hinsichtlich der Tagesspitzen ebenfalls mit „kein Defizit (Reserve >= 0%)“ bewertet (Regierung von Schwaben 2014). In Abb. 81 sind der **Wasserverbrauch und die Mitteltemperatur in Augsburg in den Jahren 2017 bis 2019** als Zeitreihe dargestellt (oben und Mitte) sowie die Darstellung des **Verbrauches über der Mitteltemperatur** (unten). In der unteren Darstellung wird deutlich, wie die Wasserverbräuche bei höheren Temperaturen (ab etwa 20 °C Mitteltemperatur) ansteigen. Bei Mitteltemperaturen von knapp unter 30°C liegen die Tagesverbräuche um bis zu einem Viertel über dem durchschnittlichen Tagesverbrauch in 2017 bis 2019.

Zum Ausgleich solcher Bedarfsspitzen gibt es drei **Hochbehälter** – der größte, Steppach, fasst 25 Millionen Liter – und einen Tief-/ Durchlaufbehälter. Die Trinkwassergewinnung der Stadtwerke Augsburg basiert auf rund 60 Brunnen, welche das Wasser aus unterschiedlichen Grundwasserschichten fördern (swa, 2014). Die Förderung durch Flachbrunnen im quartären Grundwasserleiter ist besonders witterungsanfällig (Quartärbrunnen).

Neben der Beeinflussung des Grundwasser- (GW-)-Pegels durch mehr oder weniger Niederschlag verursacht Starkregen ein **gesteigertes Verunreinigungsrisiko**. Andernorts führt insbesondere eine vorherige Trockenheit zur Durchlässigkeit der Böden für Schadstoffe – jedoch ist in der Region Augsburg aufgrund des Kiesbodens bereits ohne vorherige Trockenheit ein Eindringen von Schadstoffen möglich. Damit steigt das Risiko bakterieller Verunreinigungen des Trinkwassers. Zum Schutz des Trinkwassers werden daher bei Bedarf vorsorglich **UV-Anlagen** zugeschaltet (Interview 2019).

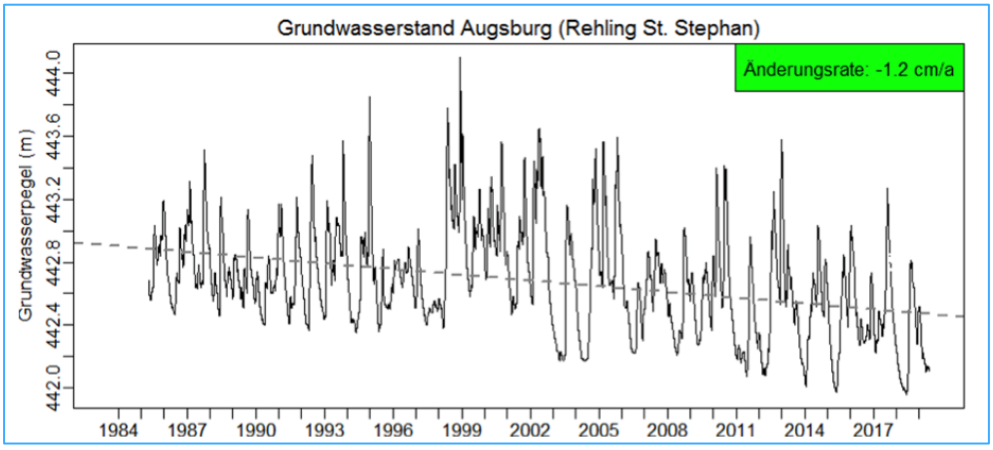


Abb. 82: Regionale Entwicklung des Grundwasserstandes 1 – Umland. Am Beispiel von Rehling St. Stephan nördlich des Stadtgebietes Augsburg zwischen 1985 und 2019. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von GKD Bayern.

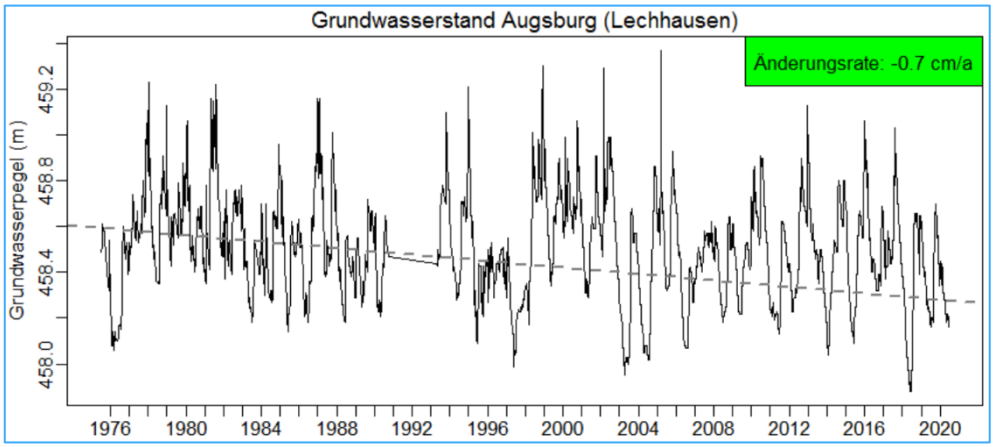


Abb. 83: Regionale Entwicklung des Grundwasserstandes 2 – Lechhausen. Zeitraum: 1975 bis 2020. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von GKD Bayern.

Neben den Quartärbrunnen kommen Brunnen im oberen tertiären GW-Leiter zum Einsatz. Diese **Horizontalfilterbrunnen** nutzen die natürliche Filterwirkung der sie umgebenden oberen tertiären Sande. Diese Brunnen der swa sind weniger von Extremwetter (z.B. Starkregen) beeinflusst (Interview 2019).

Unterhalb dieses GW-Leiters folgt das untere Tertiär oder auch **Tiefenwasser.** Dieses wurde von den Stadtwerken in den letzten Jahren immer weniger verwendet und wird im Stadtwald Augsburg mittlerweile gar nicht mehr gefördert (Interview 2019). Laut der Wasserversorgungsbilanz 2025 (Regierung von Schwaben 2014) verfügt die Region Augsburg über große Tiefengrundwasservorkommen, welche jedoch ein sich sehr **langsam regenerierendes Grundwassersystem** darstellen. Diese besonderen hydrogeologischen Bedingungen erfordern eine besonders ressourcenschonende Nutzung, da z.B. eingetragene Schadstoffe nur schwer oder „in menschlichen Zeitskalen“ *nicht* aus dem System entfernt werden können (Regierung von Schwaben 2014). - Im Großraum Augsburg wird nichtsdestotrotz weiterhin Tiefenwasser verwendet. Insbesondere Altrechte zur Brunnennutzung von Firmen stellen hier ein Problem dar, welches gar zu Nutzungskonkurrenzen in diesem GW-Leiter führen kann.

Abb. 82 stellt diese regionale Problematik beispielhaft anhand des zeitlichen Verlaufs des **Grundwasserpegels** an der Messstation Rehling St. Stephan nördlich des Stadtgebietes dar. Deutlich sind die **saisonalen Abnahmen** des Pegelstandes in den Sommermonaten zu erkennen. Insbesondere die Sommer 2015 und 2018 führten zu Tiefstständen in dieser Zeitreihe. In den Wintermonaten erholen sich die Pegelstände durch **stärkere Niederschläge und eine geringere Verdunstung**.

Über die gesamte Zeitreihe lässt sich Rehling St. Stephan und in Lechhausen (Abb. 83) ein signifikant **abnehmender Trend des GW-Standes** feststellen.

Besonders **hohe GW-Stände**, z.B. verursacht durch Hochwasser des Lechs oder Starkniederschläge, stellen ebenfalls ein Problem dar. Dies erhöht das Risiko eines **Eindringens von Keimen**. In solchen Fällen muss eine UV-Entkeimung an den Brunnen durchgeführt werden. Es existiert in Augsburg ein **bakteriologisches Frühwarnsystem der Stadtwerke Augsburg** mit einer Online-Messung der GW-Stände (Interview 2019). Auch eine Überschwemmung der Brunnen – wie beim Pfingsthochwasser 1999 geschehen – verursacht eine Verunreinigung des Trinkwassers mit Keimen. Damals musste im Anschluss eine Chlorung des Trinkwassers vorgenommen werden. Mit den oben beschriebenen Horizontalfilterbrunnen wird dieses Risiko minimiert. - Weitere Herausforderungen für die Trinkwasserversorgung ergeben sich durch die **fortschreitende Verdichtung und Bebauung insbesondere im ländlichen Raum** sowie die Begradigung des Lechs und die damit verbundene **Sohleeintiefung.**

Beide Prozesse sowie die oben genannte Entnahme von Tiefenwasser können zu einem **Absinken des GW-Spiegels** führen. Dies erklärt möglicherweise den langjährigen Trend in Abb. 82 am Pegel Rehling St. Stephan. Für die Messstation Augsburg-Lechhausen wurde ein Absinken von 0,7 cm pro Jahr ermittelt (Abb. 83). Niedrigere GW-Stände können sich dann wiederum negativ auf die **Trinkwassergewinnung** auswirken (Interview 2019).

Mit dem Projekt *Licca liber* (s.u.) wird u. a. eine Stabilisierung der Sohle des Lechs angestrebt (TUM 2012). Weiterhin negativ für die Trinkwasserversorgung könnte sich die durch den Anstieg der Umgebungstemperatur verursachte **Zunahme der Grundwassertemperatur** auswirken (Interview 2019). Diese steigert das **Verkeimungsrisiko** insbesondere in den Wasserleitungen (→ HF Gesundheit). Bisher gab es damit keine Probleme, auch weil das Grundwasser recht nährstoffarm ist (Interview 2019). Um die Zusammenhänge zu untersuchen, haben die Stadtwerke die Universität Augsburg Ende 2019 mit einem dreijährigen Forschungsprojekt beauftragt.

Im Zuge des Klimawandels können **extremwetterbedingte Stromausfälle** zunehmen (→ HF Energie). Bei kleineren Stromausfällen können Notstromaggregate den Strom für Pumpen liefern und Hochbehälter das Wasser weiterhin gravitativ verteilen. Im größeren Schadensfall gibt es vertragliche Sicherungen zur Lieferung von mehr Notstromaggregaten durch private Firmen (Interview 2019). - Im Falle des Ausfalls von Trinkwasserbrunnen haben sich **Verbünde zwischen verschiedenen Versorgern** als Resilienz-steigernd herausgestellt. Solche **Notverbünde** sind beispielsweise mit Königsbrunn und Kissing eingerichtet.[31] Jedoch ist aufgrund der ungleichen Größenordnungen bei der Versorgung eher eine Unterstützung durch Augsburg zu erwarten (Interview 2019). Weiterhin verfügt die Stadt über ein **Notbrunnensystem** mit 52 Brunnen (→ HF Katastrophenschutz).

Oberflächenwasser

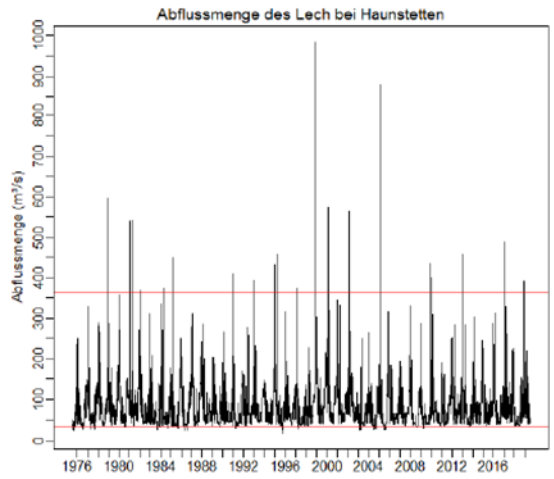
Der Einfluss der Witterung auf die Grundwasserstände ist zeitlich versetzt. Die Oberflächengewässer sind direkter beeinflusst. Zum einen bei Hochwasser, Niedrigwasser und auch durch Auswirkungen auf die Gewässertemperatur. Zur Abschätzung der Entwicklung der letzten Jahrzehnte wurden beispielhaft Pegeldaten für zwei Messstationen analysiert. Zum einen ein Pegel am Lech bei Haunstetten (Abb. 84), zum anderen an der Wertach bei Türkheim [32] (Abb. 85).

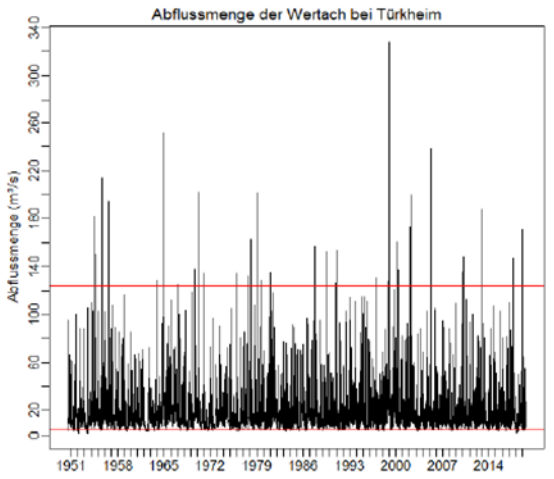
Die jeweils obere Abbildung auf S. 87 zeigt die *Zeitreihen der Abflüsse* an beiden Flüssen. Deutlich ist das **Pfingsthochwasser vom 22. Mai 1999** als der höchste Pegelwert an beiden Flüssen zu erkennen. Auch das **Jahrhunderthochwasser von 2005** ist an beiden Pegeln als auffallend großer Abfluss zu erkennen. Beide Abflussspitzen sind bereits durch ihre **Kopfspeicher** abgeschwächt – **Grüntensee** (Wertach) und **Forggensee** (Lech). Am Pegel Türkheim betrugen die langjährigen Mittel der Jahreshöchstabflüsse (MHQ) 124 m³/s und der niedrigsten Abflüsse (MNQ) 4 m³/s. In Haunstetten am Lech sind diese Werte deutlich höher, mit MHQ = 366 m³/s und MNQ = 33 m³/s.

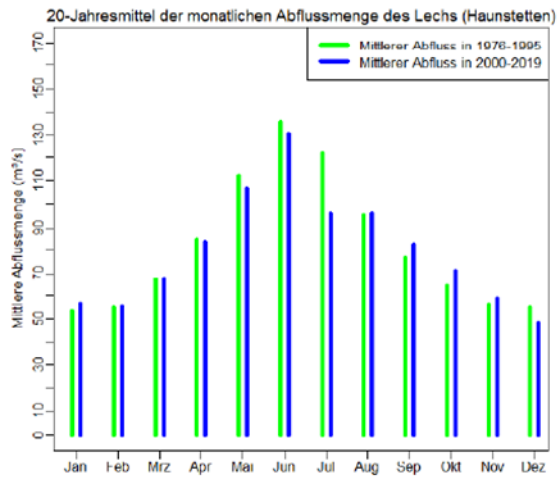
Die unteren Darstellungen in Abb. 84 und 85 zeigen jeweils das *langjährige Mittel der monatlich gemittelten Abflussmenge*. Am Lech ist eine relativ gleichförmige Abflussverteilung mit einer Abflussspitze im Juni zu erkennen – diese Verteilung ist stark auf die Steuerung am Forggensee zurückzuführen. Beim Vergleich der beiden 20-jährigen Zeiträume fallen nur geringe Änderungen auf. Lediglich im Juli kommt es zu einer relativ starken Abnahme des mittleren Abflusses.

[31] Die Schaffung von Verbundsystemen bei der Trinkwasserversorgung ist eine Maßnahme, die auch im STEK befürwortet wird (STEK 2020).

[32] Pegel Augsburg/ Oberhausen Wertach: Ausgabe von Abflusswerten erst bei Hochwasser ab W = 210 cm – Pegel Türkheim daher letzter Pegel im Verlauf der Wertach.







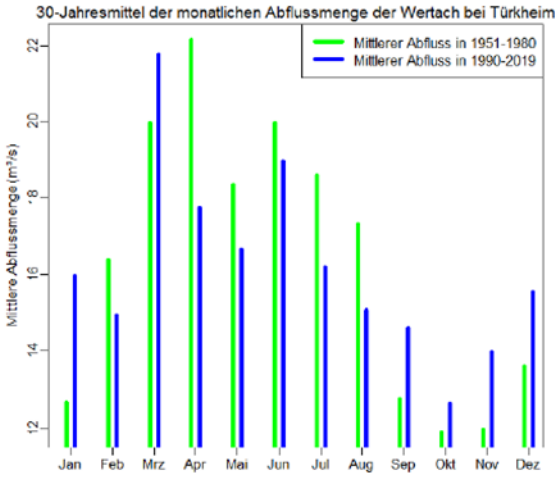


Abb. 84: Auswertung der Abflussdaten am Lechpegel Haunstetten (1976-2019). Oben: tägliche Zeitreihe des Abflusses. Unten: 20 Jahresmittel der monatlichen Abflussmenge für 1976-1995 und 2000-2019. Eigene Abbildungen auf Basis von Daten des GKD Bayern.

Abb. 85: Auswertung der Abflussdaten am Wertachpegel Türkheim (1951-2019). Oben: tägliche Zeitreihe des Abflusses. Unten: 30 Jahresmittel der monatlichen Abflussmenge für 1951-1980 und 1990-2019. Eigene Abbildungen auf Basis von Daten des GKD Bayern.

Exkurs 9: Abflussprojektionen des LfU Bayern für zwei Beispielpegel an Lech und Wertach

Vom LfU Bayern wurden Abflussprojektionen basierend auf Klimaprojektionen mit dem Emissionsszenario A1B (ein älteres Szenario, welches hinsichtlich der damit projizierten Temperaturzunahme zwischen den Pfaden RCP6.0 und RCP8.5 liegt) sowie einem Wasserhaushaltsmodell durchgeführt und dem Projekt zur Verfügung gestellt. Für die dort definierte mittlere (2051-2070) und die ferne Zukunft (2071-2100) wurden 8 Modelle in die Analyse eingebunden. Für die nahe Zukunft (2021-2050) lagen 11 Projektionen vor. Es wurden die beiden Pegel Haunstetten (Lech) und Augsburg Wertachmündung betrachtet.

Die simulierten Werte für die Abflüsse wurden zur Beurteilung der Modellgüte mit Messwerten aus dem Zeitraum 1971 bis 2000 verglichen. Für den mittleren Abfluss MQ, den mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ und die Niedrigwasserkenngrößen schätzte das LfU die Modellqualität der Auswertungen als nicht ausreichend ein. Der mittlere Hochwasserabfluss MHQ besitzt eine beschränkte Aussagekraft. Die Hochwasserkenngrößen für das Gesamtjahr und den Sommer sind valide, lediglich im Winterhalbjahr können sie aufgrund der Abweichungen zu den Messdaten nur beschränkt verwendet werden. Die Niedrigwasserkenngrößen des Sommerhalbjahres (Mai bis Oktober) sind ebenfalls belastbar.

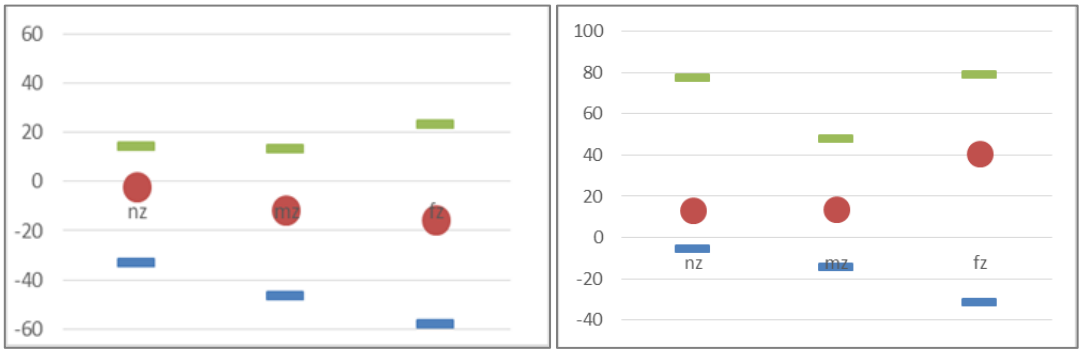


Abb. 86: Mittleres jährliches Hochwasser am Pegel Augsburg Wertachmündung für die nahe, mittlere und ferne Zukunft. Dabei Sommerhalbjahr (links) und Winterhalbjahr (rechts). Darstellung und Berechnung: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de.

Für beide Pegel nehmen die mittleren jährlichen Hochwasserabflüsse MHQ im hydrologischen Sommerhalbjahr im Laufe des Jahrhunderts immer stärker ab (Median: -16 % bzw. -19 %) (Abb. 86, links). Im Winterhalbjahr kommt es zu einer stärkeren Zunahme (Median: +40 % bzw. +48 %) (Abb. 86, rechts). Hier muss angemerkt werden, dass die MHQ-Werte für Januar und Februar größere Abweichungen in der Vergangenheit aufweisen. Bei Betrachtung der Modellergebnisse des gesamten Ensembles zeigt sich, dass sowohl für das Sommer- als auch das Winterhalbjahr einige Modelle auch Änderungen mit abweichenden Vorzeichen projizieren.

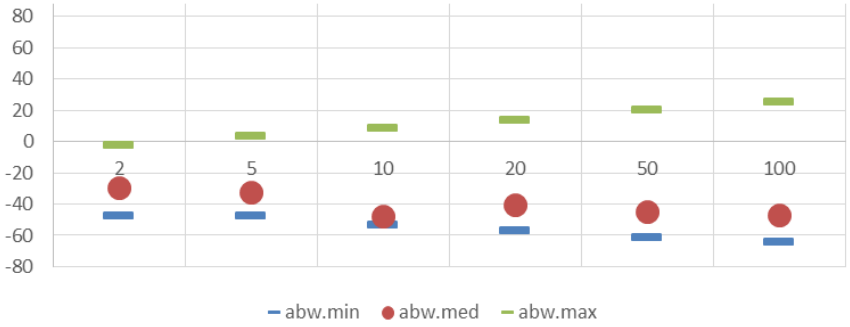


Abb. 87: Entwicklung Niedrigwasser am Pegel Haunstetten für das Sommerhalbjahr in 2071-2100. Darstellung und Berechnung: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de.

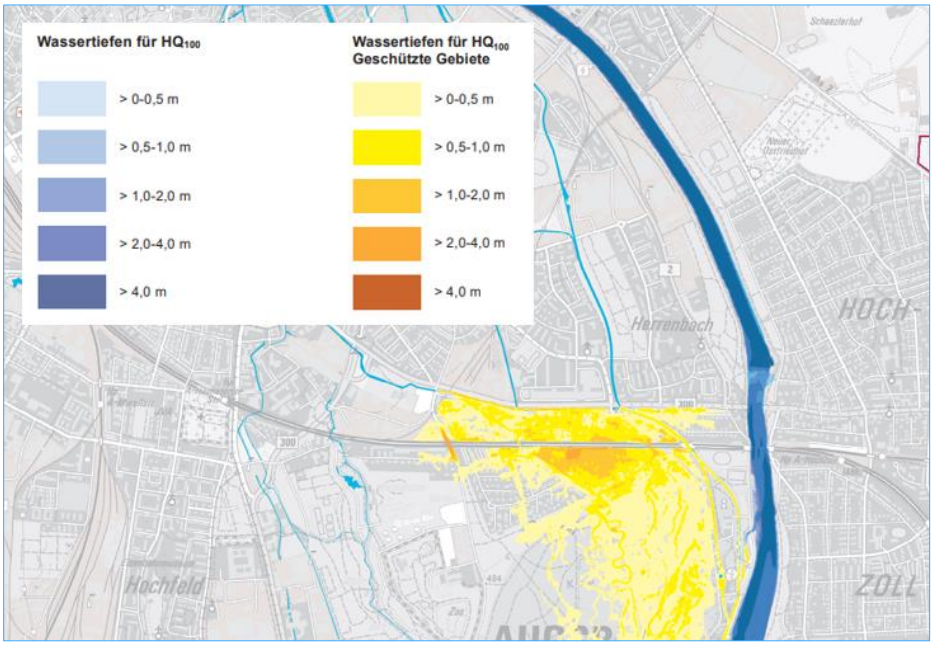
Die Hochwasser-Quantile für das gesamte Jahr und das Sommerhalbjahr werden gut wiedergegeben. Hier zeigt sich beispielsweise für das HQ_{100} im Winterhalbjahr (maximale Tagesdurchflussmenge im Winterhalbjahr, die im statistischen Mittel nur alle 100 Jahre überschritten wird) in der fernen Zukunft für den Pegel Wertachmündung eine Zunahme von fast 80 % (Median). Auch für Haunstetten zeigen die Modelle starke Zunahmen im Winter für das HQ_{100}, jedoch zeigen die Daten hier in der Vergangenheit Überschätzungen. Für den Niedrigwasserkennwert NQ_{100} deuten die Projektionen auf Abnahmen bei beiden Pegeln von über 40 % bis Ende des Jahrhunderts hin (Abb. 87).

Die beiden 30-jährigen Zeiträume in Türkheim zeigen jedoch deutlichere Änderungen. In der Zeit der Schneeschmelze gab es teilweise deutliche Abnahmen (insbesondere April). Hier machen sich u. U. bereits verminderte Schneemengen im Einzugsgebiet und damit vermindertes Schmelzwasser bemerkbar.

Aber auch die Sommermonate zeigen starke Rückgänge in der mittleren Abflussmenge der Wertach (Juni, Juli, August). Im Herbst und Winter (September bis Januar) sind stärkere Zunahmen aufgetreten.

Hochwasserstände

Hochwasser begleitete die Stadt Augsburg seit ihrer Gründung. Die Anlage der Stadt bzw. der damaligen römischen Militärsiedlung wurde **zum Schutz vor Hochwasser** auf die Hochterrasse zwischen die beiden Flüsse gelegt (Augsburger Stadtlexikon 1985). Die für die Stadt prognostizierten Veränderungen im Niederschlags- und Verdunstungsregime haben erhebliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt von Lech und Wertach (aber auch Singold und Schlaugraben) und somit auf die Kanäle innerhalb des Stadtgebiets.



Karte 4: Beispiel einer Hochwassergefahrenkarte für den Lech und ein 100-jährliches Hochwasser. Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) 2020.

In den letzten Jahren und Jahrzehnten kam es infolge von Starkregenfällen oder langanhaltenden Niederschlägen zu Hochwasserständen in Augsburg. Durch die sehr gute Regulierbarkeit **der Wasserstände** (insbesondere durch den Hochablass) ist das Kanalsystem aber grundsätzlich gut vor Überschwemmungen geschützt. Auch wurde der Hochwasserschutz im Nachgang des Pfingsthochwassers 1999 verbessert. Damals kam es zur Verklausung des Ackermannwehres durch herangeschwemmte Bäume und zum Bruch des Oberwasserdammes. Die Folge war eine großflächige Flutung linksseitig der Wertach, im Stadtteil Pfersee. Etwa 1.000 Häuser rund um die Uhlandwiesen wurden geflutet (Quelle: Interview). Im Nachgang wurde das Wehr erneuert und von einem Schützenwehr zu einem Schlauchwehr umgebaut (Interview 2019).

Die Wertach floss die letzten 150 Jahre begradigt durch einen verkürzten Flusslauf – floss dadurch zu schnell und grub sich tiefer in ihr Flussbett. Durch die Wehre konnte kein Material nachgeschoben werden. Mit dem Projekt „**Wertach Vital“** wurde das Flussbett aufgeweitet und die Böschungen abgeflacht. Dies hatte nicht nur **positive Effekte für den Hochwasserschutz,** sondern auch für den Naturschutz (→ HF Biodiversität) und kommt der Funktion des Flusses als Erholungsraum zugute (→ HF Tourismus). Im Rahmen des Projekts „Wertach Vital“ ist ein **Klimaänderungszuschlag** (indirekt) über ein erhöhtes Freibord von 1 m über HQ_{100} berücksichtigt (Stadt Augsburg 2018b).

Mit dem **Renaturierungsprojekt „Licca liber“** (deutsch: „Freier Lech“) wird Ähnliches am Lech durchgeführt. U. a. soll der Rückbau von Uferbefestigungen vergrößerte Retentionsflächen ermöglichen. Nach der Fertigstellung sollen u. a. niedrigere Wasserspiegel bei extremen Hochwasserereignissen auftreten (Interview 2019). Die Technische Universität München hat eine Untersuchung zu den möglichen Maßnahmen im Rahmen des „Licca liber“ durchgeführt (TUM 2012). Die TUM merkt ebenfalls an, dass im Nachgang von häufiger werdenden Starkregenereignissen große Abflussmengen den Lech hinabfließen.

Als Kopfspeicher besteht auch ein starker Zusammenhang des Lechpegels bei Augsburg und dem Forggensee. Die Steuerung des Forggensees wurde verstärkt **auf den Hochwasserschutz umgesteuert** (Interview 2019 und Wasserwirtschaftsamt Kempten 2018). So kann die verlorengegangene natürliche Retentionsfläche des Lechs durch den Forggensee ausgeglichen werden (TUM 2012). Beim LfU Bayern werden Hochwasserrisikokarten für Wertach und Lech zur Verfügung gestellt. Karte 4, oben, zeigt beispielhaft Risikogebiete am Kaufbach südlich der Friedberger Straße.

Niedrigwasserstände

Augsburg mit seinen idyllischen Kanälen, den historischen Wassertürmen, Prachtbrunnen und dem ältesten Wasserwerk Deutschlands lockt jährlich viele touristische Gäste in die Stadt. Das teils mittelalterliche Flair wird durch die vielen Brücken bereichert, von denen die Stadt über mehr verfügen soll als Venedig.

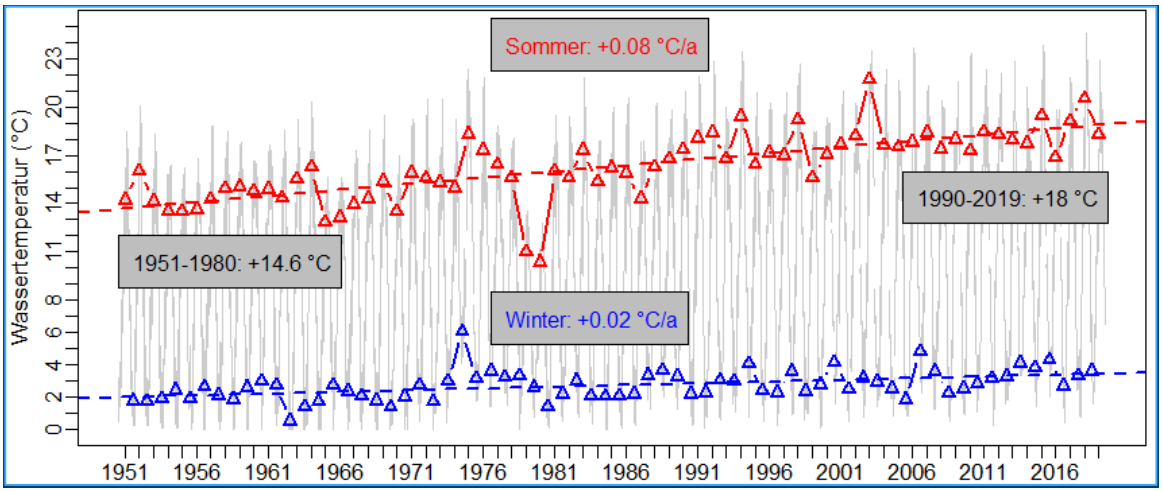


Abb. 88: Entwicklung der Wassertemperatur am Hochablass (Lech) in Augsburg von 1951-2019. Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des GKD Bayern.

Die klimatischen Auswirkungen auf das Wasser in der Stadt könnten sich auch auf den Tourismus auswirken (→ HF Tourismus). Die prognostizierte Abnahme von Niederschlägen wird in den Gewässern I. und II. Ordnung (Lech und Wertach) im Sommerhalbjahr zu Trockenperioden und somit zu **Niedrigwasserständen** führen. Zu untersuchen ist, inwiefern bei künftigen Niedrigwasserständen auch die vertraglich geregelte Ausleitung in die Kanäle und Fließgewässer III. Ordnung nicht mehr gewährleistet sein kann, mit möglichen **Auswirkungen auf die Energieerzeugung im Stadtgebiet und auf das Welterbe** (Bosch u. a. 2017). Im Welterbe-Nominierungsdossier wurde angemerkt, dass sich die Wassermenge des von der Wertach gespeisten Kanalsystems bereits deutlich verringert (Stadt Augsburg 2018a) und diese **Reduktion** auf den Klimawandel zurückzuführen sein kann.

Die niedrigen Pegelstände können zu einer **verminderten Leistung der Wasserkraftwerke** und damit verbundenen Einnahmeverlusten bei den Betreibern führen (→ HF Energie). So lag die Stromerzeugung aus Wasserkraft im Stadtgebiet z.B. in 2018 etwa 10% niedriger als im Vorjahr (Mitteilung Umweltamt/ swa 2020). Im Geschäftsbericht der Lechwerke AG wird von einer witterungsbedingt verringerten Einspeisung aus Wasserkraftwerken im Netzgebiet der LEW gesprochen (LEW 2018).

Als besondere Herausforderung stellt sich bei der Wasserkraftnutzung bei Niedrigwasser die **Mindestwasserabgabe/ Restwassermenge** heraus, da es hier zu Widersprüchen zwischen den Zielstellungen von Wasserkraft einerseits und Gewässerschutz andererseits kommt (Interviews 2019).

Ebenso kann ein zunehmend **gestörter Abwassertransport** die Folge von Niedrigwasser sein.

Trockenphasen in Verbindung mit hohen Temperaturen, mehr Verdunstung und dem daraus resultierenden erhöhten Wasserbedarf (bspw. zur Bewässerung) können die ohnehin durch Niedrigwasser bestehende **Belastung der Systeme** weiter verstärken (StMUV 2016).

Auch **ökologische Risiken** sind verstärkt zu berücksichtigen: So stellen einige Kanäle (z.B. der Stadtbach) artenreiche Naturräume dar, welche insbesondere durch zunehmende Niedrigwasserstände gefährdet sind (→ HF Biodiversität).

Die **verringerte Fließgeschwindigkeit** in Trockenphasen geht mit einem **Sauerstoffmangel** des Wassers einher. Eingeschränkte Verdünnungsverhältnisse aufgrund einer hohen Verdunstungsrate, bedingt durch steigende Temperaturen, verschlechtern die Wasserqualität, was Auswirkungen auf den ökologischen Zustand der Gewässer hat (StMUV, 2016).

Abb. 88 zeigt den zeitlichen Verlauf der **Wassertemperatur des Lechs** am Hochablass in Augsburg. Zusätzlich sind die Sommermitteltemperaturen (Juni, Juli, August, in rot) und die Wintermitteltemperaturen (Dezember, Januar, Februar, in blau) dargestellt. Die Temperatur im Winter hat zwischen 1951 und 2019 um 0,02 °C pro Jahr zugenommen. Im Sommer war die Zunahme mit +0,08 °C pro Jahr deutlich stärker. Zwischen den beiden 30-Jahreszeiträumen 1951-1980 (14,6 °C) und 1990-2019 (18 °C) stieg die Wassertemperatur demnach bereits **um mehr als 3 °C** an.

Einige Industriebetriebe sind vom Flusswasser bzw. dem Wasser der Kanäle als **Kühlwasserquelle** abhängig. Bei hohen Wassertemperaturen und niedrigen Pegeln ergibt sich eine durch den Klimawandel verstärkte **Herausforderung für Industrie und Gewerbe** (z.B. MAN) (→ HF Industrie/ Gewerbe).

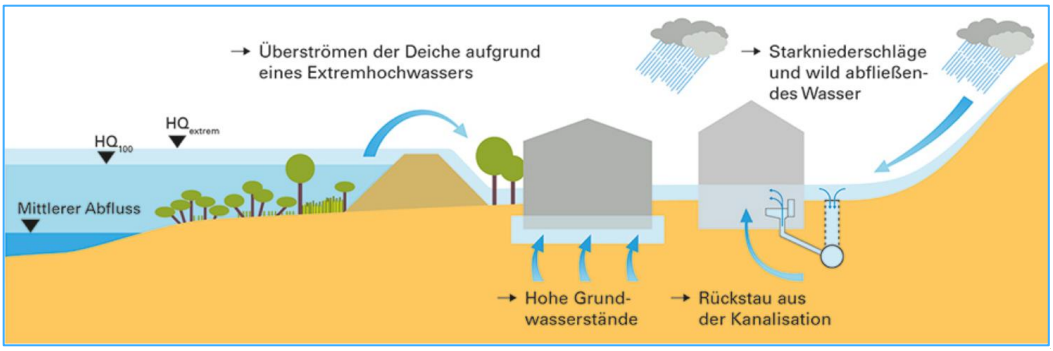


Abb. 89: Darstellung der verschiedenen Ursachen für Überflutungen. Quelle: LfU (2018).

Neben dem direkten **„Temperaturstress“** für Fische führen zu niedrige Wasserstände zur **Zerstörung von Laichräumen** und die Wanderung von Fischströmen wird verhindert. 2009 wurde von einem „dramatischen **Fischsterben** am Lech“ berichtet (Myforggensee.de, 2019) (→ HF Biodiversität).

Bei Starkniederschlagsereignissen kann es durch die niedrigen Wasserstände zu einer verminderten Verdünnung im Wasser kommen und dadurch zu **erhöhten relativen Nähr- und Schadstoffeinträgen**. In Verbindung mit der erhöhten Gewässertemperatur steigt zudem das Risiko für die **Bildung von Algen und Bakterien**, wodurch auch Uferbereiche am Rande der Stadt, die zum Baden genutzt werden, beeinträchtigt wären (StMUV, 2015). So kam es im Sommer 2019 zum Auftreten von **Blaualgen** im Mandichosee. Diese Bakterien stellen ein gesundheitliches Risiko für Mensch (→ HF Gesundheit) und Tier dar.

Die vielen Kanäle mit Wasser aus dem kalten Flusswasser des Lechs haben einen **kühlenden Effekt auf die Lufttemperatur** in ihrer unmittelbaren Umgebung und können als potenzielle **Frisch- und Kaltluftleitbahnen** eine zusätzliche positive Wirkung auf Augsburgs Stadtklima entfalten (Quelle: Interview). Das kann als „kostenlose“ ➤ Ökosystem-Dienstleistung des Flusses für die Stadt interpretiert werden. Mit zunehmender Wassertemperatur **verringert sich dieser Kühleffekt** jedoch zunehmend.

Siedlungsentwässerung

Ziel der Siedlungsentwässerung mit Ihrem Mischwasserkanalnetz ist neben der Schmutzwasserableitung die **schadlose Ableitung von Regenwasser** im urbanen Raum bei gleichzeitig größtmöglichem Gewässerschutz (Interview 2019).

Dabei ist die Stadtentwässerung sehr stark von der Witterung abhängig. Diese bestimmt beispielsweise die Abflussmenge, die Abflussgeschwindigkeit und die Entlastungsfrachten des urbanen Mischwasserabflusses. Um mit u. U. höheren Niederschlagsintensitäten umgehen zu können, wurde bereits in den vergangenen Jahrzehnten in den Bau von **Rückhalteeinrichtungen im Kanalnetz** investiert.

Insgesamt wurden 16 Anlagen mit rund 70.000 m³ Rückhaltevolumen (netto) in Betrieb genommen (Interview 2019).

Wie in Abb. 89, oben, dargelegt, gibt es neben der oben erwähnten Ursache Hochwasser am Fluss weitere Gründe für Überschwemmungen im Siedlungsbereich. So können hohe Grundwasserstände zu **Schäden an Gebäuden** führen – beispielsweise durch Grundwassereintritt und daraus resultierend vollgelaufene Keller. Besonders im **Textilviertel** sind die Grundwasserstände hoch. Hier hat die Textilindustrie früher durch ihre besonders hohen Wasserverbräuche niedrigere Grundwasserstände verursacht. Aufgrund des **Strukturwandels** ging dieser Verbrauch zurück und das Grundwasser stieg wieder an (Interview 2019). Neben der grundsätzlichen Herausforderung für die Versickerung von Niederschlagswasser aufgrund **starker Versiegelung im Innenstadtbereich**, wird zusätzlich durch diese hohen Grundwasserstände in der Innenstadt die Versickerung erschwert. Das Niederschlagswasser muss demzufolge unter Umständen abgeführt werden.

Auch die Reinigungsleistung des Mischwasserzulaufs im Klärwerk ist von der Witterung betroffen. So können bei erhöhten Niederschlagsmengen die Bemessungsgrenzen für die Entwässerungsanlagen überschritten und eine **Überlastung der Kanalisation** verursacht werden.

Auch kann es durch Überflutung zu einer **Schädigung der Stadtvegetation** kommen und die geschwächten Bäume verlieren leichter Blätter und Äste, was wiederum zu einer Verstopfung der Kanalisation beitragen kann (→ HF Stadtgrün). In der Stadt weisen zahlreiche Straßenbäume **zu kleine Baumscheiben und zu wenig Wurzelraum** auf.

Kann das Wasser nicht zeitnah abfließen, kann es durch die entstehenden Überflutungen zu einer **Schwächung insbes. der im Wurzelraum stark eingeengten Straßenbäume** kommen (→ HF Stadtgrün).

Besonders in den Randgebieten Augsburgs kann Starkregen Boden abschwemmen und darüber ebenfalls das Abwassersystem behindern.

Das Stadtentwicklungskonzept (STEK) schätzt eine **Überlastung der Kanalisation** bei extremen Niederschlägen bereits gegenwärtig als Risiko ein (Stadt Augsburg 2019).

Die im Klimawandel zunehmenden Starkregenereignisse stellen damit ein Risiko für Abwasserreinigung und daraus resultierend für die Vorfluter Lech und Wertach dar. Wie bereits in der Vorstudie angemerkt kann es dann zu **vermehrtem Überlauf bei Starkregen** kommen (Stadt Augsburg 2018b). Hier wurde bereits mit der Umsetzung von Maßnahmen begonnen: Dazu zählen die Installation zahlreicher **dezentraler Entlastungsanlagen** im Stadtgebiet und eine Dimensionierung des Kanalsystems über die vorgegebenen Bemessungswerte hinaus. Kommen diese Entlastungsanlagen zum Einsatz, kann ein Teil des Wassers an der Kläranlage vorbei nur grob vorgereinigt in die Oberflächengewässer gelangen. Dies wiederum stellt ein **Verunreinigungsrisiko für Oberflächen- und im Nachgang für das Grundwasser** dar.

Um zukünftig Schäden an Gebäuden durch pluviale oder fluviale Überschwemmungen zu verhindern, müssen seit 2019 bei Neubebauung von Grundstücken Überflutungsnachweise erbracht werden.

5.5.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Das Handlungsfeld Wasser ist auf vielfältige Weise durch die sich ändernden klimatischen Bedingungen betroffen:

- Das **Grundwasser** und damit die Trinkwassergewinnung unterliegen quantitativen und qualitativen Risiken, auch wenn die Bedingungen in Augsburg günstig und die Stadtwerke bereits gut aufgestellt sind.
- Gleichzeitig können klimawandelbedingte Veränderungen der jahreszeitlichen Niederschläge, zunehmende Niederschläge in Form von Starkregenereignissen, zunehmende Durchschnittstemperaturen und mehr längere und heißere Hitzewellen dazu führen, dass der **Druck auf die Ressource „Wasser“ steigt**. Auch soziale Faktoren – wie weiter steigendes Stadtwachstum, wasserunsensible Stadt- und Raumplanung können als Problemverstärker wirken.

  Mit fortschreitendem Klimawandel besteht in Augsburg – wie in vielen anderen Städten – das Risiko einer steigenden **Konkurrenz um Wasser** zwischen verschiedenen Verwendungen (wie z.B. Trinkwasser, Stadtgrün, Energie, Industrie, Freizeit, Ökologie (-Stadtbäche im Stadtwald) oder den Bewässerungsbedarfen der Landwirtschaft).
- Die **Oberflächengewässer** werden durch veränderte Niederschlagsregime und zunehmende Temperaturen stark beeinflusst. Dies stellt zum einen eine ökologische Belastung dar. Aber auch für den Menschen birgt das veränderte Abflussverhalten Risiken. Beim Thema fluviale (flussbedingte) Hochwasser ist die Stadt ebenfalls gut aufgestellt,
- Jedoch stellen starkregenbasierte (pluviale) **Überschwemmungen** eine große Herausforderung für die Entwässerungssysteme (Kanalnetz, Kläranlage…) dar, welche durch die zunehmende Versiegelung weiter verstärkt wird.

5.6. Energie

5.6.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Ohne Energie wäre das gesellschaftliche und wirtschaftliche Leben nicht vorstellbar. Energie ist Grundlage unzähliger Aktivitäten in den meisten der in dieser Strategie betrachteten Handlungsfelder. Die Kenntnis von Verwundbarkeiten des Energiesystems und eine Anpassung an die Folgen des menschengemachten Klimawandels sind wichtig, um auch zukünftig eine gesicherte Energieversorgung zu gewährleisten. Verschiedene Projekte und Konzepte der Stadtwerke Augsburg (swa) bieten bereits eine gute Ausgangsbasis, Klimawandelanpassung im Handlungsfeld Energie und an den Schnittstellen zu anderen Handlungsfeldern zu berücksichtigen.

Das Handlungsfeld Energie ist stark von der Vermeidung des Klimawandels geprägt, wodurch Klimafolgen gemindert werden. So sollen die energiebedingten **CO_2-Emissionen** Augsburgs bis 2030 gegenüber dem Basisjahr 1990 halbiert werden (Zielsetzung Klimabündnis, bekräftigt durch den Umweltausschuss im Oktober 2019).

Die Elektrifizierung der Wärme- und Kälteerzeugung (Förder- und Umwälzpumpen, Power-to-Gas-Systeme, Adsorptionskältemaschinen) und die Elektromobilität werden den Stromverbrauch in vielen Bereichen erhöhen. Je höher wiederum der Energiebedarf, desto mehr besteht der Bedarf an konventionellen Kraftwerken fort, die allerdings auch eine hohe Versorgungssicherheit aufweisen. Niedrigere Gesamtenergiebedarfe wiederum lassen sich einfacher über Erneuerbare decken, die wiederum unsicherer sind und Speicher- und Umwandlungsmöglichkeiten bedürfen.

Nicht nur der Klimawandel wirkt auf das Energiesystem, sondern vielfältige Einflussfaktoren: Die Bevölkerungsentwicklung, die wirtschaftliche Entwicklung, die Digitalisierung, der Modernisierungszustand der Gebäude, die Frage nach zukünftiger Mobilität usw.

In diesem Kapitel werden die Klimawirkungen entlang der Veränderungen des Klimas für verschiedene Energieträger, Erzeugungs- und Verteilinfrastrukturen sowohl für den Strom- als auch den Wärmebereich erörtert. Zunächst wird kurz auf die Ausgangssituation hinsichtlich der Energieträger eingegangen.

Unter den erneuerbaren Energien wird mit rd. 100 GWh am meisten Strom durch die (Stand 2019) 38 Wasserkraftwerke produziert, was einem Anteil von über 50% am erneuerbaren (bzw. EEG-vergüteten) Strom entspricht. Die Stromerzeugung durch Photovoltaik-Anlagen spielt für Augsburg ebenfalls eine wichtige Rolle (2019: 35,4 GWh). Der 2010 erstellte Energienutzungsplan und neuere Abschätzungen führen ein PV–Potential von über 300 GWh pro Jahr an. Mittels der „Solaroffensive“ des Umweltamts soll dieses Potential genutzt werden.

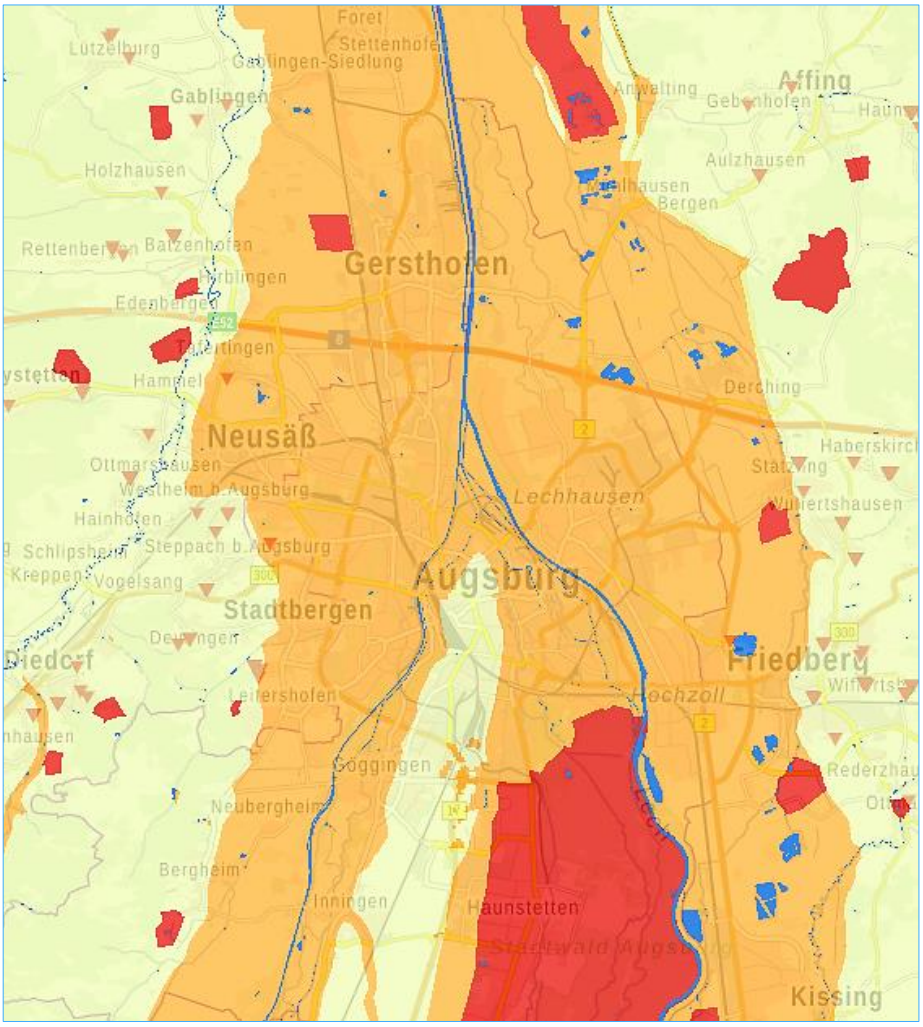
Vorhandene stoffliche Ressourcen werden in Augsburg im Sinne einer Kreislauf- und Kaskadennutzung ebenfalls energetisch verwertet: Im von den Stadtwerken Augsburg betriebenen Biomasseheiz-kraftwerk Lechhausen (Leistung: 8 MW elektrisch, 15 MW thermisch) werden nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ausschließlich aus Hackschnitzeln Strom und Wärme erzeugt. 2017 wurden ca. 43.000 MWh Strom erzeugt.

Das Klärwerk Augsburg Klärwerk gehört energetisch zur europäischen Spitze: Es weist einen hohen Selbstversorgungsgrad auf, nutzt Abwasser bzw. Klärgas zur Stromerzeugung (sowie etwa PV auf 16 Dächern der Betriebsgebäude und eine Turbine im Ablauf des Klärwerks) und speist Strom für mehr als 800 Haushalte ins öffentliche Netz ein (2017 ca. 3.000 MWh).

Das zukünftige Stromsystem wird zu einem großen Teil auf wetterabhängigen und damit volatilen (d.h. schwankenden) erneuerbaren Energien basieren, etwa auf der Photovoltaik. Nach dem Bayerischen Energieprogramm 2015 soll bis 2025 der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Stromerzeugung bei 70 % liegen (BayKLAS 2016). Im Jahr 2016 machten sie in Augsburg noch 10,7 % der Stromerzeugung aus (Stadt Augsburg Klimaschutzbericht 2018). Bis 2050 sollen die Erneuerbaren 80% des Bruttostromverbrauchs in Deutschland decken.

Die Stromerzeugung durch fossile Energieträger und durch Atomkraft (Ausstieg aus der Kohle- und Atomkraftnutzung) wird demgegenüber mengenmäßig im Zuge der Energiewende abnehmen und sich den Erfordernissen der volatilen Erneuerbaren anpassen bzw. diese ausgleichen und dafür flexibel eingesetzt werden – in ihrer Qualität also zunehmen.

Zur **Wärmeerzeugung**: In Augsburg kommen u.a. ca. 150 Blockheizkraftwerke bzw. Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) zum Einsatz. Sie sichern bei Spitzenlasten die Strom- und Wärmeversorgung und tragen damit bis auf Weiteres zur Versorgungssicherheit und Netzstabilität bei. Es gilt das n-1-Prinzip, das für ausreichend Redundanzen sorgt (Quelle: Interview). Brennstoff ist Erdgas. Ihm kommt als Energieträger in Augsburg eine hohe Bedeutung zu. Als fossiler Brennstoff trägt er zum Klimawandel bei.



Karte 5: Potenzial für oberflächennahe Geothermie in Augsburg. Quelle: Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de).

Legende

Nutzungsmöglichkeiten Erdwärmesonde

- Möglich
- Möglich (aber Bedarf Einzelfallprüfung durch Fachbehörde)
- Nicht möglich (Hydrogeologisch u. geologisch/ wasserwirtschaftlich kritisch
- Nicht möglich (Wasserwirtschaft)
- Nicht möglich (Gewässer)

Erdgasnetze bieten allerdings auch die Möglichkeit, „grünes Gas“, also erneuerbare und dekarbonisierte Gase, zu verteilen.

Die Abfallverwertungsanlage Augsburg (AVA), das **Biomasseheizkraftwerk** und das **Gasturbinen-Heizkraftwerk** versorgen die Stadt ebenfalls mit Wärme. Letzteres verwendet Hackschnitzel zur Wärmeerzeugung. Die genannten Erzeugungsanlagen verteilen ihre Wärme über mehrere Wärmenetze im Stadtgebiet. So kann insbesondere die Innenstadt dekarbonisiert werden.

Solarthermieanlagen erzeugen dezentral Wärmeenergie auf Dächern. Sie profitieren von strahlungsreichen Perioden und persistenten Hochdruckwetterlagen.

Wärmepumpen nutzen die in der Umwelt gespeicherte Sonnenenergie über Erdkollektoren (oberflächennahe Geothermie), Erdsonden (oberflächennahe und tiefe Geothermie) oder Luftwärmepumpen. Sie können sowohl zur Raumbeheizung als auch zur Kälteerzeugung verwendet werden. Dabei ist zu beachten: **Tiefengeothermie** und **oberflächennahe Geothermie** mit Erdwärmesonden ist in weiten Bereichen Augsburgs nicht möglich (vgl. Karte 5).

Lediglich im Süden Augsburgs gibt es Potenzial für Erdwärmesonden zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie (Energie Atlas Bayern 2021). Anders als München liegt Augsburg in einem Gebiet mit weniger günstigen geologischen Verhältnissen für die hydrothermale Wärmegewinnung aus Tiefengeothermie (LfU 2003). Im Jahr 2017 wurden nur noch neun Grundwasser-Wärmepumpen genehmigt, 2008 waren es 54 in der Spitze (Augsburg 2018).

5.6.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Wasser detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 90, Folgeseite) einen schematischen Gesamtüberblick.

Im Folgenden werden die sektoralen Verwundbarkeiten entlang relevanter Klimaveränderungen (Kap. 4) näher untersucht.

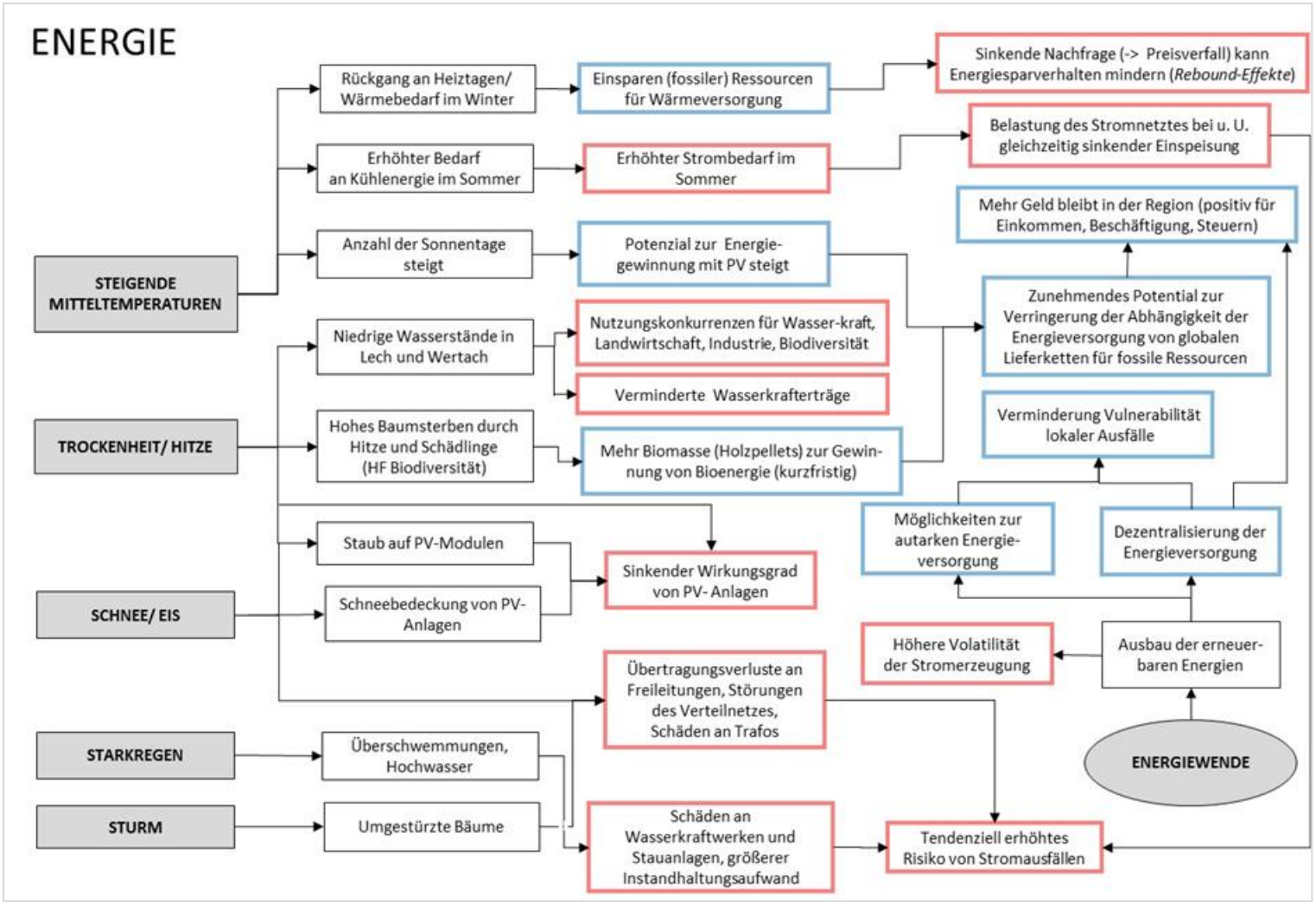


Abb. 90: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Energie. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Verwundbarkeiten (rote Kästen), Chancen (blaue Kästen) sowie signifikanter Randbedingungen (Ellipsen).

Steigende Mitteltemperaturen

Aufgrund steigender Temperaturen im Winter und der Abnahme von Heiztagen (Tage mit einer mittleren Außentemperatur von unter 15 Grad) ist langfristig ein Rückgang des Heizenergieverbrauchs pro Wohnfläche zu erwarten.

Allerdings sind laut einer Studie des Umweltbundesamtes bei der Raumwärmenutzung Rebound-Effekte von bis zu 30% zu beobachten, d. h. Einsparungen fallen alleine aufgrund dieses Effektes um den genannten Wert geringer aus (Umweltbundesamt 2015). Mögliche Erklärungen: Es wird weniger auf energiesparendes Verhalten geachtet, die Komfortansprüche steigen, die Wohnungen werden wärmer beheizt als notwendig. Der Klimaschutzbericht 2018 vermerkt für 2016 ggü. 2011 sogar eine geringfügige Erhöhung im Erdgas- und Fernwärmeverbrauch. Der absolute städtische Heizenergiebedarf ist auch aufgrund des städtischen Wachstums gestiegen. Aktuell sind Einspareffekte beim Heizenergieverbrauch durch eine mildere Witterung noch nicht sichtbar. Der Klimaschutzbericht 2018 kann für den Rückgang der Emissionen durch Wärmeenergie keinen Zusammenhang mit den Witterungseinflüssen (wärmere Winter feststellen).

Werden Heizperioden im Klimawandel langfristig kürzer, wachsen für die Verbraucher die Kostenvorteile weiter, wenn sie die Heizenergie über das Fernwärmenetz zu beziehen, anstatt für den selteneren Einsatz eine eigene Heizungsanlage vorzuhalten.

Schwankungen zwischen Extremen und persistente Wetterlagen

Im Klimawandel muss das Energiesystem auf eine große Spannweite an Wetterlagen ausgelegt sein (Kap. 4). Als Folge der klimawandelbedingten Verlangsamung des ➤ Jetstreams und resultierender mäandrierender planetare Strömungen kann es zu polaren Kaltlufteinbrüchen oder zum Einströmen von heißen Luftmassen aus südlichen Bereichen kommen.

Extreme Wetterlagen können mitunter verharren, wodurch etwa in Zentralwesteuropa über Tage bis Wochen das Wetter beständig bleibt. Das kann je nach Wetterlage und Energieträger unterschiedliche Auswirkungen haben, etwa langanhaltende Flauten, gute Bedingungen für die Erzeugung von PV-Strom oder Wassermangel für die Wasserkraft. Verbräuche werden ebenfalls von diesen markanten Wetterlagen beeinflusst, so etwa bei Hitze- und Kältewellen.

Hitze

Häufigere und intensivere Hitzeperioden erhöhen die Nachfrage bzw. die Notwendigkeit der Menschen nach Abkühlung bzw. nach Kühlenergie, etwa in den Augsburger Kliniken (→ HF Gesundheit). Die langfristig oft preiswerteste und ökologisch oft auch nachhaltigste Art der Minderung der Hitzebelastung stellen Verschattungen, Dämmungen, Außenjalousien oder Verdunstungskühlung durch Wasser oder Vegetation dar. Kaltluftschneisen sind ebenfalls förderlich, wirken sie doch wie eine „städtische Klimaanlage“.

Wo keine passive Kühlung zur Verfügung steht oder wo sie nicht ausreichend ist, um die Hitzebelastung zu reduzieren, kommt als technisch einfachste Umsetzung die **elektrische Kühlung** mittels Kompressionskältemaschine zum Einsatz. Die Vorstudie 2017 betrachtet Klimaanlagen als eine „Fehlanpassung“, die einen Konflikt/ Konfliktpotenzial birgt, da sie energieintensiv ist und zu einem hohen **Stromverbrauch** führt. Ein hoher Stromverbrauch kann für private Haushalte einen empfindlichen **Kostenfaktor** bedeuten. Klimaanlagen können zudem zu Emissionen (störende Geräusche) und visuellen Beeinträchtigungen führen.

Wärmepumpen/ Geothermie können in umgekehrter Weise in Hitzewellen als Kältemaschine genutzt werden, womit Raumtemperaturen kostengünstiger und ökologischer gemindert werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass der Untergrund nicht überhitzt.

Das Stadtentwicklungskonzept Augsburg führt in diesem Zusammenhang die Stärkung von Energie- und Umweltmanagementangeboten für Unternehmen als Chance für die Zukunft auf.

Wirtschaftlich schwächere Akteure und Privatpersonen sind von steigenden Energiekosten besonders betroffen. Zudem leben ärmere Menschen oft in Stadtbezirken mit einer geringeren Grünausstattung. Ihnen stehen dort weniger Alternativen zur Abkühlung zur Verfügung als Menschen in durchgrünten Quartieren. Der hohe Stromverbrauch elektrischer Klimaanlagen kann zu einer stark ansteigenden Last im Gesamtnetz führen. Bisher ist dieser Effekt in den Lastgängen Deutschland kaum messbar, da Klimaanlagen bisher wenig verbreitet sind (vgl. Exkurs 10). Dies könnte sich bei häufigeren intensiveren Hitzewellen jedoch ändern.

Ferner stellt sich die Frage, wie der Stromverbrauch für die Kälteerzeugung erzeugt wird. Bei der Erzeugung mittels Photovoltaik bestehen die Vorteile, dass

a) PV **tagsüber Strom produziert**, sich damit Erzeugungs- und Verbrauchsprofil gut decken, und b) im Stadtgebiet ein erhebliches Ausbaupotential besteht: Geht man davon aus, dass über 300 GWh/Jahr erzeugt werden (vgl. oben), scheint eine Steigerung um mehr als das 8fache möglich, da die Stromproduktion durch PV derzeit auf ca. 35 GWh/Jahr liegt. In Hitzewellen bzw. mit steigenden Temperaturen hingegen verringert sich der Wirkungsgrad der Module – pro Grad Temperaturanstieg der Module um ca. 0,35 - 0,5%. Die Module können sich in der Hitze auf 65 °C und mehr aufheizen, woraus eine um ca. 14 - 20 % geringere Stromausbeute gegenüber 25 % Modultemperatur resultiert (Zebe 2012). Anlagen, die von unten durch Luftzirkulation oder durch Vegetation gekühlt werden, erzielen folglich einen besseren Wirkungsgrad. Die Energieverteilung kann bei Hitze durch Übertragungsverluste bei Freileitungen, Störungen des Verteilnetzes und Schäden an Trafos gefährdet sein (Buth et al. 2015). In Augsburg gibt es wenige, kleinere Freileitungen in den äußeren Bezirken und es findet ein Freileitungs-Monitoring statt (Quelle: Interview).

Die Nachfrage nach einer nachhaltigen Art der Kälteversorgung steigt bei den Abnehmern (beispielsweise in der Industrie) (Quelle: Interview). Ein Kältenetz besteht bislang nicht (Quelle: Interview). Das ausgedehnte Fernwärmenetz im Stadtgebiet Augsburg kann zur Kälteerzeugung genutzt werden. Dabei wird Absorptionskälte im jeweiligen Gebäude mittels Umwandlung „produziert“.

Exkurs 10: Zusätzlicher Energieverbrauch durch Klimaanlagen bei Hitzewellen?

Ein vermehrter Einsatz (elektrisch betriebener) Klimaanlagen an heißen Sommertagen scheint zunächst verständlich, ist aber energie- und klimapolitisch kontraproduktiv. Die kurzfristig erzielte Abkühlung ist mit zusätzlichem Energieverbrauch verbunden. Dieser trägt zu einer weiteren Verstärkung des Klimawandels bei.

Vor diesem Hintergrund wurde eine **Auswertung der Stromeinspeisedaten** (2017 – 2019) der Stadtwerke Augsburg mit Temperaturdaten verschnitten. Dabei lautete die Fragestellung: Sind in Hitzephasen in Augsburg bereits Verbrauchszunahmen durch Klimaanlagen zu verzeichnen?

In Abb. 91 sind die über 5 Tage gemittelten **Stromeinspeisewerte** (blau) sowie die **Temperaturen über 25 °C** (rot) dargestellt. Der Stromverbrauch weist einen deutlichen Jahresgang mit den typischen, höheren Verbräuchen im Winter auf. Auch ist ein deutlicher Wochengang (höhere Verbräuche an Wochentagen) erkennbar.

Es zeigen sich weiterhin die geringeren Verbräuche in den Ferien (siehe insbes. die Sommerferien zwischen den feinen grauen Linien) und an Feiertagen (bspw. Ostern, Pfingsten, Weihnachten). – Es sind diese wirkmächtigen Einflussfaktoren, die erwartungsgemäß das Bild beeinflussen. Auch ist zu berücksichtigen, dass es sich mit drei Jahren um eine relativ kurze Zeitreihe handelt.

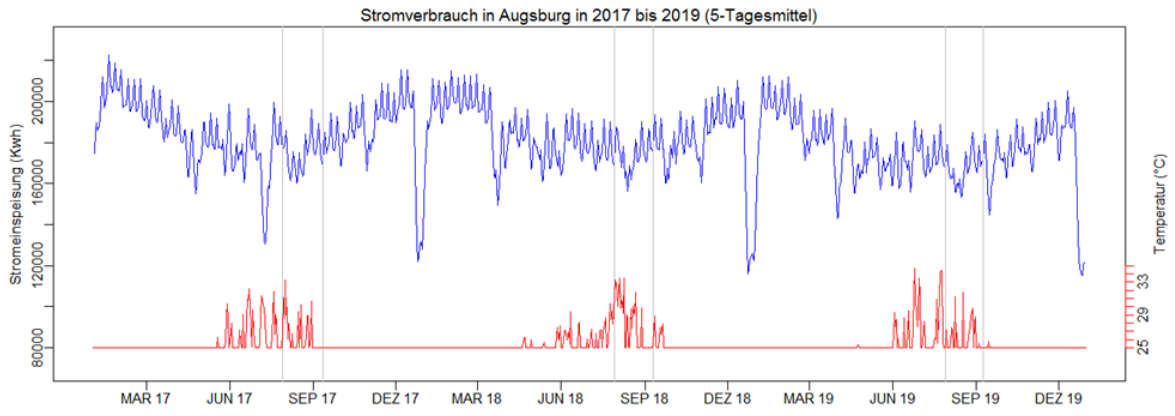


Abb. 91: Stromeinspeisung und Sommertage (2017-2019). Eigene Berechnung, Daten: Stadtwerke Augsburg.

Als Indizien für eine Verbrauchszunahme zeichnen sich ab: Im August fand an Wochentagen mit Temperaturen über 25°C T_{max} eine um 2,5 % höhere Einspeisung statt als an Tagen unter 25 °C (40 Tage über und 26 Tage unter 25 °C). Im Juli lässt sich an Wochentagen bei über 25° T_{max} eine um 7,6 % höhere Einspeisung als an Tagen unter 25 °C (32 Tage über und 29 Tage unter 25 °C) feststellen.

Trockenheit

Die Vorstudie 2017 behandelt die Energieversorgung als klimawandelsensiblen Bereich („Rezeptor“) mit hoher Relevanz aufgrund Klimawirkungen von Hitze und Trockenheit und sieht deshalb auch die Notwendigkeit einer übergreifenden Betrachtung. Trockenheit wirkt sich besonders auf die Stromerzeugung durch **Wasserkraftwerke** aus. Saisonale Veränderungen in den Niederschlägen können zu niedrigeren Wasserständen im Frühjahr und im Sommer führen. Die Verknappung der Ressource Wasser führt zu **Nutzungskonkurrenzen**, z.B. zwischen Stromproduktion, Industrie und Ökologie und damit auch zu einem Kostenanstieg für dessen Nutzung (BayKLAS 2016).

Zunehmende Trockenheit kann ebenfalls zu **höheren Betriebskosten** führen, z.B. aufgrund von Umweltauflagen. Bisher reicht das Wasser des Lechs für die Kanäle (Kühlwasser Industrie, Kraftwerke, Eiskanal) aus (Vorstudie 2017).

Die Verfügbarkeit von **Biomasse** für die energetische Verwertung im Biomasseheizkraftwerk ist ebenfalls durch Trockenheit betroffen, schließlich beeinflusst das Wasserdargebot die Anbaubedingungen der energetisch zu verwertenden Pflanzen negativ.

Abb. 92: Unsicherheitsfaktor Wasserstand des Lech: Kiesbank im Stadtgebiet.

Im Sinne einer nachhaltigen Nutzung und aufgrund der Flächenkonkurrenzen zur Lebensmittelproduktion bestehen hier keine Potentiale. Waldrestholz (Borkenkäfer- und Sturmholz) sowie Landschaftspflegeholz werden besser verfügbar.

Hier bildet sich u. U. ein **Reststoff-Potenzial** für die energetische Verwertung aus. Ob das 2011 veröffentlichte Klimaschutzkonzept dieses durch die trockenen Sommer, wie bspw. 2018, hinzukommende Biomassepotential bereits berücksichtigt hat, konnte nicht geklärt werden. Die Dramatik der jüngsten Entwicklung war sicherlich nicht vorhersehbar: 2019 wurde mit 32 Millionen Kubikmetern fast dreimal so viel **Schadholz** aufgrund von Insektenschäden eingeschlagen wie 2018 mit 11 Millionen Kubikmetern. Im Jahr 2017 waren es lediglich 6 Millionen Kubikmeter. Trockenere, schneearme und sonnenreiche Frühlinge wirken sich nicht nur positiv auf die menschliche Psyche und negativ auf die Landwirtschaft aus: Mehr Sonnenstunden tragen zu einer **höheren Stromproduktion aus PV-Anlagen** bei.

Kleinere (vernachlässigbare) Effekte gehen in unterschiedliche Richtungen. Positiv für den Wirkungsgrad: Die Temperaturen der Solarmodule sind im Frühling geringer als im Sommer. Negativ: Blüten(staub) in langen Phasen ohne Niederschläge senken den Wirkungsgrad.

Der Klimaschutzbericht 2018 beziffert den Einfluss des Selbstreinigungseffektes durch Regen auf ca. 3 % des Ertrags. Erhöhter Wasserdampf in der Atmosphäre (durch z.B. hohe Verdunstung) oder auch Dunst/Smog erhöhen den Trübungsfaktor und mindern den Wirkungsgrad ebenfalls geringfügig.

Winterniederschläge

Die Klimaprojektionen gehen davon aus, dass die Winterniederschläge künftig zunehmen. Die Wasserkraftwerke in Augsburg bringen aktuell bereits ihre volle Leistung, wodurch die Ausnutzung der Winterniederschläge ohne Zubau nicht gegeben ist.

Ein Zubau wird jedoch aufgrund der vorhandenen Auflagen und nötigen Kosten als eher unwahrscheinlich angesehen (Quelle: Interview).

Starkregen

Bei Starkregenereignissen können grundsätzlich Schäden und Betriebseinschränkungen an Energieerzeugungs-, Verteil- und Verbrauchsanlagen entstehen. Netzanschlüsse und Hauselektrik in Kellern etwa können durch eindringendes Wasser beschädigt werden, sodass der Strom ausfällt. Im Sommer 2019 kam es beispielsweise aufgrund einer starken Gewitterfront mit heftigen Niederschlägen zu kleineren Stromausfällen in der Region (Interview 2019).

Bei der Verwertung von Hackschnitzeln und anderen Brennstoffen ist darauf zu achten, dass sie trocken gelagert werden und nicht durch Starkregen durchfeuchtet werden, wodurch sie schlechter brennbar werden.

Hochwasser

Laut der BayKLAS sind bei Hochwasser Schäden an Masten und Energieerzeugungs-/-speicheranlagen (Wasserkraftanlagen und Staustufen) sowie freigespülte Kabeltrassen eine Gefahr (BayKLAS 2016). Insbesondere Treibgut, wie bspw. mitgespülte Bäume,

kann Wasserkraftwerke beschädigen (Quelle: Interview). Vorsorgemaßnahmen und die Zunahme von Häufigkeit und Stärke der Hochwasserereignisse führen zu einem höheren Betriebs- und Instandhaltungsaufwand.

Sturm und Starkwind

Versorgungsausfälle durch Stürme haben in Bayern seit den 1970er Jahren zugenommen (BayKLAS 2016). Grundsätzlich sind Frei- und Oberleitungen durch Sturm und hohe Windgeschwindigkeiten bei Unwetter gefährdet, da Bäume, Äste oder Gegenstände (z.B. Planen) in sie fallen bzw. wehen können. Gefährlich sind Stürme in Klimawandel auch deshalb, weil etwa Herbststürme früher auf eine trockenheitsgeschwächte Vegetation mit vollem Laubbestand treffen.

Besonders Gewitter entwickeln aufgrund kleinräumiger böenartiger Fallwinde, sogenannter Downbursts, eine hohe Zerstörungskraft, durch die Energieinfrastrukturen geschädigt werden können.

Neben den bereits angesprochenen Freileitungen sind PV-Anlagen anfällig gegenüber Windlasten. Insbesondere bei (den bisher nur vereinzelt genutzten) Plugin-PV-Modulen, die Mieterinnen und Mietern auf ihren Balkonen montieren können, sind Schäden denkbar. Allerdings führt eine unsachgemäße Montage bei allen Stromerzeugungsanlagen zu Problemen.

Erzeugung von Strom oder Wärme wie auch der Verbrauch sind unbeeinflusst durch Stürme und Starkwind – bis auf naheliegenderweise die Windkraftanlagen. Diese sind jedoch äußerst volatil: Bei Flaute wie bei Sturm wird kein Strom produziert.

In Augsburg selbst gibt es keine Windkraftanlagen. In einem Windkonzept wurde 2012 ein Standort im Süden von Augsburg als geeignet für 6 – 12 **Windkraftanlagen** eingestuft. Nach aktueller Gesetzgebung im Freistaat Bayern (Stichwort 10H-Regelung) wurde dieser Standort jedoch für Investoren unattraktiv (Stadt Augsburg 2012, 2016). Da on- und offshore in Norddeutschland produzierter Windstrom über Höchstspannungsleitungen auch nach Süddeutschland transportiert wird, lohnt eine Diskussion der Klimawirkungen auf die Windkraft dennoch: Forscher vom Karlsruher Institut für Technologie gehen aufgrund von Simulationen davon aus, dass sich die mittlere Windstromerzeugung für den gesamten europäischen Kontinent bis Ende des 21. Jhts. nur geringfügig ändern wird. Allerdings sind größere jahreszeitliche Schwankungen zu erwarten: Während im Sommer die mittlere Windenergieproduktion in Mitteleuropa zurückgeht, wird für die Wintermonate eine Zunahme ermittelt. Insgesamt ist damit zu rechnen, dass die **Windenergieproduktion** unbeständiger wird.

Abb. 93: Photovoltaikanlage (links) und Solarthermieanlage (rechts) auf einem schneebedeckten Dach. Quelle: Florian Methe (www.pixelio.de).

Schnee und Eis

Mit steigenden Temperaturen nehmen zwar die Schnee- und Eistage ab, aber **schwerer und gefährlicher Nassschnee** wird aufgrund der tendenziell höheren winterlichen Temperaturen wahrscheinlicher (vgl. Abb. 94). Abgesehen davon sind Freileitungen nicht anfällig für winterliche Bedingungen.

Abb. 94: Risiko schneebedeckte Hochspannungsleitungen.

Für die Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen ist der Rückgang an Schneetagen positiv, da die Module dann seltener mit Schnee bedeckt sind. Falls die Module jedoch bei Schnee frei von Schneebedeckung gehalten werden können, wird die Leistung gesteigert aufgrund der erhöhten Reflexion der Strahlung in der Umgebung (Quelle: Interview).

Kälte

In der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie wird die Energiewirtschaft in Regionen mit Gebirgsvorlandklima, wie es in Augsburg herrscht, als besonders betroffenes Handlungsfeld genannt (BayKLAS 2016).

Mit dem Klimawandel steigen zwar die Mitteltemperaturen und Frosttage werden seltener. Aufgrund der zu Anfang des Kapitels erörterten Zunahme von Extremen müssen **Kälteereignisse** jedoch weiterhin bei der Dimensionierung von Heizungsanlagen und der Kapazitätsplanung der Wärmeversorger berücksichtigt bleiben. Kälteereignisse können zu Verbrauchspitzen bei Strom und Wärme führen. Dabei gilt dies umso mehr, wenn Wärmeerzeugungsanlagen in einer Wärmewende vermehrt auf Strom angewiesen sind (z.B. Förderpumpen), weniger stark bei Wärmenetzen.

Die durchschnittliche Dauer an **Stromausfällen** pro Jahr ist in Deutschland generell sehr kurz. Die Stadtwerke Augsburg geben die Ausfallzeit mit sechseinhalb Minuten an.[33] Aufgrund der weitreichenden Auswirkungen von Stromausfällen (Gesundheitsschäden, wirtschaftliche Schäden) werden Energieinfrastrukturen vom *Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe* den ➤ Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) zugeordnet.

Im STEK wird die Herausforderung der ➤ **Energieautarkie** aufgeworfen. Dies ist in einem ersten Schritt zunächst bilanziell möglich. Für eine „echte“ Autarkie bedarf es ausreichend Speicher- und Energieumwandlungsmöglichkeiten, sie wäre nicht wirtschaftlich. Zumal die Einbindung in Verbundnetze maßgeblich zur Versorgungssicherheit beiträgt. Erdleitungen sind nicht durch Extremwetter beeinflusst. Insofern ist das **Gasnetz** extremwetterunabhängig funktionsfähig.

Hinsichtlich einer erneuerbaren Wärmeversorgung ist **Geothermie** eine interessante Energiequelle, da sie kaum von Extremwetterereignissen bzw. der Witterung beeinflusst ist und außerdem tageszeitunabhängig verfügbar ist. **Extremwetter** wirkt auf oberflächennahe Geothermie und Erdwärmekollektoren nur insofern, als dass trockener Boden die Wärmeleitfähigkeit des Bodens herabsetzt, was den Wirkungsgrad der Anlagen herabsetzt. Die Bodenauskühlung im Winter könnte für Verzögerungen des Pflanzenwachstums sorgen und auch der Denkmalschutz muss beachtet werden. Die Zunahme von Sonnentagen könnte den Effekt der Bodenauskühlung aber wieder ausgleichen (Bundesverband Geothermie 2019). Natürlich bedarf das System ausreichend Platz (etwa in Gärten) und der Boden darf nicht versiegelt sein. Das System ist auf elektrische Energie angewiesen, um Umwälzpumpen und Wärmetauscher zu betreiben.

Inwieweit tiefe Geothermie für die Fernwärme in Augsburg nutzbar gemacht werden kann, wird von den beteiligten Akteuren geprüft.

Dies ist unter anderem abhängig von den unter der Stadt liegenden Gesteinsschichten und dem Temperaturniveau (Quelle: Interview).

5.6.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Die Energieversorgung in Augsburg ist gegenwärtig kaum von den Folgen des Klimawandels betroffen. Durch den **Ausbau der erneuerbaren Energien** wird die Energieversorgung in Zukunft zwar klimaschonender, aber die einzelnen erneuerbaren Energieträger sind jeder für sich auch in unterschiedlicher Weise sensitiv gegenüber Klimaveränderungen und Wetterextreme. Es kommt zu Verwundbarkeiten, wie auch zu Chancen bzw. positiven Betroffenheiten:

- Bei der **Wasserkraft** ist ein Erzeugungsrückgang im Frühjahr und Sommer zu erwarten, dafür ein Zugewinn im Winter bei prognostizierten steigenden Winterniederschlägen.
- Die Verfügbarkeit von **Schad- und Sturmholz** sowie Landschaftspflegeholz zur energetischen Verwertung wird besonders durch Trockenheitsschäden begünstigt.
- Bedingt durch sommerliche Hitzewellen wird der **Bedarf nach** (klimaschonender, kostensparender und lärmfreier) **Kühlenergie** für Innenräume ansteigen. Je besser **bauliche und stadtplanerische Maßnahmen** klimatische Extreme abpuffern, desto geringer fallen derartige Bedarfe aus.
- Beim **Wärmeverbrauch** ist durch die steigenden Temperaturen tendenziell mit einem Rückgang zu rechnen. Dies würde große Potenziale für Energieeinsparung und Klimaschutz eröffnen, sofern diese nicht durch verhaltensbedingte Mehrverbräuche („Rebound-Effekte“) relativiert werden.
- Für **klimatische Extreme** wie Kältewellen bedarf es flexibler energetischer Lösungen.

Es wurde zudem deutlich, dass Extremwetter (insb. Sturm, Starkregen, Schnee/ Eis) **Erzeugungs- und Verteilanlagen** wie auch Verbraucherinnen und Verbraucher schädigen können; auch können dadurch temporären **Ausfälle** hervorgerufen werden.

[33] Siehe online unter: https://www.facebook.com/stadtwerke.augsburg/photos/a.748938028539541/2068723489894315/, Zugriff: 4.6.2020.

5.7. Gebäude

5.7.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Das Kernmerkmal des Stadtkörpers sind seine Gebäude[34]. Die Gebäude in Augsburg befinden sich in ganz unterschiedlich geprägten, von Wasser und Grün gerahmten Stadtteilen. Als eine der ältesten Städte Deutschlands sind die teils architektonisch herausragenden Gebäude in der Altstadt besonders erwähnenswert, die zum Teil nach dem Krieg in einem langwierigen Prozess wiederaufgebaut werden mussten.

Abb. 95: Das Renaissance-Rathaus und der Perlachturm zählen zu den markantesten Gebäuden der Stadt.

Die Dichte, Lage und Typologie der Baukörper prägt nicht nur das Aussehen und den urbanen Charakter einer Stadt, sondern beeinflusst auch maßgeblich ihre Klimatologie – dies gilt sowohl für das Stadtklima insgesamt (→ Exkurs 11: Stadtklima) als auch für das Innenraumklima der Einzelgebäude, welches zusätzlich von der jeweiligen Bauphysik abhängt.

Exkurs 11: Stadtklima

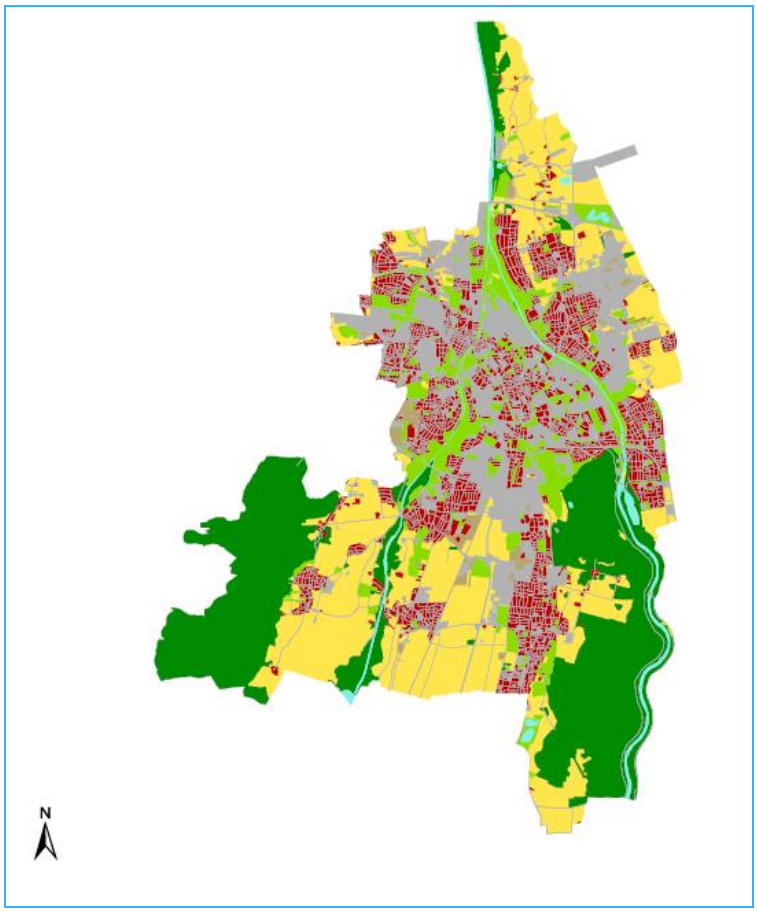
Unter dem Begriff ‚Stadtklima' (auch „urbanem Klima") versteht man ganz allgemein das gegenüber dem Umland durch die Bebauung und anthropogene Emissionen (wie z.B. Luftschadstoffe oder Abwärme) modifizierte Mesoklima (Klima zwischen Mikro- und Makroklima) von Städten und Ballungsräumen. Das Stadtklima ist durch verschiedene Faktoren geprägt. Eine wichtige Rolle spielen die Eigenschaften der verwendeten Baustoffe bezüglich ihrer Wärmespeicherung und der Reflexion von Sonnenstrahlung (vgl. Abschnitt 5.7.2). Auch Höhe, Form und Position der Baukörper können zu erhöhten Temperaturen führen (Henninger/ Weber 2019).

Weiterhin wichtig sind der Grad der Versiegelung des Bodens und das - im Vergleich zum Umland - Fehlen von Vegetation (Helbig et al. 1999). Stadtgrün beeinflusst die Aufnahme, Speicherung und Abgabe von Niederschlagswasser und somit auch die Luftfeuchtigkeit. Letztere bedingt die gefühlte Wärme, welche einen entscheidenden Einfluss auf das Wohlbefinden (thermische Behaglichkeit) und die Gesundheit der Menschen in der Stadt hat (→ HF Gesundheit). Die optimale Luftfeuchte liegt zwischen 40 und 60 % relativer Luftfeuchte. Da aufgrund hoher Bodenversiegelung ein großer Teil des Niederschlagswassers oberflächlich abfließt und in die Kanalisation geleitet wird, kann der Wärmeüberschuss der Stadt nicht hinreichend abgeführt werden, bspw. über Oberflächenverdunstung (Evaporation) oder Verdunstung in Pflanzenblättern (Transpiration). Ferner wird das Stadtklima durch die hohe Rauigkeit der Bebauung und der damit verbundenen geringen Windgeschwindigkeiten geprägt. Die mangelnde Durchlüftung trägt zu einer höheren messbaren und fühlbaren Temperatur bei (Jendritzky et al. 1979).

Aufgrund der Vielfalt städtischer Landnutzungsformen und Bebauungsstrukturen weist das Mikroklima innerhalb der Stadt allerdings eine hohe räumliche Variabilität auf. So können beispielsweise durch eine Art ‚Düseneffekt' und die Wirbelbildung zwischen Gebäuden und an Hausecken lokal deutlich erhöhte Windgeschwindigkeiten und Turbulenzintensitäten auftreten (Oke 1987). Besonders wichtig ist auch, dass sich die Stadt in der Nacht zusätzlich langsamer abkühlt als das weniger dicht bebaute Umland.

Insgesamt kommt es so tendenziell zu einem deutlichen Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland, der als **„städtischer Wärmeinseleffekt"** (engl. Urban Heat Island, UHI) bezeichnet wird. Der Wärmeinseleffekt hat z.B. ökologische Effekte (Fauna, Flora), ist insbes. Für die menschliche Gesundheit und das körperliche Wohlbefinden problematisch: Insbesondere, wenn es mehrere heiße Tage und Nächte hintereinander gibt (Hitzewelle), steigen Morbidität und Mortalität deutlich an.

[34] In diesem Kapitel liegt der Fokus auf dem Gebäudesektor, wobei der Begriff an einigen Stellen weiter, im Sinne von „Bauwesen", zu verstehen ist. Insbesondere in Abschnitt 5.7.2., wenn es um die Folgen extremer Hitze geht, liegt der Fokus auf stadtklimatischen Bedingungen. Der Bereich „Stadtplanung" wird aufgrund seines Beitrags zu den Anpassungs*maßnahmen* vorwiegend in Teil 2 des Klimaanpassungskonzepts (KASA 2) thematisiert.



Nutzung	Durchschnittliche Versiegelung in %	Flächenanteil in %
11	70,15	17,22
12	75,18	18,43
13	38,51	1,06
14	20,87	7,72
2	1,56	27,37
3	0,07	26,30
5	3,89	1,89

Karte 6: Versiegelungskarte Stadt Augsburg. Basis: CORINE-Daten; Darstellung: VdS GmbH; Quelle: GdV 2018.

Das Ensemble aus Gebäuden, Verkehrsflächen, Gewerbegebieten, Grün- und Freiflächen ist für den Ist-Zustand des Stadtklimas entscheidend und prägt die Vulnerabilität gegenüber dem künftigen Klimawandel.

Versiegelungsgrad

Eine wichtige Kenngröße für dieses Ensemble ist der **Versiegelungsgrad** einer Stadt, also die permanente Überprägung oder Bebauung des natürlichen Bodens durch anthropogene Bedeckungsformen (z.B. geteerte oder betonierte Straßen/ Plätze oder Gebäude). Starkversiegelte Flächen speichern mehr Wärme als unversiegelte und geben diese zeitlich stärker versetzt ab. Sie lassen Niederschlagswasser oberflächlich ablaufen, statt es über den Boden in das Grundwasser abzugeben. Versiegelte Flächen gelten daher als besonders sensitiv gegenüber dem Klimawandel (BayKLAS 2016).

Augsburg ist aufgrund der Grün- und Freiflächenanteile im Schnitt keine hoch versiegelte, aber auch keine stark durchgrünte Stadt: Der durchschnittliche Versiegelungsgrad über das gesamte Stadtgebiet beträgt 28,5 % (Karte 6), was im Vergleich der 50 nach Einwohnern größten deutschen Städte ein mittlerer Wert ist (höchster Versiegelungsgrad: München mit 47 %) (GdV 2018). Mit der Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen nimmt auch die versiegelte Fläche im Stadtgebiet weiter zu. Dazu trägt die Bebauung, aber z.B. auch die Schaffung neuer Verkehrswege bei: Asphalt etwa reflektiert nur ca. 10%, d.h. 90% der Sonneneinstrahlung werden absorbiert und in Wärme umgewandelt.

Innerhalb Augsburgs ist demnach zwischen den verschiedenen Landnutzungstypen eine erhebliche **Variation des Versiegelungsgrads** zu erkennen (Karte 6/ rechts): In Gebieten, die durch eine starke Bebauung geprägt sind (etwa 17 % des Stadtgebiets), beträgt er im Schnitt 70%, was im Vergleich der Großstädte ein eher hoher Wert ist und für verdichtete Bebauung spricht. Städtische Grünflächen (8 % des Stadtgebiets) sind zu 21 % versiegelt – hier müssen auch Wege und Gebäude bedacht werden. Landwirtschafts- und Waldflächen – zusammen mehr als 50% des Stadtgebiets – weisen einen sehr geringen Versiegelungsgrad auf (max. 2 %).

Das Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen hat 2017 eine detailliertere Darstellung der Versiegelung im Augsburger Stadtgebiet vorgelegt, die aus Anpassungssicht aufschlussreicher ist (Abb. 96).

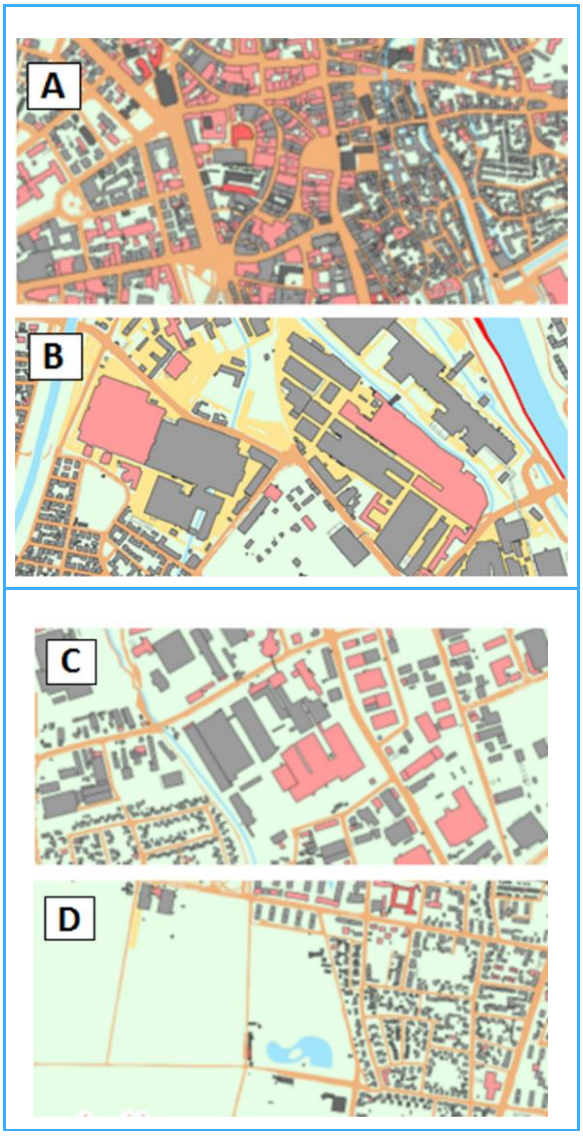
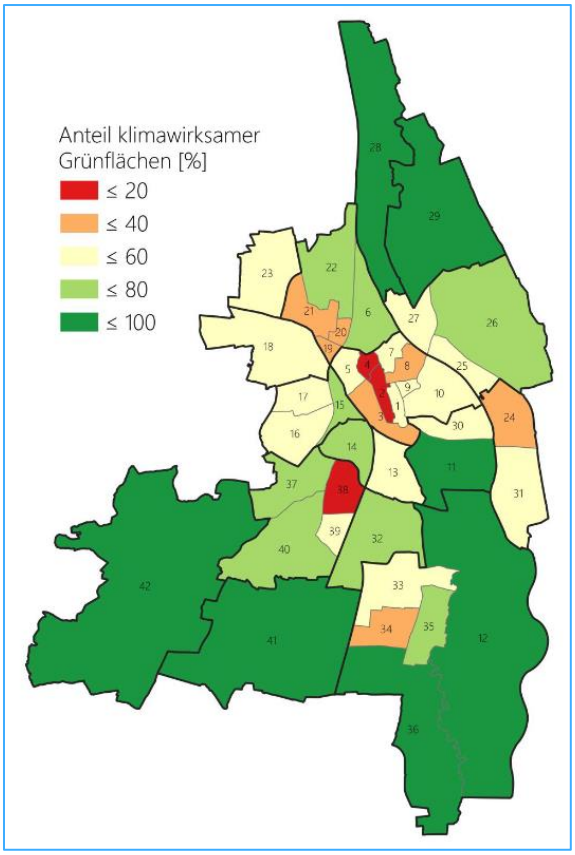


Abb. 96: Versiegelung in ausgewählten Stadtgebieten Augsburgs; A: Kernbereich Innenstadt, B: Industrie- und Gewerbegebiete nördliche Innenstadt, C: Gewerbegebiet Hammerschiede, D: Siedlungsgebiet Haunstetten West. Basis: Versiegelte Flächen im Stadtgebiet Augsburg, AGNF, Stand: 09.06.2017.

Der Blick auf ausgewählte, typische Stadtflächen (A-D) zeigt, dass auch allgemein als „städtische Bebauung“ oder „Gewerbegebiet“ bezeichnete Flächen ganz **unterschiedliche Baudichten und Versiegelungsgrade** aufweisen: Im zentralen innerstädtischen Bereich Augsburgs (A) dominieren dicht an dicht gebaute Gebäude und stark versiegelte Verkehrsflächen und Plätze. Es gibt aber auch viele weniger dicht bebaute und mit unversiegelten (meist kleineren) Flächen durchsetzte Wohngebiete (vgl. D). Auch bei Industrie- und Gewerbegebieten (B, C) variiert der Versiegelungsgrad. Bei den Gebäuden wird bereits nach mit/ ohne Flachdach differenziert. Im Projekt „Augsburg bleibt cool“ (Abc) wurden Grünflächen nach ihrer Klimawirksamkeit differenziert.

Klimawirksame Grünflächen (zusammenhängende Grünareale ab 0,5 ha) wirken kühlend über ihre lokale Umgebung hinaus und begünstigen damit das Stadtklima (Karte 7). Niedrige Anteile klimawirksamer Grünflächen sind in der Innenstadt sowie in dicht bebauten, industriell geprägten Stadtbezirken (z.B. Göggingen-Nordost) zu finden. Hohe Anteile klimawirksamer Grünflächen liegen eher in den weniger dicht bebauten Randbezirken Augsburg (DLR/ SLU 2021a).

Eine sehr wichtige Randbedingung im Handlungsfeld Gebäude ist das voraussichtlich zu erwartende **Stadtwachstum**. In der jüngeren Vergangenheit ist Augsburg deutlich gewachsen (2010: rd. 268.000 Einwohnende, 2020: rd. 301.000).



Karte 7: Anteil klimawirksamer Grünflächen. Quelle: DLR/ SLU 2021a; Daten: WorldView 3.

Vor der Corona-Krise wurde davon ausgegangen, dass die durch das Flächenressourcenmanagement der Stadt ausgewiesenen Baulandflächen langfristig nicht ausreichen werden, um den prognostizierten jährlichen Zusatzbedarf von ca. 1.100 Wohneinheiten auf der bereits weitgehend bebauten Stadtfläche „unterzubringen“ (Stadtplanungsamt Augsburg 2017).

Daher wurde 2016 das Akteursnetzwerk „Offensive Wohnraum“ gegründet (vgl. Exkurs 12), welches sich umfassend um die Planung und Bereitstellung von neuen Wohnungen und ihres Umfelds kümmert (Stadt Augsburg 2016).

Exkurs 12: Offensive Wohnraum

Das Ziel der „Offensive Wohnraum“ ist die **Aktivierung neuer Wohnpotenziale**. Dies soll vor allem über Projekte der städtischen Wohnbaugruppe Augsburg geschehen.

Ein Schwerpunkt ist, bereits vorhandenen Wohnraum besser zu nutzen, um Leerstände zu verringern, Nachverdichtung und Gebäudeaufstockung sowie den Aus- und Anbau zu erleichtern. Zusätzlich sollen über Bürgergenossenschaften und Familienförderprogramme der Stadt Möglichkeiten zum Erwerb von Wohneigentum geschaffen bzw. optimiert werden. Für Minderheiten und Menschen in besonderen Lebenslagen soll über soziale Träger und Dienstleistungen das Angebot verbessert werden.

Ein zweiter Schwerpunkt besteht darin, neuen Wohnraum zu schaffen. Das Stadtplanungsamt hat mögliche Baupotenziale identifiziert und geht je nach Realisierungschance (Eigentumsfragen, Baurecht etc.) von folgenden Verfügbarkeiten aus:

- Kurzfristig (1-4 Jahre): 5.792 WE, 65,2 ha
- Mittelfristig (5-10 Jahre): 4.275 WE, 84,7 ha
- Langfristig (> 11 Jahre): 2.575 WE, 61 ha [35]

Diese Neubaupotenziale haben auch Eingang in das 2019 beschlossene Stadtentwicklungskonzept (STEK) gefunden. Bisher bieten insbesondere landwirtschaftlich genutzte Flächen diese Neubaupotenziale (→ HF Landwirtschaft).

Als mögliche politische Instrumente wurde neben dem staatlich vergebenen Baukindergeld auch Regionalinitiativen, Steuerverminderungen bei Umnutzung von Flächen oder auch die Erhöhung Wohnbaufördermittel und Stellplatzsatzungen genannt. Inhaltlich, finanziell und organisatorisch sollen verschiedene Instrumente zur Stabilisierung genutzt werden. Darunter sind bspw. die Mietpreisbremse, eine Senkung der Baukosten sowie der Personalausbau bei der städtischen Bauverwaltung und der Wohnbaugruppe.

Eine weitere Rahmenbedingung der Offensive Wohnraum ist die Erhöhung der Lebensqualität, etwa durch hochwertige Ausstattung des Wohnumfelds mit Grün- und Freiflächen. Dies ist bzgl. der Anpassung an den Klimawandel ein entscheidender Faktor, da neben der Schaffung der Strukturen wie Kitas oder Einzelhandel immer auch die Erreichbarkeit und klimaresiliente Ausgestaltung der Lebensräume für die Zukunft eine große Rolle spielt.

Wie sich der Augsburger Wohnungs- und Immobilienmarkt nach der Corona-Krise entwickeln wird, ist offen. Ein Fortsetzen des Wachstumstrends der Vergangenheit ist genauso möglich wie eine Dämpfung z.B. aufgrund wirtschaftlicher Probleme bei Wohnungsbaugesellschaften und Immobilienentwicklern.[36]

[35] Stadtplanungsamt Augsburg, persönliche Mitteilung, Juli 2020.

[36] In der Augsburger Innenstadt hat im Sommer 2020 ein großer Investor bereits Abstand von der Realisierung eines großen Wohn- und Gewerbeobjekts genommen (persönliche Mitteilung Stadtplanungsamt).

In der stadtplanerischen und urbanistischen Fachdiskussion werden derzeit die **Konsequenzen der Corona-Krise** und **die „Post-Corona-Stadt“** diskutiert (Friesecke 2020). Zur Debatte steht insbesondere die bisher vorwiegend positiv gesehene **städtebauliche Dichte**.

Die Stadt Augsburg ist Eigentümerin von 10.103 Wohn- und Gewerbeeinheiten, die von der städtischen Wohnbaugruppe Augsburg betreut werden (Abb. 97). Der Anteil am Gesamtbestand beträgt ca. 6,5 %., bezogen auf 154.049 Wohneinheiten im Stadtgebiet (Stadt Augsburg 2020). Rund 60 % der Wohneinheiten befinden sich in privater Hand. Der Anteil von Gebäuden bzw. Wohn- und Gewerbeeinheiten in kommunaler Hand ist entscheidend für die Einflussmöglichkeiten auf Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen (BBSR 2017). Aus diesen Handlungsspielräumen ergeben sich auch mögliche Experimentierräume und Vorbildfunktionen für Privateigentümer hinsichtlich potenzieller Klimaanpassung im Gebäudebereich. Die Wohnbaugruppe ist zudem als Teil der bundesweiten „Initiative Wohnen 2050“ darum bemüht, bis zum Jahr 2050 klimaneutrale Wohneinheiten zu schaffen.

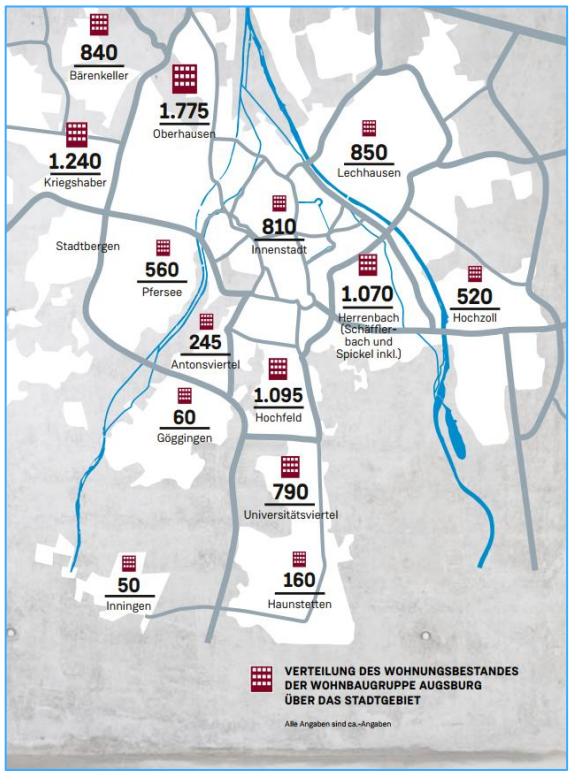


Abb. 97: Stadtteilbezogene Anzahl kommunaler Wohneinheiten. Quelle: Wohnbaugruppe Augsburg 2019.

Die Stadt Augsburg unternimmt bereits verschiedene Bemühungen, welche den Auswirkungen des Klimawandels entgegenwirken: Im Zuge der **doppelten Innenentwicklung** wird bspw. vermehrt versucht, das vorhandene urbane Grün auszuweiten und aufzuwerten (Stadtplanungsamt Augsburg 2017).

Die Stadt erarbeitet daher für den Umgang mit privaten Freiflächen eine **Freiflächengestaltungssatzung** (Quelle: Interview). Eine derartige Satzung existiert aktuell bspw. in München (LH München 2011). Sie soll eine Entsiegelung und Begrünung der Vorgärten und Innenhöfe begünstigen, womit die Anpassungskapazität gesteigert und Klimafolgen abgemildert werden. Zudem begegnet die Stadt der Versiegelungsproblematik mit dem Ziel, ein gesamtstädtisches **Bodenschutzkonzept** zu erarbeiten. (Stadtplanungsamt Augsburg 2019).

In den Augsburger Bebauungsplänen der letzten Jahre hat sich die Festsetzung von **Dachbegrünungen** – in Abwägung mit anderen städtebaulichen Zielen - durch Gestaltungsfestsetzungen zunehmend etabliert. Dies betrifft bislang hauptsächlich Flachdachneubauten mit maximal 5° Neigung sowie Tiefgarageneinfahrten.

Dachbegrünung kommt auch verstärkt zum Einsatz, wo Grünflächenanteile lt. Bebauungsplan anderweitig nicht realisiert werden können sowie als Regenwasserrückhalt auf Dächern in Gebieten, in denen eine Einleitung verschmutzten Regenwassers in die Kanalisation nicht gestattet ist. Die Begrünungsart ist in der Regel extensiv, so dass noch Potenziale für eine intensive Begrünung bestehen (bspw. auch „Urban Gardening“).

Die Initialisierung von **Fassadengrün** wird einerseits als schwierig, andererseits aber als durchaus wünschenswert beschrieben; hier ist insbesondere an die straßenseitigen Gebäudefronten gedacht, da diese eine positive klimatische Wirkung auch für den öffentlichen Raum besitzen (Interview). Jedoch müssen derartige Begrünungsformen von den Eigentümerinnen und Eigentümern gepflegt werden.
In Augsburg wurde die Verbreitung von Fassadenbegrünung bislang hauptsächlich durch das Fassadenprogramm (2011-2018) und das Projekt „Grüne Fassaden in Augsburg“ im Rahmen des Projekts „Grünes Schwabencenter“ gefördert. Eine generelle Fördermöglichkeit für Hausbesitzer existiert aktuell jedoch nicht.

Im STEK ist das Auflegen eines städtischen Förderprogramms für Hof-, Dach- und Fassadenbegrünung sowie Bodenentsiegelung als Maßnahme aufgeführt. Das STEK weist schließlich auf die Bedeutung von Luftleitbahnen und den Erhalt wichtiger Freiflächen hin.

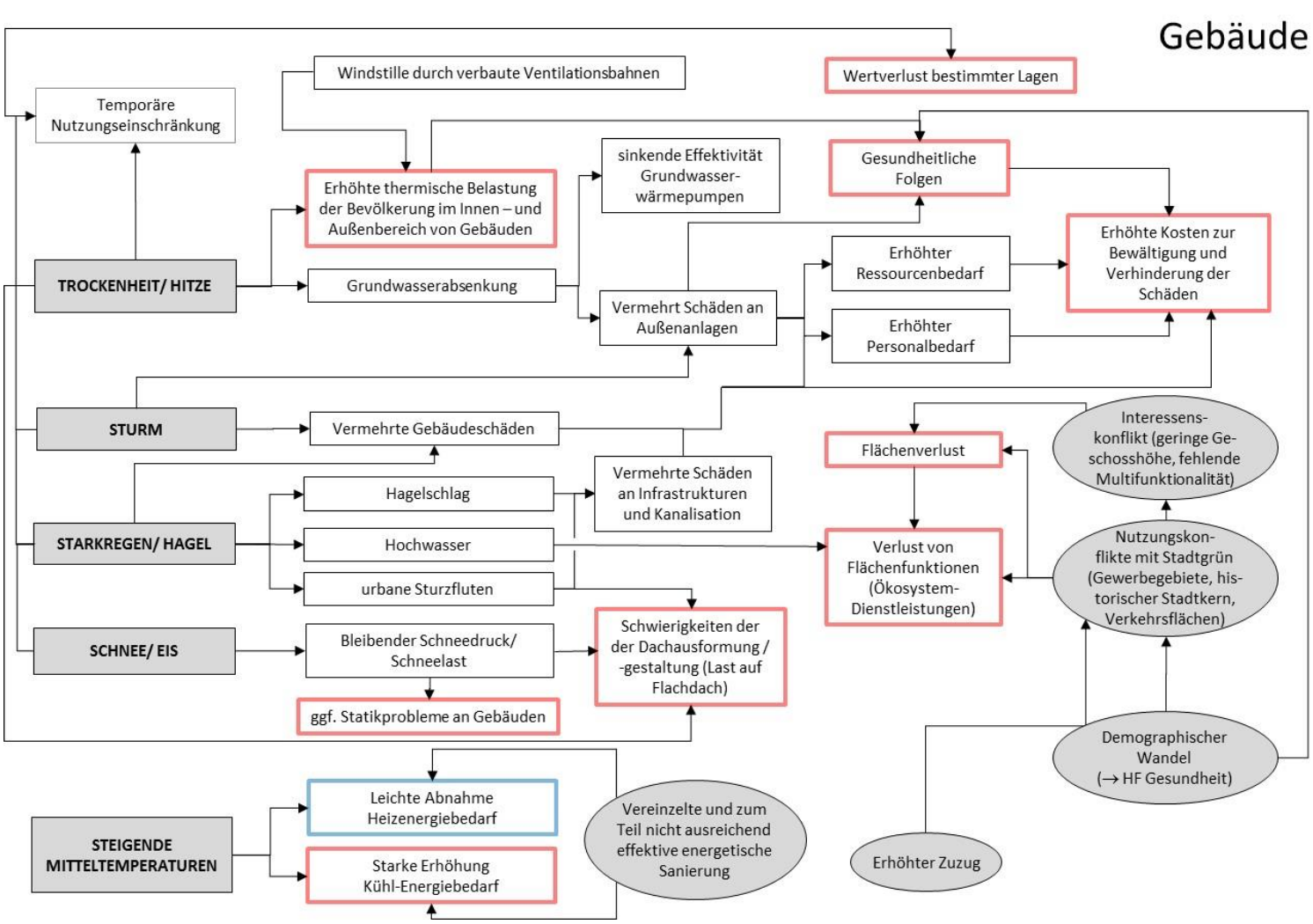


Abb. 98: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Gebäude. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Verwundbarkeiten (rote Kästen), Chancen (blaue Kästen) sowie signifikanter Randbedingungen (Ellipsen).

5.7.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Gebäude im Einzelnen untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 98, oben) einen schematischen Gesamtüberblick. Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt im Folgenden anhand der **Klimasignale** (Kap. 4). Zunächst wird aber mit Blick auf drohende Klimafolgen insgesamt aufgezeigt, welche typischen vulnerablen Punkte ein Gebäude im Allgemeinen aufweist.

Gebäude – Schutzraum und Risikoobjekt

Menschen in westlichen Industriestaaten halten sich während eines Jahres im Durchschnitt fast 90 % der Zeit in Gebäuden auf (Leech et al. 2002). Die restliche Zeit verbringen sie in Verkehrsmitteln und im Freien. Selbst im Sommer befinden sich Erwachsene zwischen 79 % (Krause und Schulz 1998) und 84 % (Leech et al. 2002) des Tages in Innenräumen.

Demzufolge sind die Qualität und das Klima von Innenräumen für das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit auch und gerade unter den Bedingungen des Klimawandels ebenso wichtig wie das Außenklima oder individuelle Faktoren (Fahrion 2015) (vgl. auch Abb. 99). Gebäude können – wenn es um den Schutz vor Klimafolgen geht – ein **Schutzraum** von essentieller Bedeutung sein, weil sie Einfluss auf das Wohlbefinden/ die Gesundheit ihrer Bewohnerschaft haben.

Zum anderen besteht ein wichtiger Bezugspunkt darin, dass Gebäude selbst ihrer Umwelt ausgesetzt sind. Insbesondere die Gebäudehülle ist unmittelbar von Umwelteinflüssen berührt, die wiederum immer stärker durch den Klimawandel geprägt sind. Insbes. die Außenhülle bietet verschiedene Angriffspunkte für die Auswirkungen des Klimawandels, speziell im Extremwetterbereich (Starkregen, Hagel, Schnee, Sommerhitze, Wind, Überflutung). In dieser Hinsicht ist das Gebäude als Risikoobjekt zu verstehen, das aufgrund seiner Vulnerabilität (Verwundbarkeit) gegenüber dem Klimawandel zu schützen ist.

Steigende Mitteltemperaturen

Der Klimawandel in Augsburg führt voraussichtlich zu milderen Wintern und damit zu einer **Abnahme des Heizwärmebedarfs.** Dieser positive Effekt wird durch Sanierungsmaßnahmen und energieeffiziente Neubauten weiter verstärkt. Der im Winter eingesparten Energie steht tendenziell ein Mehrbedarf im Sommerhalbjahr aufgrund eines steigenden **Kühlbedarfs** gegenüber. Dies trifft auf Wohn- ebenso wie auf Nichtwohngebäude zu.

Dabei ist eine steigende Anzahl an elektrischen **Klimaanlagen** nicht nur klimapolitisch kontraproduktiv; sie kann auch **die direkte Umgebung** zusätzlich erwärmen. Im Rahmen von Bebauungsplanung, Bauberatung und Sanierungsmaßnahmen werden Alternativen zur Verringerung des Kühlungsbedarfs zunehmend bedeutsamer (Stadtplanungsamt Augsburg 2019).

Hitze

Hinsichtlich des Klimasignals „Hitze“ ist das Gebäude einerseits selbst als *Risikoobjekt* zu sehen, dass extremer thermischer Belastung ausgesetzt ist. Die Beeinträchtigungen von **Gebäudebestand und -funktionen** durch extreme Hitzeperioden sind in der Regel jedoch überschaubar. So kann es einzelne funktionale Einschränkungen in Abhängigkeit bestimmter Baustoffe/ Baumaterialien geben (z.B. Erhitzung von Metallen, Wellenbildung bei bestimmten Dacheindeckungen wie Dachpappe etc.).

Auch starke, kurzfristig aufeinanderfolgende **klimatische Schwankungen** können Gebäude in ihrer Substanz beeinträchtigen. Historische Gebäude, die auch in touristischer und kultureller Hinsicht in Augsburg eine große Rolle spielen, sind in dieser Hinsicht besonders vulnerabel (HF Tourismus/ Kultur). Vegetationsnahe Bebauung ist einem zukünftig tendenziell erhöhten Brandrisiko ausgesetzt (HF Katastrophenschutz).

Bevor diese Aspekte am Ende dieses Abschnitts vertieft werden, geht es hier zunächst um das Gebäude als ein *Schutzraum* für seine Bewohnerschaft im Sinne eines thermischen Puffers zwischen Außen- und Innenklima (vgl. im Folgenden Abb. 99).

Bestenfalls ist das Gebäude in der Lage, extreme Hitzeeffekte abzupuffern und so z.B. zu einer kühleren Innentemperatur beizutragen. Unter ungünstigen Bedingungen (Risikofaktoren: Dachwohnung, Süd-West-ausrichtung etc.) kann das Gebäude aber auch als Problemfaktor wirken, der von außen eintreffende Temperatursignale weiter verstärkt.

In beiden Fällen beeinflusst es die Exposition (das Ausgesetztsein) der Bewohnerschaft gegenüber dem Klimasignal „extreme Hitze“, das neben weiteren individuellen und sozialen Faktoren für Wohlbefinden und gesundheitliche Folgen entscheidend ist.

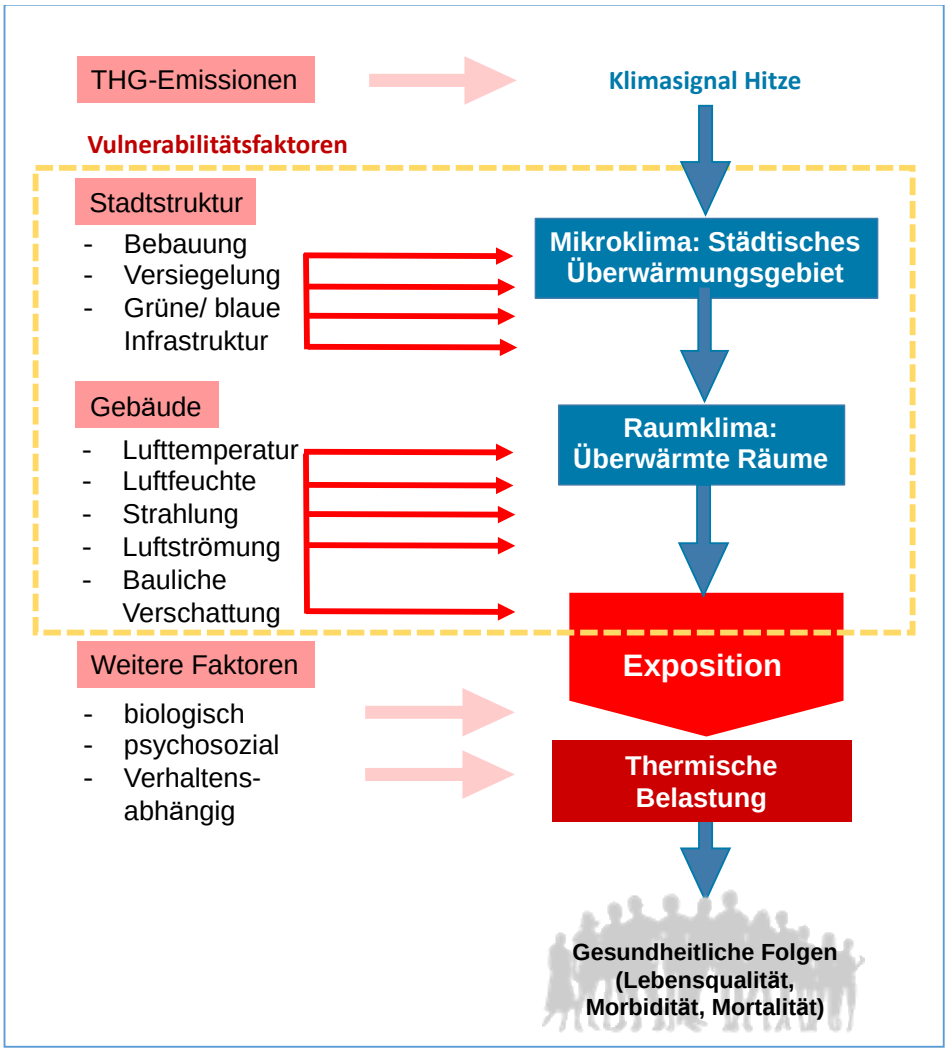


Abb. 99: Stadtstrukturelle und Gebäude-bezogene Faktoren der thermischen Belastung im Kontext. Schematische Darstellung. Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an BBSR.

Der oben (Exkurs 11) bereits angedeutete Zusammenhang zu stadtstrukturellen/ stadtplanerischen Bedingungen, wird in Abb. 99 ebenfalls sichtbar: Das das einzelne Gebäude umgebene **Mikroklima** wird durch verschiedene stadtplanerische Faktoren (wie die Art der Bebauung, Versiegelungsgrad, Vorhandensein von Stadtgrün/ Wasser etc.) beeinflusst und daher im Folgenden vertieft betrachtet.

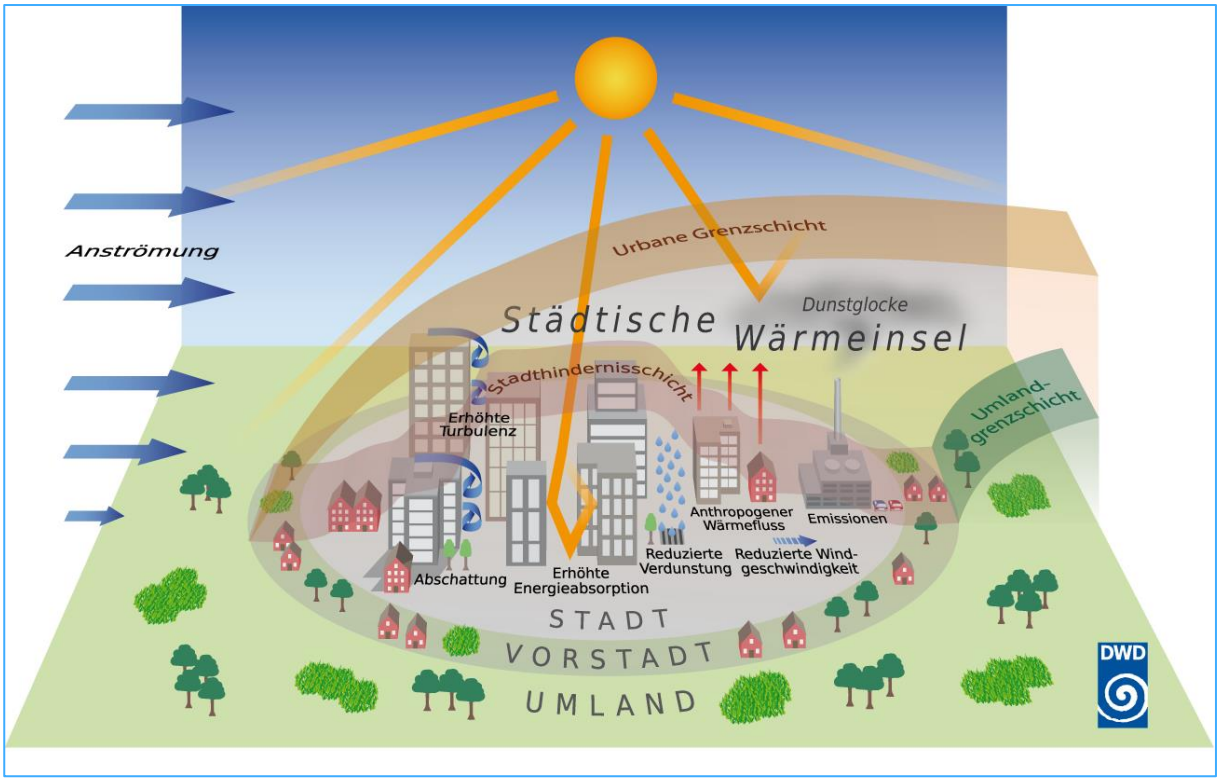


Abb. 100: Städtische Wärmeinsel. Einflussgrößen des Stadtklimas. Schematische Darstellung. Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD) 2020.

Stadtklimatischer Kontext

Das Phänomen Hitze ist in dicht bebauten und stark versiegelten Städten bzw. Stadtteilen stärker ausgeprägt als im ländlichen Umland (WMO 1983), weil die thermischen Eigenschaften von Baukörpern und künstlichen Oberflächen, die Versiegelung natürlicher Oberflächen sowie anthropogene Emissionen (z.B. Luftschadstoffe oder Abwärme) dieses Lokalklima deutlich verändern (→ Exkurs 11 „Stadtklima“ sowie Abb. 100).

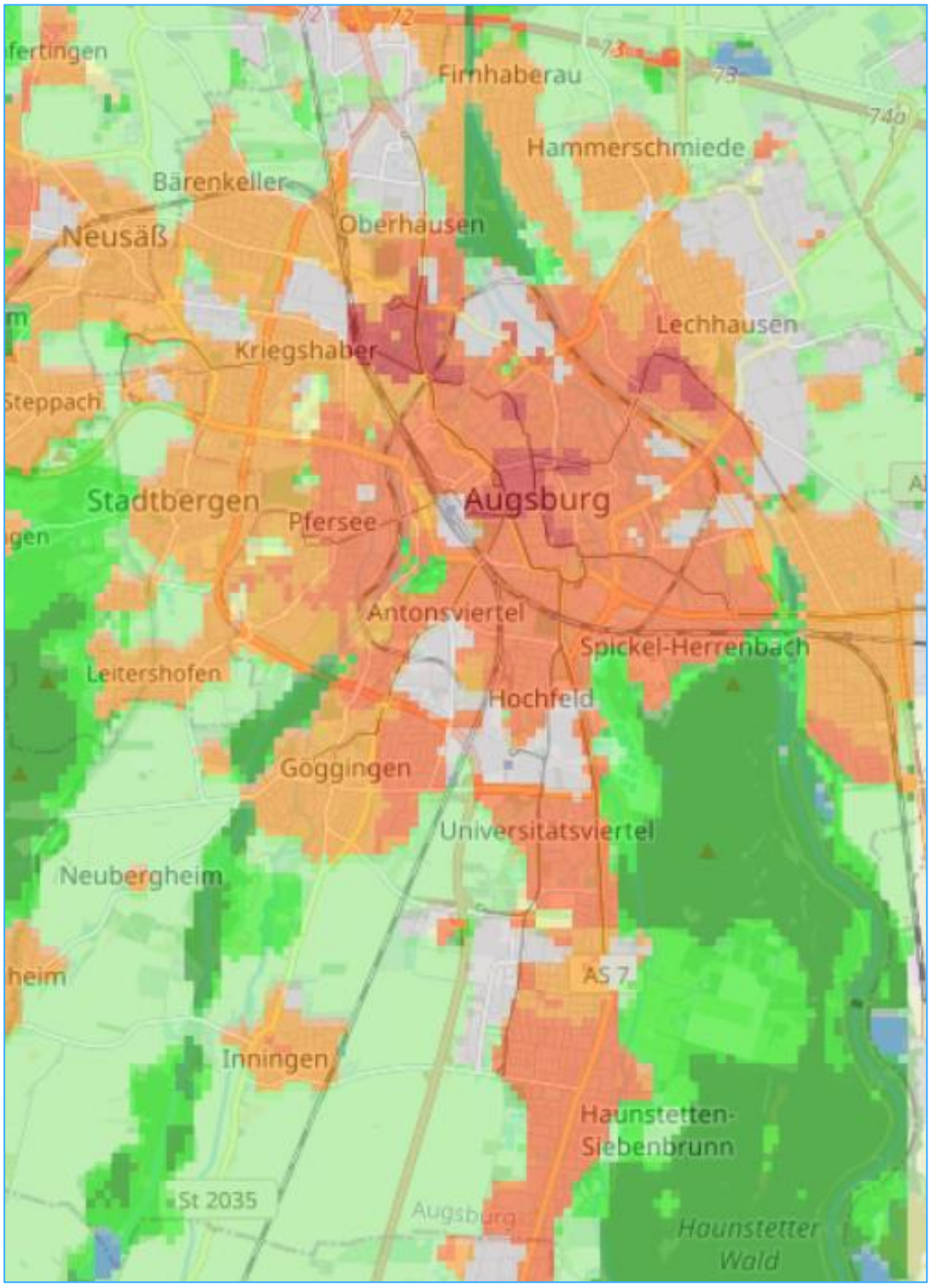
In Augsburg ist der **städtische Wärmeinseleffekt** vor allem innerhalb der stark versiegelten und kaum begrünten „steinernen Innenstadt“ mit ihrer Vielzahl historischer Gebäude und in den einst selbstständigen Stadtteilzentren deutlich ausgeprägt (STEK 2019).

Zudem ist die traditionsreiche Industriestadt zwischen Wertach und Lech von weitläufigen Gewerbegebieten durchzogen. Diese sind oftmals großflächig versiegelt und verschärfen schon allein aufgrund der Nutzungsarten durch Abwärme und Schadstoffemissionen die Situation. So wurde etwa das Gewerbe- und Industriegebiet „Rechts der Wertach“ im Abc-Projekt als Hitze-Hot-Spot identifiziert (→ HF Industrie/ Gewerbe). Wie bereits betont, sind aber auch diese Flächen in ihrer klimatischen Qualität differenziert zu bewerten.

Eine auf einem Messnetz mit 46 Standorten beruhende Abschätzung der Universität Augsburg beziffern die oben beschriebene **innerstädtische Überwärmung** auf bis zu mehr als 5,5 °C (siehe Karte im Anhang A5).

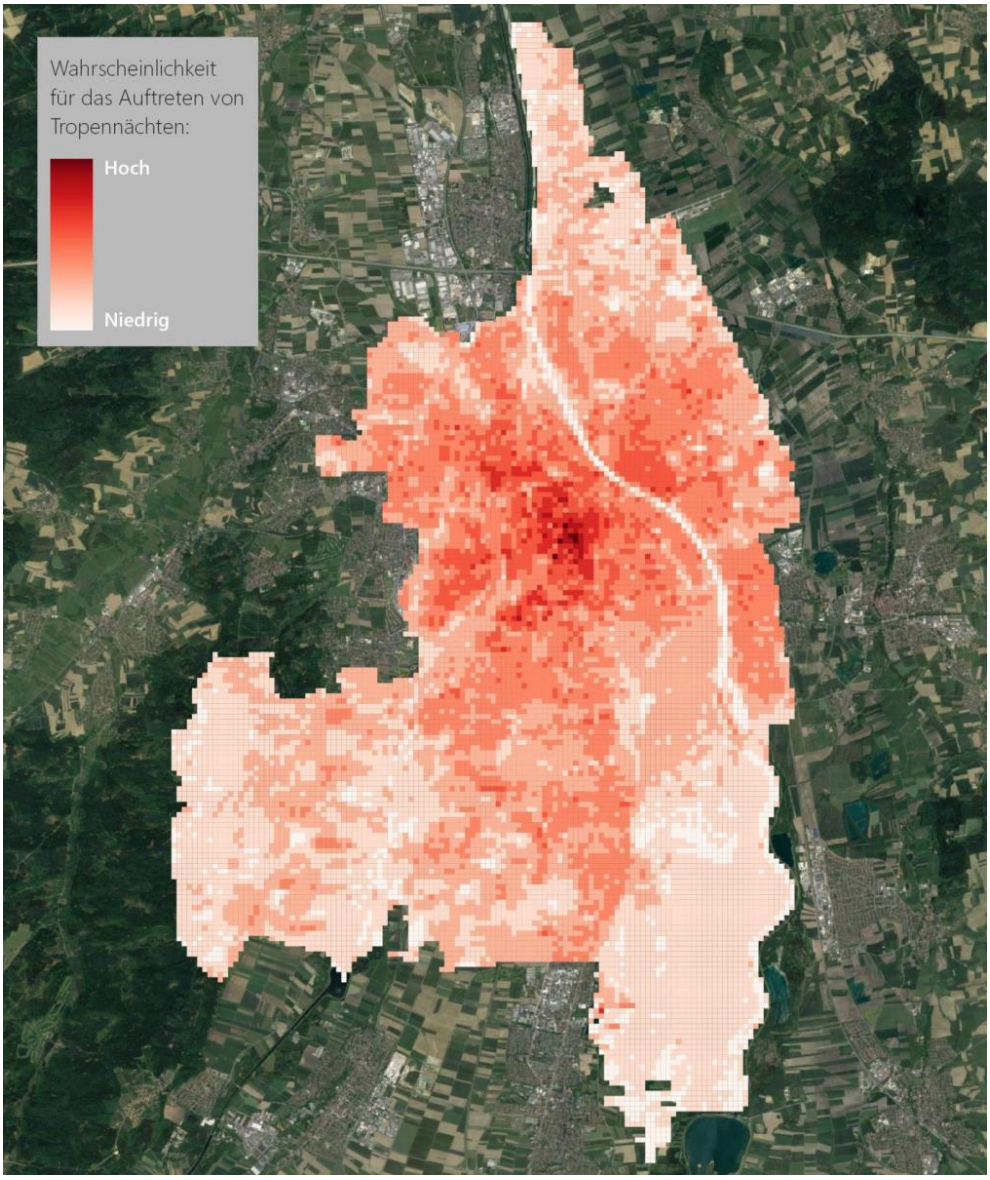
Die Lufttemperatur in Städten hängt stark von Faktoren wie der Gebäudegeometrie, den thermischen Eigenschaften der Bausubstanz, den Strahlungseigenschaften der Oberflächen und der anthropogenen Wärmefreisetzung, zum Beispiel durch Hausbrand, Verkehr und Industrie ab.

Gebäude prägen zusammen mit dem Stadtgrün und den Verkehrswegen die Stadtstruktur. Unterschiedliche Typen der **Stadtstruktur** sind vom Klimawandel unterschiedlich betroffen und tragen auch in unterschiedlichem Maße zum urbanen Hitzeeffekt bei. Auf der Grundlage von **Stadtstrukturtypen** kann somit eine Abschätzung der Anfälligkeit einzelner Gebiete erfolgen. Auf der Berücksichtigung genau solcher Art von Oberflächenstrukturen und -eigenschaften beruht das **Konzept der „Local Climate Zones“**, das an der



Karte 8: „Local Climate Zones“ im Stadtgebiet Augsburgs; Quelle: Beck et al. 2018.

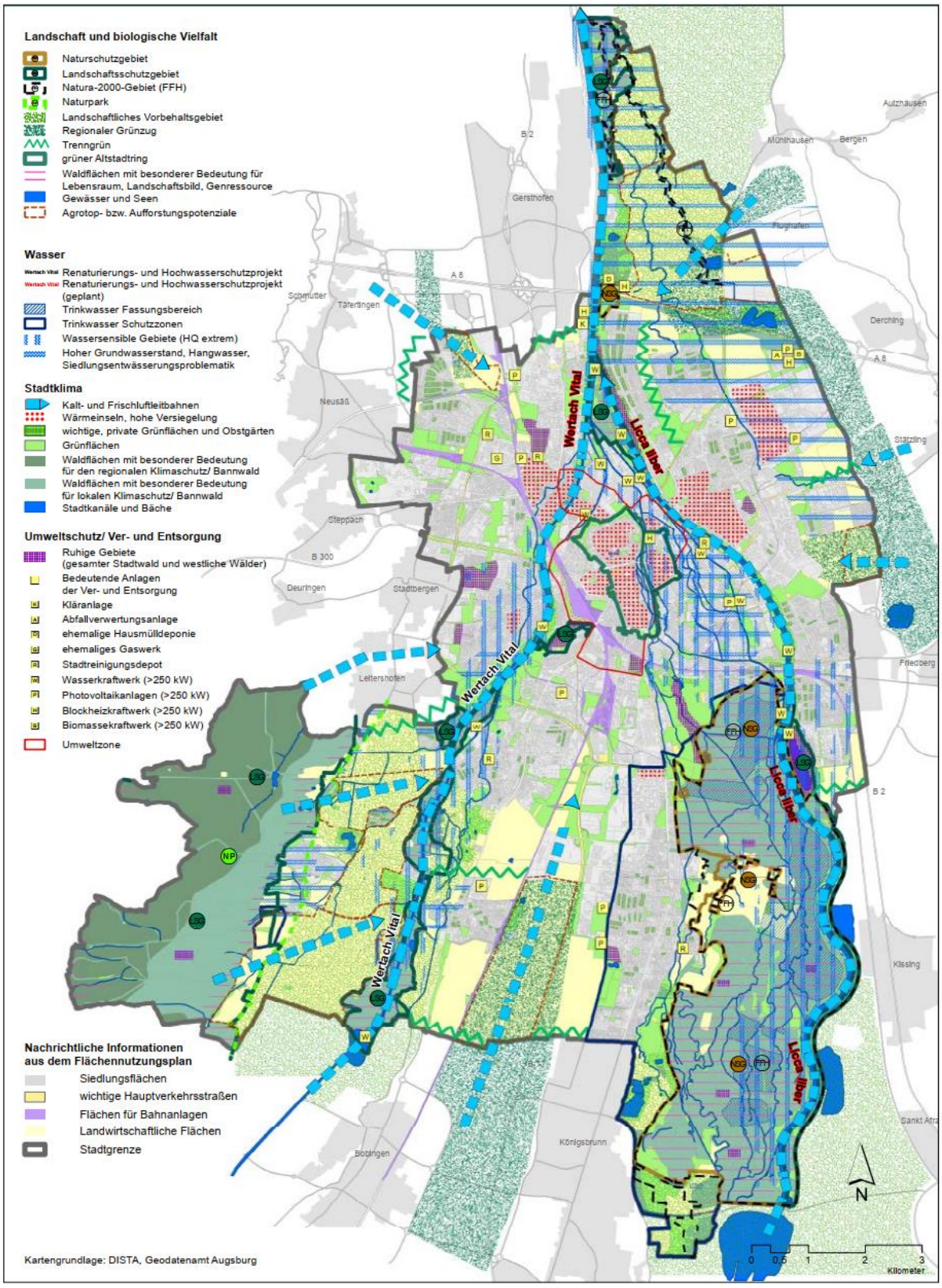
Universität Augsburg angewendet und weiterentwickelt wird (Karte 8). Auswertungen von Temperaturmessdaten zeigen, dass unterschiedliche Local Climate Zones im Tages- und Jahresverlauf unterschiedliche Temperaturverläufe aufweisen können. Die Temperaturdifferenz zwischen der wärmsten in Augsburg identifizierten Stadtklimazone („compact midrise“, dunkelrot dargestellt) und der kühlsten („dense trees“, dunkelgrün dargestellt) beträgt im Sommer demnach zwischen etwa 1,5°C (mittags) und 4-5 °C (nachts) (Beck et al. 2018). Im Projekt „Augsburg bleibt cool“ (Abc) (→ Exkurs 3) wurden Zusammenhänge



Karte 9: Statistisches Stadtklimamodell: Belastung mit Tropennächten im Stadtgebiet. Quelle: DLR/ SLU 2021b.). Datenquelle: Satellitenbilddaten (WorldView-3 19.07.2018, Bodenauflösung 31cm); Open Street Map-Daten, Daten der Außentemperaturmessstationen Augsburg (betreut durch das Helmholtz Zentrum München und die Universität Augsburg).

zwischen Landbedeckungsparametern, Gebäudeeigenschaften und Messwerten von Außen- und Innentemperaturen im Stadtgebiet untersucht. Auf dieser Grundlage konnte für die Außentemperaturen ein **statistisches Stadtklimamodell** aufgebaut werden, das eine Einschätzung der Hitzebelastung im Freien ermöglicht. Karte 9 zeigt ein Ergebnis zur Belastung durch **Tropennächte**, basierend auf dem statistischen Stadtklimamodell unter den aktuellen klimatischen Bedingungen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Tropennächten wird in Gitterzellen mit einer Auflösung von 100 m x 100 m angegeben.

Tropennächte sind Teil der klimatologischen Kenntage und über eine Lufttemperatur von ≥ 20°C zwischen 18.00 Uhr und 06.00 Uhr definiert (→ Tabelle 2). Die im Farbverlauf hell- bis dunkelrot eingefärbten Zellen haben eine zunehmende Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Nachttemperaturen von ≥ 20°C, weiß eingefärbte Zellen eine Wahrscheinlichkeit von annähernd 0%. Auch für die **Innentemperaturen** konnten Zusammenhänge etabliert werden. Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass große Gebäudevolumina und Versiegelungsanteile in der Nachbarschaft die Temperatur im Innenraum erhöhen, hohe Grünflächenanteile hingegen senken.



Karte 10: Städtische Wärmeinseln (rotkariert), Kalt- und Frischluftentstehungsgebiet (grün) sowie potentielle Ventilationsbahnen (eisblau) Augsburgs. Quelle: STEK 2020: 127.

Abschließend sind an dieser Stelle die fundierten und aufschlussreichen **stadtklimatischen Beiträge der Universität Augsburg** (u.a. im Rahmen des Abc-Projekts) zu erwähnen, die für Modellgebiete die kleinräumige Wirkung baulicher und grünplanerischer Maßnahmen unter Berücksichtigung von Klimawandelszenarien erarbeiteten (vgl. Beck et al. 2020). Zur Identifizierung von Hitze-Hotspots, zur Berechnung und räumlichen Darstellung stadtklimatischer Größen und zur Verortung und Simulation stadtklimatischer Funktionen und Zusammenhänge implementiert die Universität Augsburg unter dem Dach des bundesweiten Projekts „Urban Climate under Chance“ (UC²) ein **gesamtstädtisches dynamisches Stadtklimamodell**.[37] Sind überwärmte Bereiche bekannt, können gezielte Maßnahmen zur Verbesserung des Lokalklimas ergriffen werden. Dabei sollten Klimaschutz und Klimaanpassung von Anbeginn an gemeinsam gedacht werden, um eine Verstärkung der Verwundbarkeit der Gebäude zu verhindern. Dies betrifft bspw. die Exposition der Aufenthaltsräume in Neubauten, die aus Klimaschutzgründen in Richtung Süden geht, um Im Winter weniger Heizenergie zu benötigen. Im Sommer hingegen - also aus Klimaanpassungsgründen - kann diese Strategie v.a. in sozialen Einrichtungen weitreichende gesundheitliche Folgen haben (→ Gesundheit).

Stadtplanerische Faktoren

Laut „Leitfaden Klimaschutz und Stadtplanung“ ist das städtebauliche Leitbild der „kompakten Stadt“ anzustreben sowie eine Baukörperorientierung der Hauptfassaden und Fenster hin zur Sonne (Stadt Augsburg 2007). Auf diese Weise wird im Winter bis zu 20 % Heizenergie eingespart, aber auch die Exposition gegenüber sommerlicher Hitze erhöht. Dies gilt ebenso hinsichtlich des klimapolitischen Ziels, die gegenseitige Beschattung der Gebäude zu vermeiden. Klimaschutz und Klimaanpassung können, wie in diesem Fall, in Konflikt zueinander stehen (BayKLAS 2016), sofern dieses **Konfliktpotenzial** nicht durch entsprechende Vorkehrungen baulicher Art oder z.B. durch Stadtbäume (→ Kapitel 5.9) oder Frischluftzufuhr gemindert bzw. aufgehoben wird.

Frischluftentstehungsgebiete ermöglichen die Entstehung kalter emissionsarmer Luft, welche sich über Wäldern oder größeren Gehölzflächen bildet und ins Stadtinnere transportiert werden kann. **Kaltluftentstehungsgebiete** sind Offenlandbereiche, welche sich nachts stärker abkühlen als ihre Umgebung. Die entstandene Luft wird über **Ventilationsbahnen** in die Belastungsräume transportiert. **Kaltluftbahnen** transportieren vergleichsweise kühle Luft in die überwärmten Gebiete, unabhängig ihrer Schadstoffbelastung. **Frischluftschneisen** hingegen transportieren unbelastete Luft aus Frischluftentstehungsgebieten, wobei das thermische Niveau verschieden sein kann.

Kalt- und Frischluftbahnen sind – ausgehend von Arbeiten der Universität Augsburg aus den 1980er/ 1990er Jahren (insbesondere Jacobeit 1986) – im STEK und im Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept (GrüKo) (Stadt Augsburg 2019f) dargestellt (Karte 10).[38]

In einer weiteren Karte des GrüKo sind **Stadtklimazonen** dargestellt. Dabei ist das Zentrum als „Stadtkernklima“ benannt, die umliegenden Bereiche als „Klima der verdichteten Stadtbebauung“, innerhalb derer auch stark überwärmte Hitze-Hot-Spots existieren (Stadt Augsburg 2019b).

Wahrnehmung extremer Hitzebelastung

Die zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen zum Stadtklima Augsburg verdeutlichen, dass die zunehmende Hitze eine der zentralen Herausforderungen darstellt, bestimmt diese doch die sogen. **thermische Behaglichkeit** der Menschen in der Stadt.

Untersuchungen im Rahmen des Abc-Projekts (→ HF Gesundheit) belegen, dass die **Hitzebelastung des städtischen Raums** auch von der Augsburger Wohnbevölkerung bereits heute deutlich wahrgenommen und als Risiko erkannt wird (Beckmann/ Hiete 2020). Sie fußt auf einer Befragung von 468 Personen in Augsburg im Jahr 2019 und zeigt, dass fast die Hälfte (48,7 %) der 468 Teilnehmenden den Faktor „Hitze“ als Problem in ihrer Stadt und ihren Häusern wahrnimmt (Abb. 101) (Ebenda).

Auch die oftmals noch aus Gründen der Nachverdichtung empfohlene **Nutzung des Dachbodens als Wohnraum** kann zunehmend schwieriger werden, insbesondere innerhalb unsanierter Gebäude (dach.de 2019).

Der negative Einfluss extremer Hitze auf Innenräume und auf die Gebäudesubstanz kann neben klimaangepassten Baukonstruktionen durch die **Erhöhung der Gebäudesanierungsquote** reduziert werden (DAS 2008).

[37] Siehe Projekt MIKA (www.uni-augsburg.de/de/fakultaet/fai/geo/forschung/projekte/2022-2019_mika_phy).

[38] Durch die seit Herbst 2020 besetzte Stelle für Stadtklimatologie bei der Stadt Augsburg ist die Erstellung einer Stadtklimafunktionskarte bzw. –analyse in Vorbereitung. Diese würde eine wichtige und vor allem aktuelle Grundlage für die Stadtplanung und Stadtentwicklung darstellen und für die weitere Umsetzung stadtklimatischer Belange - u.a. auch im Rahmen der Bauleitplanung - hilfreich sein.

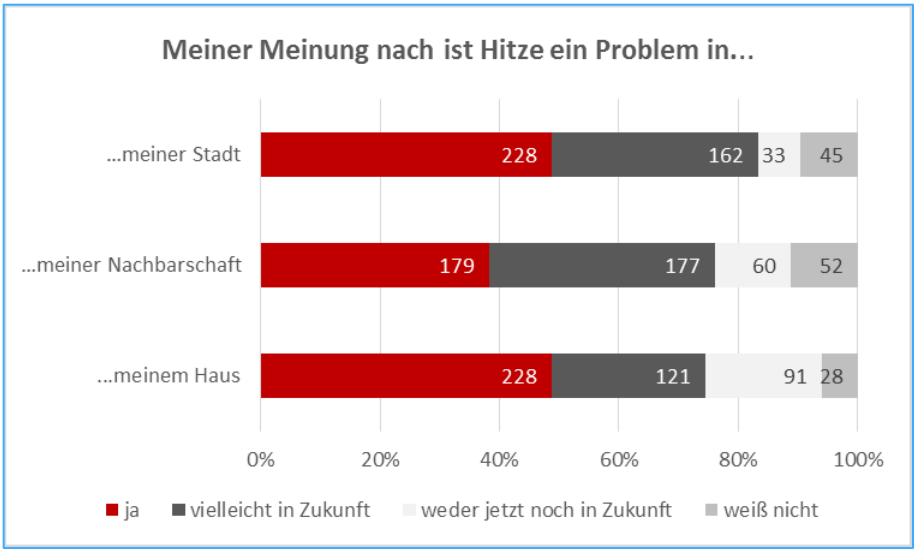


Abb. 101: Wahrgenommene Problematik von Hitzeereignissen im eigenen Haus, in der Nachbarschaft und in der Stadt in Augsburg (Befragung von 468 Personen). Quelle: Beckmann und Hiete 2020a, eigene Übersetzung.

Eine aufsuchende Impulsberatung zur Steigerung der Sanierungsquote ist mit der „Energiekarawane“ etabliert, und im Rahmen des Projekts „Augsburg bleibt cool“ wurden ebenfalls Haushalte beraten.

Gebäude-bezogene Faktoren

Eine gute Dämmung, möglichst in Kombination mit Außenverschattung (z.B. Rollläden) und Wärmeschutz (z.B. Thermofenster, Fassadengrün) reduziert bei angepasstem Lüftungsverhalten (z.B. Nachtlüftung) den Wärmetransport ins Innere der Gebäude und damit die Innentemperatur maßgeblich (Fahrion 2015).

Auch das einzelne Gebäude ist von extremer Hitze betroffen. Hitze und langanhaltende Sonneneinstrahlung auf **Bauteile und Konstruktionen** verändert deren Beanspruchungen; ähnlich wirken Phasen der Erwärmung und Abkühlung im Wechsel. Abhängig von der Bauweise sowie den verwendeten Baustoffen kann es zu einer **Verringerung der Lebensdauer der Gebäude** kommen, beispielsweise indem Spannungen innerhalb der Baustoffe zu Dehnungsrissen oder anderen Schäden führen. **Bauteilermüdung, vorzeitiger Materialalterung** sowie der **Ausfall technischer Gebäudeanlagen** werden zukünftig tendenziell vermehrt beachtet werden müssen (Bau-Sach-Verstand e.V. 2020; BBSR 2016).

Neben erhöhten Unterhaltskosten kann der wirtschaftliche Betrieb bzw. die Wirtschaftlichkeit von Bauvorhaben bzw. vorhandenen Immobilien unter dem steigenden Kühlenergiebedarf und verringerter Wohnqualität leiden.[39] Dadurch entsteht für Eigentümerinnen und Eigentümer ein Wertverlust der Immobilie.

Die Augsburger Innenstadt ist nach Köln und Hamburg die drittgrößte Altstadt Deutschlands. Deren besondere Betroffenheit gegenüber langanhaltender Hitze kann die Stadt vor Herausforderungen stellen. Von den 80.000 Gebäuden Augsburgs sind über 1.000 als Einzeldenkmäler und 4.500 als Teil eines geschützten Ensembles eingestuft (Stadt Augsburg 2015).

Baudenkmäler sind besonders durch eine dauerhaft erhöhte Belastung der Bausubstanz und durch einzelne Extremereignisse betroffen, da ihre Anpassungsmöglichkeiten eingeschränkt sind: Einerseits unterliegen bautechnische Änderungen an historischen Gebäuden einer denkmalrechtlichen Genehmigungs- bzw. Erlaubnispflicht und andererseits ist die Umsetzung entsprechender Maßnahmen oftmals aufwändiger und kostspieliger (bundesbaublatt.de 2018, Stadt Augsburg 1997).

Die Dämmung von Dach und Kellerdecke sowie das Einbauen effizienter Heizungen sind meist unproblematisch, während Fassadendämmungen oder Solaranlagen oftmals mit dem Denkmalschutz kollidieren. Durch eine umfangreiche Planung und Austausch zwischen den beteiligten Fachleuten aus den Bereichen Energieberatung, Planung und Bauphysik können Sanierungsziele umgesetzt werden.

[39] Dieser Aspekt war im Abc-Projekt Gegenstand des Arbeitspakets „Hitzebelastung in der Immobilienwirtschaft“. Allerdings wurde deutlich, dass Hitzebelastung dort bislang noch keine wesentliche Rolle spielt.

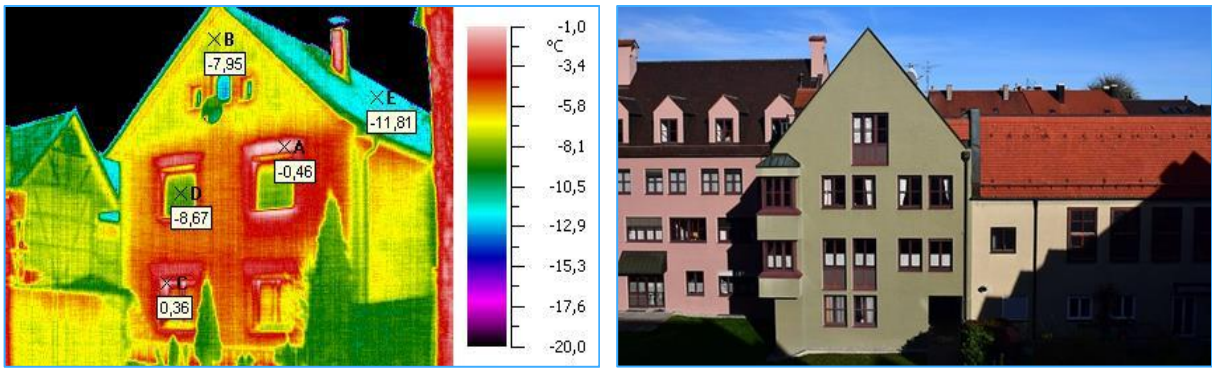


Abb. 102: Energetische Sanierung im Bestand dient dem Klimaschutz und der Klimaanpassung. Dabei macht die bauthermographische Inspektion den Durchgang von Wärmeenergie sichtbar (links). Viele Gebäude in der Altstadt konnten bereits saniert werden (rechts).

Beispielsweise kann eine innenseitige Dämmung der Außenwände bei denkmalgeschützten Gebäuden eine gute Alternative für den Erhalt der Außenfassade (Bayerische Ingenieurkammer-Bau 2014) sein.

Diese Problematik ist weithin bekannt, weshalb zahlreiche Förderprogramme für eine **energetische Sanierung** von Wohngebäuden im Allgemeinen sowie speziell für Denkmäler existieren (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege 2013, Das Baudenkmal 2020).

Im Jahr 2009 wurden bspw. im Stadtgebiet Augsburg 3.787 Wohneinheiten mithilfe von Krediten und Zuschüssen der KfW saniert (Augsburger-allgemeine.de 2010) (Abb. 102). Eigentümer und Eigentümerinnen von denkmalgeschützten Gebäuden können in Augsburg zudem 100 % der Sanierungskosten innerhalb von 12 Jahren steuerlich abschreiben.

Schließlich hat extreme Hitze nicht nur einen Einfluss auf die Gebäude an sich, sondern ebenfalls auf die **Baubranche,** wenn etwa das Arbeiten für die Draußenbeschäftigten zunehmend schwieriger wird (→ HF Industrie/ Gewerbe).

Trockenheit

Langanhaltende Trockenheit kann den Bodenwasserhaushalt stören und, zumindest im Sommer, niedrige Grundwasserstände begünstigen (Ehrmann et al. 2009, Quelle: Interview). Dabei können **Gebäudeschäden aufgrund von Senkungsprozessen** entstehen (Bau-Sach-Verstand e.V. 2020; BBSR 2016).

Bei Gebäuden, die über Grundwasserwärmepumpen beheizt werden, führen niedrige Grundwasserstände im Winter zu Problemen bei der Wärmeerzeugung (Tratschin et al. 2019).

Starkregen

Die Folgen von Starkregenereignissen können **Überflutungen, Überstauereignisse in den Kanalnetzen bis hin zu sogenannten urbanen Sturzfluten** (d. h. wild abfließendes Wasser im Siedlungsbereich nach Starkregenereignis) sein. Stark versiegelte Bereiche sind besonders davon betroffen. Wasser verursacht in erster Linie Feuchtigkeitsschäden innerhalb der Gebäude, deren Stärke von der Wassermenge und Dauer der Einwirkung abhängig ist (BBSR 2019). Grundsätzlich kann Wasser auf verschiedene Weise in Gebäude gelangen (Tab. 11).

Tab. 11: Auflistung der Wassereintrittsmöglichkeiten nach Starkregenereignissen, Quelle: BBSR 2019.

Gebäudeteil	Mögliche Herkunft der Feuchtigkeit
Kellerwände/ Kellersohle	Aufstauendes Sickerwasser
Wände	Aufsteigendes Kapillarwasser; abfließendes Regenwasser aufgrund verstopfter Dachrinnen
Undichte Fugen, nicht druckwasser-feste Kabel/ Rohrwege	Aufsteigendes Grundwasser
Türen/ Fenster/ Keller/ Tiefgaragen	Oberflächenwasser (urbane Sturzfluten)

Wie leicht dies geschieht, ist nicht nur vom Starkregenereignis an sich, sondern auch von der Topografie, der Niederschlagsaufnahmefähigkeit des Bodens, den Kanalkapazitäten (→ Wasser) sowie von der Bauweise (also der Durchlässigkeit, den Quelleigenschaften und den Möglichkeiten der Trocknung der verwendeten Baustoffe) abhängig. Einige **Baustoffe** können bspw. nach einer kurzfristigen Quellung wieder unbeschadet schrumpfen, wohingegen andere irreparable Schäden davontragen (z.B. Gipsplatten).

Bei unsanierten älteren Gebäuden ist die Gefahr, dass Wasser über die Dächer ins Innere der Gebäude gelangt, besonders groß, insbesondere im Zusammenhang mit Starkwinden; im Jahr 2019 war etwa das Augsburger Tierheim von Überflutung im Kontext eines Unwetters betroffen (StadtZeitung.online 2019).

Nicht zu vergessen sind **Vorsorgemaßnahmen zur Risikominderung** der Stadt (Stichwort: Schwammstadt), der Bauherren sowie der Bürgerinnen und Bürger. Denn ohne adäquate Anpassungsmaßnahmen der Stadtstruktur und der Baustoffe und ohne das Wissen darum können Starkregenereignisse die **Bausubstanz** in Mitleidenschaft ziehen (LfU 2016). Entsprechende Ereignisse haben in der Vergangenheit in Augsburg bereits für beträchtliche Schäden gesorgt (augsburger-allgemeine.de 2016).

Starkregenereignisse und ihre Folgen für das Gebäude können insbes. bei mangelnder privater Elementarversicherung hohen monetäre Kosten nach sich ziehen (BR24 2019).

Sind Betriebs- oder Geschäftsräume betroffen, kommen zusätzlich zu den unmittelbaren wirtschaftlichen Einbußen ggf. noch Folgeeffekte (wie länger anhaltende Ausfälle der Produktion bzw. Betriebstätigkeit) hinzu (→ HF Industrie/ Gewerbe).

Durch Aufräumarbeiten wird außerdem die **Gefahr von vektorübertragenen Krankheiten** erhöht (→ HF Gesundheit). Augsburg hat bereits einige Anpassungsmaßnahmen umgesetzt und damit eine gewisse Anpassungsfähigkeit aufgebaut wie bspw.:

- **Überschwemmungsbereiche** in den Flächennutzungsplan zu integrieren,
- Flächen, welche von Bebauung freigehalten werden sollen (z.B. **Brachflächen**), vorzusehen (STEK 2020),
- im Stadtgebiet mehrere **Rückhaltebauwerke zu** errichten, welche das überschüssige Wasser unterirdisch aufnehmen können.

Zusätzliche Versickerungsflächen im versiegelten Raum können über **Dachbegrünungen** gewonnen werden. Das **Entwässerungskonzept** insgesamt soll erneuert werden (→ HF Wasser).

Abb. 103: Schäden durch einen Tornado am 13. Mai 2015 in Affing nördlich von Augsburg. Quelle: Haeseler et al. 2015.

Neue Stadtquartiere können dann im Sinne des Konzeptes der sogenannten ➤ **Schwammstadt** geplant werden.

Sturm, Schneelast, Hagel, Blitzschlag

Das Bundesministerium für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) bietet die Möglichkeit, auf ihrer Projektseite GIS-ImmoRisk Naturgefahren verschiedene Immobilienstandorte, u.a. auch in Augsburg, hinsichtlich ihrer Gefährdungssituation durch Naturgefahren allgemein einzuschätzen (BBSR 2020). Nach Auswertung der einzelnen Planungsräume liegen die aktuellen Gefahren für Gebäude demnach insbesondere in Blitzschlagereignissen und Starkregen. Tendenziell wachsen in naher Zukunft (bis 2050) besonders **Hagel und Starkregenereignisse** in ihrer Bedeutung. Auch **Winterstürme und Waldbrände** können künftig zu lokalen Schäden führen.

Blitzschäden machen gemäß GIS-ImmoRisk einen Großteil des Gefährdungspotentials für Gebäude aus. Diese Gefahren sind relativ einfach durch bauliche Maßnahmen verhinderbar, sodass die Schäden letztlich von eher geringer Größenordnung sind. Die Herausforderung im Umgang mit hohen **Schneelasten auf Dächern** und Stadtbäumen werden trotz Klimawandel bestehen bleiben.

Schwere Unwetter mit starken Windgeschwindigkeiten werden innerhalb von Stadtgebieten aufgrund der Stadtstrukturen meist etwas abgeschwächt. Ungünstige Stadtstrukturen hingegen können Starkwinde durch den sog. ➤ Düseneffekt verstärken (Arnfield 2003). In Augsburg bleiben insbesondere die lokalen Tornados im Umland (im Juni 2013) oder auch der Sturm im Mai 2015 (Abb. 103) in Erinnerung. Man wird zukünftig mit vermehrten Folgen solcher Starkwinderereignisse zu rechnen haben wie insbes. **Schädigungen der Dacheindeckung/ abgedeckte Dächer, eingedrückte Fenster und beschädigte Bauteile** (wie z.B. Regenrinnen).

Gebäude können weiterhin mittelbar – z.B. durch herunterfallende Äste oder **umgeknickte Bäume** – teils stark beschädigt werden. Mit solchen Ereignissen ist auch immer eine potentielle **Gefährdung der körperlichen Unversehrtheit der Bewohnerschaft** verbunden (→ HF Gesundheit).

Die **monetären Schäden** an Gebäuden und Infrastrukturen sind vom Umfang her bereits heute erheblich. Sturm und Hagel machen bspw. durchschnittlich 25 % des Gesamtaufwandes bei allen erdenklichen Gebäudeschäden in Deutschland aus und verursachen somit neben Wasserschäden (Leitungswasser) und Feuer die größten Kosten (GdV 2019). Zukünftig ist von einem Anstieg auszugehen.

Die potenziellen Folgen von Windgeschwindigkeiten und Kälte können durch günstige Gebäudeausrichtung und Fassadengrün gemindert werden (Biercamp et al. 2018). Beim Fassadengrün ist es nicht zwingend notwendig, bodengebundene Bepflanzungen vorzunehmen; es können auch hochversiegelte Bereiche prinzipiell vom Schutzeffekt des Fassadengrüns profitieren (FLL 2018). Die Bedeutung von Dach- und Fassadengrün für Klimaanpassung der Stadt wurde bereits in Augsburg bereits früh erkannt. Diese Sachverhalte sollen in das städtische Hof-, Dach- und Fassadenbegrünungsprogramm einfließen.

Weite Teile der Altstadt und der historischen Ortskerne konnten bereits mit Hilfe umfassender städtebaulicher Sanierungsmaßnahmen aufgewertet werden (Stadtplanungsamt Augsburg 2019), was mit Blick auf die Anpassungsfähigkeit positiv ins Gewicht fällt. Trotzdem existiert weiterhin ein Altbaubestand in der Stadt, welcher aufgrund mangelnden Unterhalts/ Sanierung (Quelle: Interview) in zunehmendem Maße von Extremwetterereignissen wie Stürmen betroffen sein wird und mit entsprechend ansteigenden Schäden zu rechnen hat.

5.7.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Der Gebäudesektor ist auf vielfältige Weise von den Klimafolgen betroffen. Dabei lassen sich die folgenden vorrangigen Verwundbarkeiten feststellen:

- Der **Komplex Hitze** in der Stadt stellt eine Kernherausforderung der Zukunft dar. Der Gebäudesektor wird hiervon indirekt betroffen sein, da zunehmende Hitzeereignisse vor allem in Gebäuden ohne ausreichenden sommerlichen Wärmeschutz zu Beeinträchtigungen von Gesundheit und Wohlbefinden, aber auch der Leistungsfähigkeit Augsburgs (z.B. in der Wirtschaft, dem Bildungssektor, der Verwaltung etc.) führen können.
- Die Gebäude Augsburgs sind besonders aufgrund von **Unwetterereignissen** in ihrer Substanz betroffen. Neben Blitzschlag und Sturmereignissen sind dabei die Folgen von Starkregenereignissen und Überflutungen riskant. Physische Schäden und monetäre Verluste für Eigentümer/ -innen sowie ggf. für die Stadt (Verkehrssicherungspflicht) werden ohne Anpassungsmaßnahmen sehr wahrscheinlich zunehmen.
- Drittens steht der Gebäudesektor als Teil der Stadtstruktur vermehrt in der Gefahr, zu einer zusätzlichen **Erwärmung des Stadtklimas** beizutragen. Dies gilt primär im Falle mangelhafter Kühlungselemente (Dach- und Fassadenbegrünung), aber auch im direkten Gebäudeumfeld (Versiegelung).

5.8. Verkehr

5.8.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

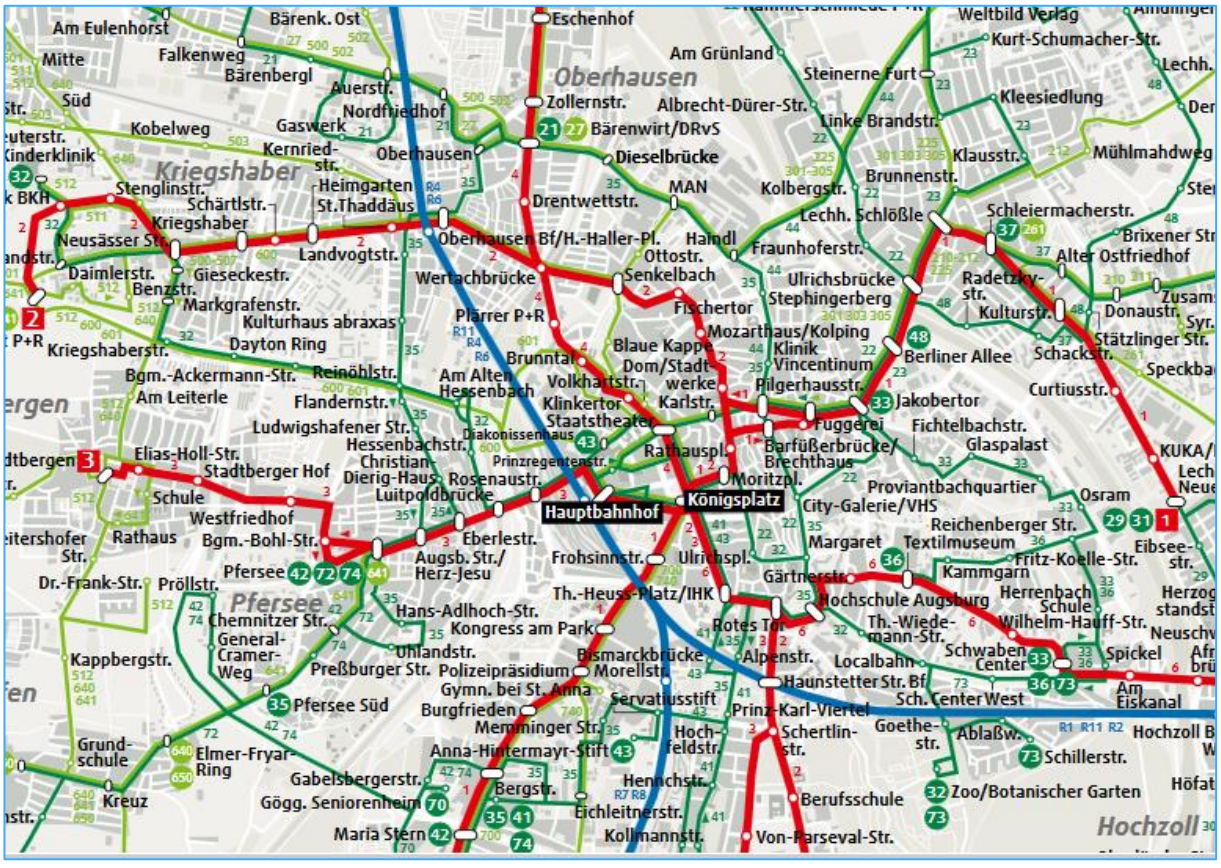
Die Veränderungen des Klimas beeinflussen maßgeblich die klimasensitiven Systeme einer Stadt, dazu zählt auch der Verkehrsbereich. Das BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) zählt den Verkehrssektor zu den ➤ Kritischen Infrastrukturen (KRITIS), bei deren Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe oder andere gravierende Folgen eintreten können.

Die Vorstudie 2017 weist bereits wichtige Themenfelder und potenzielle Betroffenheiten im Verkehr aus. Dazu zählen insbesondere **Schäden an der Infrastruktur**, **Unterbrechungen des Betriebs** sowie die **Verschlechterung der Luftqualität,** welche durch das Zusammenspiel von Verkehrsemissionen und Hitzeperioden beeinflusst wird. In den vergangenen Jahren kam es insbesondere durch **Starkregenereignisse, Stürme und Hitzewellen** zu Schäden und vermehrten Beeinträchtigungen. Durch den Ausbau von Verkehrs- und Umsteigeknotenpunkte soll der Verkehr entlastet werden.

Die Stadt ist durch den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) der Stadtwerke Augsburg (swa) mit fünf Straßenbahn- und 19 Buslinien sehr gut erschlossen. Zahlreiche Regionalbuslinien und im dichten Takt verkehrende Regionalzuglinien gewährleisten eine gute Erreichbarkeit von Orten innerhalb sowie außerhalb der Stadt (Abb. 104).

Für das Verbundgebiet der Stadt Augsburg und der drei Landkreise Augsburg, Aichach-Friedberg und Dillingen sichert und koordiniert der **Augsburger Verkehrs- und Tarifverbund** (AVV) den ÖPNV. Einheitliche Tarife und Zeitpläne sollen eine optimale Anschlusssicherung zwischen den regionalen Zügen, Bussen und Straßenbahnen gewährleisten (AVV 2019). Insbesondere für die steigende Zahl der Pendlerinnen und Pendler stellen diese Mobilitätsformen wichtige Verbindungen in und aus der Stadt heraus dar.

Abb. 104: Liniennetzplan Augsburg (Ausschnitt); Rot = Tramlinie (swa); Dunkelgrün = Stadtbus (swa); Hellgrün = Regionalbus (AVV); Blau = Regionalzug. Quelle: Augsburger Verkehrs- und Tarifverbund.



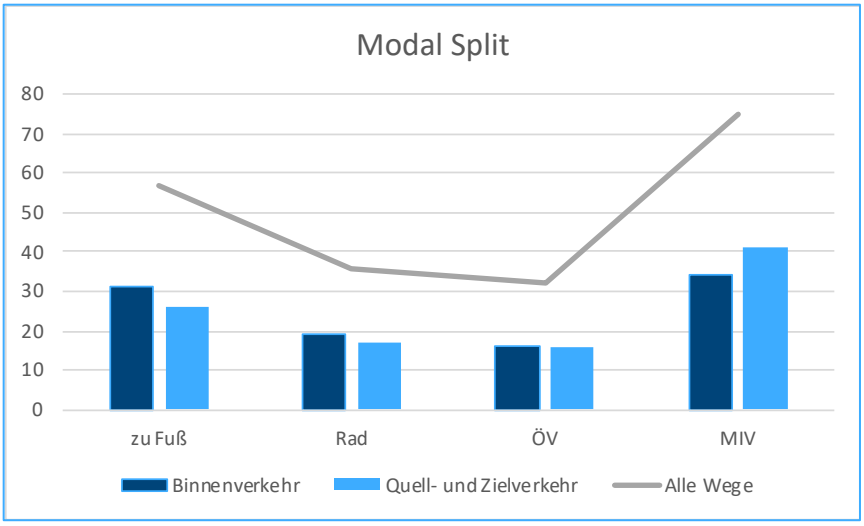


Abb. 105: Modal Split der Augsburger Wohnbevölkerung. Vergleich: Binnenverkehr (links) und Quell- und Zielverkehr (rechts). Quelle: Gericke 2019.

Der Augsburger Hauptbahnhof ist schon jetzt mit rund 44.000 Fahrgästen im Fern- und Regionalverkehr täglich ein Verkehrsknotenpunkt von überregionaler Bedeutung (projekt-augsburg.city.de 2020).

Die Relevanz des Hauptbahnhofs wird nach Fertigstellung des Umbaus zur Mobilitätsdrehscheibe wesentlich ansteigen (projekt-augsburg-city.de 2020). Unabhängig vom geplanten Bahnhofsumbau können in Zukunft aufgrund von häufigeren Extremwetterereignissen vermehrt Streckensperrungen und Zugausfällen auftreten.

Im Jahr 2018 gab es einen neuen Höchststand bei den *Pendlerbewegungen, 74.800 Menschen kommen regelmäßig von außerh*alb zum Arbeiten nach Augsburg, sechs Prozent mehr als noch 2014. Die meisten kommen aus dem Landkreis Augsburg. Jeder zweite in Augsburg Arbeitende wohnt nicht mehr in der Stadt, was u.a. auf den Wohnungsmangel im Stadtgebiet zurückgeführt wird. Vor allem nimmt aber die Zahl der Menschen zu, die aus Augsburg ins Umland pendeln. In den vergangenen vier Jahren ist diese Zahl um ein Fünftel gestiegen (Stadt Augsburg 2021).

Bei der Betrachtung des **Modal Split** in Abb. 105 müssen der Binnenverkehr und der sog. Quell- und Zielverkehr differenziert betrachtet werden. **Binnenverkehr** beschreibt die Wege innerhalb des Stadtgebietes, der **Quell- und Zielverkehr** die Wege, die entweder im Stadtgebiet beginnen oder enden. Ganz klar ist hier zu sehen, dass der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) beträchtlich höher liegt als beim Binnenverkehr, obwohl sich auch hier die Zahlen auf die Augsburger Wohnbevölkerung beziehen; externe Pendler und Pendlerinnen sind also nicht miteinberechnet. Im Vergleich des Binnenverkehrs von 2014/15 zu 2018 geht der Anteil an MIV und ÖPNV leicht zugunsten des Radverkehrs zurück (Stadt Augsburg 2020).

Somit stellen insbesondere der Ausbau und die Anpassung des regionalen, über die Stadt hinausgehenden ÖPNV einen wichtigen Schwerpunkt dar (Stadt Augsburg 2018).

Unter der Annahme eines moderaten Wirtschaftswachstums in Bayern und einer zusätzlich steigenden Bevölkerungszahl in Augsburg ist mit einem wachsenden Verkehrsaufkommen bzw. einer wachsenden Verkehrsfläche zu rechnen. Steigende Nachfrage nach verschiedenen Verkehrsmitteln sowie **zunehmende Flächenkonkurrenz** sind zu erwarten (Umweltbundesamt 2019).

Die Stadt setzt bereits mit vielen Projekten auf die Förderung von **Sharing- und Radverleih-Angeboten**. Diese sind, in Bezug auf Flächenverbrauch, Produktion und auch Kosten, besonders **effizient und umweltschonend.** Auch die **E-Mobilität** spielt bei der Vermeidung von Abgasen in der Innenstadt eine große Rolle. Es wird insbesondere in den Ausbau von E-Tankstellen und E-Parkplätzen sowie das E-Carsharing investiert. Neue swa-eLadeboxen sowie eine **swa-eFlat** sollen preisliche Anreize bieten (swa 2019).

In den vergangenen Jahren erfreut sich das Fahrrad als besonders umweltfreundliches Verkehrsmittel immer größerer Beliebtheit. Durch die Vorteile einer „Stadt der kurzen Wege“ und der topographischen Gegebenheiten bietet das Fahrrad als Fortbewegungsmittel großes Potenzial. Zusätzlich sollen eine neu eingeführte Mobilitäts-Flat sowie die kostenlose **City-Zone** zur Förderung des Umstiegs vom MIV auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel beitragen (siehe auch folgendes Unterkapitel).

Um die Vernetzung dieser multimodalen Verkehrsangebote zu gewährleisten und die Nutzung möglichst effizient zu gestalten, soll die Entwicklung einer **Smart-Mobility**, mit intelligenter Verknüpfung und Steuerung der Verkehrsmittel, gefördert werden.

Dadurch soll die Verkehrsmittelnutzung möglichst effizient gestaltet werden, wodurch auch die Auswirkungen des Klimawandels im Verkehrssektor verringert werden können (STEK 2020). Diese Vorteile sind stets abzuwägen mit den Risiken eines erhöhten Energiebedarfs und einer tendenziell erhöhten Anfälligkeit der komplexen „smarten" Netze auch, aber nicht nur für klimawandel-bedingte Risiken (wie Stromausfall).

Multimodaler und intermodaler Verkehr

Der **multimodale Verkehr** beschreibt die **Nutzung verschiedener Verkehrsmittel für unterschiedliche Wege**. Beim multimodalen Verkehrsverhalten wird also bspw. an einem Tag in der Woche das Fahrrad für den Weg zur Arbeit genutzt, an einem anderen Tag dieser Woche der Bus, d.h., es geht um die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

Der intermodale Verkehr hingegen beschreibt die **Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel in einer Wegekette**, also die Möglichkeit des flexiblen Wechselns eines Verkehrsmittels - bspw. vom Bus zum Fahrrad - auf dem Weg zur Arbeit.

Mit solchen **diversifizierten Mobilitätsangeboten** könnten die am Verkehr teilnehmenden Personen spontan und flexibel auf Witterungsverhältnisse und Beeinträchtigungen durch Extremwetterereignisse als Folgen des Klimawandels reagieren.

Die durch die **Augsburger Mobilitätsagenda** geplanten und bereits umgesetzten Maßnahmen zielen genau darauf ab und sollen neben dem Schutz des Klimas auch Raum für die individuelle Anpassung eines jeden Einzelnen bieten (Stadt Augsburg 2019).

Themenfelder und Maßnahmen in Augsburg

Im ÖPNV kann mit der **swa-Mobil-Flat** das gesamte Mobilitätsangebot der swa genutzt werden, d. h. Bus, Tram, das swa-Carsharing sowie die swa-Radangebote. Im Stadtgebiet Augsburg können mehrmals am Tag 30min lang kostenlos swa-Leihräder genutzt werden, also bspw. für Wege vom eigenen Wohnort zum nächstgrößeren Bahnhof. Wie bspw. die Corona-Pandemie zeigte, können Extremsituationen zu einer (u. U. vorübergehenden) Verschiebung des bevorzugten Verkehrsmittels führen. In Zeiten der Corona-Pandemie haben Leihräder zusätzlich an Bedeutung gewinnen können.

Das **Carsharing-Angebot** kann zusätzlich genutzt werden und bietet die Möglichkeit, kostenlos ein bestimmtes Kontingent an Stunden oder Kilometern, je nach Tarif, zu nutzen. So können unterschiedliche Verkehrsmittel auf individuelle und intelligente Art und Weise verknüpft werden und tragen zu einer effizienteren und umweltgerechteren Nutzung bei.

Abb. 106: Straßenbahnschienen als wichtiger Teil zukunftsfähiger Mobilität in Augsburgs Innenstadt.

Abb. 107: Leihfahrräder spielen eine zunehmend wichtige Rolle für innerstädtische Mobilität.

Als erste deutsche Stadt ermöglicht Augsburg seit dem 1.1.2020 das Fahren mit Bus und Straßenbahn in der Innenstadt **kostenfrei**. Als **Teil des Luftreinhalteplans** soll die neue *City-Zone* rund um den Königsplatz den Auto- und Parksuchverkehr reduzieren und somit zur CO_2-Einsparung sowie zur Luftreinhaltung beitragen (→ HF Gesundheit). Menschen, die bisher ausschließlich Auto fahren, sollen dazu bewegt werden, auf den ÖPNV umzusteigen, was zusätzlich durch den Ausbau der Straßenbahnlinien gefördert werden soll (swa 2020). Mit der **kostenlosen City-Zone,** als Gemeinschaftsprojekt der Stadt und den Stadtwerken und auch als Reaktion auf die Kritik seitens der Bevölkerung nach der letzten Tarifreform 2018, will Augsburg nun eine **bundesweite Vorreiterrolle** einnehmen. Das Projekt soll durch Landeszuschüsse finanziert werden (Zeilnhofer 2019).

Zur **Optimierung des Lieferverkehrs** soll – wo möglich – auf E-Mobile und E-Lastenräder umgestellt werden. Dazu sollen zentrale Umschlagflächen ausgewiesen werden, an denen auf Elektrofahrzeuge, Fahrräder oder Handwagen umgeladen werden kann. Neue Ladestationen sollen den E-Lieferverkehr fördern und somit die Feinstaub-, Stickoxid- und damit Ozonbelastung in Hitzewellen reduzieren.

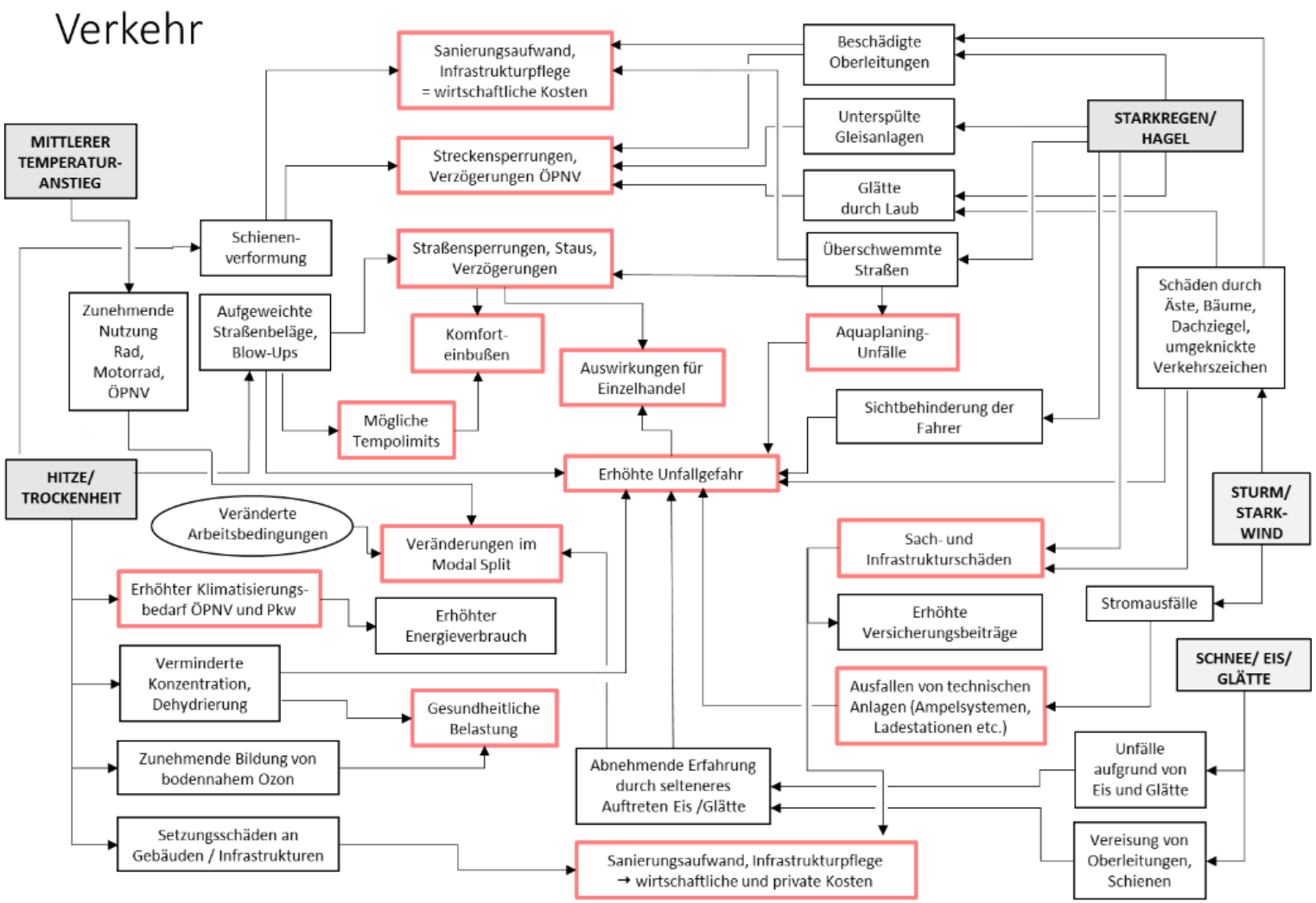


Abb. 108: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Verkehr. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Verwundbarkeiten (rote Kästen) sowie signifikanter Randbedingungen (Ellipsen). Eigene Darstellung.

Neben dem Ausbau des Radwegenetzes zur **Optimierung der Radverkehrsstruktur** erfolgen Investitionen in Parkhäuser für Fahrräder, welche vor Sturm, Regen und Schnee schützen sollen. Können Anschlüsse im ÖPNV bspw. aufgrund von Straßensperrungen oder durch umgestürzte Bäume aufgrund von Starkwinderereignissen nicht erreicht werden, besteht die Möglichkeit, Leihfahrräder rund um die Uhr zu nutzen (Stadt Augsburg 2019).

5.8.2. Verwundbarkeitsanalyse

Auch das Handlungsfeld Verkehr steht in Augsburg unter Einfluss der sich ändernden klimatischen Bedingungen. Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 108, vorherige Seite) einen schematischen Gesamtüberblick. Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt im Folgenden entlang der relevanten Klimasignale (Kap. 4).

Starkregen und Hochwasser

Starkregenereignisse können zu **Straßenüberflutungen** führen und damit einerseits zu vermehrten Feuerwehreinsätzen und zu Staus auf den Straßen. Dies geschah bspw. nach langanhaltenden Regengüssen im Mai 2019 (Augsburger Allgemeine 2019b). Häufig sind eindeutige Ursachen wie plötzlich einsetzender Regen oder Nebel und schlechte Sichtverhältnisse auszumachen (Augsburger Allgemeine 2018).

Eine konkrete Zahl an Verkehrsunfällen auf Wetter oder Witterung allgemein zurückzuführen, ist jedoch kaum möglich. Aus der Verkehrsunfallstatistik 2018 des Polizeipräsidiums Schwaben Nord geht immerhin hervor, dass die Zahl der **Verkehrsunfälle**, unabhängig ihrer Ursache, zunimmt. Im Vergleich zu 2009 ist die Zahl um 25 % gestiegen (Polizeipräsidium Schwaben Nord 2018). Die Verknüpfung von Wetter- und Unfalldaten wäre hinsichtlich der Prävention und dem Umgang mit Verkehrsunfällen im voranschreitenden Klimawandel hilfreich, denn zukünftig wird die Anzahl an Starkregenereignissen voraussichtlich steigen und die **Niederschlagsintensität zunehmen**.

Durch nasse Straßen ist auch die Gefahr von **Aquaplaning** erhöht. Durch die Wasserglätte entsteht eine verminderte Bodenhaftung der Reifen auf der Fahrbahn und Fahrzeuge können rutschen. Vor allem dort, wo bereits Spurrillen entstanden sind, verhindern diese, dass Oberflächenwasser schnell abgeleitet wird und die Rutschgefahr steigt. Im Juni 2019 sorgten heftige Gewitter im Raum Augsburg neben Überflutungen und zahlreichen Sperrungen für mehrere Aquaplaning-Unfälle. Die Freiwillige Feuerwehr musste im Nachgang das Niederschlagswasser von der Fahrbahn pumpen – mit entsprechendem finanziellen und personellen Aufwand (→ HF Katastrophenschutz) (Augsburger Allgemeine 2019). Eine hohe Versiegelung (im gesamten Stadtgebiet) trägt dazu bei, dass der Ablauf von Regenwasser auf Straßen behindert wird und die Gefahr von Aquaplaning-Unfällen steigt (vgl. Karte 6 - Versiegelungskarte im HF Gebäude).

Auch der Überlauf von Abwasserleitungen kann (trotz geringer Schäden in der Vergangenheit und vor allem aufgrund von geplanter Nachverdichtung) zu **überschwemmten Verkehrsflächen** führen (Vorstudie 2017). Sanierungsaufwand und eine intensive Infrastrukturpflege sind die Folge, was unter Umständen zu hohen **wirtschaftlichen Kosten** führen kann.

Durch nasse Straßen und eingeschränkte Sicht bei Starkregen und Hagel ist außerdem die **Sicht der Verkehrsteilnehmenden beeinträchtigt**, was die Unfallgefahr erheblich erhöht. Dies gilt nicht nur für Personen, die mit Auto oder Motorrad unterwegs sind, sondern auch für Radfahrerinnen und Radfahrer.

Neben **überfluteten Verkehrsflächen** spielen **unterspülte Gleisanlagen** eine zentrale Rolle. Letzteres kann zu Verspätungen und aus Sicherheitsgründen reduzierter Fahrgeschwindigkeit führen.

Obwohl bisher noch keine gravierenden Veränderungen der Anfälligkeiten im ÖPNV verzeichnet wurden (Interview), gilt es hier für zukünftige Entwicklungen gewappnet zu sein. Insbesondere Verkehrswege in überflutungsgefährdeten Gebieten stellen ein hohes Sicherheitsrisiko bei Starkregen dar.

Auch auf Logistik-Unternehmen oder Notfallkräfte (wie Feuerwehr oder Krankentransport) kann dies negative Auswirkungen haben. Diese sind bei Extremereignissen besonders gefragt und können durch Staus oder umgefallene Gegenstände die Wege nicht passieren.

Vermehrte Einsätze führen außerdem zu einer Verstärkung der ohnehin schon belasteten Verkehrssituation. Beispielhaft kann hier auf das **Sturmtief Niklas im April 2015** zurückgeblickt werden. Allein an einem Tag musste die Feuerwehr 117 Mal ausrücken, in der Region Augsburg gab es über 500 Einsätze. Durch die Feuerwehreinsätze bedingt, kam es zu Staus und es wurden mehrere Straßenbahnlinien unterbrochen (Augsburger Allgemeine 2015).

Auch technische Störungen können ein großes Risikopotenzial darstellen. Durch Blitzeinschläge kann es zu Schäden oder Ausfällen an Signalanlagen kommen.

Insbesondere **Hagel** kann zu schweren **Schäden an Autos** oder anderen Gegenständen führen und somit zu **erhöhten Versicherungsbeiträgen.** Hagelschäden (wie Blechbeulen oder Glasbruch) an Autos traten bislang in Augsburg nicht auf, führten im Jahr 2019 in

ganz Süddeutschland jedoch zu überdurchschnittlich hohen Schadenssummen, wie bspw. während des **Pfingstunwetters im Juni 2019** mit tischtennisballgroßen Hagelkörnern (Augsburger Allgemeine 2019c).

Sturm und Starkwindereignisse

Das Gefahrenpotenzial steigt nicht nur durch zunehmende Starkregenereignisse, sondern auch durch heftige Stürme im Zuge von Gewittern. Im Juli 2019 sorgte beispielsweise ein Unwetter mit Starkregen, Hagel und Sturmböen in der Region Augsburg neben Überflutungen auch für **herunterfallende Äste** (Augsburger Allgemeine 2019). Auch im März 2019 fiel durch den Sturm nahe des Königsplatzes ein Baum auf die Gleise, was zu schweren **Schäden an der Oberleitung** und somit zu **Betriebsstörungen- und Unterbrechungen** im Tramverkehr führte. In der Region Augsburg gab es weitere, teils schwere Vorfälle, wie das Erfassen eines Autos durch eine Windböe, wodurch es eine Schwerverletzte gab (Augsburger Allgemeine 2019d).

Schäden an der Infrastruktur (bspw. an Oberleitungen) durch **herabfallende Äste und umstürzende Bäume** stellen das größte Betroffenheitspotenzial bei Sturm- und Starkwindereignissen dar (Quelle: Interview). Neben dem Zug- und Schienenverkehr bergen diese auch ein erhebliches **Risiko für Fußgängerinnen und Fußgänger, sowie Radfahrerende**. Beim Unwetter im Juli 2017 wurde im Landkreis Günzburg eine Radfahrerin von einem umstürzenden Baum verletzt (Augsburger Allgemeine 2017).

Im aktuellen Stadtentwicklungskonzept (STEK) wird neben dem Ausbau des Radnetzes insbesondere die Erhöhung der Fahrsicherheit als Ziel aufgeführt. Dieses soll unter anderem durch die **Transformation zur Fahrradstadt** umgesetzt werden (STEK 2020).

Durch starken Wind kommt es ebenfalls zu **herumfliegenden Gegenständen**, die die Gefahr im Straßenverkehr deutlich erhöhen. Beim Sturmtief Niklas 2015 gab es zahlreiche Schadensmeldungen aufgrund von beschädigten Autos. In der Region Augsburg kam es zu zahlreichen **Stromausfällen** durch Äste und andere Gegenstände, die von den Böen in die Oberleitungen gewirbelt wurden. Auch im ÖPNV kam es so zu Verspätungen und Zugausfällen (Augsburger Allgemeine 2015).

Ähnlich wie bei Hagel können also Sach- und Infrastrukturschäden **hohe Kosten und erhöhte Versicherungsbeiträge** nach sich ziehen. Beim Unwetter im Januar 2018 lag die Schadenshöhe in Augsburg durch abgedeckte Dächer, umgeknickte Bäume und beschädigte Autos bei 100.000 Euro (Augsburger Allgemeine 2018a).

Steigende Mitteltemperaturen

Wie bereits im vorherigen Kapitel ersichtlich, wird die Mitteltemperatur in Augsburg zukünftig weiter ansteigen, was zu **Veränderungen im Modal Split** führen wird. Mildere Temperaturen im Winter und wärmere Frühlingstage können dazu führen, dass mehr Menschen auf das **Fahrrad** oder auch das Moped/ Motorrad umsteigen. Das Verkehrsgeschehen wird somit komplexer und der Anteil „schwächerer" Teilnehmerinnen und Teilnehmer am Verkehr nimmt zu. Dies kann das **Risiko von Unfällen** bzw. von **Unterbrechungen und Einschränkungen im Verkehr** erhöhen. Dieser Zusammenhang konnte beispielsweise im Zuge der Erstellung des Anpassungskonzepts für die Stadt Berlin (AFOK) statistisch nachgewiesen werden und dürfte im Grunde ebenso für Augsburg gelten (SenStadtUm Berlin 2016). Der Ausbau des Fahrradnetzes sowie die Erhöhung der Fahrsicherheit spielen somit eine entscheidende Rolle.

Hitze und Trockenheit

Im Zuge des Klimawandels nehmen Witterungen mit geringer Bewölkung und erhöhter Sonnenscheindauer zu (→ Kap. 4). Insbesondere in hochsommerlichen Hitzephasen ist dann mit einer gesteigerten **UV-Belastung** zu rechnen. Die erhöhte UV-Strahlung wechselwirkt mit den NOx-Emissionen im Straßenverkehr. Insbesondere an stark befahrenen Straßen oder während des Berufsverkehrs sind erhöhte **NOx-Emissionen** feststellbar**.** Laut Landesamt für Umwelt werden ca. 60 % der NOx-Emissionen durch den Verkehr hervorgerufen (LfU 2020).

Die dabei ausgestoßenen Stickstoffdioxid-Moleküle (NO_2) können unter Sonneneinstrahlung (UV-Strahlung) in Stickstoffmonoxid zerfallen. Das übriggebliebene Sauerstoffatom kann sich mit dem O_2 aus der Luft zu **bodennahem Ozon** (O_3) verbinden. Dies zerfällt in der Regel durch die Umkehrreaktion wieder, insbesondere an stark befahrenen Straßen aufgrund der dort relativ hohen Stickstoffmonoxid-Konzentration.

Durch Windfracht jedoch gelangt die Verkehrsemission u. a. in Parkanlagen. Dort können weitere ozonbildende Stoffe (VOC), die bspw. von den Pflanzen **insbesondere an heißen Tagen** ausgeschieden werden, den Ozonbildungsprozess verstärken. Zeitgleich findet die chemische Umkehrreaktion aufgrund mangelndem Stickstoffmonoxid (NO) kaum mehr statt (LfU 2020). Der sog. **Sommersmog** ist die Folge. Dabei steigt die Ozonkonzentration im Laufe des Tages an und fällt nachts durch mangelnde Sonneneinstrahlung ab. In verkehrsfernen Bereichen sinkt die Ozonkonzentration aufgrund der geringeren Schadstoffkonzentration langsamer.

In heißen Sommern können **erhöhte Feinstaubbelastungen** festgestellt werden (UBA 2020). In Augsburg kam es im Hitzesommer 2003 im 3. Quartal zu einer signifikanten Erhöhung mit der – sonst nur im 1. und 4. Quartal beobachteten - Überschreitung zulässiger Tagesmittelwerten (Quelle: Interview). Dies kann teilweise auf die Freisetzung von Aerosolen aus Asphalt und die anschließende Bildung von Sekundärfeinstaub zurückgeführt werden. Diese Prozesse werden durch hohe Temperaturen und Sonnenlicht begünstigt und stehen daher unter dem Einfluss des Klimawandels. **Gesundheitliche Belastungen**, wie die Reizung von Augen und Schleimhäuten, Atemwegsbeschwerden oder eine verminderte Lungenfunktion können die Folgen einer erhöhten Ozonkonzentration sein. Feinstaub kann Herz und Lunge schädigen und Krebs auslösen (→ HF Gesundheit). Hitze belastet außerdem den Kreislauf und kann eine geschwächte Konzentration und verminderte Aufmerksamkeit zur Folge haben, was wiederum zu einer erhöhten Unfallgefahr führt. Laut ADAC-Unfallforschung steigt der Anteil konzentrationsrelevanter Unfälle von 47 % an kühleren Tagen auf 63 % an heißeren Tagen (SZ 2018).

Aufgrund von mehrfachen Überschreitungen der Stickstoffdioxid-Grenzwerte wurde im Jahr 2018 im Rahmen des „Sofortprogramms Saubere Luft 2017-2020“ der „**Masterplan für nachhaltige und emissionsfreie Mobilität**“ entwickelt. 90 % der Stickoxid-Emissionen werden durch den Pkw-Verkehr verursacht, der ÖPNV-Anteil macht weniger als 10 % der Emissionen aus (Stadt Augsburg 2018). Es wird also insbesondere der Umstieg vom MIV auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel gefördert (Stadt Augsburg 2018).

Der Verkehr soll entlastet und die **Feinstaub- und Stickoxidbelastung in der Innenstadt** reduziert werden (→ HF Gesundheit). Infolgedessen werden **weniger Staus** zu erwarten sein und der Parksuchverkehr wird verringert (siehe Unterabschnitt „Multimodaler und intermodaler Verkehr“, oben). In Projekten zur Abgas- und Emissionsminderung werden bspw. intelligente Lichtsignalanlagen geplant, welche für weniger Stop-and-Go und Staus sorgen sollen.

Augsburg trägt mit seiner **Biogas-Busflotte** (seit 2011) bereits wesentlich zur Verringerung von Stickoxiden und Feinstaub in der Stadt bei und leistet außerdem einen Beitrag zum Klimaschutz, da der aus landwirtschaftlichem Abfall hergestellte Brennstoff in der Bilanz CO_2-neutral ist (Donaukurier 2019).

Der durch Hitze **steigende Klimatisierungsbedarf im ÖPNV** steht im Konflikt mit den Klimaschutzzielen und kann ebenfalls zu höheren Betriebskosten führen. Die Trams und Busse der swa besitzen jedoch einen weitestgehend klimaneutralen Antrieb.

Die verwendeten Klimaanlagen in Tram und Bus sind in ihrer Effektivität durch die großen Fenster, das Öffnen der Türen oder auch das Öffnen von Fenstern durch die Fahrgäste mitunter beschränkt (Augsburger Allgemeine 2018b).

Auch für Menschen, die zu Fuß oder per Rad unterwegs sind, ist mit einer steigenden Hitzebelastung zu rechnen.

Die Vorstudie 2017 weist die **Hitzebelastung auf Radfahrachsen** bereits als potenzielles Risiko aus, dadurch kommen bspw. Maßnahmen der Radwegbeschattung tragende Rollen zu.

Ein hoher **Versiegelungsgrad von Verkehrsflächen und Parkplätzen** begünstigt zudem die Hitzeentwicklung im Straßenraum, der städtische Wärmeinseleffekt prägt sich stärker aus (Brasseur et al. 2017).

In den vergangenen Jahren kam es vermehrt zu sogenannten **Blow-ups** auf den bayerischen Autobahnen (Augsburger Allgemeine 2015b; Mindener Tageblatt 2019). Diese entstehen, wenn sich Betonplatten aufgrund der langen Hitzeeinwirkung ausdehnen und sich plötzlich aufwölben, aufbrechen oder sich übereinander schieben (UBA 2019). Auch aufgeweichte Straßenbeläge können die Folge von langer Hitzeeinwirkung sein. Die beschädigten Fahrbahnen führen zur **Sperrung von Straßen**, zu **Umleitungen** und **Staus** und somit zu Unannehmlichkeiten für alle Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer. Außerdem steigt das **Unfallrisiko auf Autobahnen** erheblich. Aufgrund der hohen Temperaturen wurden im Sommer des Jahres 2019 auch auf bayerischen Autobahnen kurzfristige **Tempolimits** durchgesetzt, um die Unfallgefahr zu verringern. Das könnte auch in Zukunft während der Sommermonate der Fall sein (Augsburger Allgemeine 2019e).

Auch im Zug- und Schienenverkehr führten die Hitzewellen der vergangenen Jahre zu starken Beeinträchtigungen. Die Tramlinie 6 in Augsburg fiel z.B. zeitweise aus, weil sich die Schienen während der Hitzeperiode im Juli 2020 zu stark ausdehnten (Augsburger Allgemeine 2020). Seit 2018 wird in einigen Gebieten in Deutschland bereits getestet, ob weiße Farbe auf Schienen diese Auswirkung verhindern kann, die Temperatur soll dadurch um einige Grad zurückgehen können (Frankfurter Rundschau 2019). Auch bei der Bahn kann es also zu **Verzögerungen und Betriebsstörungen** oder sogar **Zugausfällen** durch Hitzeereignisse kommen.

In beiden Fällen führt ein unter Umständen hoher Sanierungsaufwand der Verkehrsinfrastruktur zu Kosten für die Wirtschaft oder private Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer (beschädigte Autos etc.).

Frost, Eis und Schnee

Die Anzahl der Frost-, Eis- und Schneetage in Augsburg geht sichtbar zurück, was bedeutet, dass auch die Betroffenheiten im Verkehr durch diese Ereignisse zurückgehen.

Die Unfallgefahr aufgrund von Glätte sowie die Beeinträchtigungen (Vereisung) von Oberleitungen und Gleisen durch Frost werden ebenfalls zurückgehen. Vorkehrungsmaßnahmen (bspw. Streusalzstreuung oder Schneeräumung) sollten dennoch nicht vernachlässigt werden, da Extremereignisse (wie Blitzeisbildung oder starke Schneefälle) auch im sich wandelnden Klima weiter auftreten können.

Wenn in Zukunft weniger Extremereignisse auftreten, gehen bei den Menschen mit der Zeit auch die Erfahrungen bzw. Kenntnisse im Umgang mit solchen Situationen zurück. Das kann unter Umständen dazu führen, dass es im Fall unerwarteter Ereignisse – bspw. die erste Blitzeisbildung – zu umso mehr Unfällen kommt.

Häufige Frost-Tau-Wechsel machen dem relativ alten **Straßen- und Wegebestand** in der Stadt zu schaffen. 70 % der Straßen sind älter als 45 Jahre und die Aufteilung der Straßen nach Zustandsklassen (Erfassung 2016) zeigt, dass auch hier bei 70% mittelfristig bis kurzfristig Handlungsbedarf besteht, bei knapp 3% ist dies bereits überfällig (Quelle: Interview).

5.8.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Im Handlungsfeld Verkehr werden zum einen die **Infrastrukturen und das Verkehrsgeschehen** unter den zunehmenden Extremwetterereignissen leiden.

- Das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung kann sich aufgrund des Klimawandels verändern. Mildere Temperaturen begünstigen den **Fuß- und Radverkehr**, Hitzewellen gehen mit einer erhöhten UV-Strahlung einher und einer verstärkten VOC-Bildung bei Pflanzen. Die begünstigt die Bildung von **Sommersmog**.
- Extremwetterereignisse führen zunehmend häufiger zu **Einschränkungen der** Verkehrswege.
- Zu erwähnen ist die große Bedeutung des Verkehrssektors für die Vulnerabilität in anderen Handlungsfeldern (intersektorale Wechselwirkungen) aufgrund der hohen Flächenversiegelung und damit Verstärkung von **Erwärmungseffekten und verringerter Versickerung**.
- **Verschlechterung der Luftqualität** (Wechselwirkungen von Abgasen des fossilen Verkehrs, Ozon, extreme Hitze/ Sommersmog).

5.9. Stadtgrün

5.9.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Als „urbanes Grün“ werden sämtliche städtischen Grünanlagen bezeichnet, angefangen bei Einzelbäumen (ca. 80.000) über Gärten und Freizeitanlagen bis hin zu Wäldern (z.B. Westliche Wälder, Stadtwald) und Feldern (z.B. Hochterrasse).[40] Der Grün- bzw. Freiflächenanteil Augsburgs beträgt derzeit rund 56 % (Abb. 109).

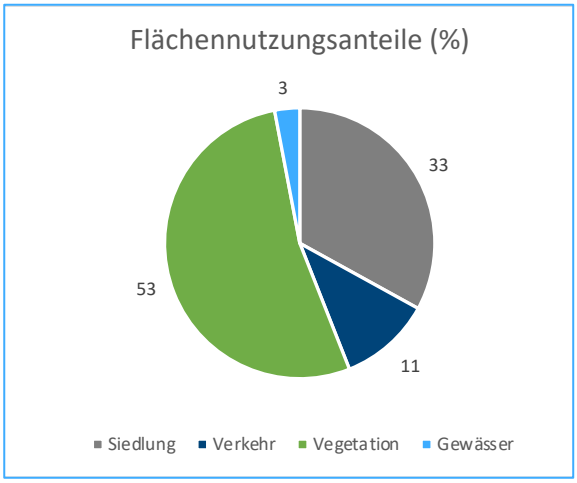


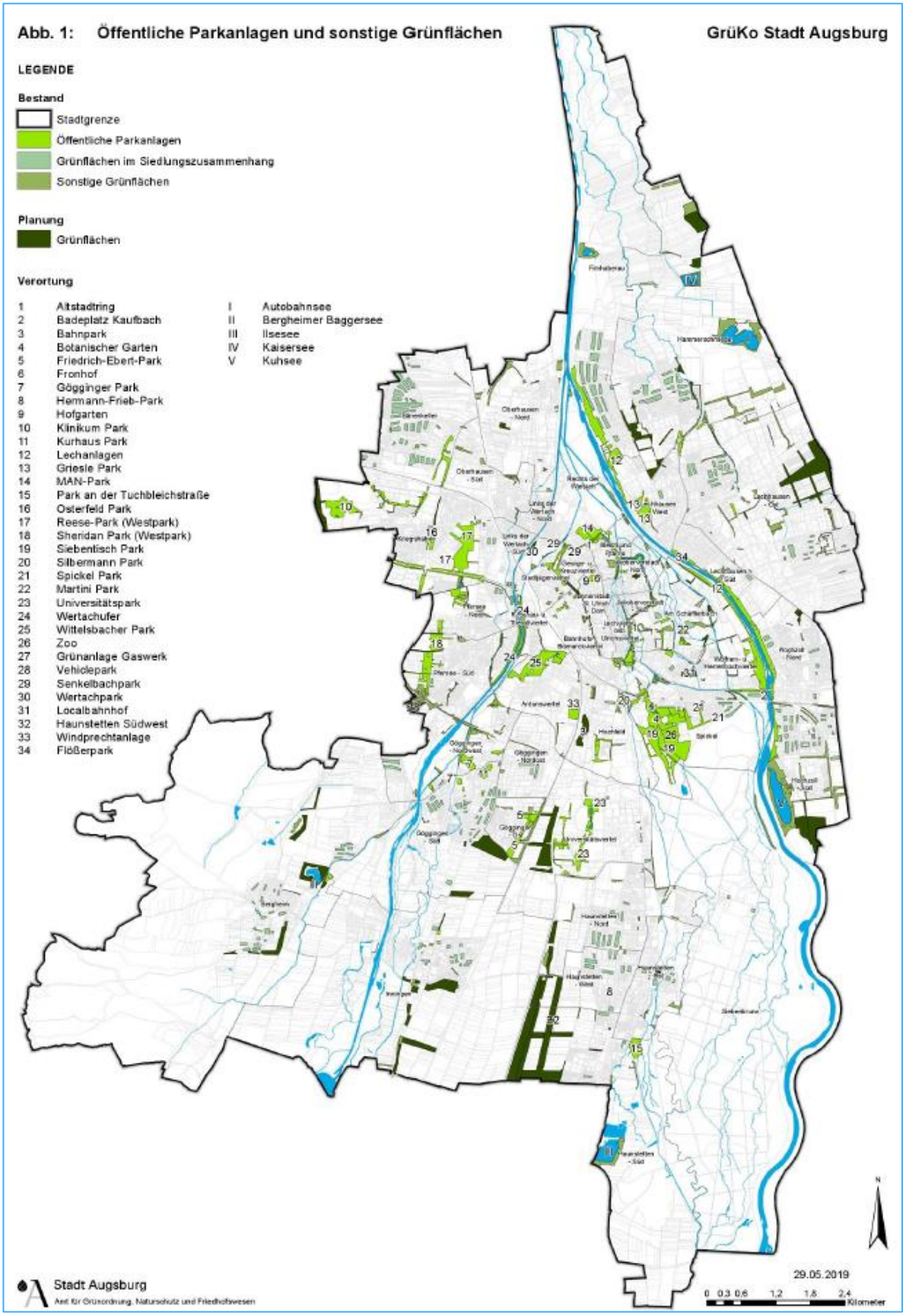
Abb. 109: Flächennutzungsanteile in Augsburg. In %, Werte gerundet; Quelle: Stadt Augsburg 2018b.

Den Großteil des **urbanen Grüns** machen Wälder (24,1 %) und landwirtschaftliche Flächen (25,7 %) aus; weniger als 4 % sind mit „sonstigem Stadtgrün“ bedeckt (LfStaD 2019, Stadt Augsburg 2018a). Wichtige derartige Grünflächen sind die zahlreichen und hochwertigen Parkanlagen oder auch der Botanische Garten. Doch auch Friedhöfe sind auf Grund ihrer Dimensionierung aus stadtklimatischer Sicht bedeutsam – und zudem wegen ihres oft artenreichen Altbaumbestandes und ihrer strukturreichen Begrünungen für die Artenvielfalt wichtig (→ HF Biodiversität). Gleiches gilt für Kleingärten, Gemeinschaftsgärten oder auch Schulgärten, welche zusätzlich wichtige Bildungs- und Begegnungsstätten darstellen (→ HF Landwirtschaft). Die räumliche Lage der öffentlichen Parkanlagen und sonstigen Grünflächen kann dem *Grünflächen-Entwicklungskonzept* der Stadt Augsburg entnommen werden (siehe Karte 11, Folgeseite).

Abb. 110: Der Stadtwald, aber auch kleinere Areale wie Friedhöfe und der Botanische Garten sind wichtige innerstädtische Grünflächen.

Das städtische Grün wird noch immer vielfach in seiner Wirkung unterschätzt, obwohl zahlreiche Forschungsvorhaben seit Jahren seine vielfältigen Beiträge für das städtische Leben belegen. Ein wichtiges Konzept in diesem Zusammenhang ist das der städtischen ➤ **Ökosystemdienstleistungen**, mit dem systematisch zu erfassen und zu bewerten versucht wird, was die verschiedenen Facetten des städtischen Grüns alles für eine Stadt tun – ökologisch, ökonomisch, sozial.

[40] Der Themenkomplex Dach- und Fassadengrün dagegen fällt sowohl in den Gebäudesektor (→ HF Gebäude) als auch in das vorliegende Handlungsfeld.



Karte 11: Öffentliche Parkanlagen und sonstige Grünflächen. Quelle: Stadt Augsburg 2019a

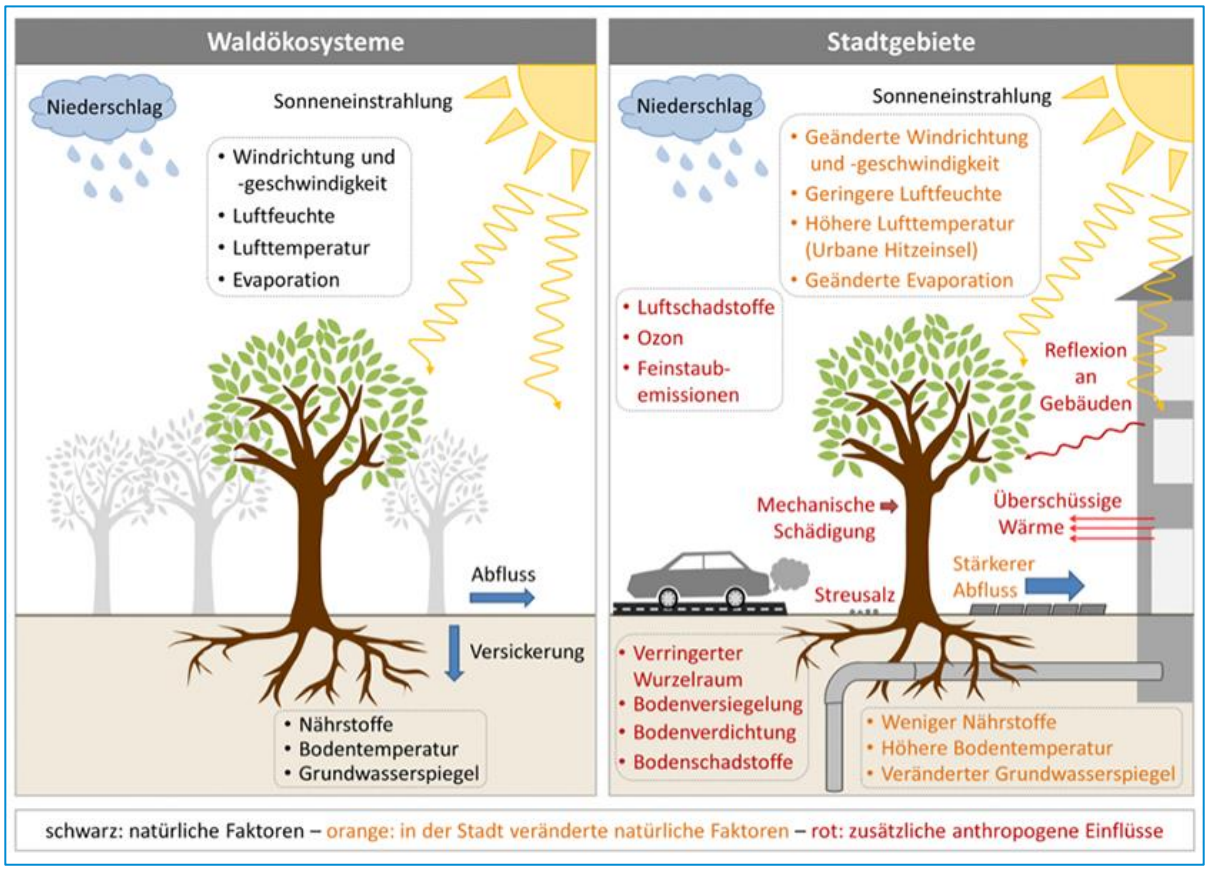


Abb. 111: Einflüsse auf Bäume in der Stadt im Vergleich zu Einflüssen in Waldökosystemen. Dabei: Evapotranspiration = meteorologischer Fachbegriff, Summe aus Transpiration (Verdunstung von Wasser aus Tier- und Pflanzenwelt) und Evaporation (Verdunstung von Wasser auf unbewachsenen bzw. freien Land- oder Wasserflächen); Quelle/ Grafik: Miriam Brune/ GERICS/(eskp.de | CC BY 4.0); Brune 2016.

Stadtbäume etwa stellen nicht nur einen ästhetischen Bestandteil des Stadtbildes dar, sie produzieren Sauerstoff, speichern Kohlenstoff, mildern den Wärmeinseleffekt (Oke 1987) und den Regenwasserabfluss, bieten Lebensraum für Tiere, filtern Schadstoffe und kühlen ihre Umgebung durch Beschattung und Transpiration.

Diese für die Stadt insgesamt wertvollen **Leistungen der Stadtnatur** erfahren im Rahmen verschiedener Aktivitäten der Stadt Augsburg bereits Berücksichtigung, so z.B. bei der Entwicklung des Grün- und Freiflächenentwicklungskonzepts (GrüKo) und des STEK, aber auch z.B. bei der Teilnahme am bundesweiten Projekt „Stadtgrün wertschätzen“ (→ HF Industrie/ Gewerbe).

Ein wichtiger Ansatzpunkt: dabei waren Beratungsangebote für Unternehmen, insbes. im Bereich niederschwelliger Maßnahmen wie pflegeleichte Wildflächen oder mobile Bäume.

Die Funktionsfähigkeit und damit auch die Ökosystemdienstleistungen des Stadtgrüns unterliegen in einer Stadt generell **vielfältigen Belastungen** (Abb. 111). Der Klimawandel kann an verschiedenen Facetten des Stadtgrüns „ansetzen“ und es in Funktionsfähigkeit oder gar Bestand gefährden.

Besonders interessant ist die dreidimensionale Grünstruktur (➤ **Grünvolumen-Index**). In einer detaillierten Bestandsaufnahme des Grünvolumens aller 116 kreisfreien Städte Deutschlands rangiert. Augsburg in der zweiten Kategorie (Kategorie 2,0-3,0 m^3 Grünvolumen je m^2 Stadtfläche), Bamberg etwa liegt bei 3,0-4,0, Freiburg bei 4,0-5,0, Baden-Baden bei 5,0-6,0 (Abb. 113, unten).

Der Freiflächenanteil wird durch ca. 411 ha **Wasserflächen** ergänzt (Stadt Augsburg 2018), neben Lech und Wertach umfassen diese die Stadtkanäle und einige Seen (→ HF Wasser).

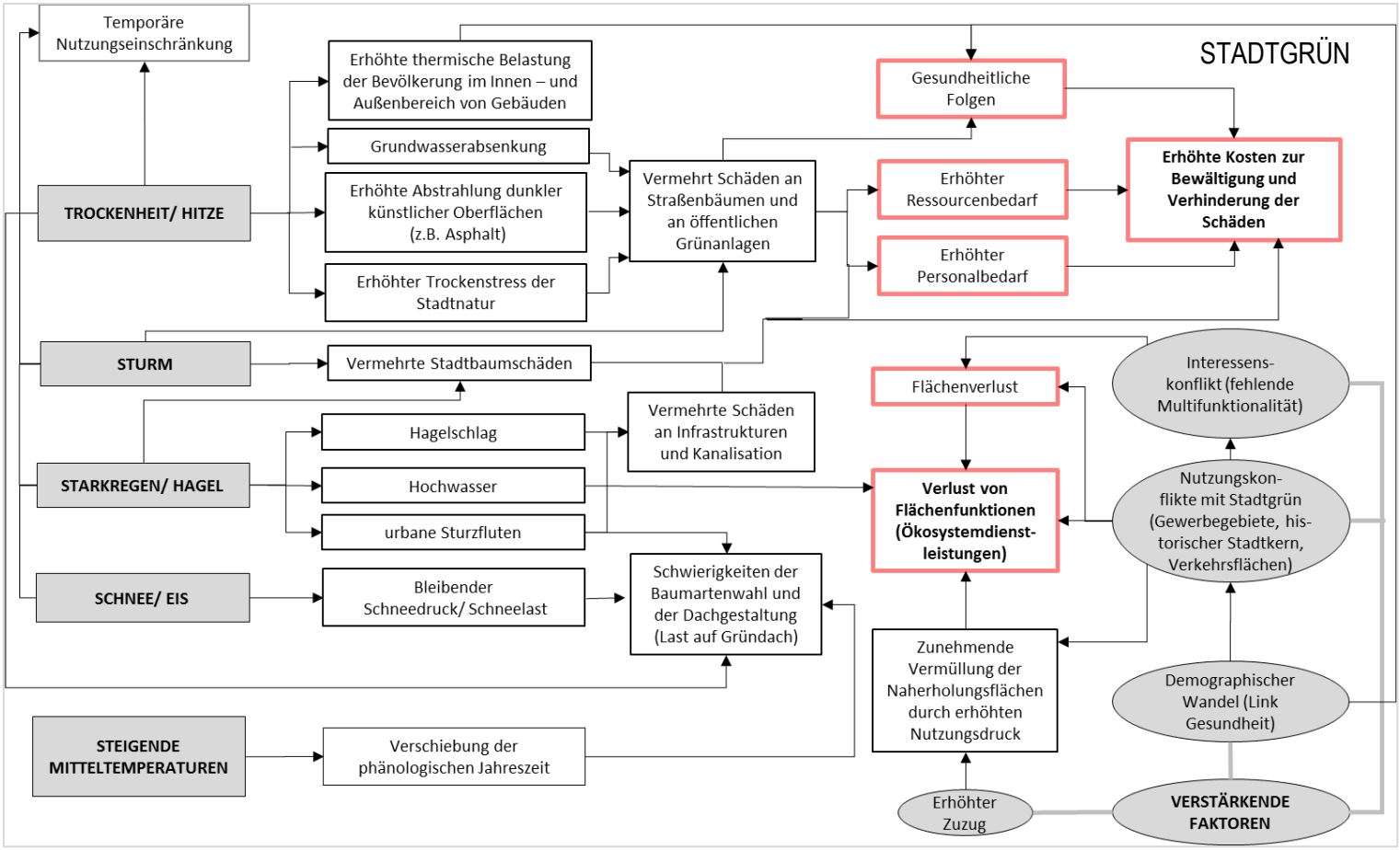


Abb. 112: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Stadtgrün. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Randbedingungen (Ellipsen) sowie Verwundbarkeiten (rote Kästen).

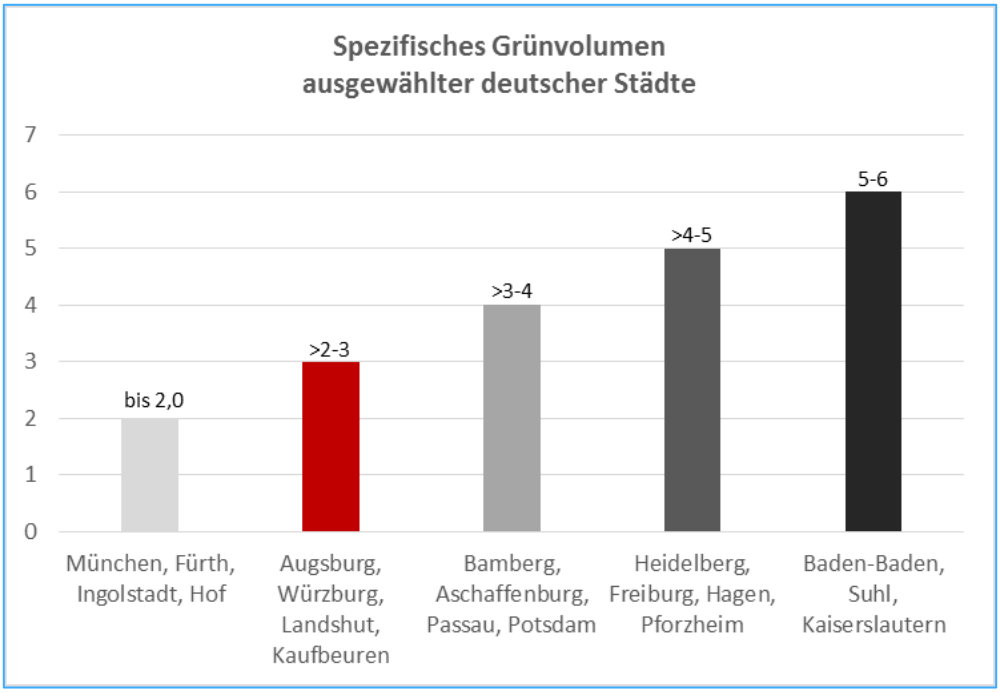


Abb. 113: Spezifisches Grünvolumen ausgewählter deutscher Städte. Bezugsgröße: Stadtgebiet, Auswahl; Quelle: Arlt et al. 2005: 75.

5.9.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Stadtgrün detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 112) einen schematischen Gesamtüberblick.

Zur Darstellung dieser Gefährdung orientieren wir uns in der Folge an den Klimasignalen.

Steigende Mitteltemperaturen

Für die Stadtnatur sind steigende Mitteltemperaturen als Klimasignal sehr bedeutsam. Eine **Verschiebung in der Verbreitung der Arten** (Areal) und die **Einschränkungen der Vitalität der heimischen Pflanzenarten** können ökologisch bedenklich sein und die Funktionen (z.B. Erholungsfunktion) des urbanen Grüns einschränken (→ HF Biodiversität). Dies hängt vom jeweiligen Ökosystem ab, bzw. von den verwendeten Pflanzenarten und deren Lebensraumbedingungen.

Invasive Arten[41] können sich aufgrund der entstandenen Konkurrenzvorteile ausbreiten. Andere (teils heimische) Arten blühen aufgrund der längeren Vegetationsperiode und der hohen Schadstoffbelastung (CO, NO_x und O_3) innerhalb der Stadt früher und länger im Jahr (Medizinische Universität Wien 2020; Schumann 2019; Stark et al. 2009).

Handelt es sich dabei um wärmeliebende und zugleich allergieauslösende Pflanzenarten (z.B. Beifußblättrige Ambrosia), können die **Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit** groß sein und weiter ansteigen (→ HF Gesundheit).

Weiterhin können Vektoren (wie eingewanderte Stechmücken) durch das gute Wasserangebot der Stadt und die milderen Winter zunehmend profitieren (Haug 2018; Stark et al. 2009).

Auch **Pflanzenschädlinge** können den Winter leichter überstehen. Darüber hinaus ist es möglich, dass die Zahl der sich jährlich entwickelnden Generationen von Insekten steigt. Hierdurch kann einerseits höherer Schaden an der Stadtvegetation entstehen und andererseits können auch mehr Allergene (wie bspw. die des Eichenprozessionsspinners EPS) auftreten. Diese Risiken sind im Rahmen aller grünplanerischen Ebenen zu beachten und werden künftig weiter an Relevanz gewinnen (AELF 2019, Quelle: Interview).

[41] Die Bezeichnung „invasive Arten“ (auch: *Neophyten*) umfasst Tier-, Pflanzen- und Pilzarten, die durch menschlichen Einfluss in heimische Lebensräume gelangen und mit ihrer Etablierung und Ausbreitung heimische Arten oder Ökosysteme beeinträchtigen. Dabei kann es sich um Pflanzen (*Neophyten*) oder Tiere (*Neozoen*) oder Pilze (*Neomyceten*) handeln, die den Zielen des Naturschutzes und der Biodiversität im Zielgebiet zuwiderlaufen.

Hitze

Gesamtstädtisch betrachtet wirken stadtnahe zusammenhängende Waldflächen, wie die Wälder im Westen und Süden der Stadt, kühlend (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz 2015). Doch auch über größeren Wiesen bzw. Äckern, wie im Süden und Norden Augsburgs, entsteht in der Nacht **Kaltluft,** welche entlang der Ventilationsbahnen (z.B. Wertach und Lech) strömt und so in das Stadtgebiet gelangen kann. Diese Gebiete sind planerisch als r**egionale Grünzüge** (auf der Hochterrasse im Süden und im Norden bei der Friedberger Au)**, landschaftliche Vorbehaltsgebiete** (z.B. Wertach und Auwald), **Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete** (z.B. Stadtwald) **und Naturparke** (z.B. Westliche Wälder) außerhalb und innerhalb der Stadtgrenzen gesichert.

Über die beiden Flüsse kann kalte Luft ins Innere Augsburgs transportiert werden, wobei sie selbst keine nennenswerte **Kühlwirkung** besitzen, da der Effekt der entstehenden Transpirationskälte bereits nach kurzer Entfernung vom Gewässer nicht mehr wesentlich ist. Daher sollen auch die begrünten Ventilationsbahnen erhalten werden (STEK 2020). Größere Baukörper, welche quer zur Strömungsrichtung stehen, könnten diese Bahnen im ungünstigsten Fall versperren (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz 2015).

Städtische Grün- und Wasserflächen wirken nicht nur mildernd auf den urbanen Wärmeinsel-Effekt, sie dienen auch der Abkühlung von Erholungssuchenden. Dabei ist die **Erreichbarkeit der vorhandenen Grünflächen** für die potenzielle Entlastung während Hitzeperioden essenziell. Denn inwieweit eine Person in der Lage ist, sich an größere Hitzeereignisse anzupassen, hängt nicht allein von ihrer Gesundheit und ihrem Alter ab, sondern auch davon, ob sie überhaupt in der Lage wäre, kühlende Grünflächen zu erreichen. Insbesondere mobilitätseingeschränkte Menschen wie bspw. Kinder unter 6 Jahren oder ältere Menschen sind auf nahe gelegene Orte mit einer kühlenden Wirkung, abgestimmt auf ihre spezifischen Bedürfnisse (Sitzbänke, Spielplätze, Trinkwasserspender etc.), angewiesen (Masterplan-Grün Leipzig 2030, 2020).

Unabhängig von ihrem absoluten Flächenanteil ist festzustellen, dass die einzelnen Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet relativ ungleichmäßig verteilt liegen und bei einzelnen Flächen hinsichtlich ihrer Qualität Aufwertungspotenzial besteht (STEK 2020).

Abb. 114: Straßenbäume sind in den Stadtvierteln Augsburgs immer wichtigere Schattenspender.

Dies bestätigt auch der **Siedlungs- und Freiraumentwicklungsmonitor** des IÖR (IÖR 2018): So liegt der Anteil unverdichteter **Grünflächen mit hoher ökosystemarer Funktion** je Einwohner (Stand 2016) bei lediglich 48 m²/ Einw. (Mittelwert der kreisfreien Städte Deutschlands ca. 133 m²/ Einw.). Gleiches gilt für den Anteil der von der Bevölkerung **erreichbaren Grünflächen**, welcher in Augsburg bei ca. 63 % (Stand 2013) und damit mehr als 15 % unterhalb des bundesdeutschen Durchschnittswertes liegt (IÖR 2018).

Der **Indikator „Erreichbarkeit“** ermittelt den Anteil der Einwohner sowohl in fußläufiger Entfernung (300 m) als auch in mittlerer Entfernung (700 m) zu Grün-und Gewässerflächen (≥1 ha und ≥ 10 ha). Der Durchschnittswert deutscher Großstädte liegt bei 74,3% (IÖR-Monitor 2018).

Innerhalb einzelner Quartiere Augsburgs besteht ein teils **großes Grünflächendefizit.** Nicht selten leben dort Menschen mit niedrigem Einkommen, geringerem sozialen Status oder ethnische Minderheiten; diese sind dann höheren Umwelt- und Klimabelastungen ausgesetzt (Grafe 2020).

Im STEK sowie in vielen Integrierten Stadtteilentwicklungskonzepten für einzelne Stadtteile der Stadt Augsburg werden diese Grünflächendefizite – insbesondere auch hinsichtlich ihrer städtebaulichen Qualität und Kontextualisierung (Einbettung) – adressiert und angegangen.[42]

Was durch die Corona-Pandemie sichtbar wurde, wird auch künftig mit zunehmender Häufigkeit, Dauer und Intensität von extremen Hitzeperioden fortgesetzt: Der **Nutzungsdruck auf das Stadtgrün steigt** in Abhängigkeit von dem Verhältnis der Anzahl der Personen zu erreichbaren Grün- bzw. Wasserflächen.

[42] Vgl. als ein Beispiel unter vielen das ISEK-Textilviertel/Herrenbach unter: https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/stadtplanung/stadtumbau-textilviertel-herrenbach/entwicklungskonzept.

Dadurch wird öffentliches Grün tendenziell intensiver genutzt, leider vermehrt auch direkt beschädigt (bis hin zum Vandalismus) und der **Pflegeaufwand** (z.B. häufigere Müllbeseitigung) tendenziell erhöht (Quelle: Interview). Beides verursacht langfristig einen Anstieg der Unterhaltungskosten. Im Extremfall und ohne Gegenmaßnahme sterben Bäume und andere Pflanzen.

Auch kleinflächig betrachtet wirkt die Stadtnatur positiv auf das **Wohlbefinden** der Anwohnerinnen und Passanten), sowohl außerhalb als auch innerhalb der Gebäude (z.B. durch Beschattung der Außenwände, Dachgrün). Im **Schatten** von Straßenbäumen bspw. sinkt die Temperatur um bis zu 9 °C (Böll 2018).

Eine Studie der TU München bestätigt, dass ein hypothetisches „Verschwinden" von Stadtgrün innerhalb unterschiedlicher Stadtstrukturtypen (Block- oder Zeilenbebauung, mittelalterlicher Stadtkern) negative stadtklimatische Auswirkungen haben und die Hitzebelastung von den Menschen erhöhen würde

Es zeigt sich, dass bereits die *vorhandene* Vegetation in den drei Stadtstrukturtypen (Referenzszenario B) gegenüber der hypothetischen (modellierten) Situation *ohne* Vegetation (Szenario A, kein Grün) eine Kühlleistung erbringt, die zwischen 2,7 % PET-Absenkung[43] (mittelalterlicher Stadtkern) und 15,1 % Absenkung (Zeilenbebauung) bringt.

Ähnliche Ergebnisse wurden im Übrigen in einer Blockrandbebauung in München gefunden (ZSK 2017). Es wurde einerseits der Entlastungsbeitrag der vorhandenen Vegetation auf das Stadtklima nach Stadtstrukturtypen differenziert quantifiziert und damit (indirekt) auch ein Maß für die **Verwundbarkeit des Stadtklimas durch die Verwundbarkeit des Stadtgrüns** beschrieben (Tab. 12).

Laut Studie können beachtliche *zusätzliche* Kühlleistungen durch mehr Stadtgrün in allen Stadtstrukturtypen erreicht werden, auch bereits bei einem mittleren Begrünungsgrad (Szenarien C1-C3). Dabei ist die Kühlwirkung im Stadtraum (Höhe von 1,4 m über Boden) durch mehr **großkronige Bäume** am größten, gefolgt von mehr **Fassadenbegrünung**. Der thermische Effekt von **Dachbegrünung** (C2, D2) ist im urbanisierten Straßenraum im Vergleich zu anderen Formen der Begrünung vergleichsweise am wenigsten

Tab. 12: Stadtgrün: Prozentuale Änderung der PET für verschiedene Stadtstrukturtypen. Angaben in Grad Celsius; PET[45]; Quelle: Duthweiler et al. 2017: 149.

Szenario	Relative Änderung in % im jeweiligen Siedlungstyp verglichen mit Szenario B		
	Blockbebauung	Zeilenbebauung	Mittelalterlicher Stadtkern
A = kein Grün	+4,3	+13,1	+2,7
B = aktuelle Begrünung (Referenzszenario)	**0,0**	**0,0**	**0,0**
C1 = Bäume, mittel	-10,3	-3,8	-10,4
C2 = Gründächer, mittel	0,0	-0,2	-0,1
C3 = grüne Fassaden, mittel	-5,1	-1,3	-7,3
D1 = Bäume, max.	-13,0	-18,1	-17,5
D2 = Gründächer, max.	-0,5	-0,2	-0,9
D3 = Grüne Fassaden, max.	-9,8	-2,0	-13,8

spürbar – je höher das Dach, desto schwächer ist die Kühlungsleistung für die Umgebung (Moderow et.al 2019). **Gründächer** weisen aber nichtsdestotrotz eine Vielzahl positiver Effekte auf und sind unter Klimawandelbedingungen daher sehr interessant: Sie können sich positiv auf das Innenraumklima auswirken und Kühlleistungsbedarfe verringern, sie mindern den Oberflächenabfluss und verbessern die Biodiversität.

[43] Die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) fasst die Wirkung der meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Wind, Feuchte und Strahlungstemperatur auf den Menschen im Außenraum in einem Wert – der „gefühlten Temperatur" – zusammen und lässt sich in Klassen von thermischem Empfinden untergliedern (18–23 °C Behaglichkeit, über 23 °C Wärmebelastung, über 41 °C extreme Wärmebelastung) (Höppe 1999).

Hinsichtlich des raumplanerischen Leitbildes „Stadt der kurzen Wege“ und durch die zunehmende Zahl älterer und zugleich hitzeanfälligerer Menschen (→ HF Gesundheit) sind **kleinräumige Verschattungs- und Begrünungssituationen** insbes. entlang der Wege von Bedeutung, welche diese Bevölkerungsgruppe relativ häufig nimmt (z.B. Wege zu Gesundheits- oder Senioreneinrichtungen, aber auch zu Geschäften und im Falle der Risikogruppe „Kinder“ zu Kindergärten und Schulen). Mit dem Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept wird die quantitative und qualitative Aufwertung von Grün und Freiflächen angegangen und mit der Fertigstellung und Umsetzung des Konzeptes ist auch eine bessere Vernetzung des urbanen Grüns geplant. Weiterhin ist beim AGNF die Erarbeitung eines „Baumkonzepts nördliche Innenstadt“ angelaufen.

Zu **weite Abstände zwischen der Bebauung** führen dazu, dass die Fußwege eine lange Zeit des Tages der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Wenn nun diese Wege und Straßen eine dunkle Oberfläche aufweisen, leidet das Straßenbegleitgrün zusätzlich unter der emittierten Wärmestrahlung „von unten“ (Quelle: Interview). Dies führte in den vergangenen Sommern bereits zu **großen Vitalitätseinbußen**, insbesondere an Straßenbäumen.

Mit dem **Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept** (GrüKo) wird zurzeit ein Instrument geschaffen, welches in Abstimmung mit der Bauflächenentwicklung den Erhalt und die Entwicklung von Grün- und Freiflächen ermöglicht. Darüber hinaus soll die Lückenschließung von Grünverbindungen bewirken, dass ein genetischer Austausch für Tier- und Pflanzenarten gewährleistet wird. Konzepte wie die Biodiversitätsstrategie und das Arten- und Biotopschutzprogramm u.a. wurden hier implementiert und mit Ziel- und Lösungsansätzen versehen (→ Biodiversität). Das GrüKo dient gemäß Beschluss des Stadtrates auch als Grundlage für die Neuaufstellung des Flächennutzungsplans mit integrierter Landschaftsplanung. Neben einer großen Anzahl an Konzepten braucht es konkrete, abgestimmte Planungen zur Stadtentwicklung (Quelle: Interview).

Die Stadt Augsburg setzt zum Erhalt einiger Straßenbäume den **Bestandsschutz im Flächennutzungsplan** fest und strebt eine **Ausweitung** durch u.a. Maßnahmen der **Entsiegelung** an (Stadt Augsburg 2019b).

Die Stadt arbeitet weiterhin im Rahmen des bundesweiten Projektes „Stadtgrün wertschätzen“ an dem **Einsatz angepasster Pflanzenarten** (Schönefeld 2019; Stadt Augsburg 2019c). Ein Schwerpunkt sind die sogenannten **Klimabäume** – d. h. Baumarten, welche mit den veränderten Klimabedingungen künftig besser zurechtkommen. Zu nennen sind etwa die nichteinheimische Zelkova (*Zelkova serrata*), bereits gepflanzt in der Oblatterwallstraße, und Ulmensorten (z.B. *Ulmus ´Lobel´*), welche gegen den Schlauchpilz *Ophiostoma novo-ulmi* resistent sowie relativ streusalz- und hitzeverträglich sind (z.B. in der Friedberger Straße), Blauglockenblumen und Hainbuchen (Schönefeld 2019; Winkler 2019). Grundsätzlich ist die Verwendung neuer Baumarten (z.B. im Übergangsbereich zur freien Landschaft) hinsichtlich der unbeabsichtigten Etablierung potentieller Neophyten kritisch zu begleiten.

Trockenheit

Bei Trockenheit leidet das Stadtgrün aufgrund des eingeschränkten Angebots pflanzenverfügbaren Wassers. Der Oberboden trocknet am schnellsten aus, gefolgt vom Wurzel- und Seitenbereich. Bei langanhaltender Trockenheit ist auch der Unterboden betroffen (Dickhaut/ Eschenbach 2019).

Die Straßenbäume sind meist im Wurzelbereich durch Bauwerke, Straßenkörper und Leitungen stark eingeschränkt. Dadurch sind sie gegenüber **Trockenperioden** empfindlicher als Wald- oder Parkbäume (→ HF Biodiversität). Ein ausreichend großer Wurzelraum ist daher sehr wichtig. Bei Neupflanzungen werden zwar Pflanzgruben („Baumscheiben“) entsprechend DIN 18916 angestrebt (GALK Berlin 2011), aber aufgrund der dichten Bebauung können oftmals DIN-Vorgaben nicht eingehalten werden (Quelle: Interview). Dadurch erhöht sich der Stress gegenüber Extremwetterereignissen und die Anfälligkeit für Baumschäden steigt.

Aufgrund des eingeschränkten Wurzelraumes ist selbst für größere, tiefwurzelnde Straßenbäume eine künstliche **Bewässerung** notwendig (Schatz und Krog 2015). Besonders gefährdet sind Extremstandorte mit hoher Versiegelung (z.B. Straßen, Plätze) (Roloff 2013). Trockenstress führt zu den eingangs beschriebenen **Folgewirkungen**, wodurch der Bedarf an Maßnahmen der **Verkehrssicherungspflicht** weiter ansteigen wird.

Zukünftig ist mit häufigeren Trockenperioden in Augsburg zu rechnen (→ Kapitel 4). Um ihre klimaregulierende Wirkung und ihre weiteren Funktionen erbringen zu können, muss die Baumartenzusammensetzung der kommunalen Grünflächen an den Klimawandel angepasst werden; **Trockenheitsresistenz** wird dabei ein Leitkriterium. Die oben beschriebenen Klimabäume müssen also nicht nur an erhöhte Mitteltemperaturen und veränderte phänologische Jahreszeiten angepasst sein, sondern zudem mit häufigeren Trockenperioden zurechtkommen.

Abb. 115: Botanischer Garten mit Siebentischwald im Hintergrund. Eine erfolgreiche Anpassungsmaßnahme mit Blick auf die Bewässerung eines Abschnitts wurde im Jahr 2020 vom Botanischen Garten umgesetzt: Mit neuen versenkbaren Regnern werden Verdunstung und Abdrift herabgesetzt und die benötigte Wassermenge um bis zu 40 Prozent reduziert.

Insbesondere in Altbaubeständen ist eine Erhöhung des Grünvolumens durch Baumpflanzungen aus Platzgründen oft nicht möglich. Intensive **Fassadenbegrünung** kann dabei helfen, annähernd vergleichbare Kühlwirkungen zu erhalten. In Augsburg zeigt etwa die Fassadenbegrünung an der Alten Fuggerei, dass diese Maßnahme auch ins historische Stadtbild passen kann. Aktuell werden derartige Begrünungsmaßnahmen v.a. im Rahmen von Neubauten und weniger im bestehenden Gebäudebestand durchgeführt.

Die Augsburger Straßenbäume sind Gegenstand intensiver Pflege: Laut Sachstandbericht des Umweltausschusses wurde in den vergangenen Jahren ein **Anstieg der Baumpflegemaßnahmen** verzeichnet, der auch von einem **Anstieg an Baumfällungen** begleitet war (AGNF 2019). Das konkrete Ausmaß lässt sich zahlenmäßig erfassen, da alle aktuellen Baumpflegemaßnahmen im Baumkataster, das vom Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen geführt wird, erfasst werden. Das Baumkataster erfasst die Bäume auf öffentlichen Flächen außerhalb des Stadtwalds (Straßen, Grünanlagen, Friedhöfe, Liegenschaften, Schulen/ Kitas).

Mit zunehmender Trockenheit wird auch der Bedarf an **Bewässerung** ansteigen. In der Vergangenheit mussten insbesondere Jungbäume vermehrt gegossen werden (Quelle: Interview). Aus diesem Grund wurde in Augsburg das Gießregime seit Jahren verbessert und den Anforderungen angepasst, wobei insbes. das Gießen von Jungbäumen verlängert und verstärkt wurde. Auch die technische Ausstattung der Grünflächenpflege wurde durch verbesserte Gießtechnik angepasst - allein in den letzten 2 Jahren wurden über 170.000 € in die Anschaffung von Gießfahrzeugen investiert (Quelle: Interview).

Doch gerade auch Altbäume benötigten oft mehr Wasser, als im Boden vorhanden ist. Die personellen und technischen Ressourcen sind nicht ausreichend, um flächendeckend zu bewässern. Aus fachlicher Sicht ist es zudem kaum möglich, Altbäume so zu gießen, dass das Gießwasser an den oft weitverzweigten Wurzeln ankommt. Die Folge sind Einbußen der Vitalität der Altbäume, wodurch diese ebenfalls anfälliger für Krankheiten, Starkwinde sowie Schneelast werden. Bei Jungbäumen werden neben umfangreichen Gießtätigkeiten zum Teil auch **Bewässerungssäcke** eingesetzt.

Abb. 116: Sturmschäden am Stadtgrün. Schäden am Westfriedhof durch Sturmtief „Sabine“ (oben); Unwetter-/ Sturmschaden nach Sommergewittersturm 2013 auf dem Fußweg der Bürgermeister-Ackermann-Straße (unten links); Sturmschäden durch Tief „Eberhard“ am Königsplatz: Baum knickt auf Straßenbahnlinie ab. Quelle: Stadt Augsburg.

In anderen Städten wie Leipzig oder Berlin ist zudem eine Unterstützung der **Baumbewässerung durch die Bürgerschaft** bereits etabliert (CityLAB Berlin o. J.; Rosenthal 2018). Dabei ist zu beachten, dass der Wasserbedarf öffentlicher Grünflächen durch visuelle Abschätzung der Vitalität bestimmt (LWG 2011) wird. Laien können die Verdunstungsschutzfunktionen einiger Pflanzen, aber auch das verbreitete Baumsterben einiger Arten (z.B. Ulmen und Eschen) missverstehen (Jahn 2019).

Unsachgemäßes Gießen kann zu einer Erhöhung des Wassermangels führen, indem bspw. Trink- statt Brauchwasser verwendet wird, das Gießwasser mehr verdunstet als versickert oder der Wasserbedarf an sich falsch eingeschätzt wird. Werden Bäume zu oft gegossen, gewöhnen sie sich an den oberflächlichen Feuchtigkeitsgehalt und bilden mitunter keine Wurzeln in der Tiefe aus, wodurch ihre Standfestigkeit verringert ist (Roloff 2013).

In heißen Sommern, in denen die Temperatur in der Nähe von Asphaltflächen auf deutlich über 40 °C steigt, kann allein die Hitze bereits zum **Absterben von Kronenteilen** führen. Hellere Straßenbelege und entsiegelte Flächen wären dann noch vor zusätzlichen Bewässerungsmaßnahmen nötig.

Mittel- bis langfristig könnte eine besondere Betroffenheit durch zusätzliche Wasserentnahme im Rahmen der Bewässerung des Stadtgrüns während ausgeprägter Trockenperioden entstehen. Eine bilanzielle Bewertung der erforderlichen Wasserentnahme ist – auch mit Blick auf den im Jahr 2019 erworbenen UNESCO-Welterbe-Titel – dringend erforderlich.

Trockenheit betrifft nicht nur die Gehölze im öffentlichen Grün, auch die **Rasen- und Wiesenbestände** sind von langen Trockenperioden mehr oder weniger stark betroffen. Besonders empfindlich sind kurzrasige Bestände aus RSM-Ansaatmischungen, sie brennen bei Trockenheit/ Hitze regelrecht aus.

Die Strategie der Stadt Augsburg, in Teilbereichen öffentlicher Grünanlagen lokal vorkommende **Lebensraumtypen mit heimischen Arten** zu etablieren (z.B. Magerwiesen im Westpark, kurzrasig und Wiesenbestände, Trockenrasen auf Ausgleichsflächen, Aufwertung von Flächen mit lokal geerntetem Saatgut) ist mit Blick auf die Anpassungsfähigkeit positiv zu bewerten: sie sorgt durch die Verwendung von an Trockenheit angepassten Arten für eine deutlich verminderte Verwundbarkeit dieser Rasen- und Wiesenbestände.

Starkregen

Durch Starkregenereignisse können flussnahe oder versiegelte Bereiche überflutet werden (→ HF Wasser). Die **Stadtvegetation** kann durch Überflutung beschädigt werden (Feuerwehr Augsburg 2016). Geschwächte Bäume verlieren durch Starkregen, Hagel, Gewitter und Starkwinde Blätter und Äste, was zu einer **Verstopfung der Kanalisation** beitragen kann (→ HF Wasser).

Zahlreiche Straßenbäume haben zu kleine Baumscheiben (oberirdisch in m²) und zu wenig Wurzelraum (unterirdisch in m³). Kann das Wasser nicht zeitnah abfließen, können die entstehenden Überflutungen v. a. die im Wurzelraum stark eingeengten **Straßenbäume schwächen**.

Besonders in den Randgebieten Augsburgs kann Starkregen **Boden abschwemmen** und dadurch ebenfalls das Abwassersystem behindern. Die **Überlastung der Kanalisation** wird im Stadtentwicklungskonzept Augsburgs (STEK) bereits gegenwärtig als Risiko betrachtet.

Eine große Menge entsiegelter und begrünter Flächen unterstützt hingegen die Resilienz gegenüber Starkregenereignissen und erhöht die Anpassungsfähigkeit. Die Stadt plant daher für den Umgang mit privaten Freiflächen eine **Freiflächengestaltungssatzung**. Eine derartige Satzung existiert aktuell bspw. in München (LH München 2011). Diese neue Satzung soll eine Entsiegelung und Begrünung der Vorgärten und Innenhöfe begünstigen, wodurch die Anpassungskapazität gesteigert und Klimafolgen abgemildert werden dürften.

Sturm, Schneelast, Hagel, Blitzschlag

Hagelschäden, Frost und Schneelast können das Stadtgrün direkt beschädigen (Abb. 116, vorherige Seite). Insbesondere Stadtbäume sind davon betroffen. In Augsburg müssen die Auswirkungen dieser Extremwetterereignisse vor allem bei der Auswahl potenzieller **Klimabäume** beachtet werden. Denn auch künftig muss trotz globaler Erwärmung mit Kälteereignissen und Schneefall gerechnet werden. Die Sortenauswahl wird dadurch einschränkt, dass Klimabäume nicht nur tolerant gegenüber Trockenheiten und Hitze sein müssen, sondern ebenfalls frosthart und relativ bruchfest. (Bsp. für Ausfälle aufgrund von Frost: LWG 2018; Frosthärte als Anforderung für Klimabäume vgl. Roloff 2019).

Die **Standfestigkeit gegenüber Windeinwirkungen** muss bei der Auswahl von Arten für ihren Einsatz als Straßenbaum beachtet werden (REGKLAM 2013). Unabhängig davon ist die Standfestigkeit vieler Straßenbäume in Augsburg durch relativ **geringe Standräume** (knapp bemessene Standraum) gerade in dicht bebauten Stadtteilen eingeschränkt; die Anfälligkeit für klimagetriebene Stressfaktoren (s.o.) dadurch relativ erhöht. Wechseln sich diese Extremwetterereignisse mit starker Trockenheit und Hitze ab, können Baumrinden einreißen und **Schädlinge** leichter eintreten (Bühling 2019).

5.9.2. Priorisierte Verwundbarkeiten

Mit Blick auf die Klimafolgen:

- ist das städtische Grün besonders stark von **Trockenperioden und Extremwetterereignissen** betroffen.
- Der Betroffenheitsgrad hängt einerseits von der **Beschaffenheit** des jeweiligen Stadtgrüns und andererseits von der **Grünpflege** (Art und Ausmaß) ab. Doch auch der **steigende Nutzungsdruck** durch häufigere Hitzeperioden (oder Pandemien) beeinflusst die Vitalität und die Ansprüche an die Grünflächenbeschaffenheit und die Pflege. Die Beschaffenheit des Stadtgrüns ergibt sich dabei aus der jeweiligen Pflanzenart/-gemeinschaft sowie den Standorteigenschaften. In einem Wald wie dem Augsburger Stadtwald herrschen andere standörtliche Bedingungen als in Parkanlagen oder an Alleen.
- Je **weniger naturnah** der Raum beschaffen ist (Einschränkungen, Verdichtungen, Versiegelung), desto mehr steigt in aller Regel die Verwundbarkeit und damit auch die Schäden und **Folgeschäden** (Schädlinge, Windbruch) der Pflanzen.

Unabhängig der Klimawandelfolgen verschärft der **zunehmende Flächen- bzw. Raumbedarf** für verschiedenste Nutzungen tendenziell den Druck auf das städtische Grün.

5.10. Biodiversität

5.10.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Der Begriff der Biodiversität bezieht sich auf die Vielfalt der **Arten**, der **Lebensräume** und der **genetischen** Vielfalt. Alle drei Bereiche sind eng miteinander verknüpft und beeinflussen sich gegenseitig: bestimmte Arten sind auf bestimmte Lebensräume und auf das Vorhandensein ganz bestimmter anderer Arten angewiesen. Der Lebensraum wiederum hängt von Umweltbedingungen wie Boden-, Klima- und Wasserverhältnissen ab. Verändert sich der Lebensraum, können sich Tiere und Pflanzen bis zu einem gewissen (artspezifischen) Grad auch genetisch an die neuen Bedingungen anpassen. Allerdings besitzen nur wenige Arten die notwendigen Genvarianten sich an die Bedingungen im Jahr 2050 anzupassen (MPG 2019).

Biodiversität und menschlicher Einfluss

Durch menschliches Eingreifen in den Naturhaushalt, etwa durch Rodung von Wäldern, Ausweitung und Intensivierung der Landwirtschaft, Erweiterung von Siedlungs- und Verkehrsflächen oder Stoffeinträge, geht die Biodiversität weltweit und in Deutschland stark zurück.

Von Natur aus beeinflusst das Klima die geographische Verbreitung der Tier- und Pflanzenarten auf der Erde. Der Klimawandel und die damit einhergehenden Veränderungen in den Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen sowie in der Häufigkeit von Extremereignissen hat direkten Einfluss auf Jahresrhythmus, Verhalten, Fortpflanzung, Konkurrenzfähigkeit und Nahrungsbeziehungen von Arten (Abb. 117).

Den Prognosen zufolge werden sich für viele der in Deutschland vorkommenden Arten die klimatisch geeigneten Lebensräume nach Norden und Osten, in höhere Lagen der Gebirge oder entlang von Feuchtegradienten verschieben. Arten können durch den Klimawandel in ihrer Existenz bedroht sein, wenn ihr potenzielles Verbreitungsgebiet schrumpft oder ganz verloren geht, beziehungsweise wenn die Art neue Lebensräume wegen einer geringen Ausbreitungsfähigkeit, natürlicher oder anthropogener Barrieren oder veränderter Konkurrenz- und Nahrungsbeziehungen nicht besiedeln kann (Streitberger et al. 2017).

In Deutschland könnten schätzungsweise **30 % der heimischen Tier- und Pflanzenarten** durch Klimaänderungen insbes. aufgrund ihrer begrenzten Anpassungsfähigkeit unwiederbringlich **aussterben** (StMUV Bayern 2016, Umweltbundesamt 2014, WWF 2014).

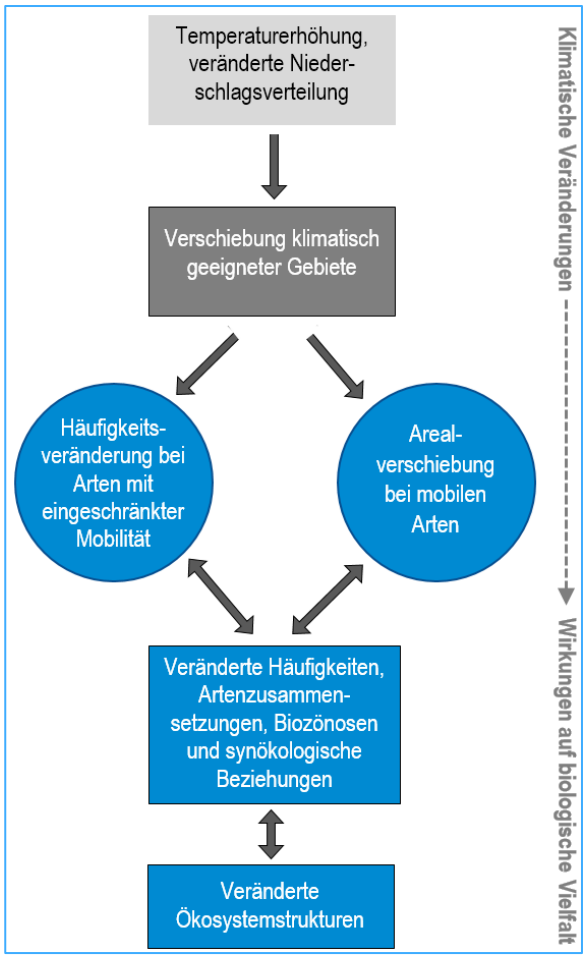
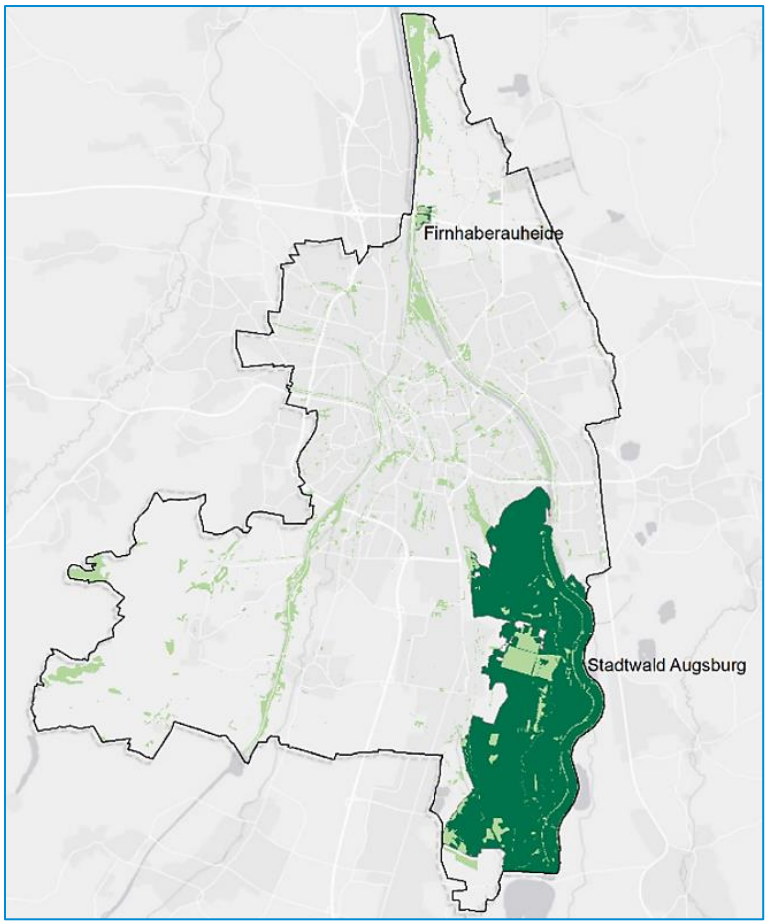


Abb. 117: Wirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt am Beispiel von Areal- und Häufigkeitsveränderung. Schematische Darstellung.
Quelle: Schliep et al. 2017: 29.

Diese globale und deutschlandweite Problematik findet sich auch in Augsburg: In Augsburg entstand nach Ende der Eiszeit eine einzigartige Artenzusammensetzung (Lebensraum Lechtal 2019). Die Flusslandschaft des Lechtals stellt eine Biotopbrücke dar, über die kontinentale, submediterrane und subalpine Arten einwandern und sich etablieren konnten. Durch die Regulierung des Flusses in der jüngeren Vergangenheit wurde diese Funktion stark eingeschränkt.

Die Folgen des Klimawandels verschärfen nun die Situation zusätzlich. Insbesondere stark spezialisierte oder alpine Arten (wie z.B. das Alpen-Fettkraut (*Pinguicula alpina*)) sind durch die Veränderungen gefährdet. Biotopverbundstrukturen und Wanderkorridore zum Schutz einheimischen Arten gewinnen aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen einhergehend mit einer anderen Konkurrenzsituation zunehmend an Bedeutung.



Karte 12: Übersicht über Naturschutzgebiete (dunkelgrün) und Biotope (hellgrün) im Stadtgebiet Augsburg. Grafik: Eigene Darstellung, Datenquelle: ©Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Eine Differenzierung nach gebietsfremden und einheimischen Arten ist angesichts der Schadensrisiken einiger Arten ggf. nicht mehr ausreichend. Einige gebietsfremde Arten stellen für die heimische Biodiversität eine Bedrohung dar. Für Augsburg gilt dies neben den weitverbreiteten invasiven Arten wie dem japanische Staudenknöterich (*Reynoutria japonica*) oder dem Riesen-Bärenklau (*Heracleum giganteum*) insbesondere für die Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*), die sich u. a. in den naturschutzfachlich wertvollen Lechheiden ausbreitet (Quelle: Interview).

Meldungen über den Rückgang der Biodiversität haben in jüngster Zeit **Besorgnis** ausgelöst. Das erfolgreiche **Volksbegehren Artenvielfalt** „Rettet die Bienen!“ – vom Bayerischen Landtag am 17.07.2019 angenommen – hat gezeigt, wie wichtig der Bevölkerung in Bayern das Thema Artenschutz ist.[44]

Die Vielfalt von Arten und genetischer Ausstattung hängt wesentlich von den klimatischen und sonstigen Umweltbedingungen ab.

Landläufig herrscht noch immer die Einschätzung vor, dass die Biodiversität *per se* in Städten geringer sei als im Umland. Oft ist jedoch tatsächlich das Gegenteil der Fall (Werner et al. 2020), und gerade Augsburg ist ein Beispiel dafür.

Aufgrund der zahlreichen unterschiedlichen Standortbedingungen, die der Wildfluss Lech und (geringer) auch die Wertach entstehen ließen, besitzt Augsburg eine einzigartige evolutionär gewachsene **biologische Vielfalt**. In den wertvollen Biotopflächen der Stadt sind sowohl kontinentale, subalpine und submediterrane Floren-und Faunenelemente unmittelbar nebeneinander anzutreffen. Diese einzigartigen Lebensräume gilt es zu schützen (Augsburger Biodiversitätsstrategie 2009).

Eine wichtige Rolle für die biologische Vielfalt in Augsburg spielen die Wälder, die 24 % der Stadtfläche ausmachen (→ HF Wald und Forstwirtschaft). Aus Naturschutzsicht ist dabei insbesondere das **Naturschutzgebiet Stadtwald Augsburg** hervorzuheben, welches die südliche Lechaue umfasst (Karte 12).

[44] Eine politikwissenschaftliche Analyse des Abstimmungsverhaltens beim Volksbegehren zeigt, dass es sich bei diesem „grünen“ Thema um ein breites gesellschaftliches Anliegen handelt. Das Volksbegehren wurde nicht etwa nur von der Wählerschaft einer Partei (z.B. Bündnis90/ Die Grünen), sondern von einem breiten Parteienspektrum getragen (Nieder 2019).

Abb. 118: Einige besonders geschützte (FFH-)Arten Augsburgs. Von links: Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling, Frauenschuh, Schmale Windelschnecke, Groppe.

Die **Fluss- und Waldbiotope** Augsburgs sind nicht nur von lokaler Bedeutung; sie besitzen größtenteils eine landesweite und überregionale Bedeutung. „Besondere Biotope" innerhalb der Wälder bilden die Lichten Kiefernwälder, sowie Grauerlenwälder (Natura 2000 Lebensraumtyp – Erlen- Eschen und Weichholzauenwälder), welche ebenfalls Biotope mit regionaler und lokaler Bedeutung enthalten (Augsburger Biodiversitätsstrategie 2009).

Die Augsburger Lechauen sind u.a. die Heimat diverser Natura2000 FFH-Arten: Biber (*Castor fiber*), Groppe (*Cottus gobio*), Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*), Sumpf- Siegwurz (*Gladiolus palustris*), Huchen (*Hucho hucho*), dunklem Wiesenknopf-Ameisenbläuling (*Phengaris nausithous*) (vgl. auch Abb. 118). Grüner Fluß- und Keiljungfer (*Ophiogomphus cecilia*) oder der Schmalen Windelschnecke (*Vertigo angustior*) (LfU 2020).

Die kartierten Biotopflächen[45] konzentrieren sich im Bereich der großen Flüsse Lech (insbesondere Stadtwald Augsburg) und Wertach, sind aber über das gesamte Stadtgebiet verteilt.

Die Lebensraumtypen umfassen Biotope wie die Flussschotterheiden, Mäh- und Streuobstwiesen bis hin zu Ackerfluren und innerstädtischen Grünanlagen. Weiterhin finden sich wassergeprägte Biotope wie die Flüsse Lech und Wertach, aber auch Quellen und Quellfluren. Gehölzbetonte Lebensräume sind neben den Wäldern auch Gebüsche, Parkanlagen und Alleen (Augsburger Biodiversitätsstrategie 2009).

Ein weiteres Naturschutzgebiet, die **Firnhaberauheide**, liegt im Norden der Stadt am Lech und umfasst eine Fläche von rund 15 Hektar. Sie entstand durch Gebirgsschotter der Alpen, welcher vom Lech transportiert und durch Hochwasserereignisse terrassenförmig abgelagert wurde.

Exkurs 13: Biodiversität an Lech und Wertach

Die hohe Biodiversität resultiert aus den zahlreichen unterschiedlichen Standortbedingungen, die der Wildfluss Lech und (in geringerem Umfang) auch die Wertach im Rahmen der Umlagerung immer wieder entstehen haben lassen. Hierbei ist auch die Verlagerung des Flussbetts nach Osten zu nennen. Auf den ehemaligen Kiesbänken entwickelten sich Lichte Kiefernwälder, die aufgrund anthropogener Einflüsse (z.B. Beweidung, Einschlag von Holz etc.) stark aufgelichtet bzw. später waldfrei wurden. Diese Flächen waren die großen Lechheiden (trockene, magere Standorte mit hoher Artenvielfalt).

Näher am Fluss waren Kiesbänke (zahllose Vogelarten, extrem spezialisierte Insekten), Kalkflachmoore, Weiden- und Tamariskengebüsche sowie Grauerlenauwälder mit einer hohen Artenvielfalt zu finden. Die anthropogenen Einflüsse haben spätestens seit der Regulierung des Lech zu einer erheblichen Minderung der Biodiversität beigetragen.

Der Landverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen und das immer stärkere „an den Fluss heranrücken" haben z.B. bei den Lechheiden dazu geführt, dass heute nur noch ca. 1% der ursprünglich vorhandenen Flächen (streng geschützt) vorhanden sind.

Vor der Verbauung des Lechs erreichten die Kiesbänke südlich von Augsburg bis zu vier Kilometer Breite und boten Arten wie dem Flussregenpfeifer (*Charadrius dubius*) oder dem Kiesbank-Grashüpfer (*Chorthippus pullus*) wichtigen Lebensraum (lpv-augsburg.de 2020). Die Flussbegradigungen und Staustufen veränderten die Landschaften nachhaltig. Arten wie der Kiesbank-Grashüpfer überstanden diese Veränderung nicht. Andere, wie der Flussregenpfeifer, konnten in künstliche Kiesstandorte ausweichen.

[45] *Biotop*: räumlich begrenzter Lebensraum mit einer angepassten Lebensgemeinschaft. Es wird durch spezielle Umweltfaktoren geprägt und hebt sich dadurch von benachbarten Lebensräumen ab.

Seit 1994 ist sie als Naturschutzgebiet ausgewiesen und bietet einen einzigartigen Lebensraum für viele Arten, insbesondere für dornige Strauchgruppen, wie beispielsweise den *Sanddorn* (*Hippophae rhamnoides*). Da die einstigen Lechheiden[46] oft nur noch verinselt auftreten, hat die Firnhaberauheide einen besonderen Stellenwert als Naturschutzgebiet und Biotop (Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V.).

Insgesamt wird deutlich: Artenvielfalt wird gegenwärtig nicht nur durch den *direkten* Eingriff des Menschen zerstört, sondern es erfolgt mit dem Klimawandel zunehmend auch eine *indirekte* Beeinträchtigung. Im Zeitalter des ➤ Anthropozäns erstreckt sich der menschliche Einfluss nunmehr auch auf die klimatischen Rahmenbedingungen. In ganz Bayern sind rund 50% der Tierarten, 43 % der Farn-, Moos- und Pflanzenarten sowie 40 % der Pilzarten in ihrem Bestand gefährdet (Augsburger Biodiversitätsstrategie 2009). Das genaue Ausmaß des Artenverlustes lässt sich zumeist jedoch nur erahnen, da ein spezielles Monitoring oft gar nicht betrieben wird (Quelle: Interview).

Für Augsburg besitzen die Flüsse eine besondere und identitätsstiftende Bedeutung. Die Flussverbauung wirkt sich jedoch massiv auf die vorhandenen Grundwasserstände und die Dynamik flussbegleitender Lebensräume aus. Abschließend sei auf zwei weitere Aspekte vertiefend eingegangen: die Problematik der Stoffeinträge, die als problemverstärkende Randbedingung wirkt, sowie die Umsetzung der Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen, das als Anpassungskapazität Erwähnung findet.

Stoffeinträge in Natur und Landschaft

Die Zunahme von **anthropogenen Stoffeinträgen in Natur und Landschaft** kann als Randbedingung identifiziert werden, die Biodiversität in Stadt und Region gefährdet. Im Zuge des Klimawandels können sich die negativen **Auswirkungen dieser Einträge auf die Biodiversität** noch erhöhen. So führen Trockenperioden zu Stickstoffüberschüssen, potenziellen Auswaschungen und Bodenversauerung (Weis 2004). Starkregenereignisse führen direkt zu Bodenerosion und Düngemittel- bzw. Pestizideintrag in die Landschaft (→ HF Landwirtschaft).

Landwirtschaftliche Stoffeinträge können zu neuen Pflanzengesellschaften führen, was sich negativ auf den **Insektenbestand** auswirkt.

In Augsburg wurde ein massiver **Rückgang an Vögeln** wie dem Rebhuhn *(Perdix perdix)*, dem Kiebitz *(Vanellus vanellus)* und der Feldlerche *(Alauda arvensis)* beobachtet.

Ihnen fehlt die eiweißreiche Nahrung in Form von Insekten. Zusätzlich sind diese Vogelarten durch den **Verlust von Brutplätzen und Lebensraum** betroffen. Auch wurde ein massiver **Rückgang an Amphibien** in Stadt und Landkreis beobachtet (Quelle: Interview).

In den Gewässern ist die **Eutrophierung** ein weiterer Faktor, welcher in Kombination mit den hohen Temperaturen die Algenblüte begünstigt. Die Algenbedeckung kann zum Absterben von Pflanzen führen, da diese aufgrund des fehlenden Sonnenlichtes keine Photosynthese mehr betreiben können. Wenn Algen absinken, werden sie unter hohem Sauerstoffverbrauch von Bakterien abgebaut und können so zu einem Artensterben führen. Einige Algenarten können durch Freisetzung von Giftstoffen die Gesundheit von Menschen und Tieren gefährden (Umweltbundesamt 2010; → HF Gesundheit). In Augsburg waren die Algen der letzten Zeit zwar nicht giftig, schränkten jedoch den Naherholungswert ein. Während es im Stadtgebiet Entwarnung gab, wurden im Umland jedoch giftige *Blaualgen (Cyanobakterien)* gefunden (Augsburger Allgemeine 2019i).

Besonderes Naturschutzengagement in Augsburg

Experten attestieren dem Augsburger Naturschutz (hauptamtlich Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V. mit Umweltstation und Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen mit Unterer Naturschutzbehörde) ein hohes fachliches Niveau und eine gute Vernetzung mit dem ehrenamtlichen Naturschutz (Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben e.V., BUND, LBV, DAV, NANU! e.V. u.a.) (Werner et al. 2020).

Ein aktuelles Beispiel dafür ist das **Projekt „Insekten.Vielfalt.Augsburg“,** das vom Landschaftspflegeverband durchgeführt und vom Bayerischen Umweltministerium (StMUV) gefördert wird. Ziele sind die Umsetzung konkreter Maßnahmen zur Erhöhung der Insektenvielfalt im innerstädtischen Bereich, das Finden neuer Verbündeter, die dieses Ziel auf eigenen Flächen unterstützen, das Anbieten von Umweltbildungsveranstaltungen und Angebote für Schulungen und Beratungen für Grünflächenmanager.

[46] Zu den Lech(tal)heiden im Stadtgebiet Augsburg mit landesweiter Bedeutung zählen die Schießplatzheide, die Firnhaberauheide im Naturschutzgebiet „Stadtwald Augsburg“, die Königsbrunner Heide, die Heidereste im LSG „Lechausen Nord“ und die Haunstetter Flugplatzheide.

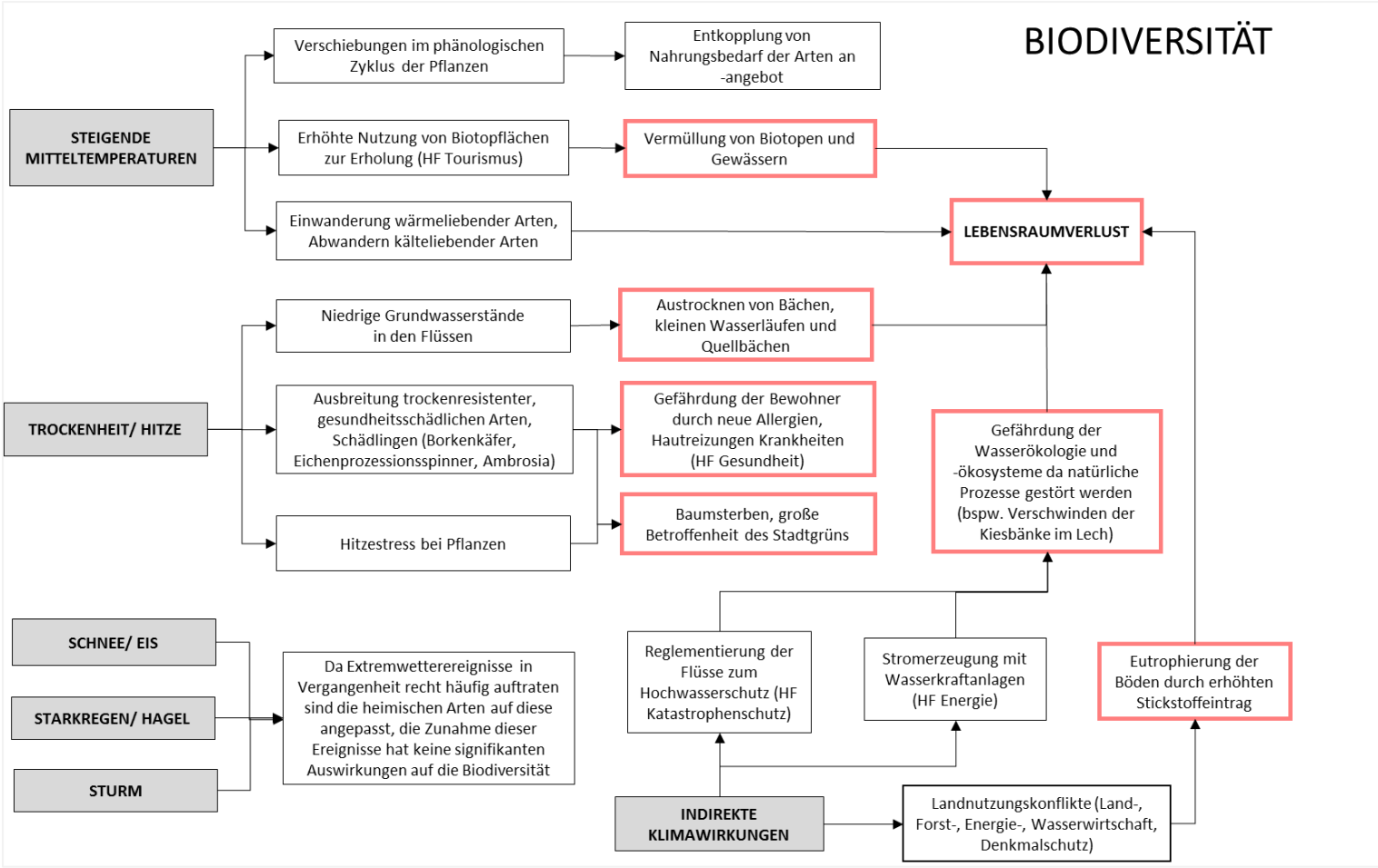


Abb. 119: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Biodiversität. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen) sowie Verwundbarkeiten (rote Kästen).

Die **Augsburger Biodiversitätsstrategie** von 2009 nutzt den Landschaftsplan als Planungsgrundlage und hat zwei wesentliche Ziele: (1.) gilt es, die Tier- und Pflanzenarten einschließlich ihrer Lebensräume zu erhalten, zu sichern und zu entwickeln; (2.) soll die Bevölkerung durch vielseitige Umweltbildungsangebote über die einzigartige Natur Augsburgs aufgeklärt werden (Augsburger Biodiversitätsstrategie 2009). Die Tatsache, dass das neue **Bayerische Artenschutzzentrum** im Juli 2020 in Augsburg eröffnet wurde – in direkter räumlicher Nähe zum Landesamt für Umwelt gelegen – kann dem Naturschutz in Stadt und Region einen weiteren Schub geben.

5.10.2. Verwundbarkeitsanalyse

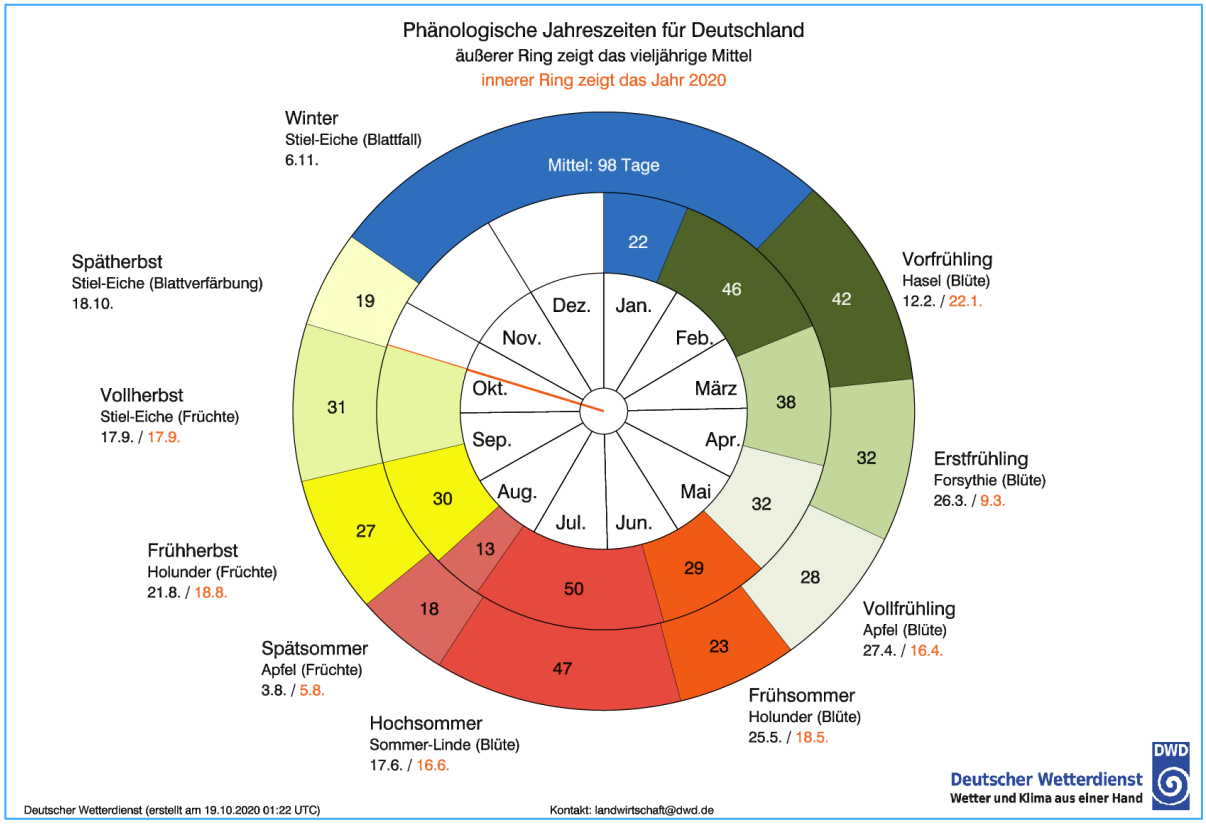
Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und Verwundbarkeiten im Handlungsfeld Stadtgrün detailliert untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 119, vorherige Seite) einen schematischen Gesamtüberblick. Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse erfolgt nun entlang der Klimasignale.

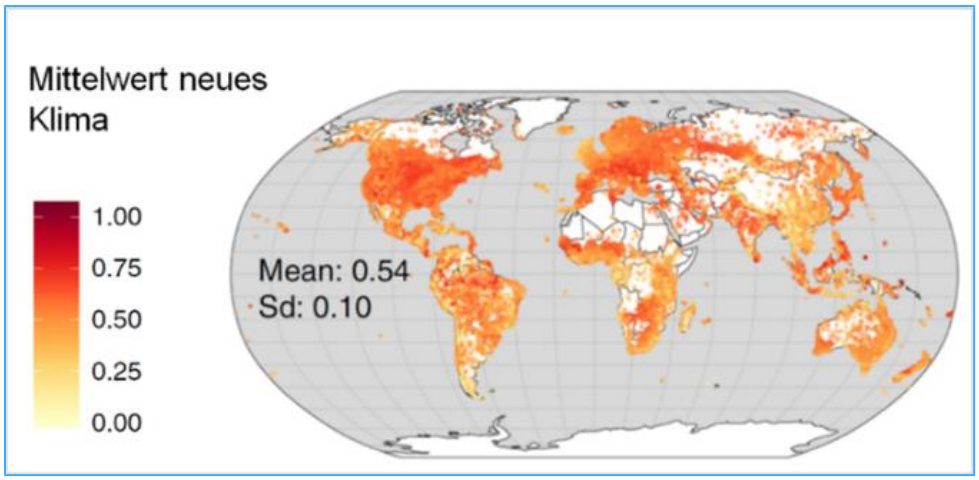
Steigende Mitteltemperaturen

Seit mehreren Jahrzehnten ist eine **Verlängerung der Vegetationsperiode** infolge des Anstiegs der Mitteltemperaturen zu beobachten (Umweltbundesamt 2019) (Abb. 120). Im Zuge des fortschreitenden Klimawandels wird sich dieser gemessene Trend aller Voraussicht nach in Zukunft deutlich verstärken.

Zunächst können leichte klimatische (auch phänologische) Änderungen durch das **artspezifische Anpassungsvermögen** (z.B. Lernfähigkeit) der einheimischen Individuen und Populationen abgepuffert werden. Je stärker das Klimasignal wird, umso größer wird der Stress für die Populationen, wodurch deren Fitness (Anpassungsfähigkeit) sinkt. Das Ökosystem reagiert mit einer neuen Anordnung und Verteilung der heimischen Arten. Erreicht das Klimasignal einen gewissen – regional durchaus unterschiedlichen – Schwellwert, wandern die an den stärksten beeinträchtigten Populationen ab oder sie sterben aus. Dadurch erhöht sich einerseits der Stress auf von ihnen abhängige Arten und andererseits öffnen sich neue ökologische Nischen auch für bislang gebietsfremde Arten (Wellstein 2013).

Abb. 120: Verschiebung der Phänologischen Jahreszeiten in den Zeiträumen von 1961-1990 und 1991-2017. Außen: langjähriges Mittel, innen: Jahr 2020. Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD) 2020.





Karte 13: Anteil von Naturschutzgebieten mit neuen Klimazonen weltweit für das Jahr 2070 unter einem RCP8.5-Szenario. Quelle: Hoffmann et al. 2019.

Grundsätzlich sind Ökosysteme mit höherer Biodiversität resilienter im Umgang mit klimatischen Stresssituationen, da die Anordnungs- und Verteilungsmöglichkeiten innerhalb des Ökosystems größer sind. Aber diese Relation muss nach Ökosystemen differenziert betrachtet werden und kann in Einzelfällen auch nicht zutreffen (De Boeck et al. 2017).

Eine Arten-Verschiebung aufgrund sich ändernder Umwelt- oder Klimabedingungen findet schon immer statt. Der Unterschied zur heutigen Problematik des Klimawandels liegt in der Geschwindigkeit. So zählen zu den **„Verlierern des Klimawandels“** vor allem **hoch spezialisierte Arten**, welche oftmals bereits unter der Flächennutzung des Menschen (Lebensraumzerstörung, -zerschneidung) massiv leiden.[47] Dazu können künftig bei voranschreitendem Klimawandel z.B. **wassergebundene Arten** zählen, die an Fließgewässerbedingungen und kiesige Gewässersubstrate angepasst sind. Sind aufgrund der Änderung der phänologischen Jahreszeiten bspw. Nahrungsquellen an einem Ort nicht verfügbar, können Arten ebenfalls verdrängt werden **(zeitliche Entkopplung**). Dies geschah bspw. in den Niederlanden, wo die Populationen des Trauerschnäppers (*Ficedula hypoleuca*) deswegen zurückging.

Generalisten und jene, die mit einer geringen Wasserverfügbarkeit zurechtkommen (z.B. Trocken- und Magerrasen-Arten) profitieren ggf. durch veränderte Konkurrenzbedingungen von den Folgen des Klimawandels (Geist 2016, Feldhaar 2016).

Die steigenden Mitteltemperaturen führen dazu, dass wärmeliebende Arten bessere Bedingungen gegenüber kälteliebenden Arten vorfinden. Die Wintertemperaturen ändern sich in unseren Breiten überproportional stark.

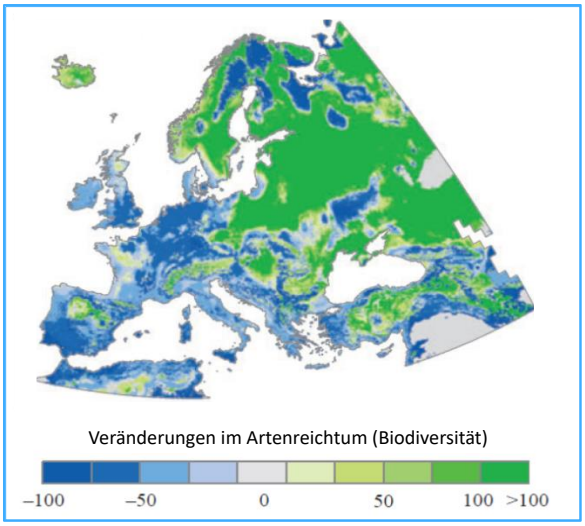
Schon bis zur Mitte des Jahrhunderts dürften die durchschnittlichen Wintertemperaturen im Raum Augsburg um ca. 3 °C (in Süd- und Südosteuropa sogar um bis zu 4 °C) ansteigen. Die Erwärmung in Wintermonaten hat auf die Pflanzenökologie teilweise einen höheren Einfluss als die sommerliche Erwärmung (Kreyling et al. 2019).

In Augsburg sind bereits heute Arten aus dem mediterranen Raum wie die Sichelschrecke *(Phaneropterinae),* Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*) und Weißrandfledermaus *(Pipistrellus kuhlii*) eingewandert. Umgekehrt verschwinden kälteliebende heimische Heuschreckenarten wie die Schwarze Heidelibelle *(Sympetrum danae),* welche in Augsburg an kleinen Gewässern im Lechauwald siedelte, nach und nach (Quelle: Interview, Kuhn 1990, Kuhn 2011).

Naturschutzgebiete sind ein zentrales Instrument für den Schutz der biologischen Vielfalt. In einer Studie zum Einfluss des Klimawandels auf 137.432 terrestrische Schutzgebiete weltweit zeigt sich, dass gerade Gebiete in der temperierten Zone, also auch in Europa, den höchsten Anteil an **neuen**, d.h. bisher nicht vorhandenen **Klimazonen** aufweisen werden (Karte 13).

Das Lechtal war schon immer wesentliche Wanderroute von Tieren und Pflanzen, der Standort profitiert auch tendenziell von der Offenhaltung. Aufgrund des Klimawandels können nun Standvögel (Vögel welche ganzjährig in einem Gebiet leben), wie beispielsweise die Blaumeise *(Cyanistes caeruleus),* immer früher die besten Brutplätze besetzen und profitieren somit von den kürzeren und milderen Wintern zum **Nachteil der Zugvögel** (StMUV Bayern 2016). Auch in der Augsburger Pflanzen- und Tierwelt macht sich diese Entwicklung bemerkbar (Quelle: Interview).

[47] So konnten z.B. bislang Fische im Lech und in den Staustufen überdauern, mit zunehmender Erwärmung erwärmt sich das Wasser der Stauhaltungen zunehmend stärker, kausal ist jedoch gegenwärtig primär die Verbauung (gilt ähnlich für die kiesigen Gewässersubstrate).



Karte 14: Relative Veränderung (in %) der Artenzusammensetzung von Makro-Wirbellosen in europäischen Fließgewässern bis 2080. Referenzzeitraum: 1950-2000. Quelle: Domisch et al. 2013: 756.

Für den Erhalt der Arten- und Genvielfalt wird es in Zukunft immer wichtiger werden, die **Verbindungen zwischen Schutzgebieten** zu verbessern. Das impliziert auch, dass die **Gebiete *außerhalb* von Schutzgebieten**, die in Europa typischerweise unter einem hohen anthropogenen Nutzungsdruck stehen, **Aufgaben des Naturschutzes teilweise werden mit übernehmen müssen** (Nila et al. 2019, Hoffmann et al. 2019). Zu denken ist dabei an Wälder, Landwirtschaftsflächen, Stadtgrün, Gewerbegebiete etc.

Weiterhin erhöht sich die **Wassertemperatur in den Flüssen** infolge der steigenden Lufttemperatur, aber auch durch Rückgang der Schneeschmelze sowie sich erwärmender Böden und Grundwasser (→ HF Wasser).

Das hat Auswirkungen auf die dort lebenden Organismen (Reinartz 2007). Langzeitmessungen an bayerischen Fließgewässern zeigen an vielen Pegeln einen deutlichen **Anstieg sowohl der Mittel- als auch der Maximaltemperaturen** des Wassers.

Modellierungen verschiedener Flüsse weltweit ergeben eine Erwärmung der Wassertemperatur um 1,3°C, 2,6 °C und 3,8°C für den Fall einer globalen Erwärmung der Erdmitteltemperatur von 2° C, 4°C oder 6 °C (van Vliet et al. 2011). In der Folge ändert sich auch die Artenzusammensetzung der Flüsse.

Einer Studie zur Wirkung des Klimawandels auf 1.733 europäische wasserlebende Makro-Wirbellose zufolge hat bereits ein Klimawandel von +4,4 ±1,0 °C bis zum Ende des 21. Jahrhunderts für die Region von Lech und Wertach einen **Rückgang der Artenvielfalt von über 50%** zur Folge (Domisch et al. 2013) (Karte 14).

Hinzu kommt die direkte Beeinflussung der Wertach und des Lechs durch den Menschen. Die Kette von Stauhaltungen, die Einleitung von Kühlwasser, die Energiegewinnung (→ HF Energiewirtschaft) sowie generell Veränderungen der Gewässerstruktur verändern die Wassertemperatur, die ökologischen Bedingungen und darüber die Artenzusammensetzungen.

Diese Einflüsse und der Klimawandel führen tendenziell zu einer Erhöhung der Wassertemperatur.[48]

In der Wertach, die ohnehin einen geringeren Abfluss aufweist, wurde im Sommer 2019 eine extreme Algenverschmutzung beobachtet (siehe Abschnitt „Stoffeinträge in Natur und Landschaft“).

Die hohen Wassertemperaturen können außerdem zu einem Fischsterben führen (Quelle: Interview). Langfristig ziehen sich kälteliebende Arten in den Alpenraum zurück (Knouft/ Ficklin 2017).

Trockenheit und Hitze

Eine zunehmende Verschiebung des lokalen Klimas in Richtung von mehr Trockenheits- und Hitzeereignissen verschiebt das **Artenspektrum** ganz generell. Experimentelle Untersuchungen zeigen zudem, dass auch das bessere Erholungsverhalten von speziesreicheren Pflanzengesellschaften auf extreme Trockenheit durch die **Einwanderung bisher gebietsfremder Arten** verschlechtert werden kann (Vetter et al. 2020).

Die räumliche Nähe von feuchten zu trockenen Standorten ist ein charakteristisches Element des Augsburger Naturraums. Viele heimische Arten sind auf beide Lebensraumtypen zum Überleben angewiesen und kommen allein unter diesen Bedingungen vor („endemische Arten“). Eine solche, weltweit einmalige botanische Rarität ist etwa das Augsburger *Steppengreiskraut*, wodurch den Akteuren vor Ort die Verantwortung für den dauerhaften Erhalt der Art obliegt.

Durch Eintiefung von Wertach und Lech sind die **Grundwasserflurabstände** stark abgesunken und haben **sensible Lebensräume** wie Kalkflachmoore,

[48] Wertach und Lech leiden zudem durch die Kette von Stauhaltungen. Generell führt die Beeinflussung durch den Menschen durch Kühlwassereinleitungen, Energiegewinnung, Stauhaltung sowie Veränderungen der Gewässerstruktur zu einer Beeinflussung der Wassertemperatur. Diese Einflüsse und der Klimawandel führen tendenziell zu einer Erhöhung der Wassertemperatur. Hier besteht ein Spannungsfeld: Kleinkraftanlagen/ Wasserwirtschaft, Mindestwasserleitfaden und Naturschutz/ Biodiversität (→ HF Energie). Erhöhte Temperatur führt auch zu potenziellen Beeinträchtigungen von Gewässern mit Blaualgen (→ HF Gesundheit).

Niedermoore, Quellbäche, Gießer und Grauerlen-Auwälder bereits **sehr stark geschädigt**. Die starke Flussverbauung gefährdet jedoch auch Auwälder, Kleingewässer (Tümpel) und grundwasserbeeinflusste Lebensräume wie z.B. Quellfluren bei hohen Temperaturen im besonderen Maße.

Von Trockenheit und Hitze sind besonders Biotope betroffen, welche stark vom Grundwasser beeinflusst sind. Es ist gegenwärtig festzustellen, dass die **wechselfeuchten und feuchten Standorte** infolge von Trockenheit noch stärker verschwinden und die hier vorkommenden Arten bedroht sind (LfU Bayern 2019; Interview).

Jede lange Hitzeperiode mit extremer Trockenheit gefährdet diese Biotope und bringt bereits heute heimische Arten wie das Bunte Laichkraut *(Potamogeton variifolius)* und die Libellenart Helm-Azurjungfer *(Coenagrion mercuriale)* an den Rand des **Aussterbens** (Quelle: Interview).

Dafür breitet sich z.B in den letzten Jahren das **invasive und giftige** Schmalblättrige Geiskraut *(Senecio inaequidens)*, welches von der Trockenheit profitiert, in den Lech- und Flussschotterheiden aus.

Dieses hat sich entlang von Straßen und Schienen durch Verfrachtung der Samen vom Fahrtwind ausbreiten können (Quelle: Interview). Ein wichtiger Aspekt der Vulnerabilität der urbanen Biodiversität gegenüber Hitze und Trockenheit betrifft die Frage, ob die vermehrte Pflanzung von gebietsfremden, hitze- und trockenheitsresistenteren Arten im Innenstadtbereich einen **negativen Effekt auf die biologische Vielfalt** hat. Dies betrifft insbes. Pflanzungen im (Innen-)Stadtbereich, insbesondere Straßenbäume, die von vorneherein schon besonders gefährdet sind durch Hitze, Trockenheit- und Verdichtungsstress (→ HF Stadtgrün). Eine Studie der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) in Veitshöchheim an einheimischen und südosteuropäischen Stadtbäumen zeigte, dass sich viele heimische Insektenarten *sowohl* auf heimischen *als auch* auf gebietsfremden Bäumen finden (Böll et al. 2019).

Um eine optimale Anpassungsstrategie zu gewährleisten, rät diese Publikation zu einer Mischung aus heimischen und gebietsfremden Arten, die zudem mit Blick auf die Habitatansprüche der biologischen Zielarten hin ausgerichtet werden sollten (z.B. Pflanzstreifen).

Eine indirekte Klimafolge sollte abschließend noch erwähnt werden: Höhere Temperaturen mit vielen Sonnenstunden im Sommer können sich auf das **Verhalten der Naherholungssuchenden** auswirken. Die Grünflächen werden bei zunehmend warmen Temperaturen immer häufiger aufgesucht.[49] Dies führt zu **Störungen der ansässigen Arten** (z.B. störungsempfindliche Vogelarten wie Fluss-Regenpfeifer) und nicht selten bleiben Müll, Glasscherben u. ä. liegen. Experten beobachten eine massive **Zunahme der Vermüllung** in den Biotopflächen Augsburgs. Auch an den Gewässern ist diese negative Entwicklung spürbar (Quelle: Interview).

Starkregen, Hagel, Sturm, Schnee, Eis

Eine Zunahme dieser Extremwetterereignisse ist zwar auch in Augsburg zu erwarten (Kapitel 3), aber in den Folgen für die Biodiversität gegenwärtig in keiner Weise mit den Auswirkungen der oben angeführten Klimaveränderungen vergleichbar. Auch laut Auskunft der beteiligten Stakeholder ist der Einfluss dieser Wetterextreme auf die Biodiversität in Augsburg aktuell als marginal zu bewerten.

Das kann sich auf längere Sicht ändern, wenn diese Ereignisse in Zukunft signifikant zunehmen. Wetterextreme lösen teilweise **massive Reaktionen in ganz verschiedenen Ökosystemen** aus, einige davon prägen das System auch langfristig.

Mehrheitlich gehen Extremereignisse mit einem **Artenverlust** einher, wie eine weltweit vergleichende Studie zeigen konnte (Abb. 121). Bei terrestrischen Ökosystemen sind es insbesondere Stürme (hellbraun), längere Trockenperioden (blau), ferner Überflutungen (hellblau), Kälteeinbrüche (gelb) und Hitzeperioden (dunkelbraun), die die meisten Schäden anrichten. Bei Flussökosystemen sind es Überflutungen, Trockenheit und Stürme.

Da es auch in der Vergangenheit immer wieder Stürme, Starkregen, Hagel und extreme Kälte gab, gefährden sie die heimischen Arten gegenwärtig eher weniger.

[49] Mit wachsenden Bevölkerungszahlen würde der **Nutzungsdruck auf Grünflächen** künftig weiter erhöht werden. Als weitere Ursache kann die zunehmende Entfremdung der Menschen von der Natur identifiziert werden. Auch „Outdoor-Apps“, die Menschen in sensible Bereiche führen, sind ein zunehmender Faktor. Schließlich führte die Corona-Pandemie dazu, dass die Nachfrage nach Grünflächen teils massiv stieg.

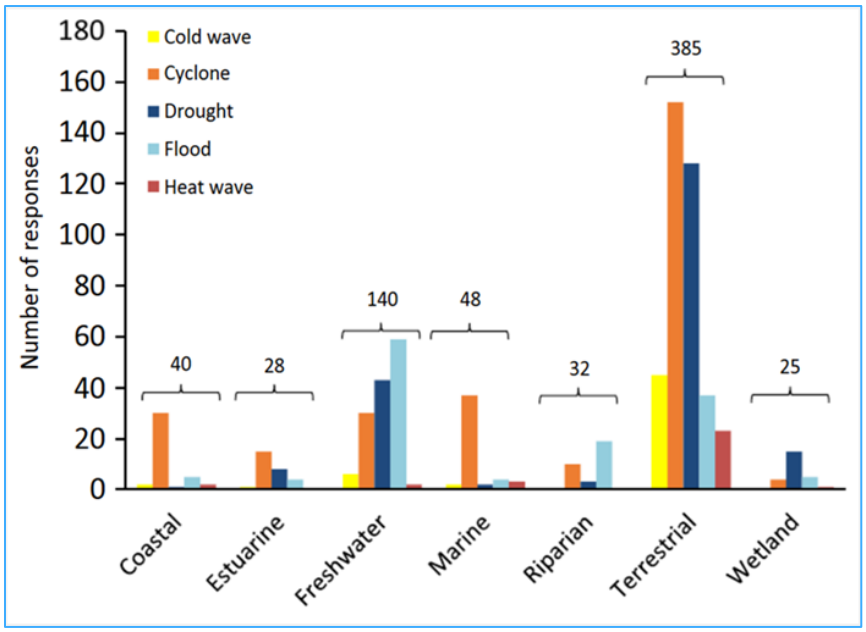


Abb. 121: Anzahl der Reaktionen verschiedener Ökosysteme weltweit auf ausgewählte Extremereignisse zwischen 1941 und 2015. Quelle: Maxwell et al. 2018: 617.

Einzelne Arten, wie beispielsweise der Flussregenpfeifer *(Charadrius dubius)*, sind an Hochwasserereignisse und Überflutungen, welche periodisch natürlich vorkommen und nicht zwangsläufig an Starkregenereignisse gebunden sind, angepasst. Dennoch führt eine Zunahme der Häufigkeit zu dem **Verlust der Bruten,** da aufgrund der gestörten Flussmorphologie die Kiesbänke zu schnell überfluten (Quelle: Interview). Der Flussregenpfeifer etwa ist an den Kiesbänken des Lechs heimisch und sollte dort eigentlich viel häufiger auftreten, ist aber durch die extreme Regulierung der Vergangenheit seltener geworden.

Legende

- *Planungsumgriff „Licca liber“*
- *Naturschutzgebiet „Stadtwald Augsburg“*
- *FFH-Gebiet „Lechauen zwischen Königsbrunn und Augsburg“*
- *Auwald (68 ha)*
- *Kalkmagerasen (20ha)*

Abb. 122: Verteilung der FFH-Lebensraumtypen im Planungsumgriff des Licca-liber-Projekts. Daten: Wasserwirtschaftsamt Donauwörth; Bayerisches Landesamt für Umwelt; Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung. Darstellung: Verändert nach WWA Donauwörth 2016: 23.

Für die Gewässerorganismen ist die wichtige Durchgängigkeit durch zahlreiche Querbauwerke stark eingeschränkt, so dass ein natürliches **Wandern der Arten** kaum noch möglich ist.

In den aktuellen Bauabschnitten des 2013 initiierten Projektes „Licca liber“ (Der freie Lech, Abb. 122) existieren keine derartigen Bauwerke, jedoch ggf. in künftigen Bauabschnitten.

Bislang konnte mit dem Projekt die Flusssohle stabilisiert werden. Damit leistet es nicht nur ein Beitrag zum Hochwasserschutz (→ HF Wasser), sondern dient durch seine Renaturierungsmaßnahmen vor allem dem **Erhalt oder gar der Steigerung der regionalen Biodiversität** (Geist/ Auerswald 2019).

Im Planungsumgriff von „Licca liber" befinden sich ca. 68 ha Auwald und ca. 20 ha Kalkmagerrasen sowie kleinere Niedermoorbestände, die nach Projektabschluss in Bestand und Funktionsfähigkeit verbessert und gestärkt sein werden. Zusammen mit dem Projekt **„Wertach vital"** trägt das Projekt auch dazu bei, die Anpassungsfähigkeit/ Resilienz der Biodiversität in Augsburg gegenüber dem Klimawandel deutlich zu erhöhen.

5.10.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Der zukünftig zu erwartende Klimawandel betrifft die spezifische Situation in Augsburg mit Blick auf Naturschutz und Biodiversität – insbesondere durch die Zunahme der Klimasignale Hitze, Trockenheit und steigende Mitteltemperaturen – in hohem Maße. Der für das Gebiet typische, enge naturräumliche Zusammenhang von eher trockenen terrestrischen und Fließgewässerstandorten wird dadurch doppelt bedroht.

Die Folgen des Klimawandels lassen sich in drei größeren Problemkomplexen zusammenfassen:

- Erstens werden Klima- und damit einhergehender Habitatwandel das bereits beobachtbare **Abwandern von heimischen Arten** verstärken, insbesondere Spezialisten und kälteliebende Arten werden davon betroffen sein.

  Parallel kommt es zur **Zuwanderung fremder, wärmeliebender Arten**, die unter Umständen die Klima-Resilienz des örtlichen Artenspektrums sogar stören können.

- Der zweite größere Problemkomplex mit Blick auf die Verwundbarkeit von Augsburgs Biodiversität gegenüber dem Klimawandel besteht im **veränderten Abflussregime** und vor allem in den **veränderten Wassertemperaturen** von Lech und Wertach im Zuge der Klimafolgen in deren Einzugsgebiet. Besonders betroffen sind die Gewässer III. Ordnung (z.B. Höhgraben, Siebenbrunnenbach), die teilweise ganz trockenfallen können. Dadurch erfolgt langfristig auch **im aquatischen Bereich sowie bei Vögeln und Insekten eine Veränderung des Artenspektrums**.

  Diese Trends betreffen den gesamten Naturraum der Stadt, aber natürlich auch die Naturschutzgebiete (z.B. FFH-Gebiete) und Biotope.

  Hierzu gehört auch die zunehmend zu erwartende **Nutzungsdruck auf die immer knappere Ressource Wasser**, um die ökologischen Verwendungen mit anderen steigenden Bedarfen (etwa für Trinkwasser, Industrie, landwirtschaftliche Bewässerung etc.) unter den Bedingungen des Klimawandels vermehrt konkurrieren müssen.

- Als dritte Facette der Vulnerabilität sind die örtlichen, unmittelbaren **Auswirkungen kurzfristiger Wetterextreme, Hitzespitzen, Überflutungen und Sturmschäden** zu nennen, die durchaus längerfristigen Charakter annehmen können.

5.11. Wald und Forstwirtschaft

5.11.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

Mit 7.679 ha bewirtschaftetem Wald ist Augsburg die Kommune mit dem größten Waldbesitz in Bayern und nach Brilon (NRW) die Nummer zwei des kommunalen Waldbesitzes in Deutschland. Die Waldfläche verteilt sich auf sieben städtische Forstreviere. Zwei Reviere befinden sich im Stadtgebiet, die übrigen liegen außerhalb der Stadtgrenzen (vgl. Karte 15).[50]

Innerhalb der Stadtgrenzen befinden sich über 3.500 ha Wald mit einem Kommunalwaldanteil von ca. 1.400 ha (Gang 2020). Dieser erstreckt sich hauptsächlich entlang der Flüsse Lech und Wertach. Der Lechwald wird in den Siebentischwald und den Haunstetter Wald gliedert. Der Gögginger und Inninger Wald folgen dem Lauf der Wertach (StMELF 2013). Zusätzlich verteilen sich einzelne, kleinere Flächen innerhalb des Stadtgebiets.

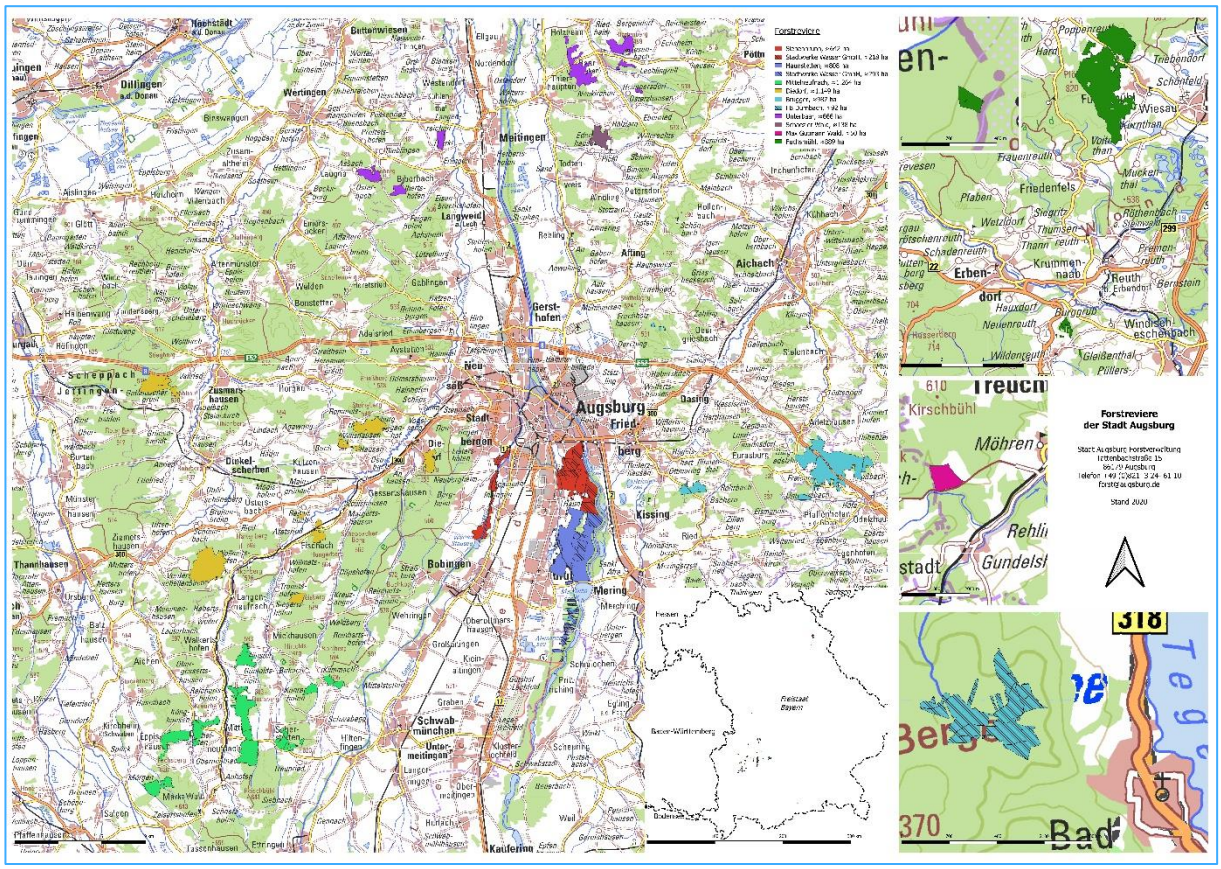
Weiterhin befinden sich 48 ha Bundeswald sowie 436 ha Privatwald (Stadtwerke Augsburg) innerhalb des Lechwaldes, wobei letzterer ebenfalls von der Augsburger Forstverwaltung bewirtschaftet wird.

Im Osten der Stadt liegt der Hauptanteil des ca. 1.700 ha großen Privatwaldes. Neben den beiden großen Privatwaldbesitzern Stadtwerke und Fugger gibt es etwa 80 weitere Privatwaldbesitzer mit Betriebsgrößen zwischen 1 und 20 ha.

Der Lechauwald ist eines der ältesten und artenreichsten Naturschutzgebiete Bayerns. Allerdings werden die Wälder aufgrund von Hochwasserschutzmaßnahmen und Begradigung nicht mehr regelmäßig überflutet (→ HF Wasser). Zudem haben die Bäume i.d.R. keinen Grundwasseranschluss. Der Auwald ist daher schon heute ein Landwald, der überwiegend auf trockenen und flachgründigen Standorten wächst.

Der Augsburger Stadtwald erfüllt insgesamt wichtige wirtschaftliche, kulturelle und soziale Aufgaben und weist eine lange Geschichte auf.

Karte 15: Forstreviere der Stadt Augsburg in und außerhalb des Stadtgebiets (bunte Einfärbungen). Quelle: Stadt Augsburg (online: https://www.augsburg.de/umwelt-soziales/umwelt/forst).



[50] Das KASA widmet sich dem Augsburger Stadtgebiet. Aus Konsistenzgründen bezieht sich dieses Kapitel daher, wenn nicht ausdrücklich anders erwähnt, ebenfalls auf die Wälder innerhalb des Stadtgebiets.

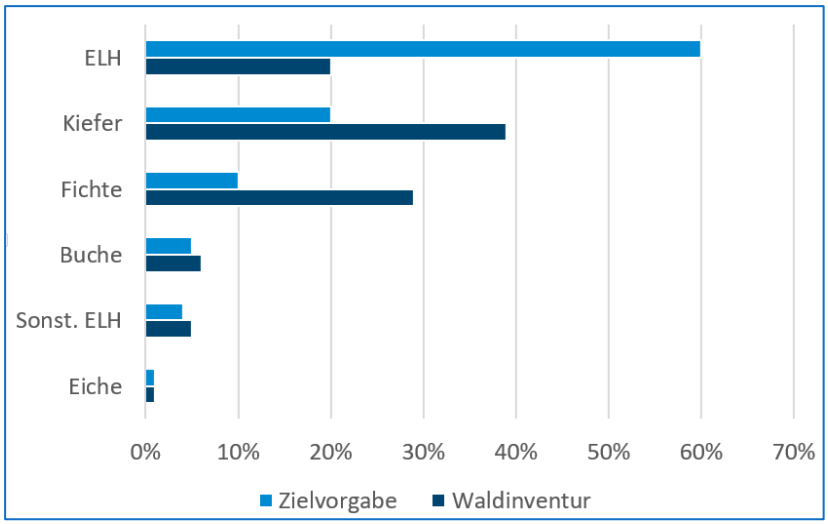


Abb. 123: Baumartenzusammensetzung des Kommunalwaldes im Stadtgebiet. In % nach den Zielvorgaben des Stadtforstes (mittelblau) und nach Waldinventur 2001 (dunkelblau) (ELH = Edellaubhölzer). Quelle: Forstverwaltung Augsburg 2019.

Der Stadtwald ist mit jährlich ca. 2-3 Mio. Besuchenden ein wichtiges Naherholungsgebiet und erholungszertifiziert nach PEFC.[51] Hinzu kommen **essenzielle Funktionen**, welche der Wald als Ökosystem erfüllt (Ökosystemdienstleistungen). Hervorzuheben sind dabei der **Trinkwasserschutz** und der **Regenwasserrückhalt**, insbesondere der Hanglagen im Osten. Mit Blick auf den Klimaschutz ist noch die Funktion als Kohlenstoffspeicher wichtig (Gang et al. 2017).

Tab. 13: Waldflächen aller Besitzarten im Stadtgebiet mit besonderer Funktion. Anteile in %, nach der „Waldfunktionsplanung“ (Auszug). Quelle: AELF 2019a.

Waldfunktion	Stadt Augsburg [%]
Wasserschutz	63
Klimaschutz lokal - regional	76
Erholungsfunktion	85

Die **Waldfunktionen** wurden in der Waldfunktionsplanung festgehalten (StMELF 2013) (Tab. 13). Die größte Bedeutung (hinsichtlich des Anteils der Waldflächen im Stadtgebiet, die diese Funktion erfüllen) kommt der Erholungsfunktion im kühleren Waldinnenklima zu. Letztere ist mit Blick auf das überwärmte Stadtgebiet und die Gesundheit der Menschen Augsburgs sehr wichtig.

Der Augsburger Stadtwald ist ein Mosaik einiger großer und vieler kleinräumig sehr unterschiedlicher Standorte, was ihn auch zu einem bedeutsamen Lebensraum macht (→ HF Biodiversität).

Viele Teile des Stadtwaldes stocken auf Trockenstandorten (Brennen) der flachgründigen Lechschotter, was die Baumartenzusammensetzung prägt und bei allen Überlegungen zum Waldumbau beachtet werden muss. Ohne menschliches Zutun und ohne die Hochwasserschutzmaßnahmen und die Begradigung des Lechs würden auf den beiden wichtigsten Wuchsgebieten in Augsburg (Unteres Lechtal und Lechfeld) Auwälder mit einem hohen Anteil an Edellaubholz-, Eichen- Hainbuchen- und Kiefern-Schneeheide-Wälder stehen (StMELF 2013).[52]

Die Westlichen Wälder im Südwesten der Stadt stellen standörtlich optimale Buchenstandorte dar, werden jedoch von Fichtenforsten dominiert. Der naturgemäß langwierige **Waldumbau** weg von den dominanten Nadelbaumarten Fichte und Kiefer hin zu einer edellaubbaumreichen Bestockung erfolgt bereits seit Jahrzehnten (Kircher 2017). Auch wenn aus Gründen des Naturschutzes und des Erhalts historischer Kulturlandschaften ein Teil der städtischen Wälder innerhalb des Stadtgebietes auch künftig noch mit Fichten und v. a. Kiefern bestockt sein soll, sollen sich die Baumartenanteile noch um gut 40% in Richtung Edellaubhölzer verschieben (Basisjahr 2001; Abb. 123). Ein Teil dieses Waldumbaus ist bereits vollzogen.

[51] PEFC steht für “Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes”, zu Deutsch: Zertifizierungssystem für nachhaltige Waldbewirtschaftung. Vorrangiges Ziel von PEFC ist die Dokumentation und Verbesserung der nachhaltigen Waldbewirtschaftung

[52] Edellaubhölzer (ELH) sind z.B.: Spitz-/Bergahorn, Esche, Kirsche, Linde und Ulme. Zu den sonstigen Edellaubhölzern zählen etwa Grauerle, Weide, Pappel, Vogelbeere.

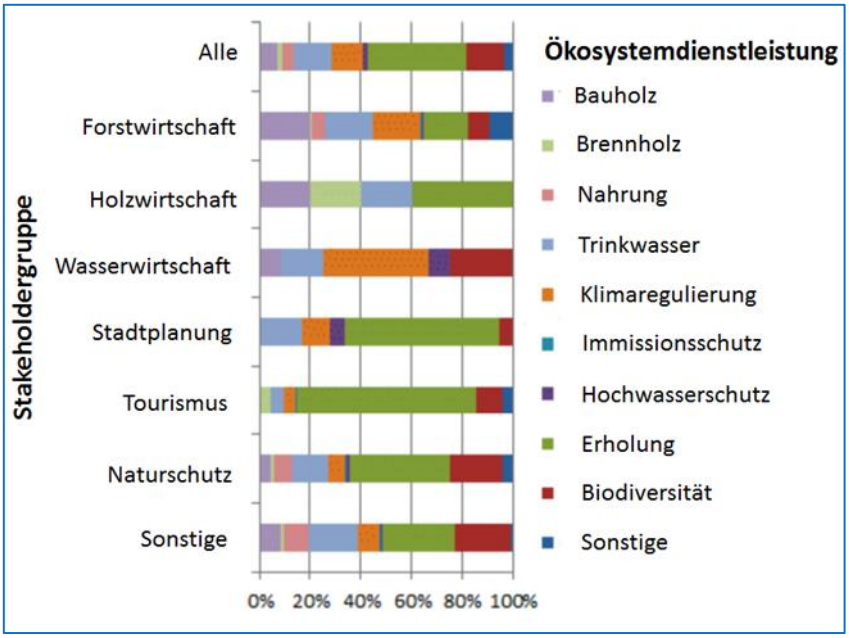


Abb. 124: Rangfolge der Ökosystemdienstleistungen des Augsburger Stadtwalds für verschiedene Stakeholdergruppen/ Nutzungen. Quelle: modifiziert nach Meyer/ Schulz 2017.

Allgemein erfolgten eine **nachhaltige Bewirtschaftung und Bejagung** des Augsburger Stadtwalds (Stadt Augsburg 2019b).

Die Forstreviere Siebenbrunn und Haunstetten haben primär die Bedeutung als Erholungs- und Trinkwasserschutzgebiet. Ganz generell spielt die **Holzproduktion** *innerhalb* der Stadtgrenzen eine vergleichsweise untergeordnete Rolle, da die Zuwächse aufgrund der flachgründigen Standortbedingungen gering sind (Quelle: Interview).

Die Augsburger **Kulturlandschaft** bietet naturschutzfachlich wertvolle Flächen vor allem im Süden der Stadt. Dort werden Teile der lichten Kiefernwälder der Königsbrunner Heide durch Beweidung von weiterer Sukzession freigehalten (Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg 2012).

Die **Fichte** gehört in Augsburg, wie vielerorts, nicht zur naturraumtypischen Bestockung (potenzielle natürliche Vegetation), sondern wurde aus (forst-) wirtschaftlichen Gründen schon früh angepflanzt. Sie gilt als besonders durch den Klimawandel gefährdete Art.

Zu den positiven Rahmenbedingungen des Handlungsfeldes Wald und Forstwirtschaft in Augsburg gehört, dass die Stakeholder die **Multifunktionalität** des Stadtwalds wahrnehmen und anerkennen (vgl. Tab. 13 und Abb. 124). Die Erholungsfunktion wird zwar allgemein als wichtigste gesehen, gefolgt von Biodiversitäts- und Trinkwasserschutz.

Aber auch diejenigen Stakeholder, die qua Profession eine Funktion bevorzugen (z.B. die Erholungsfunktion aus der Tourismuswirtschaft oder der Biodiversitätsschutz bei Naturschützern), haben die anderen Funktionen im Blick und sehen die Synergien. Eine solche relativ **gering ausgeprägte konfliktäre Sichtweise** auf die Ökosystemdienstleistungen des Augsburger Stadtwalds ist teilweise historisch bedingt und spricht angesichts einer durch den Klimawandel geprägten Zukunft für eine relativ hohe Anpassungsfähigkeit.

Ein weiterer Aktivposten in Augsburg ist das **Forstmuseum Waldpavillon**, das für seine vorbildhafte Vermittlung und Weitergabe von Wissen rund um Wald und Natur schon ausgezeichnet wurde.

5.11.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und die Verwundbarkeit im Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft detailliert entlang der Klimasignale untersucht werden, gibt die sektorale **Klimawirkungskette** (Abb. 125) einen schematischen Gesamtüberblick.

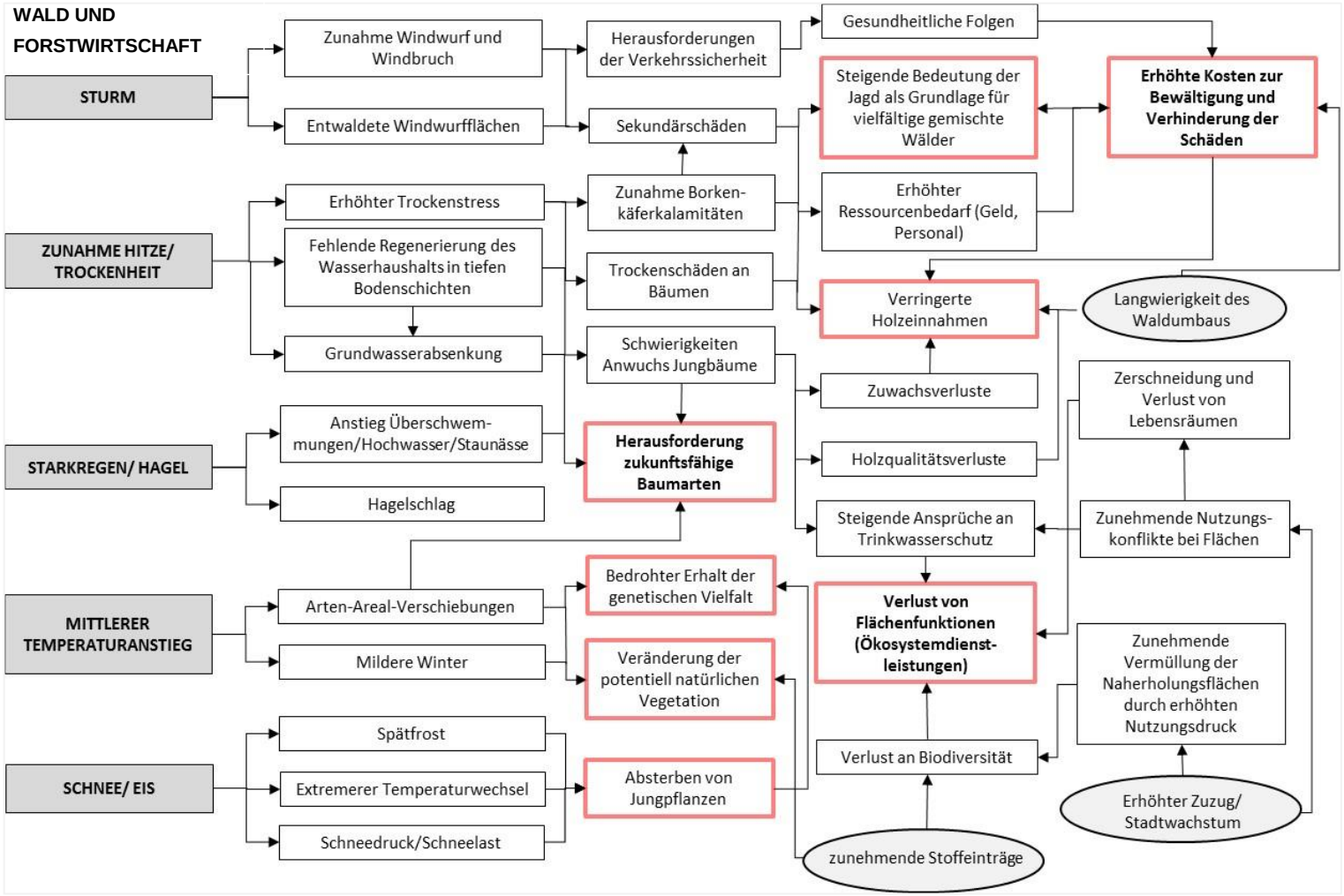


Abb. 125: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen, links), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Randbedingungen (Ellipsen) sowie Verwundbarkeiten (rote Kästen).

Abb. 126: Borkenkäfer. (1) Der Borkenkäfer, hier die Art Buchdrucker *(Ips typographus*), ist ein bedeutender Forstschädling (Foto: Fdcgoeul 2008), (2) Larvengänge des Buchdruckes (Foto: Bib 2004), (3) Fichte wehrt sich mit Harzfluss gegen Einbohren des Buchdruckers (Foto: Tom 2010), (4) Jungkäfer unter der Rinde, noch nicht ausgefärbt (Foto: Lindsay 2004), (5) Nationalpark Bayerischer Wald: Borkenkäferschäden (Foto zeigt Fläche zwischen der Ortschaft Waldhäuser und dem Lusen) (Foto: Seebauer 2004).

Steigende Mitteltemperaturen

Steigende Mitteltemperaturen einschließlich milderer Winter verlängern die Vegetationsperiode, erhöhen aber auch das Risiko der **Massenvermehrung von Forstschädlingen**. Die Nettobilanz aus Klimawandelbedingtem Ertragszuwachs und vermehrtem Schädlingsbefall ist in vielen Regionen – darunter Deutschland – negativ (Reyer et al. 2017).

Hier ist an erster Stelle der **Borkenkäfer** zu nennen (Abb. 126). Von den rd. 120 in Mitteleuropa vorkommenden Arten dieser Unterfamilie sind zwei für die Forstwirtschaft besonders relevant, da sie vornehmlich Fichten befallen: der Buchdrucker (*Ips typographus*) sowie der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*).

Die Borkenkäfer befallen in erster Linie Altfichten, was jedes Jahr auch im Augsburger Stadtwald beobachtet werden kann. Dabei entwickeln sich bis zu drei Generationen und verursachen erneut große Schäden (Quelle: Interview). Andere Regionen Bayerns sind noch härter betroffen (Quelle: Interview, vgl. Wauer/ Klemmt 2020), aber auch in Augsburg ist von zukünftig ansteigenden Schäden auszugehen.

Bereits gegenwärtig ist ein **Anstieg von ZE-Holz** (d.h. nicht geplanter Holzeinschlag, sondern Holzeinschlag bedingt z.B. durch Borkenkäfer, Insekten, Pilze oder Sturm) zu beobachten (Abb. 127). Laut Angaben der Forstverwaltung sind die Auswirkungen gravierend. Knapp die Hälfte des Holzes muss unplanmäßig genutzt werden (Quelle: Interview).

Der Anstieg zwischen 1980 und 2018 hat verschiedene Ursachen; eine davon sind vermehrte Borkenkäferkalamitäten. **Schadholz** wird durch Borkenkäferbefall bläulich verfärbt, wodurch es an Wert verliert. Die Mindererlöse liegen dabei bei rund 25 € pro Kubikmeter Holz. Das Holz muss aber aufgearbeitet und aus dem Wald verbracht werden, um eine Massenvermehrung der Borkenkäfer zu verhindern.

Ein einzelnes Borkenkäferweibchen kann unter günstigen Witterungsverhältnissen bis zu 100.000 Nachkommen in einem Jahr zeugen, da mehrere Bruten möglich sind, welche teilweise auch im selben Jahr Eier ablegen können (Lobinger 2019).

Die Wintermortalität des Borkenkäfers erreicht je nach Region bis zu 50% der Bestände (Faccoli 2002). Höhere Mitteltemperaturen führen dazu, dass die Jungkäfer vermehrt ein Entwicklungsstadium erreichen, welches ihnen ermöglicht, längere Kälteperioden zu überdauern (AELF 2019b). Das erschwert die Bekämpfung der Borkenkäfer, da sie sich als adulte Käfer während des Winters in den Waldboden zurückziehen und das Entfernen von Käferbäumen unwirksam wird.

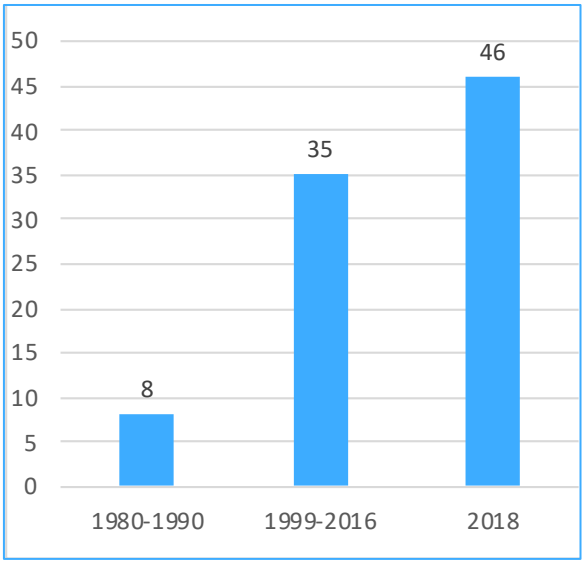


Abb. 127: Anteil des ZE-Holzes im Stadtwald innerhalb des Stadtgebiets im Zeitraum der 1980er Jahre bis 2018. Mit ZE= zufällige Ergebnisse (d.h. außerplanmäßiger Holzeinschlag), Angaben in %. Quelle: Forstverwaltung Augsburg.

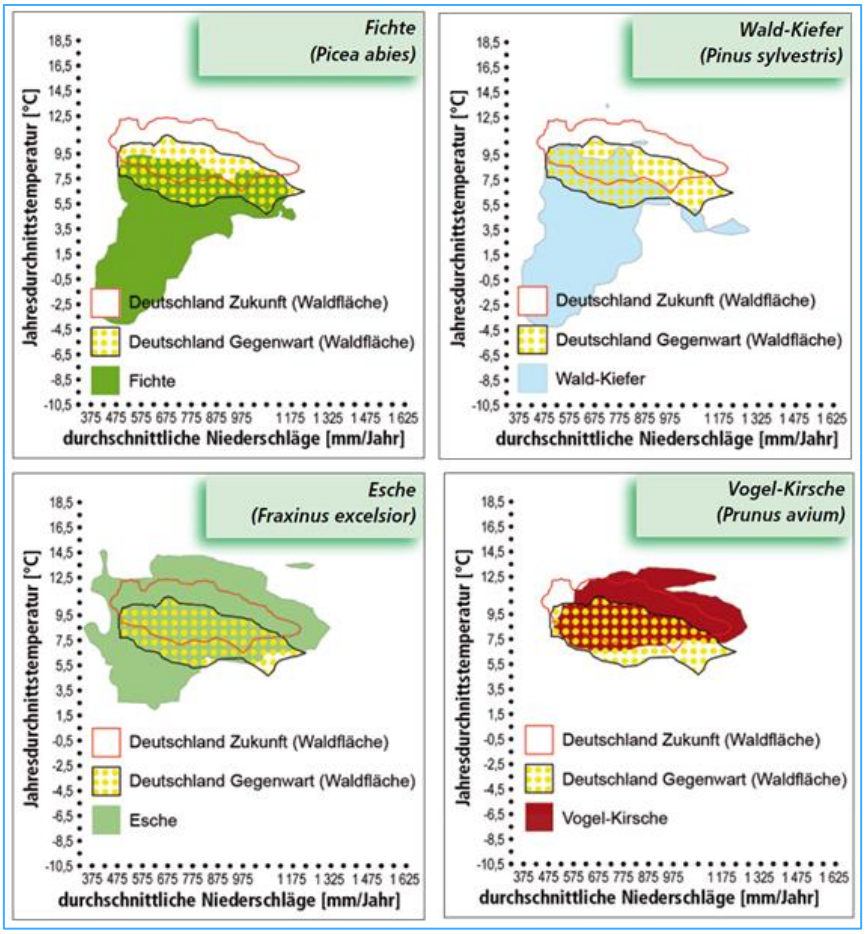


Abb. 128: Klimahüllen verschiedener Baumarten. Quelle: Kölling 2007.

Steigende Temperaturen führen auch dazu, dass die für den Käferflug notwendige Temperaturschwelle von etwa 16,5°C (Lobinger 1994) früher im Jahr erreicht wird und somit die Befallperiode des **Buchdruckers** im Frühling früher beginnt. Laborexperimente zeigen, dass die optimale Reproduktionstemperatur des Borkenkäfers nahe 30 °C liegt (Wermelinger/ Seifert 2008) – ein Temperaturfenster, das im Zuge des Klimawandels immer häufiger erreicht werden wird. Simulationen für die Schweiz zeigen, dass die Verwundbarkeit der Fichte für den Borkenkäfer im Klimawandel deutlich zunimmt, weil die Lebensbedingungen des Schädlings verbessert, gleichzeitig die der Fichte verschlechtert werden (Jakoby et al. 2015). Zudem wurde gezeigt, dass in Zukunft das Auftreten von Hitze- und Trockenperioden *alleine* ausreicht, um einen starken Borkenkäferbefall auszulösen. Bisher war in vielen Regionen Mitteleuropas das Zusammenwirken von Hitze/ Trockenheit und Windwurf dafür erforderlich (Temperli et al. 2013). Feldversuche zeigen, dass Borkenkäfer an heißen Tagen (>30 °C) häufiger und weiter fliegenals an kühleren (Hinze/ John 2020).

Ein weiterer Forstschädling, welcher von den milderen Wintern profitiert, ist der **Eichenprozessionsspinner** (EPS). Dieser tritt in den letzten Jahren auch vermehrt im Augsburger Stadtwald auf, ist aber aus forstwirtschaftlicher Sicht derzeit noch weitgehend irrelevant (Quelle: Interview), da der Anteil an Eichen im Stadtwald mit 1% gering ist. Die Brennhaare des EPS können für Waldbesucher und Forstwirte gesundheitliche Folgen haben (→ HF Gesundheit). Bislang kam der EPS nur nördlich von Augsburg vor (Sailer 2019). Der Anstieg der Jahresmitteltemperaturen führt hier zu einer Arten-Areal-Verschiebung, wodurch er nun auch in der voralpinen Stufe vermehrt auftritt.

Der Klimawandel wird die Standortbedingungen für die verschiedenen Waldbaumarten verändern. Mittels des **Konzepts der Klimahüllen** (Kölling 2007) lässt sich abschätzen, welche Baumarten zukünftig besser und welche schlechter an die neuen Temperatur- und die Niederschlagsverhältnisse angepasst sein werden (Abb. 128). Es stellt eine erste Näherung dar, ersetzt aber nicht die genaue Standortanalyse (Falk et al. 2013).[53]

[53] Den Klimahüllen von Kölling liegt ein „konservatives" Klimaszenario (bis Ende 21. Jht.: +1,8 °C) zugrunde (Bolte et al. 2008). Modellierungen mit aktuelleren Szenarien zeigen höheren Temperaturen, damit auch zu andere Baumartenempfehlungen (Steinacker et al. 2019).

Fichte und Kiefer etwa, zwei in Augsburg heute sehr wichtige Arten, werden in Zukunft immer schlechtere **Standortbedingungen** vorfinden, während die Stieleiche, Weißtanne oder Edellaubhölzer wie die Vogel-Kirsche besser mit dem zukünftigen Klima zurechtkommen dürften. Weil diese Zusammenhänge schon länger bekannt sind – insbesondere mit Blick auf die Fichte (LWF 2009) – hat der Waldumbau in Bayern schon seit Jahren das Ziel, die **Baumartenzusammensetzung** im Freistaat langfristig dem veränderten Klima anzupassen. Eine detailreichere und waldwirtschaftlich orientierte Planungshilfe für Bayern wurde kürzlich vorgelegt (LWF 2019).

Der Waldumbau stellt den **privaten Waldbesitz** mit kleineren Beständen und stärkerer Abhängigkeit vom wirtschaftlichen Ertrag in dieser Hinsicht vor besondere Herausforderungen (Von Redwitz 2014).

Hitze und Trockenheit

Zunehmende Hitze dürfte zukünftig im Augsburger Stadtwald zu einem erhöhten **Nutzungsdruck** von Erholungssuchenden führen, da das Bestandsklima im Wald um einiges kühler ist als in den überwärmten Siedlungsgebieten. Damit einhergehen kann ein Anstieg der Abfallmengen. Augsburg verzeichnet schon heute sowohl in den öffentlichen Grünanlagen als auch im Stadtwald sowie den Gewässern ein **zunehmendes Müllproblem** (Quelle: Interview). Um öffentlichkeitswirksam auf dieses Problem hinzuweisen, installierte die Künstlergruppe GiKaMa im Sommer 2020 zusammen mir den Stadtwerken Augsburg eine Müllskulptur in Form eines Rehs am Hochablass (swa 2020.)

Für den Augsburger Stadtwald stellt die zunehmende Trockenheit die größte Herausforderung im Umgang mit dem Klimawandel dar. Ein wesentlicher Grund dafür sind die eingangs beschriebenen zahlreichen verstreut liegenden **Trockenstandorte** im Stadtgebiet. Die Tragweite von Trockenperioden ist auf ihnen größer, da ein durchlässiger Boden wenig Wasser speichern kann. Weiterhin ist der Bestand aufgrund der **Baumartenverteilung** durch den Fichten-Anteil anfällig für Trockenstress. Denn Fichten besitzen ein plattenartiges Wurzelsystem, hauptsächlich im Oberbodenbereich (20 – 60 cm), mit einzelnen tiefen Senkwurzeln, wodurch sie das Wasser aus tieferliegenden Bodenschichten, so es vorhanden ist, nicht erreichen. (Gulder 2020). Aber auch Laubholz zeigt zunehmend Probleme und Absterbe-Erscheinungen durch häufigere Hitze und Trockenphasen.

Anhaltende Trockenheit führt zu **Trockenstress** der Bäume im Bestand und erhöht die **Waldbrandgefahr,** welche aufgrund des steigenden Nutzungsdrucks zusätzlich verstärkt wird (Infrastuktur & Umwelt 2018). Je länger eine Trockenperiode anhält, umso gravierender der **Stress**, da auch tieferliegende Bodenschichten weniger Wasser mit sich führen (Bernhofer et al. 2019). Folgen mehrere Trockenjahre nacheinander bzw. können die winterlichen Niederschläge das sommerliche Wasserdefizit auch in den tieferen Bodenschichten nicht regenerieren, hat dies fatale Auswirkungen auf die **Vitalität** der Forstbäume.

Für die nächstgelegene Waldklimastation Höglwald (16 km südöstlich der Stadt) zeigt sich bereits seit 1951 ein Trend zur Abnahme des verfügbaren Wasservorrats im Oberboden im Frühjahr. Bislang konnten die Wasserspeicher Bayerns meist wieder aufgefüllt werden (Dietrich et al. 2020). 2003 und 2018 waren auch für den im bayernweiten Vergleich nicht so trockenen Standort Schwaben sehr trocken Jahre (Zimmermann et al. 2020). Der **Wasserhaushalt der Wälder** wird sich aufgrund des Klimawandels jedoch wahrscheinlich verschlechtern (Kölling und Falk 2010). Auch in bislang niederschlagsreichen Gebieten ist eine Abnahme der Niederschlagsmenge zu beobachten (→ HF Wasser). Unterhalb von 50 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) tritt für Pflanzen Trockenstress auf. Für Waldbäume wird es unterhalb von 40 %.kritisch, wenn die Transpirationsleistung eingeschränkt wird und der Zuwachs sinkt (Deutscher Bundestag 2020). Letzteres führt auch dazu, dass der Wald seine Funktionen – wie bspw. die Bindung von Kohlendioxid – nicht mehr ausreichend erfüllen kann (Lang 2019). Trockenstress führt zudem zu einer **höheren Anfälligkeit gegenüber Schädlingen** wie verschiedenen Borkenkäfern, Spinnern und Spannern. Grund dafür ist eine Verringerung des Abwehrverhaltens, wie bspw. eine verminderte Harzproduktion.

Neben der Fichte sind noch Rotbuchen, Kiefern und Eschen im Augsburger Stadtwald von Trockenheit und Hitze bedroht. Rotbuchen zeigten zu Beginn der Trockenperiode 2018 kaum Schäden, was sich 2019 jedoch verschlechterte und immer mehr Kronen im oberen Bereich abstarben (Thierfelder 2020). Die Waldkiefer ist ein Baum der kalt-trockenen Klimate (Kölling 2020). Die Kiefernbestände zeigen in Augsburg bisher noch wenige Schäden. Bayernweit betrachtet hat die Kiefer aber große Probleme mit den zunehmenden Hitzeperioden.

Die Vitalität der Kiefer leidet und macht sie anfällig für pilzliche Schaderreger („Diplodia Triebsterben“) und Schmarotzer (z.B. Mistel). Der künftig wahrscheinliche **Ausfall der Kiefer ist im Stadtwald** insbesondere unter naturschutzfachlichen Aspekten kritisch zu sehen. Am Ökosystem der lichten Kiefernwälder hängen eine Vielzahl von selten Insekten und Bodenpflanzenarten.

Als besonders kritisch ist das **Eschen-Sterben** einzustufen. Im Augsburger Stadtwald kommt aufgrund dessen überwiegend Naturverjüngung vor, doch selbst deren Fortbestehen ist derzeit ungewiss (Quelle: Interview). Forstschädlinge wie der aus Ostasien stammende Pilz *(Hymenoscyphus fraxineus)*, der das Eschentriebsterben verursacht, befallen insbesondere geschwächte Bäume. Aktuell wird nach geeigneten Ersatzbaumarten für Bayern gesucht, welche die flächig ausfallenden Eschenbestände ersetzen könnten. Diskutiert werden dabei bspw. Hybridsorten der Pappel (Waldgenetik 2020).

Generell sind **wasserabhängige Waldsysteme** wie die Auwälder besonders von der intensiveren und länger anhaltenden Trockenheit betroffen, da die dort vorkommenden Arten weniger trockenresistent sind (Infrastuktur & Umwelt 2018). Auch die Bestände der Ulmen sind daher durch das komplexe, nicht zwangsläufig klimawandelbedingte, Ulmensterben stark reduziert. Junge Ulmen, die durch Naturverjüngung entstanden sind, sind vorhanden. Ob sie auf Dauer überleben werden, ist jedoch offen.

Die städtische Forstverwaltung reichert daher das Baumartenspektrum zunehmend durch heimische seltene Baumarten an wie die Elsbeere oder den Wildapfel. Auf die Pflanzung fremdländischer Baumarten wird im Naturschutzgebiet Lechauwald verzichtet.

Starkregen

Der Augsburger Stadtwald dient dem Regenwasserrückhalt und der Abpufferung der Auswirkungen von Starkregenereignissen (AELF 2019a).

Fichten und Kiefern, aber auch Buchen und Bergahorn besitzen eine geringe Toleranz gegenüber länger (zwei Wochen) anhaltenden Überflutungen (Macher 2008). Derartig langanhaltende Überflutungen kamen im Augsburger Stadtwald zuletzt aufgrund des Hochwassers 1999 vor, jedoch nicht aufgrund von Starkregenniederschlägen. Aus forstwirtschaftlicher Sicht sind Starkregenereignisse zudem für das **Forstwegenetz** von Bedeutung (MKULNV-NRW 2014), beeinträchtigen also die Nutz- und Erholungsfunktion des Waldes.

Sturm, Schnee, Hagel, Eis

Geschwächte Fichtenbestände, sei es aufgrund der Standorteigenschaften oder aufgrund von Krankheiten bzw. Schädlingen, sind besonders anfällig gegenüber Stürmen, welche in der Vergangenheit öfters als Orkane auftraten und große Schäden verursachten (StMELF 2013). Stürme machen dem Augsburger Wald spürbar zu schaffen (Quelle: Interview).

Größere Windwurfschäden gibt es vor allem in den Forstrevieren außerhalb des Stadtwaldes. Die Bäume in den beiden Forstrevieren innerhalb des Stadtgebietes erreichen eine niedrigere Baumhöhe, was sie für Windwurf weniger angreifbar macht.

Auch **abbrechende Äste** verursachen direkte und indirekte Schäden und führen im Augsburger Stadtwald zu Problemen der Verkehrssicherheit. Dürregeschädigte Bäume, insbesondere Pappeln, aber auch Buchen und Weiden können bei Trockenstress mit Grünastabwurf reagieren (Weihs 2014). Das bedeutet, stärkere begrünte Äste werden abgeworfen und gefährden u. a. die Verkehrssicherheit. Es wirken verschiedene Faktoren risikoverstärkend zusammen: **Trockenstress, Schädlingsbefall, höhere Sturmhäufigkeit bzw. –intensität**.

Ein höherer Anfall von Kalamitätsholz lässt die Preise sinken und mindert den **forstwirtschaftlichen Ertrag**. Insbesondere kleinere Betriebe des Privatwaldbesitzes können dadurch rasch an die Rentabilitätsgrenze und darunter geraten.

Für das Ökosystem Wald kommen weiterhin **klimaunabhängige Gefahren** hinzu, wie Flächenverlust und Zerschneidung von Lebensräumen, Versauerung der Böden, Nährstoffeintrag und Ozon für die Wälder (UBA 2019, Quelle: Interview).

5.11.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

Nimmt man die verschiedenen Facetten der Verwundbarkeit von Wäldern und Forsten zusammen, dann zeigt sich, dass die einzelnen „Angriffspunkte“ nicht isoliert zu betrachten sind, sondern zusammenwirken. Eine quantitative Auswertung zu diesen Wechselwirkungen weltweit zeigt, dass in europäischen Wäldern vor allem eine wechselseitige Verstärkung von Dürre, Feuer, Insektenbefall und Pathogenen zu erwarten ist (Seidl et al. 2017).

Blendet man die Augsburger Wälder außerhalb des Stadtgebiets im Rahmen des vorliegenden Anpassungskonzeptes aus, dann stehen für die städtischen Waldgebiete drei Verwundbarkeits-Aspekte im Zeichen des Klimawandels im Vordergrund.

- Erstens können die heute noch dominierenden Baumarten **Kiefer**, vor allem aber **Fichte** als besonders anfällig für den Klimawandel gelten. Sie werden durch vermehrte Trockenheit, und den Borkenkäfer zukünftig noch stärker bedroht sein als heute. Es bedarf einer breit gefächerten Schutz-und Resilienzstrategie und eines flexiblen, kreativen Umgangs mit dem vermehrten Anfall von Schadholz.

- Ein zweiter Verwundbarkeitsschwerpunkt ist für die **Augsburger Auwälder** gegeben. Es handelt sich um keine echten Auwälder mehr, da sie sich seit den Maßnahmen zur Regulierung von Lech und Wertach in einem massiven Wandel befinden. Die Standortsbedingungen verändern sich und damit auch die Baumartenzusammensetzung. Dies ist unumkehrbar, da auch Maßnahmen wie „Wertach Vital“ und „Licca liber“ nicht mehr zu Überflutungen oder einer Anhebung des Grundwasserspiegels führen. Im Rahmen dieser Projekte geplante oder umgesetzte Maßnahmen führen nur zu äußerst kleinräumigen Veränderungen. Der Auwald ist schon heute ein Landwald, der überwiegend auf trockenen und flachgründigen Standorten wächst und wichtige Funktionen für die Trinkwasserqualität und Erholungsleistung erfüllt. Gerade deshalb bedarf er eines besonderen Schutzes.
- Ein dritter Schwerpunkt der Vulnerabilität in diesem Sektor betrifft den **Kleinbesitz-Privatwald** (ca. 80 Besitzer). Hier besteht zwar in der Regel keine wirtschaftliche Abhängigkeit von den Erträgen, aber das Fachwissen ist gering und die Anpassungsfähigkeit entsprechend auch, was die Vulnerabilität erhöht. Tendenziell steigende negative, oft multisektoralen Einbußen (forstwirtschaftlichen Erträgen, Rückgang Erholungsflächen, Verlust an Ökosystemdienstleistungen, kulturelle Schäden) tendenziell erhöht.

Nach den gemachten Ausführungen muss kaum betont werden, dass die sektorale Verwundbarkeit des Augsburger Waldes direkte ökologische, wirtschaftliche, gesundheitliche und soziale Auswirkungen auf die gesamte Stadt hat.

5.12. Landwirtschaft

5.12.1. Ausgangssituation und Randbedingungen

In der heutigen „modernen“ Zeit passen die Begriffe „Stadt“ und „Landwirtschaft“ für viele Menschen kaum zusammen. Diese Auffassung ist ebenso verbreitet wie falsch und muss für Augsburg in jedem Fall korrigiert werden. Ebenso wie z.B. München oder Berlin (noch viel größere Städte) weist Augsburg erhebliche Landwirtschaftsflächen von überdurchschnittlich guter Qualität aus.

Allerdings ist bereits die Ermittlung der **Landwirtschaftsfläche** Augsburgs schwierig, da unterschiedliche Angaben von verschiedenen Stellen vorliegen. Grund für die Differenzen sind unterschiedliche Datenquellen bzw. Bezugsgrößen.[54] Das Gros der Augsburger Landwirtschaft umfasst Ackerflächen (rd. 85% der landwirtschaftlichen Fläche), gefolgt von Dauergrünland (rd. 13%) und sonstigen Flächen (rd. 2%).

Die **Ertragsfähigkeit der Augsburger Agrarflächen** liegt deutlich über dem bayerischen Durchschnitt. Die Ackerzahl in Augsburg liegt bei 60 (Durchschnitt Bayern: 47), die von Grünland bei 51 (42) (StMUV 2014) (Abb. 129). Das Landesamt für Umweltschutz empfiehlt, dass Böden oberhalb eines Acker- und Grünlandwerts von 48 „grundsätzlich *nicht* im Rahmen der Bauleitplanung oder durch andere Vorhaben in Anspruch genommen werden sollen“ (BGL/ LfU 2003: 18; Hervorh. d. Verf.). Falls Bebauung unumgänglich ist, sollte möglichst flächensparend gebaut und Alternativflächen für Landwirtschaft ausgewiesen werden (ebd.).

Hauptsächliche **Anbaufrucht** ist Weizen, gefolgt von Mais, Wintergerste, Sommergerste und Roggen. Gut die Hälfte der etwa **65 landwirtschaftlichen Betriebe** in Augsburg betreibt Tierhaltung, wobei mehrheitlich **Rinderhaltung** (dort eher Mastbullen/-ochsen, weniger Milch- und Mutterkühe) und **Pferdehaltung** betrieben wird. Schweine und Schafe spielen eine eher untergeordnete Rolle.

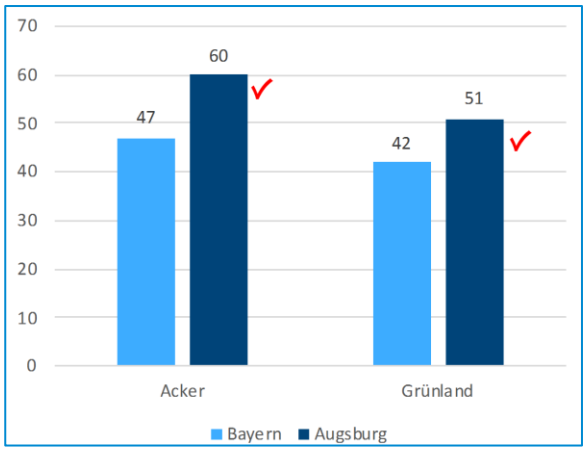


Abb. 129: Überdurchschnittliche Ertragsfähigkeit landwirtschaftlich genutzter Flächen in Augsburg im Vergleich zum bayerischen Durchschnitt; Acker: plus rd. 27 %; Grünland: plus rd. 21%. Quelle: Eigene Darstellung, Daten: StMUV 2014.

Im Stadtgebiet finden sich auch Betriebe der Bioland-wirtschaft sowie Betriebe, die verschiedene Formen der Direktvermarktung betreiben.[55]

Der **Wertschöpfungs- und Beschäftigungsanteil** der Landwirtschaft an der Stadtökonomie ist im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen gering: Nur 0,1% der Bruttowertschöpfung und 0,1% (etwa 150) der sozialversicherungspflichtig Beschäftigen Augsburgs stammen aus dem Sektor Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (Stadt Augsburg 2019). Jedoch: Der **Wert der Landwirtschaft** geht über monetär beschreibbare Größen hinaus und umfasst neben Beiträgen zur **Nahrungsmittelsicherheit** potenziell auch **ökologische, kulturelle, landschaftspflegerische Beiträge**.

Durch die neue Abgrenzung der benachteiligten Gebiete in Bayern seit 2019 (neue Gebietskulisse mit drei Gebietstypen) gilt die Gemarkung Meringerau als „Benachteiligtes Gebiet aus spezifischen Gründen“. Landwirte in diesen Gebieten erhalten eine Ausgleichszulage (AGZ) nach Art. 32 der Verordnung (EU).

---

54 Für das Jahr 2018 gibt der Strukturatlas der Stadt Augsburg (2020) etwa eine Landwirtschaftsfläche von 3.760 ha an, was 25,6% des Stadtgebiets entspricht. Der FNP Augsburgs geht von 3.314,75 ha (22,6%) aus. Die Reihe „Statistik kommunal“ des Bayerischen Landesamts für Statistik (2019) kommt dagegen auf 2.700 ha, was 18,4% der Stadtfläche entspräche – immerhin ein Unterschied von über 1.000 ha. Das Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Augsburg kommt auf 3.061 ha, was knapp 21% der Stadtfläche ausmacht (Interview und schriftliche Mitteilung, 2020). Angesichts der nicht flächenscharfen Darstellung der Verwundbarkeit im KASA spielen diese Größendifferenzen, die auf verschiedenen Erhebungsmethoden und –kriterien beruhen, keine wesentliche Rolle. Bei der exemplarischen Diskussion konkreter landwirtschaftlicher Flächen beziehen wir uns auf die Darstellungen des FNP bzw. des Stadtentwicklungskonzepts (STEK).

55 So das Onlineportal „Dein Bauernladen“ unter: https://www.dein-bauernladen.de/search/city/Deutschland/Augsburg-4-10457,Zugriff: 22.3.2020.

AGZ-Ziele sind die nachhaltige Sicherung der „Fortführung der Landwirtschaft in diesen Gebieten und die flächendeckende **Pflege bzw. Erhaltung der Kulturlandschaft**“ (VLF-Mitteilungsblatt 4/2019: 2).

Agrarpolitische Rahmenbedingungen

Die wirtschaftliche Lage der einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe wird in hohem Maße durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Neben den Kompetenzen auf Bundes- und Länderebene spielt für die Agrarbetriebe die **Gemeinsame Europäische Agrarpolitik** (GAP) eine dominierende Rolle.

Sachsen-Anhalt	+210
Mecklenburg-Vorpommern	+200
Sachsen	+180
Saarland	-160
Thüringen	-200
Brandenburg	-280
Schleswig-Holstein	-1.640
Hessen	-1.890
Rheinland-Pfalz	-3.840
Nordrhein-Westfalen	- 4.640
Baden-Württemberg	- 4.700
Niedersachsen	- 4.720
Bayern	-13.860

Abb. 130: Rückgang landwirtschaftlicher Betriebe nach Bundesländern (2010-2018). Quelle: Destatis 2020.

Abgesehen von einzelnen Bereichen, wo weitgehend die Bundesebene zuständig ist (z.B. Bodenschutz-, Agrarsozialpolitik) kommen viele wichtige Entscheidungen von dort und sie sind nicht unumstritten. Im Herbst 2020 wurde die GAP nicht grundlegend reformiert, aber doch stärker auf ökologische und Klimaschutzaspekte ausgerichtet.

Der **landwirtschaftliche Strukturwandel** führt im Ergebnis in Bayern, aber auch vielen anderen Bundesländern dazu, dass vor allem kleinere Betriebe aufgeben, während größere wachsen (**Konzentrationsprozess**): Zwischen 2015 und 2019 hat die Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe etwa im Landkreis Aichach-Friedberg um 5,4% abgenommen. Der Rückgang in der Zahl der Betriebe betraf alle Betriebsgrößenklassen unter 100 ha pro Betrieb.

Abb. 131: Protest mit rd. 3.000 Teilnehmenden und rd. 2.500 Traktoren aus ganz Schwaben in Augsburg (2020). Quelle: Joseph Schuhbauer / Moderner-Landwirt.de.

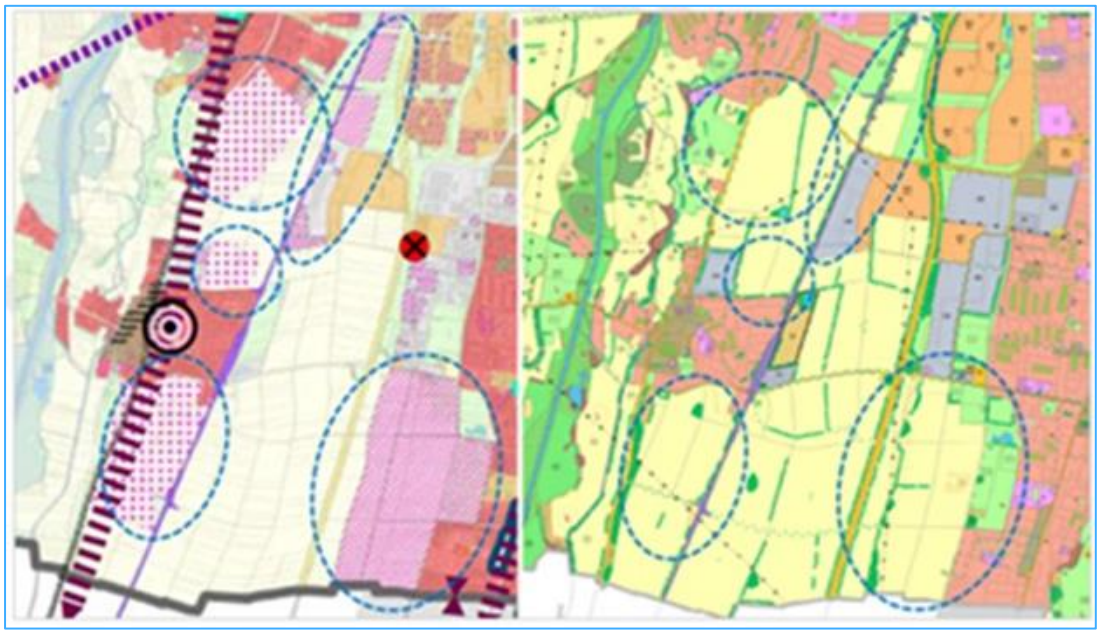
Die Zahl der Betriebe über 100 ha ist im selben Zeitraum um 10% gestiegen. Im LK Augsburg sank sie im gleichen Zeitraum insgesamt um 4,2%, während die Anzahl der Betriebe über 100 ha um 15,6% zunahm (AELF Bayern). Aktuell wehren sich auch Augsburger Landwirte insbes. gegen die neue Düngeverordnung (DÜV 2020) sowie gegen den Umgang mit der Blauzungenkrankheit, wo strenge Verbringungsregeln insbes. die Milchviehhalter unter Druck setzen.

Umwandlung landwirtschaftlicher Flächen

Augsburgs Landwirtschaftsfläche nimmt seit vielen Jahren ab, hier liegt die Kommune ganz im deutschen und bayerischen Trend. Die Städte dehnen ihre Siedlungs- und Verkehrsflächen immer mehr aus, und sie tun dies meist auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche, sogar weltweit: Simulationen rechnen mit einem Rückgang von 1,8-2,4% weltweit bis 2030. Da das verlorene Ackerland in der Regel deutlich produktiver ist als die Flächen es durchschnittlich sind, würde das Stadtwachstum bis 2030 zu einem weltweiten Ertragsverlust von 3-4% führen, in Europa von 1-2% (Bren d’Amour et al. 2017).

Der Verlust landwirtschaftlicher Flächen hat nicht nur **Folgen** für den Landwirtschaftssektor selbst, sondern auch für das **Stadtklima**. Einer Studie zufolge, die die globalen Auswirkungen des städtischen ➤ **Wärmeinsel-Effekts** aufgrund einer Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen untersucht, beträgt die daraus resultierende zusätzliche Erwärmung der wachsenden Städte in der gemäßigten Zone (zu der Augsburg gehört) bis zum Jahr 2050 je nach sozio-ökonomischem Szenario 0,62-0,7 °C (Sommer, tagsüber) bzw. 0,7-0,77 °C (Sommer, nachts). Damit trägt das Stadtwachstum über den Wärmeinsel-Effekt ungefähr so viel zur lokalen Erwärmung bei wie der anthropogene Treibhauseffekt (Huang et al. 2019).

Karte 16: Baupotenziale („Gewerbepotenzialflächen“ bzw. „Entwicklung Gewerbepotenzialflächen“ aus Karte „Bestand und Analyse“ bzw. aus Karte „Ziele und Projekte“, links) und Flächennutzung (lt. FNP, rechts) im Nordosten Augsburgs. Quelle: STEK 2020.



Karte 17: Baupotenziale („mögliche Siedlungspotenziale“ bzw. „Reserveflächen für langfristige Siedlungspotenziale“ lt. Karte „Bestand und Analyse“ bzw. lt. Karte „Ziele und Projekte“, links) und Flächennutzung (lt. FNP, rechts) im Süden Augsburgs. Quelle: STEK 2020.

Der Verbrauch von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Augsburg betrug zwischen 2012 und 2018 im Schnitt 40,2 ha pro Jahr.[56] Mit Blick auf die **Flächenverbrauchsziele der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie** bedeutet das eine fast zehnfache **Überschreitung**; es dürften für Augsburg lediglich 4,5 ha/Jahr sein.[57]

Bemerkenswert sind die jährlichen Schwankungen: 2013 etwa waren es 73 ha, 2018 wurde mit -16 ha erstmals ein negativer Wert erreicht.[58] In den „Zukunftsleitlinien der Stadt Augsburg" wird das Ziel formuliert, Flächen und Bebauung nachhaltig zu entwickeln, wozu eine nachhaltige Flächennutzung nebst Flächenmanagement gehört.

Die Frage des optimalen Umgangs mit (bis *dato* landwirtschaftlich genutzten) Flächen, konkret: ihrer Umwandlung, wird angesichts der fortbestehenden Bedarfe von verschiedensten Seiten (→ HF Gebäude, → HF Industrie/ Gewerbe, → HF Biodiversität; → HF Verkehr) zukünftig nicht einfacher.

Überregionale Zahlen deuten darauf hin, dass über viele Jahre hinweg bayernweit zu sorglos mit der Ressource Boden umgegangen wurde: So hat Bayerns Bevölkerung zwischen 1980 und 2018 um 20% zugenommen; im gleichen Zeitraum wuchs die Siedlungs- und Verkehrsfläche um 50%, während die Landwirtschaftsfläche um 12% abgenommen hat.

In Zukunft könnte auch die Landwirtschaftsfläche Augsburgs weiter schrumpfen, der Flächenverbrauch steigen. Die „Offensive Wohnraum Augsburg" (→ HF Gebäude) sieht als erste Säule die Aktivierung von neuen Wohnpotenzialen vor.[59] Dazu rechnen insgesamt 210,9 ha mit 12.642 Wohneinheiten (WE), die zu unterschiedlichen Zeiten zur Verfügung stehen: kurzfristig (in 1-4 Jahren verfügbar): 65,2 ha (5.792 WE); mittelfristig (5-10 J.): 84,7 ha (4.275 WE); langfristig (ab 11 Jahre): 61 ha (2.575 WE).[60]

Unter den vom StEK ausgewiesenen (langfristigen) Potenzialflächen befinden sich auch Flächen, die aktuell noch **landwirtschaftlich genutzt** werden (Karten 16 und 17). Im Stadtentwicklungskonzept werden einige dieser Flächen benannt, wobei zwischen Bauflächenpotenzialen und geeigneten Bereichen für mögliche Siedlungspotenziale und Ortsarrondierungen unterschieden wird. Im Ziele- und Projekte-Plan des STEK-Handlungsfelds 5 („Wohnen und Soziales") werden die kurz-, mittel- und langfristigen wesentlichen Wohnbauvorhaben ebenso wie die Reserveflächen für langfristige Siedlungspotenziale ausgewiesen. In beiden Kategorien haben Landwirtschaftsflächen (insbesondere im Süden der Stadt) einen hohen Anteil, könnten also kurz- bis langfristig verschwinden.[61]

Aktuell verlaufen wichtige **Kalt- und Frischluftleitbahnen** ganz in der Nähe von als Bau- bzw. Siedlungsflächenpotenziale ausgewiesenen Landwirtschaftsflächen, die Augsburgs überwärmte innerstädtische Gebiete entlasten.

Nicht als Wohn-, aber als Bauflächenpotenziale weist das STEK zudem auch Areale im Nordosten der Stadt (etwa vom Flughafen bis zum Bereich östlich der Blücherstraße in Lechhausen, in der Friedberger Au als Teil der Talböden des Lechs) aus, die laut Grün- und

---

[56] Vgl. die Nachhaltigkeitsindikatoren zu den Augsburger Zukunftsleitlinien (https://www.nachhaltigkeit.augsburg.de/fileadmin/nachhaltigkeit/data/Indikatorenbl%C3%A4tter_Zukunftsleitlinien/Indikatorblatt_W5.2-2_Fl%C3%A4chenverbrauch.pdf).

[57] Sowohl die EU als auch die Bundesregierung streben für das Jahr 2050 eine Flächenkreislaufwirtschaft an, d.h. ein Netto-Null-Ziel beim Flächenverbrauch. Der an diesem Ziel ausgerichtete kommunale Flächenrechner des UBA (https://gis.uba.de/maps/resources/apps/flaechenrechner/index.html?lang=en) empfiehlt im Falle Augsburgs eine schrittweise Absenkung des jährlichen Flächenverbrauchs von 23,6 ha (2017-19) über 16,6 ha (2020-22) und 13,9 ha (2023-25) auf 11 ha (2026-28).

[58] Hierbei handelte es sich im Wesentlichen um Umwandlungen von Gewerbegebiet in Unland, d.h. Flächen ohne nennenswerten Bewuchs auf Grund besonderer Bodenbeschaffenheit wie z.B. Steine und Schotter.

[59] Siehe online unter: https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/wohnen-und-bauen/offensive-wohnraum-augsburg/neue-wohn-und-bauflaechen; Zugriff: 03.06.2020.

[60] Diese Zahlen basieren auf einer aktualisierten Abschätzung des Stadtplanungsamtes vom 20.07.2020 (persönliche Mitteilung).

[61] Genaues Tempo, vor allem aber auch Art dieses „Verschwindens", also des Flächenverbrauchs von Landwirtschaftsflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke, hängen von der weiteren städtischen Entwicklung und der detaillierten Bebauungsplanung ab. Gleichwohl muss im Rahmen des vorliegenden Konzepts, das sich mit dem Klimawandel bis zum Jahr 2100 in Augsburg befasst, auch die im aktuellen STEK vorgesehene Bau- bzw. Siedlungsentwicklungs*reserve* (also die im Rahmen eines STEK als „langfristig" bezeichnete Perspektive) in den Blick genommen werden.

Freiflächenkonzept als **Moorboden** klassifiziert werden.[62] Moorböden speichern in ihrer Torfschicht überdurchschnittlich viel Kohlenstoff. Gemäß bayerischem Arten- und Biotopschutzprogramm (ABSP) werden die im Augsburger Stadtgebiet vorkommenden feuchten bis nassen Böden als wichtig auch wegen ihrer vorrangiger Arten- und Biotopschutzfunktion bewertet. Das natürliche Bodengefüge sollte daher in diesen Bereichen erhalten werden. Laut Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept sollte eine Verbauung, Aufschüttung oder Versiegelung dieser Flächen unbedingt vermieden werden.

Das Landesamt für Umwelt (LfU) empfiehlt sogar die **Wiedervernässung von entwässertem ehemaligen Feuchtgrünland und Moorböden** insbesondere auch zur Verbesserung des Retentionsvermögens“ (BGL/ LfU 2003: 21). Im Zuge des Klimawandels besteht grundsätzlich die Gefahr, dass diese Böden weiter austrocknen, was neben ihrer klimatischen Ausgleichsfunktion auch die Emission von Treibhausgasen vom Augsburger Stadtgebiet erhöhen könnte.[63]

Summiert man alle im STEK als Bauflächen und Siedlungspotenziale ausgewiesenen Flächen – einschließlich der langfristigen Potenzialflächen, auf denen heute Landwirtschaft betrieben wird, kommt man auf ca. 200 ha – also etwa 282 Mal die Größe des Fußballfelds der WWK-Arena (0,71 ha). Unter Zugrundelegung der landwirtschaftlichen Nutzfläche des Strukturatlas Augsburg für das Jahr 2018 (3.760 ha) entspräche dies einem **langfristigen Verlust von 5,3% der aktuellen Landwirtschaftsfläche**.

Das STEK geht explizit (und stärker als viele andere Stadtentwicklungskonzepte anderer Städte) auf die **Herausforderungen des zukünftigen Klimawandels** ein und berücksichtigt diese in seinem raumbezogenen Abwägungsprozess der unterschiedlichen Anforderungen an die städtische Raumnutzung.

Im Leitbild wird Augsburg ausdrücklich als **klimaresiliente, durchlüftete und begrünte Stadt** bezeichnet und verschiedene stadtklimatisch sensible Gebiete werden als **zu schützende Flächen** eingestuft. Das STEK erkennt auch deutlich den hohen Siedlungsdruck bei begrenzter Flächenverfügbarkeit und **Flächenkonkurrenzen** als ein Risiko der Stadt in seiner SWOT-Analyse.

Aus Sicht eines Klimaanpassungskonzepts ist es wichtig, dieses Risiko stets vor Augen zu haben und möglichst zu minimieren. Gerade dort, wo die bestehenden Freiflächen unter aktueller landwirtschaftlicher Nutzung wichtige stadtklimatische Funktionen erfüllen – Frisch- und Kaltluftleitbahnen, Kaltluftentstehung, CO_2-Bindung - sollte von einer Überbauung abgesehen werden. Die für 2021/22 vorgesehene Stadtklimafunktionskarte wird für die Bewertung dieser Flächen eine wesentliche Grundlage liefern.

Angesichts von Bevölkerungszuwachs und Siedlungsdruck wäre es erforderlich, verstärkt **Nachverdichtungspotenziale** zu nutzen, etwa durch Priorisierung von gebäudebezogenen Nachverdichtungsmodellen (Umbau, Ausbau, Aufstockung) und Überbauung großflächiger bereits versiegelter Flächen (u.a. Parkplätze).[64] Im Falle des bereits geplanten Haunstetten-Süd-West sollten Grün- und Freiflächen im Gleichschritt mit den neuen Siedlungsflächen entwickelt werden. Dabei bieten sowohl das Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept als auch das STEK wertvolle Hinweise. Dort gelten der **Vorrang der Innen- vor der Außenentwicklung** sowie das **Konzept der doppelten Innenentwicklung** sogar als Leitprinzipien.

Neben stadtklimatischen Beiträgen der Flächen sind weitere Funktionen der Landwirtschaft zu bedenken: Sofern es sich um eine biologische Bewirtschaftungspraxis handelt, sind auch die **ökologischen Verluste**

---

[62] Vgl. auch den Umweltatlas Bayern (https://www.umweltatlas.bayern.de). In Senken und Niederungen sowie Flusstälern kommen Gleyböden vor, da sich an diesen Standorten das Sickerwasser der Umgebung sammelt. Gleyböden führen ganzjährlich Grundwasser mit schwankendem Grundwasserflurabstand.

[63] Im Rahmen der Bearbeitung des vorliegenden Konzepts war es nicht möglich, die edaphischen und klimarelevanten Gegebenheiten der Augsburger Moorböden zu untersuchen. Mithin konnten auch keine detaillierten Strategieempfehlungen hierfür abgegeben werden. Es wird empfohlen, dies im Rahmen einer gesonderten Untersuchung zu prüfen.

[64] Das fordert auch das Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept der Stadt Augsburg. Das Stuttgarter Institut Stadt, Mobilität, Energie (ISME) hat 2018 im Auftrag der Kreisgruppe Augsburg des BUND - Naturschutz in Bayern e.V. eine Studie zur **ökologischen Siedlungsentwicklung** in Augsburg vorgelegt (ISME 2018), in der unter Zugrundelegung der von der Offensive Wohnraum Augsburg bezifferten Wohnraumbedarfe versucht wird, eine flächenschonende Form der Wohnraum- und Siedlungsentwicklung zu entwickeln.

Dieser Studie zufolge könnten rd. 3.880 Wohneinheiten durch **Nachverdichtung im EFH- und MFH-Bereich, durch Nutzung von Baulücken und Überbauung von Parkplätzen und Discountern in Mischgebieten** gebaut werden und damit den Flächenverbrauch in Augsburg reduzieren. Die Studie spricht auch die verschiedenen (z.B. bau- und planungsrechtlichen) Hürden an, die es dafür zu überwinden gilt.

Exkurs 14: Klimawandel und Versorgungssicherheit

Die Erfahrungen der Nachkriegszeit mit Hunger und Knappheit in Europa waren eine wesentliche Triebkraft für eine Europäische Agrarunion und die **Sicherung der Versorgungssicherheit** ist nach wie vor eine Kernaufgabe Gemeinsame Europäische Agrarpolitik (GAP). Dies gelingt so erfolgreich, dass in Europa gegenwärtig gar von „Überfluss" gesprochen werden kann; die Vorstellung, dass es Knappheiten geben könnte, liegt fern.

Wählt man eine längerfristige Perspektive, so sind zukünftige Risiken als Folge des Klimawandels für die **lokale Versorgungssicherheit** jedoch nicht auszuschließen.

Schon heute sind Klimafolgen weltweit zum Verlust landwirtschaftlich nutzbarer Flächen verantwortlich und Extremwetterereignisse führen zu spürbaren Angebots- und Preisschwankungen auf den Weltmärkten für Agrarprodukte (IPCC 2019).

Kornhuber et al. (2019, 2020) zeigen etwa, dass der ➤ Jetstream gleichzeitige Hitzewellen mit entsprechenden Produktionseinbrüchen in jenen drei Regionen unserer Erde hervorrufen kann, die als „Kornkammern" rd. 25% der globalen Nahrungsmittelproduktion liefern.

Der zukünftig eher schwieriger werdenden landwirtschaftlichen Produktion steht zudem angesichts des weltweiten Bevölkerungswachstums eine global stark **steigende Nachfrage** gegenüber: So weist die Welternährungsorganisation FAO seit langem kontinuierlich darauf hin, dass bis zum Jahr 2050 deutlich mehr Lebensmittel, Futtermittel, Agrarkraftstoffe und Agrarrohstoffe für andere industrielle Nutzungen produziert werden, um die steigende Nachfrage zu bedienen (www.fao.org).

Vor diesem Hintergrund kann das **Potenzial lokaler Nahrungsmittelerzeugung als „Aktivposten" lokaler Anpassungsfähigkeit** begriffen werden. Auch deshalb werden private Grünflächen und Obstgärten im FNP (vorrangig in Siedlergebieten) geschützt; das STEK erneuert dieses Ziel auch mit Blick auf Stadtklima und Wasserretention. Zuletzt hat uns die COVID-19-Pandemie gezeigt, wie wichtig das Funktionieren lokaler Wirtschaftskreisläufe in Krisenzeiten sein kann: Auch zukünftig können Pandemien oder andere geopolitische Ereignisse das Funktionieren internationaler Lieferketten beeinträchtigen bzw. klimawandel-bedingte Risiken verstärken.

In ihrer Gesamtheit laufen diese Überlegungen auf den Appell hinaus, die ertragreiche Augsburger Landwirtschaftsfläche und die Betriebe (als Halter des Wissens, der Techniken und der Kultur agrarischer Produktion) weitestmöglich zu erhalten.

einer Nutzung der Flächen z.B. für Gebäude oder Verkehr zu berücksichtigen.[65]

Auch sind Flächen und **Anpassungskapazitäten** allein **des Bodens** zu bedenken wie Regenwasserrückhalt und –ableitung, Grundwasserbildung, Erosionsschutz Biodiversität u.a. Diese sicherzustellen, ist nicht nur eine Frage umsichtigen Flächenmanagements, sondern auch von aktiven (vorbeugenden) Maßnahmen zum **Bodenschutz**.

Die wichtigste Funktion landwirtschaftlicher Tätigkeit ist schließlich die **Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte**.[66] Jede Flächenreduktion ist gleichbedeutend mit der **Minderung des Potenzials lokaler Erzeugung** (Exkurs 14).

Die Stadt Augsburg und der Landkreis Augsburg sind seit Mai 2019 staatlich anerkannte **Öko-Modellregion** (ÖMR). Dahinter steckt die Idee, dass kommunale Akteure, Landwirte und die Verbraucherinnen/ Verbraucher gemeinsam zu einer Stärkung des ökologischen Anbaus und lokaler Absatzmöglichkeiten beitragen. Der Zuwachs des ökologischen Landbaus käme einer Win-Win-Situation gleich, von der Mensch und Natur in der Region gleichermaßen profitieren.

Eine in diesem Sinne nachhaltige Landwirtschaft liefert wichtige **ökologische Beiträge**: Der Verzicht auf künstliche Düngemittel und Pestizide sowie etwa die geringere Anbauintensität beeinflussen die Artenvielfalt auch bei wilden Pflanzen- und Tierarten positiv. Derartig genutzte Flächen tragen dazu bei, die klimabedingte Biodiversitätsproblematik (→ HF Biodiversität) im Stadtgebiet abzumildern.

---

[65] Vgl. auch das STEK, das Synergien zwischen Landwirtschaft und Ökologie durch Benennung sog. Agrotope bewusst fordert. Dabei steht die Bezeichnung Agrotop für ein vom Menschen zwecks agrarischer Nutzung überformter bzw. gestalteter Lebensraum für bestimmte Pflanzen- und Tiergesellschaften.

[66] Auch das STEK erwähnt explizit den Erhalt landwirtschaftlicher Strukturen als Ziel, insbes. auch mit Blick auf regionale Kreisläufe. Gleichwohl werden landwirtschaftliche Flächen als langfristige Reserven für Siedlungs- bzw. Gewerbeflächenpotenziale geführt (vgl. oben Karte 16f.). Aus Sicht der bestmöglichen Anpassung an die Folgen des Klimawandels wäre diesbezüglich die Prioritätensetzung der Ziele zugunsten der landwirtschaftlichen Nutzung zu prüfen.

Abb. 132: Kleingärten können einen Beitrag zur Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel leisten. Impressionen aus den Kleingartenanlagen Schillerschule (oben links) sowie Waxensteinstraße (oben rechts). Quelle: Stadtverband Augsburg der Kleingärtner e.V.: https://www.augsburger-kleingarten.de

Imkern, Fischerei, Kleingärten, Urban Gardening, Schulgärten

Augsburg verfügt über mehrere **Imkereien** und rege Aktivitäten im Bereich der **Fischerei**. Zu erwähnen sind an dieser Stelle noch die **Kleingärten,** die sich gewissermaßen im Schnittfeld zwischen Landwirtschaft und städtischem Grün befinden.

Zur Zeit der Erstellung dieses Konzepts befand sich der **Kleingartenentwicklungsplan** in einer Aktualisierungsphase, der alte Plan umfasst die Jahre 2005-2020 (Stadt Augsburg 2006). Für 2005 werden in Augsburg 5.202 Kleingärten in 52 Anlagen registriert, die Mehrzahl davon gehört dem Stadtverband Augsburg der Kleingärtner e.V. an, der 2015 100-jähriges Bestehen feierte (Abb. 132). Pro Tausend Einwohner entspricht das 17,6 Kleingärten.

Die **Kleingartendichte** in Bayern ist allgemein geringer als im Bundesdurchschnitt. In München kommen auf 1.000 Einwohner 6,8 Kleingärten, in Regensburg 13,8, in Köln 14,3, in Hamburg 18,4, in Berlin 19,9, in Frankfurt am Main sogar 21,1 Kleingärten. Augsburg hat also eine im Bundesvergleich *recht* hohe, im Bayern-Vergleich *sehr* hohe Kleingartendichte bei weiterhin hoher Nachfrage (BBSR 2019).

Abgesehen von positiven sozialen Effekten werden Kleingärten auch zunehmend wichtiger aufgrund ihres **klimarelevanten Nutzens**: Sie verbessern das Stadtklima durch die **Kühlleistung** ihrer **Vegetation** und der gering versiegelte Boden erlaubt die Aufnahme von Regenwasser. Auch können sie je nach gärtnerischer Praxis spürbar zur städtischen **Biodiversität** beitragen. Dass dieses Ziel zwar (noch) nicht durchgängige Praxis, aber doch lebendig ist, belegt auch die Einrichtung der Position eines gesonderten Naturschutzbeauftragten im Stadtverband Augsburg der Kleingärtner e.V., der sich des Themas „Natur- und Artenschutzes in Kleingärten“ mit verschiedenen Formaten annimmt.

Das moderne Komplement des traditionellen Kleingartens ist das **Urban Gardening** (städtisches Gärtnern). Genaue Informationen über die Gesamtanzahl oder -fläche solcher Gärten in Augsburg sind nicht zu finden, aber ihre Zahl wächst nach Angaben des „Arbeitskreises Urbane Gärten“. Ein kürzlich ausgezeichnetes Beispiel ist der Minibauernhof „CityFarm“ (Abb. 133).

Abb. 133: „CityFarm Augsburg“. Die Auszeichnung für die *CityFarm Augsburg* als offizielles Projekt der „UN-Dekade biologische Vielfalt“ im Jahr 2020 deutet auf die Relevanz von „Urban Gardening“-Projekten für den Erhalt der Biodiversität. Quelle: AK Urbane Gärten.

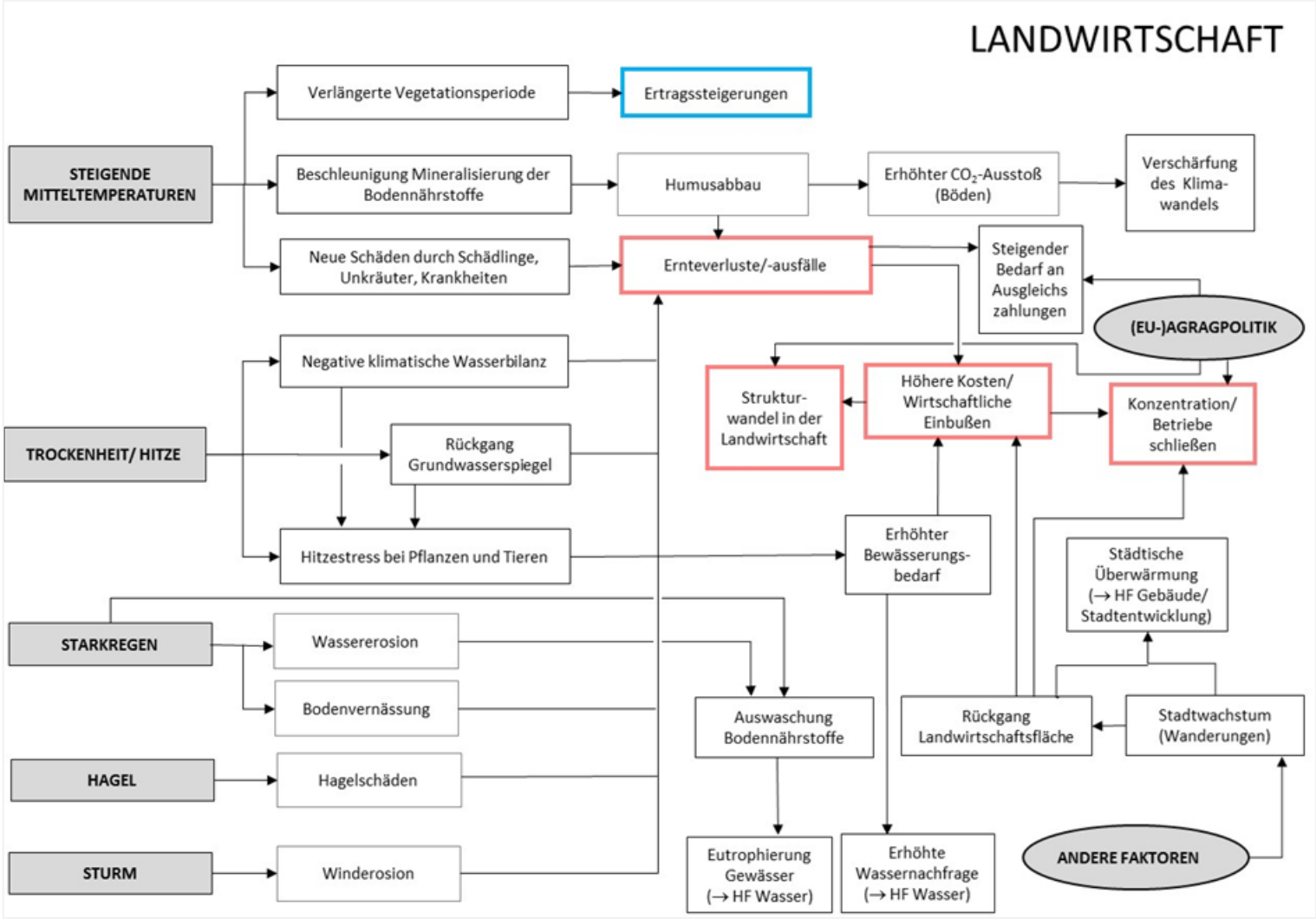


Abb. 134: Klimawirkungskette im Handlungsfeld Landwirtschaft. Schematische Darstellung der relevanten Klimasignale (grau gefüllte Kästen, linker Rand), wichtiger Folgewirkungen (weiß gefüllte Kästen), Randbedingungen (Ellipsen) sowie wichtiger Verwundbarkeiten (rote Kästen) und Chancen (blaue Kästen).

Städtisches Gärtnern ist ein dynamisches Feld. Weitere aktuelle räumliche Schwerpunkte liegen hauptsächlich im Nordwesten der Stadt, also in Pfersee, Kriegshaber und Oberhausen - Weitere gegenwärtige Beispiele für Urban Gardening sind der interkulturelle Garten „Grow up“ hinter dem Reese-Theater, das „Augsburger Kräutergärtlein“ im Roten Tor Park oder der „Interkulturelle Garten“ in der Austraße; außerdem Big Bags“ (d.h. mit Erde befüllte, bepflanzbare große Gewebesäcke) an verschiedenen Standorten wie etwa im Wittelsbacher Park, an der Dieselbrücke oder am Wertachbrucker Tor (Haunberger 2018).

Anders als die Kleingärtnerei ist das „**Urban Gardening“** nicht zwingend auf ausgewiesene Bodenflächen (etwa laut FNP) angewiesen, sondern funktioniert auch in Kleinstformaten (Hochbeete, Erdsäcke etc.) auf z.B. versiegelten Flächen.

Schließlich sind **Schulgärten** zu nennen. z.B. Kriegshaber, Am Roten Tor oder im Neusäßer Ortsteil Täfertingen (ehem. Gartenbauverein; heute Kooperation mit der Gemüseakademie). Auch Schulgärten und begrünte Schulhöfe können – abgesehen von positiven umweltpädagogischen Effekten - das Mikroklima – z.B. in heißen Sommern – deutlich beeinflussen (insbes. Bäume, Wasserflächen) und zu einem höheren ➤ Grünvolumenindex in der Stadt beitragen.

5.12.2. Verwundbarkeitsanalyse

Bevor in diesem Abschnitt die Klimafolgen und die Verwundbarkeit im Handlungsfeld Landwirtschaft detailliert entlang der Klimasignale untersucht werden, gibt die Klimawirkungskette (Abb. 134, vorherige Seite) einen schematischen Gesamtüberblick.

Die detaillierte Verwundbarkeitsanalyse orientiert sich in den folgenden Abschnitten an den Klimasignalen (Kap. 4) und ihren sektoralen Folgen.

Steigende Mitteltemperaturen

Durch insgesamt steigende Temperaturen sowie Wärmesummen, auch im Frühjahr und Herbst, verlängert sich die **Vegetationsperiode** für die Kulturpflanzen. In Bayern ist dabei bereits gegenwärtig eine Veränderung zu spüren: Landesweit beginnt die Vegetationsperiode etwa alle 10 Jahre vier Tage früher und ist um drei Tage verlängert (StMUV 2015). Das bedeutet auch, dass sich die phänologischen Phasen der Pflanzen und ihre Entwicklung verschieben – seit 1989 etwa zwei Wochen nach vorn und ca. 10 Tage länger (→ HF Biodiversität).

Biophysikalische Modellierungen mit Pflanzenwachstumsmodellen für ausgewählte Standorte in Bayern zeigen in der Mehrzahl der untersuchten Fälle, dass bei Sommerungen (Sommergerste, Mais, Kartoffeln) die Erträge eher zurückgehen, wohingegen sie bei Winterungen (Wintergerste, Winterweizen, Winterraps) tendenziell steigen (StMUV 2015). Insgesamt scheint die Schwankungs*breite* der Erträge zuzunehmen, was ein **höheres Ertragsrisiko** mit sich bringt.

Während Pflanzen im Frühjahr hauptsächlich temperatursensitiv reagieren – weshalb es zu einer früheren Vegetation kommt -, sind viele Tiere vorrangig fotosensitiv. Dazu gehören auch die bestäubenden Insekten.

Es kommt damit tendenziell zu einer **Entkopplung von Pflanzenwachstum und Bestäubung** (Gömann et al. 2017).

Der globale Klimawandel wird getrieben durch den Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre, darunter insbesondere Kohlendioxid (CO_2). Das vorhandene CO_2 aus der Atmosphäre regt die Photosynthese an. Dies trifft insbes. zu für sog. C_3-Pflanzen (z.B. Weizen, Roggen, Zuckerrüben), weniger bei C_4-Pflanzen (z.B. Mais, Hirse, Zuckerrohr). Ob und wie genau sich dieser sogen. **CO_2-Düngeffekt** positiv auf Ertrag und Wachstum der Pflanzen auswirkt und welche Gesamtbewertung sich bei Berücksichtigung der Nebeneffekte ergibt, ist heute noch nicht eindeutig zu sagen.

Forschungen unter Beteiligung der Universität Augsburg deuten auf die **Grenzen positiver Effekte auf das Pflanzenwachstum** hin: Die Erhöhung dieses einen Faktors Kohlendioxid spiegelt sich ab einem bestimmten Schwellwert nicht mehr in Pflanzenwachstum wieder, da Pflanzen stets auf eine ausgewogenes Verhältnis von CO_2, Wasser und Nährstoffen angewiesen sind (Songhan Wang et al. 2021). Da mit dem Klimawandel das Thema „Wasserverfügbarkeit“ zunehmend brisanter wird, dürfte der Gesamteffekt global gesehen bereits gegenwärtig bzw. in Kürze negativ sein.

Exkurs 15: Humusabbau als Klimafolge

Der Anstieg der Mitteltemperaturen hat auch einen **negativen Effekt auf den Humusgehalt der Böden**.

Humus und anderes organisches Material im Boden sorgen für die Bodenfruchtbarkeit. Böden mit einem hohen Gehalt an organischer Substanz können mehr Nährstoffe und Wasser speichern und an Pflanzen abgeben als humusärmere Böden. Humus besteht etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff.

Böden sind große Kohlenstoffspeicher und emittieren auch CO_2. Dies erfolgt über die sog. mikrobielle Mineralisation und führt zu CO_2-Emissionen, denen die Kohlenstoffbindung durch den Eintrag pflanzlicher Rückstände und von organischem Dünger gegenübersteht. Normalerweise herrscht ein Gleichgewicht aus Kohlenstoffeintrag und -austrag.

Im Zeichen des Klimawandels verschiebt sich dieses Gleichgewicht zugunsten der Mineralisation. Die höheren Temperaturen begünstigen eine mikrobielle Aktivität. Bei einer Temperaturerhöhung um 1° C wird ca. zehn Prozent mehr CO_2 durch Bodenatmung freigesetzt. Das verstärkt wiederum den anthropogenen Treibhauseffekt.

Zudem führt dieses wachsende Ungleichgewicht zu einem Humusabbau, also auch zum **langfristigen Verlust der Bodenfruchtbarkeit**: Bis Ende des 21. Jahrhunderts kann dieser – je nach Klimaszenario – in Bayern 12-21% betragen (Wiesmeier et al. 2015, Wiesmeier 2019).

Besonders hohe Treibhausgasemissionen entstehen übrigens, wenn nach langem Austrocknen des Bodens Starkniederschlagsereignisse stattfinden, da dann Kohlenstoff und Stickstoff besonders rasch umgesetzt werden. Genau diese meteorologische Kombination dürfte den Szenarioberechnungen dieses Gutachtens zufolge zukünftig häufiger auftreten.

Mildere Winter

Früher im Jahr beginnendes Pflanzenwachstum und steigende Nachttemperaturen ermöglichen **höhere und längere Aktivität für viele Schädlinge**, insbesondere Insekten. Sie können sich stärker vermehren und rasch weiter ausbreiten.

Viele Schadinsekten profitieren von milderen Wintern. So überleben beispielsweise mehr virusinfizierte Blattläuse, die dann schon zeitig im Frühjahr die Pflanzen anfliegen und die Krankheit rasch weiterverbreiten. Wärmeliebende Unkräuter breiten sich aus und verändern das zu bekämpfende **Artenspektrum** auf dem Acker.

Seit 1960 sind wärmeliebende Insektenschädlinge weltweit jedes Jahr um 2,7 Kilometer nach Norden gewandert, auch Augsburger Landwirte sind akut von Ernteausfällen durch neue Schadinsekten betroffen. Ein Beispiel ist die Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*), die kommerziell relevante Obstsorten, aber auch heimische Wildfrüchte befällt; siehe LWG Bayern 2020). Sie fühlt sich dank des Klimawandels zunehmend in Europa wohl und ist seit 2011 auch in Deutschland nachgewiesen. Sie vermehrt sich sehr schnell, breitet sich immer weiter aus und ist auch in Augsburg als Schadinsekt bekannt.

Im Gegensatz zu unseren heimischen Essigfliegen, die ausschließlich vorgeschädigte und faulende Früchte zur Eiablage aufsuchen, befällt diese Kirschessigfliege gesunde Früchte, die kurz vor Erntereife stehen. Die Abb. 135 zeigt ein Männchen (Weibchen größer und ohne Punkte).

Abb. 135: Die wärmeliebende Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*). Quelle: Wikipedia (Martin Hauser/ Phycus: https://commons.wikimedia.org/wiki/File: D_suzukii_male1.jpg).

Bei einer Steigerung der Durchschnittstemperaturen um drei bis sechs Grad Celsius erwartet das *Julius-Kühn-Institut für Kulturpflanzen* eine **Nordwanderung bis zu tausend Kilometer.** Weiterer Forschungsbedarf besteht deshalb vor allem mit Blick auf die Weiterentwicklung integrierter Pflanzenschutzkonzepte (Maixner/ Hommes/ Zwerger 2017).

Trockenheit und Hitze

Grundsätzlich sind Niederschlag und Wasserhaushalt ausschlaggebend dafür, welche Kulturpflanzen sich erfolgreich anbauen lassen. Bereits geringe Veränderungen der Niederschlagsmengen wirken sich deutlich auf die **Produktivität von Agrarökosystemen** aus.

Für Augsburg haben die Klimaszenarien, die diesem Gutachten zugrunde liegen, einen Anstieg der Temperaturen bei gleichzeitiger weitgehender Konstanz der Niederschläge für die nähere, den Anstieg beider für die fernere Zukunft ergeben. Allerdings zeigt sich im RCP8.5-Szenario besonders im Sommer ein Rückgang der Niederschläge bei gleichzeitigem deutlichem Anstieg von Hitzetagen und Trockenphasen (vgl. Kapitel Klimatologie). Damit sind steigender **Hitze- und Trockenstress** für die Augsburger Landwirtschaft zukünftig wahrscheinlicher.

Tritt Trockenheit bereits zu Vegetationsbeginn auf, kann sich abhängig von der Bodenart auch das **Keimen und Aufgehen von Ackerkulturen** verringern. Darüber hinaus sind bei geringer Bodenfeuchte **Nährstoffe** schlechter verfügbar, **Pflanzenschutzmittel** weniger wirksam, der **Humusaufbau** verringert und die **Anfälligkeit des Bodens gegenüber Winderosion** hoch. Kulturpflanzen reagieren besonders sensibel auf einen **Anstieg der Temperaturvariabilität**, also der Schwankungen zwischen Minimal- und Maximaltemperatur (Porter/ Semenov, 1999).

Die Zunahme von Trockenperioden wirkt sich negativ auf die **Erträge etwa** von Winterweizen und Silage-Mais aus (Gornott/ Wechsung 2016). Bei Weizen und Mais führen Temperaturen über 30 bzw. 35 °C zudem

Abb. 136: Rinder in Augsburg. Deutschlandweit stellen Produktionsausfälle aufgrund von zunehmender Hitze und Trockenheit ein Risiko für die Verfügbarkeit von Futtermitteln dar.

zur **Sterilität der Pollen**, stören so die Befruchtung und den Fruchtansatz. Das verringert die potenzielle Kornzahl und schmälert den Ertrag (Gömann et al. 2017).

Das Sommerhalbjahr 2018 war besonders warm und trocken, es war laut der Bilanz des *Deutschen Wetterdienstes* mit einer Durchschnittstemperatur von 10,5 Grad Celsius das bisher wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 (DWD 2019). Gleichzeitig war es das vierttrockenste Jahr seit 1881 (Friedrich/ Kaspar 2019). Dies hatte spürbare Auswirkungen auf die Augsburger Landwirte wie auch deutschlandweit: Die Getreideernte dieses Jahres fiel in Deutschland 19% geringer aus als in den drei Vorjahren (BMEL 2020), bei Mais lag sie 25% darunter (DMK 2020). Die Getreidepreise stiegen um rd. 20% an. Das Jahr 2018 hat damit einen Vorgeschmack auf die „normale" Situation in der Mitte des 21. Jahrhunderts gegeben, falls es zu keinen Anpassungsmaßnahmen kommt.

Für die Nachfrageseite (weiterverarbeitende Stufen/ Endverbrauch) folgt daraus ein entsprechender **Rückgang des Angebots an landwirtschaftlichen Erzeugnissen** mit den entsprechenden Effekten für die Lebensmittelproduktion. Dieser Aspekt ist sehr hoch zu gewichten, da es zunehmend wahrscheinlicher wird, dass Hitzewellen gleichzeitig in den großen Kornkammern der Erde in Europa, Nordamerika und Asien entstehen (Kornhuber et al. 2019, 2020). Kommt es in der Folge zu geballten Ernteausfällen in den global wichtigsten Anbauregionen, hätte dies **Verknappungen und Verteuerungen von Nahrungsmitteln** für weite Teile der Bevölkerung zur Folge; in vielen Regionen der Erde wären Hungersnöte wahrscheinlich (→ Exkurs 14).

Im Hitzesommer 2018 waren auch Ernteausfälle hinsichtlich der Futtermittelproduktion spürbar (Abb. 136). In der Folge kam es deutschlandweit bereits zu **Engpässen für die Futtermittelindustrie** (Rinder, Schweine), sodass zum Teil auf das **Winterfutter** zurückgegriffen werden musste; vereinzelt wurden wegen des Futtermangels sogar **Notschlachtungen** vorgenommen.

Insgesamt ist festzustellen, dass der weltweite Klimawandel das **Dürre-Risiko** (im Sinne des Rückgangs der Bodenfeuchte) nicht nur für den Mittelmeerraum, sondern auch für Mitteleuropa zukünftig noch deutlich erhöht (Grillakis 2019). Das betrifft sowohl die Anzahl der Ereignisse als auch ihre Dauer und das betroffene Gebiet (Samaniego et al. 2018). Der globale Temperaturanstieg führt auch in Deutschland zu einer **Verstärkung von Bodenfeuchtedürren**. Im historischen Zeitraum 1971-2000 liegt die durchschnittliche Anzahl der Dürremonate bei ungefähr zwei Monaten pro Jahr. Bei einer globalen Erwärmung von 3 °C steigt diese Zahl bundesweit um über 50 %; in der Region Augsburg um über 70% (Thober et al. 2019).

Bei einer Erderwärmung von 3 °C muss für landwirtschaftliche Flächen in Bayern mit einer deutlichen **Verringerung der Wasserverfügbarkeit** für Pflanzen von bis zu 20 mm (entspricht 20 Liter pro Quadratmeter) gerechnet werden, vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten (Abb. 137).

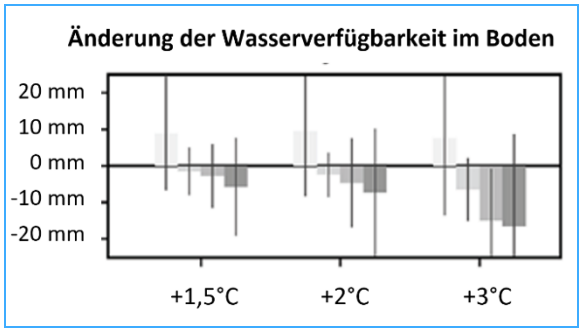


Abb. 137: Absolute Änderungen in der Wasserverfügbarkeit im Boden bei einer Erderwärmung von 1.5°C, 2°C, und 3 °C in Bayern. Die vier Balken in jedem Erwärmungsszenario stellen von links nach rechts die Änderungen im Winter (Dezember – Februar), Frühling (März – Mai), Sommer (Juni – August), und Herbst (September – November) dar. Quelle: Thober et al. 2019: 9.

Innerhalb Bayerns ist die **Verwundbarkeit der Landwirtschaft für Trockenheit** in der direkten Umgebung Augsburgs am höchsten (LfU 2019: 80). Für Augsburg selbst wird nur deshalb eine geringere Vulnerabilität ausgewiesen, weil die Landwirtschaftsfläche der Stadt anteilig kleiner ist als in den umgebenden Landkreisen.

An sich betrachtet ist die Verwundbarkeit gegenüber Trockenheit für die Landwirtschaft Augsburgs jedoch als hoch einzustufen, insbes. auch für Sonderkulturen.

Unter den **Unkräutern und Ungräsern** werden besonders wärmeliebende und Trockenstress-tolerante Arten, wie z.B. Kreuzkraut-, Rauke-, Storchschnabel-, Gänsefuß-, Hirse- oder Trespen-Arten zu den Gewinnern des Klimawandels zählen (StMUV 2015).

Zunehmende Hitzeereignisse werden der **Nutztierhaltung** nicht nur hinsichtlich der Verfügbarkeit von Futtermitteln, sondern auch mit Blick auf das steigende **Risiko für Tierseuchen** zu schaffen machen, Erkrankungen, die durch wärmeliebende Vektoren wie Insekten übertragen werden, dürften zukünftig häufiger auftreten. Beispiele für Vektoren sind Gnitzen, Mücken und Zecken; viele Arten waren bisher auf wärmere Regionen beschränkt, verschieben mit den Klimaveränderungen ihren Lebensraum aber immer weiter in unsere Breiten. Unter Umständen können auch einheimische Arten als Vektoren bisher unbekannter Krankheiten fungieren.

Hitze und Trockenheit werden schließlich dem **städtischen Gärtnern** – sowohl in seiner Erscheinungsform Kleingartenwesen als auch in seiner Erscheinungsform *Urban Gardening* – zu schaffen machen. Allerdings können viele Kleingärten leichter Wasserreservoirs anlegen bzw. verfügen über eine eigene Wasserversorgung.

Starkregen, Hagel, Sturm, Schnee, Eis

Die Klimaprojektionen für Augsburg zeigen, dass Frost-, Eis- und Schneetage zukünftig weiter abnehmen werden (vgl. Kapitel Klimatologie). Im Pflanzenbau wirkt sich diese Entwicklung vor allem negativ auf die **Regulierung der Schädlingsbestände** aus.

Die Szenarien für Augsburg besagen, dass Niederschläge künftig häufiger in Form von Starkregenereignissen auftreten. Damit erhöht sich das **Erosionsrisiko**, insbesondere auf Ackerbauflächen ohne oder bei nur geringer Pflanzenbedeckung.

Eine umfassende Feldstudie in erosionsgefährdeten Gebieten Bayerns belegt, dass konvektive Starkregen im Frühjahr zu erheblichen Bodenabschwemmungen führen, wenn die Böden nicht mit deckenden Kulturen (Getreide, Raps) oder beim Anbau von spät gesäten Reihenkulturen (Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln) mit Zwischenfrucht-Mulch geschützt sind (StMUV 2015). Starke Abschwemmungen verringern den durchwurzelbaren Bodenraum unwiederbringlich, Humus und Nährstoffe werden hangabwärts in Senken und Täler, teils auch in Gewässer verlagert. Die Auswaschung von Bodennährstoffen kann zu einer **Eutrophierung der Gewässer** führen.

Trotz verbleibender Unsicherheiten kann nicht ausgeschlossen werden, dass Extremereignisse wie Hitze, Starkregen oder Hagel in Zukunft an Intensität und Häufigkeit zunehmen. Für die Landwirte bergen diese Ereignisse große Gefahren hinsichtlich der **Ertragssicherheit**, zumal sie sich kaum darauf vorbereiten und schützen können. Ein entscheidender Faktor ist der Zeitpunkt des Ereignisses, da es einen großen Unterschied macht, ob die Kulturen schon groß und daher anfälliger gegenüber Sturm bzw. voll entwickelt und daher anfällig gegenüber Hagelschäden sind (Gömann et al. 2015).

Trotz einer deutlichen Abnahme an Frost- und Eistagen können schon in der näheren Zukunft auch im Zeichen des Klimawandels **Früh- bzw. Spät- sowie Wechselfröste** auftreten – angesichts einer stetig früher beginnenden Vegetationsperiode mit Blick auf die Ertragssicherheit ein besonderes Risiko.

5.12.3. Priorisierte Verwundbarkeiten

In der Zusammenschau sind es vor allem vier Wirkzusammenhänge, die die Landwirtschaft in Augsburg für den Klimawandel anfällig macht:

- Ein besonderes Risiko für die Augsburger Landwirtschaft stellt die Zunahme von Hitze- und Trockenperioden dar, die für die Landwirte mit **steigenden, teils erheblichen Produktionsausfällen** führen verbunden sind. Durch das steigende Risiko von weiteren **Extremwetterereignissen** wie **Starkregen, Sturm oder Hagel**, deren Vorhersagesicherheit geringer ist, kommt es zu größeren **Ertragsunsicherheiten** und ggf. zu **Kompensationszahlungen** für Betriebe.
- Der generelle Anstieg der Mitteltemperaturen führt einerseits zu einer **Verlängerung der Wachstumsperiode**, andererseits zu **mehr Schädlingen**. Auch Extremereignisse wie Starkregen oder Hagel dürften zunehmen, wodurch **Erosion** gefördert und **Erträge gemindert** werden.
- Der Klimawandel verstärkt schließlich das **Risiko des Humusabbaus** (und damit ebenfalls der **Ertragsminderung**) durch beschleunigte Mineralisation der Bodennährstoffe.
- Aus dem Flächenbedarf des Augsburger Stadtwachstums und dem „Schrumpfungsdruck“ auf landwirtschaftliche Flächen **negative Folgen für Anpassungskapazitäten des Bodens**.
- Sofern es sich um eine biologische Bewirtschaftungspraxis handeln würde, gingen mit einem Flächenverlust auch **ökologische Nachteile** einher. Schließlich ist die **Reduktion des Potenzials lokaler Nahrungsmittelerzeugung** zu berücksichtigen.
- Schließlich können damit **negative stadtklimatische Folgen** einhergehen, wenn nämlich auf stadtklimatisch relevante (Potenzial- oder Reserve-)Flächen zurückgegriffen wird.

Anhang

A.1. Literatur

Kapitel 1

BMU (2020): Das stabile Klima auf der Erde – Lebensgrundlage für Mensch und Natur. Infografiken; URL: https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/wissenschaftliche-grundlagen/ Zugriff: 11.3.2020.

IPCC (2020): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimawandel und Landsysteme. IPCC Sonderbericht über Klimawandel, Desertifikation, Landdegradierung, nachhaltiges Landmanagement, Ernährungssicherheit und Treibhausgasflüsse in terrestrischen Ökosystemen [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia et al. (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung auf Basis der Onlineversion inklusive Errata vom 12. Dezember 2019. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, Mai 2020.

Lenton, T.M., Rockström, J., Gaffney, O. et al. (2019): Climate tipping points — too risky to bet against. Nature, 575, 28 November 2019, 592-595.

Stadt Augsburg (2020): Klimaschutzbericht 2020. Evaluierung Klimadialog, CO2-Minderungsziele, Maßnahmen und Klimawandel-Anpassungsstrategie, Herausgeber: Stadt Augsburg, Referat 2 für Nachhaltigkeit, Umwelt, Klima und Gesundheit. Bearbeitet vom Umweltamt, Abteilung Klimaschutz, Stand: Mai 2020.

Kapitel 2

APA (Aktionsplan Anpassung) (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

BayKLAS (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. Ausgabe 2016. Bayerische Staatsregierung. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=1877662896&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_009%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27) / Zugriff: 11.4.2020.

Buth, M., Kahlenborn, W., Greiving, S., et al. (2017): „Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen“. Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Buth, M., Kahlenborn, W., Savelsberg, J. et al. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf / Zugriff: 20.09.2019.

DAS (Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf / Zugriff: 12.3.2020.

Fortschrittsberichte zur DAS (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

Fortschrittsbericht zur DAS (2020): Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_2_fortschrittsbericht_bf.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

Vorstudie 2017: Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel-Anpassungsstrategie. Auftraggeber: Stadt Augsburg. Bearbeitung: Infrastruktur + Umwelt, Prof. Böhm und Partner. Augsburg/Darmstadt.

Kapitel 3

Prognos (2017): Wohnraumbedarf in Deutschland und den regionalen Wohnungsmärkten. Endbericht. Stuttgart/Freiburg 2017. https://web.gdw.de/uploads/pdf/Pressemeldungen/Prognos_Endbericht_Studie_Wohnungsbautag_2017_31_05_2017.pdf / Zugriff: 22.4.2020.

Rigaud, K. K.; de Sherbinin, A.; Jones, B. et al. (2018): Groundswell: Preparing for Internal Climate Migration. World Bank, Washington, DC. URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29461 / Zugriff: 23.6.2020.

Schneider, J. (2020): Was heißt ‚Integration' in superdiversen Nachbarschaften? Bundeszentrale für politische Bildung, Kurzdossier Zuwanderung, Flucht und Asyl. 24.4.2020. https://www.bpb.de/gesellschaft/migration/kurzdossiers/308203/integration-in-superdiverse-nachbarschaften / Zugriff 20.5.2020.

Stadt Augsburg (2019): Bevölkerungsprognose für die Stadt Augsburg (2019 bis 2038). Kurzmitteilungen aus Statistik und Stadtforschung, ePaper vom 7. November 2019. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/kurzmitteilungen/KM_2019_09_Bevoelkerungsprognose_2019_2038_neu.pdf / Zugriff 2.3.2020.

Stadt Augsburg (2020a): Strukturatlas der Stadt Augsburg 2020. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/strukturatlas/Strukturatlas_der_Stadt_Augsburg_2020.pdf. Zugriff: 3.1.2021.

Stadt Augsburg (2020b): Demografiemonitoring 2020. Amt für Statistik und Stadtforschung. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/Demografischer_Wandel/Demografiemonitoring_der_Stadt_Augsburg_2020.pdf

Kapitel 4

AfS (Amt für Statistik und Stadtforschung der Stadt Augsburg) (2021): Das Klima in Augsburg. Kurzmitteilungen aus Statistik und Stadtforschung. ePaper vom 29.2.2021, URL: https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/kurzmitteilungen/KM_2021_01_Das_Klima_in_Augsburg.pdf, Zugriff: 17.2.2021.

BayKLAS (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. Ausgabe 2016. Bayerische Staatsregierung. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=1877662896&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_009%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27) / Zugriff: 11.4.2020.

Brasseur, G. P., D. Jacob und S. Schuck-Zöller (2017): Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg. Internet: http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-50397-3. Zugriff: 11.9.2020.

Brienen, S., Walter, A. Brendel, A. et al. (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre. Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP 101) im Themenfeld 1 des BMVI Expertennetzwerks. DOI: 10.5675/ExpNBS2020.2020.02

CSC (Climate Service Center Germany) (2012): Ergebnisse und Auswertungen der Recherche zur Entwicklung von Extremwetterereignissen in Deutschland. Geesthacht. https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/extremwetter_final.pdf / Zugriff: 22.9.2019.

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2020): Was wir heute über das Extremwetter in Deutschland wissen - Stand der Wissenschaft zu extremen Wetterphänomenen im Klimawandel in Deutschland. Deutscher Wetterdienst und Extremwetterkongress Hamburg, 2020.

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2021): Wetterlexikon. Unwetterklimatologie: Starkregen. https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetterklima/starkregen/starkregen.html?nn=103346, Zugriff: 22.8.21.

Hallegatte, S., J.-C. Hourcade und P. Ambrosi (2007): Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas. In: Climatic Change 82 (1-2): 47–60. Internet: http://link.springer.com/10.1007/s10584-006-9161-z. Zugriff: 22.4.2020.

Hausfather, Z., Peters, G. P. (2020): Emissions – the 'business as usual' story is misleading. Nature, 577, 30 January 2020: 618-620.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, et al.]. Cambridge University Press, Cambridge; United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2018): IPCC-Sonderbericht über 1,5 °C globale Erwärmung (SR1.5). https://www.de-ipcc.de/media/content/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf / Zugriff 6.12.2019.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2017): Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern - Machbarkeitsstudie. Augsburg: LfU.

Lindsey, R. (2020): Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration. https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide. / Zugriff: 22.12.2020.

Polak, F. (2019): Popcorn-Wetter. Internet: www.wetter.net/wetter-news/popcorn-wetter. / Zugriff: 20.2.2020.

Púčik, T., Groenemejer, P., Rädler, A.T. et al. (2017): Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble. Journal of Climate, 30(17): 6771–6794.

Rädler, A. Groenemejer, P., Faust, E. et al. (2019): Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability. npj Climate and Atmospheric Science (2019) 2: 30. https://doi.org/10.1038/s41612-019-0083-7.

Rihai, K. et al. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. Global Environmental Change 42 (2017) 153–168. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.

Sanchez-Lorenzo, A., Enriquez-Alonso, A., Wild, M. et al. (2017): Trends in downward surface solar radiation from satellites and ground observations over Europe during 1983–2010. Remote Sensing of Environment 189, 108-117. DOI:10.1016/j.rse.2016.11.018

Schwalm, C. R.; Glendon, S.; Duffy, P. B. (2020): Reply to Hausfather and Peters: RCP8.5 is neither problematic nor misleading. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2018008117

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2015): Klima-Report Bayern 2015. München: StMUV.

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2021): Klima-Report Bayern 2021. München: StMUV.

UBA (Umweltbundesamt) (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung, Dessau-Roßlau.

WorldClim (2015): WorldClim - Global Climate Data: Free climate data for ecological modeling and GIS. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. https://www.worldclim.org/.

Kapitel 5. Verwundbarkeitsanalyse

BayKLAS (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. Ausgabe 2016. München: 218 S..

Buth, M., Kahlenborn, W., Greiving, S., et al. (2017): „Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen“. Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Buth, M., Kahlenborn, W., Savelsberg, J. et al. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf / Zugriff: 20.09.2019.

DAS (Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel) (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf / Zugriff: 12.3.2020.

Kapitel 5.1. Katastrophenschutz

ABuK (Stadt Augsburg, Amt für Brand- und Katastrophenschutz) (2018): Jahresbericht 2018 der Feuerwehr Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/Feuerwehr/Jahresbericht_2018_.pdf. Zugriff: 11.5.2020.

ABuK (Stadt Augsburg, Amt für Brand- und Katastrophenschutz) (2019): Feuerwehrbedarfsplan 202x Stadt Augsburg. 28.4.2019. https://ratsinfo.augsburg.de/bi/___tmp/tmp/45081036103077286 1/10307728 61/00204905/05-Anlagen/03/FeuerwehrbedarfsplanAugsburgStadtratoeffentlic.pdf. Zugriff: 14.4.2020.

Augsburger Allgemeine (2013): So wütete das Unwetter in der Region. 21.6.2013. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Schwere-Gewitter-So-wuetete-das-Unwetter-in-der-Region-id25730146.html. Zugriff: 22.9.2019.

Augsburger Allgemeine (2017a): https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Wie-Hilfsorganisationen-in-Augsburg-um-Mitglieder-buhlen-id43597906.html. Zugriff: 22.11.2019.

Augsburger Allgemeine (2019): 100 Liter pro Quadratmeter: Straßen im Süden unter Wasser. 21.5.2019. https://www.augsburger-allgemeine.de/panorama/Tief-Axel-100-Liter-pro-Quadratmeter-Strassen-im-Sueden-unter-Wasser-id54366421.html. Zugriff: 1.3.2020.

BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) (2019): Klimawandel und Bevölkerungsschutz. https://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Risikomanagement/Klimawandel/klimawandel_node.html. Zugriff: 22.12.2019.

BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) 2021: Warn-App NINA Mediakit. www.bbk.bund.de/DE/NINA/Warn-App_NINA_node.html. Zugriff: 12.2.2021

Berufsfeuerwehr Augsburg (2020): http://www.feuerwehr-augsburg.net/feuerwehr/joomla/index.php/bf-aktuelles/788-abrollbehaelter-loeschwasserfoerderung. Zugriff: 1.2.2021.

BRK Augsburg-Stadt (2010): Beginnende Sommerhitze fordert Rettungsdienst. https://www.kvaugsburg-stadt.brk.de/aktuell/presse-service/meldung/beginnende-sommerhitze-fordert-rettungsdienst.html. Zugriff: 2.2.2020.

Chen, K., Breitner, S., Wolf, K. et al. (2019): Temporal variations in the triggering of myocardial infarction by air temperature in Augsburg, Germany, 1987–2014. European Heart Journal (2019) 0, 1–9. doi:10.1093/eurheartj/ehz116.

CP (*Crisis Prevention*) (2019): Resilienz der Bevölkerung bei Krisen und Katastrophen. Unterstützende Stelle des Fachdialogs Sicherheitsforschung. CP Fachportal für Gefahrenabwehr, Innere Sicherheit und Katastrophenhilfe. https://crisis-prevention.de/katastrophenschutz/resilienz-der-bevoelkerung-bei-krisen-katastrophen.html. Zugriff: 31.3.2020.

DefiNetz e.V. (2020): Defikataster. Standorte der Defibrillatoren. http://definetz.online/defikataster-hp. Zugriff: 3.6.2020

Franzke, A. (2015): Zukunft der Freiwilligen Feuerwehr Bayerns im demographischen Wandel. Beiträge aus der Statistik, (Bayern in Zahlen, 10 2013), hrsg. v. Bayerischen Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung.

Kahlenborn, W., Kind, C., Grothmann, T. et al. (2016): Ansätze und Erfolgsbedingungen in der Kommunikation zum Umgang mit Extremereignissen. Anpassung an den Klimawandel alltagstauglich machen und Eigenvorsorge stärken. Climate Change 25/2016. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_25_2016_ansaetze_und_erfolgsbedingungen_in_der_kommunikation.pdf. Zugriff: 14.4.2019.

Stadt Augsburg Bürgerservice (2020): https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/berufsfeuerwehr/news/detail?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=1042&cHash=f31c487847860709bf3d2c8a88e0587d. Zugriff: 22.11.2020.

THW OV Augsburg (2011): Mit Hochwasser ins neue Jahrhundert. https://ov-augsburg.thw.de/unser-thw-ortsverband/chronik/2011-festschrift-60-jahre/. Zugriff: 22.11.2020.

THW OV Augsburg (2019): Unser THW-Ortsverband Augsburg. Technisches Hilfswerk, OV Augsburg. https://ov-augsburg.thw.de/unser-thw-ortsverband/ Zugriff: 22.4.2020.

Vorstudie 2017: Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel-Anpassungsstrategie. Auftraggeber: Stadt Augsburg. Bearbeitung: Infrastruktur + Umwelt, Prof. Böhm und Partner. Augsburg/Darmstadt.

5.2. Gesundheit

AfS (Amt für Statistik und Stadtforschung der Stadt Augsburg) (2020): Strukturatlas 2020. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/strukturatlas/Strukturatlas_der_Stadt_Augsburg_2020.pdf. Zugriff: 22.2.2021.

An der Heiden, M.et al. (2019): Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 62(5):571–579.

Baldermann, C., Lorenz. S. (2019): UV-Strahlung in Deutschland: Einflüsse des Ozonabbaus und des Klimawandels sowie Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 62: 639–645.

Beckmann, S. (2020): Befragungsergebnisse aus dem Sommer 2019 Projekt Augsburg bleibt cool. Ergebnisse einer Befragung in Augsburger Haushalten zu Hitzestress im Sommer 2019. Kurzfassung. https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.wichem/Abc_Zwischenergebnisse/Abc_Befragungsergebnisse.pdf. Zugriff: 22.1.2021.

Beggs, P.J. (2015): Environmental allergens: from asthma to hay fever and beyond. Current Climate Change Reports, 1: 176–184.

BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) (2020): Sonne und Sonnenschutz. https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/opt/strko-sonne-und-sonnenschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=10. Zugriff: 13.1.2021.

Bielory, L.; Lyons, K.; Goldberg, R. (2012): Climate change and allergic disease. Current Allergy and Asthma Reports, 12: 485–494.

Brasseur, G. P., D. Jacob und S. Schuck-Zöller (2017): Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg. Internet: http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-50397-3. Zugriff: 11.9.2020.

Breitner, S., Schneider, A., Peters, A. (2013): Thermische Belastung, Feinstaub und Ozon – Gesundheitliche

Auswirkungen und mögliche Wechselwirkungen In: Jahn et al. 2013: 39-62.

Chen, Kai; Breitner, Susanne; Wolf, Kathrin et al. (2019a): Temporal variations in the triggering of myocardial infarction by air temperature in Augsburg, Germany, 1987–2014. European Heart Journal (2019) 0, 1–9. doi:10.1093/eurheartj/ehz116

Chen, Kai; Breitner, Susanne; Wolf, Kathrin et al. (2019b): Zukünftige Häufigkeit temperaturbedingter Herzinfarkte in der Region Augsburg. Eine Hochrech-

nung auf der Grundlage der Zielwerte der Pariser UN-Klimakonferenz. Deutsches Ärzteblatt, 31-32(116): 521-531.

Eckert, N. (2019): Klimawandel – Ernstfall für die Gesundheit. Deutsches Ärzteblatt 2019; 116(47): A-2174 / B-1779 / C-1739.

Filleul, L.; Cassadou, S.; Médina, S. et al. (2006): The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. Environmental Health Perspectives 114(9):1344–1347. doi:10.1289/ehp.8328

FLI (Friedrich Löffler Institut) (2016): Aedes albopictus in Deutschland. Handlungsbedarf und -optionen im Umgang mit der Asiatischen Tigermücke. https://www.fli.de/fileadmin/FLI/Publikationen/Handlungsempfehlung/Handlungsempfehlung_Aedes-albopictus_2016-04-19.pdf. Zugriff: 22.4.2019.

Gatti, R.C. (2020): The pangolin's revenge: SARS-CoV-2 did not emerge from a lab but from wildlife exploitation. GAIA 29(2): 79-82.

Gehring, K.; Thyssen, S. (2019): Verbreitung der Beifuß-Ambrosie (Ambrosia artemisiifolia) in Bayern. LfL: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/verbreitungskarte_feb12.pdf. Zugriff: 4.2.2021.

Giorgi, F.; Meleux, F. (2007): Modelling the regional effects of climate change on air quality. C R Geosci 339:721–733.

Hagedorn, D. (2019): Fund von Zecken der Gattung Hyalomma in Deutschland. Epidemiologisches Bulletin 7/2019: 70-71. DOI 10.25646/5893.

Hamaoui-Laguel, L. et al. (2015): Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. Nature Climate Change 5: 766–771. , doi: 10.1038/nclimate2652

Hertig, E. (2019): Distribution of Anopheles vectors and potential malaria transmission stability in Europe and the Mediterranean area under future climate change. Parasites & Vectors 12(18) https://doi.org/10.1186/s13071-018-3278-6.

Hertig, E. (2020): Health-relevant ground-level ozone and temperature eventsunder future climate change using the example of Bavaria, Southern Germany. Air Quality, Atmosphere & Health (2020) 13: 435–446. https://doi.org/10.1007/s11869-020-00811-z.

Hertig, E.; Schneider, A.; Peters, A. et al. (2019): Association of ground-level ozone, meteorologi-cal factors and weather types with daily myocardial infarction frequencies in Augsburg, Southern Germany. Atmospheric Environment 217 (2019). https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116975.

Jahn, H. J.; Krämer, A.; Wörmann, T. (Hrsg.) (2013): Klimawandel und Gesundheit. Internationale, nationale und regionale Herausforderungen und Antworten. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum.

KBV (Kassenärztliche Bundesvereinigung) (2020): Gesundheitsdaten. Regionale Verteilung der Ärzte in der vertragsärztlichen Versorgung, https://gesundheitsdaten.kbv.de/cms/html/16402.php, abgerufen am 23.4.2021.

Kim, Y., Kim, H., Gasparrini, A., et al. (2019). Suicide and Ambient Temperature: A Multi-Country Multi-City Study. Environmental Health Perspectives, 127 (11), 117007. doi:10.1289/ehp4898.

Lake, I.R.; Jones, N.R.; Agnew, M. et al. (2017): Climate Change and Future Pollen Allergy in Europe. Environmental Health Perspectives, 125(3): 385-391. http://dx.doi.org/10.1289/EHP173.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2020): Faktenblatt Ozon. https://www.lfu.bayern.de/luft/doc/ozoninfo.

LGL (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) (2019): West-Nil-Virus. https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/west_nil/index.htm. Zugriff: 22.4.2020.

LGL (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) (2020): Risikogebiete für FSME in Bayern. https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/fsme/zecken_fsme_risikogebiete.htm. Zugriff: 22.12.2020.

Michelozzi, P.; Accetta, G.; De Sario, M. et al. (2009): High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 179(5): 383-389. doi:10.1164/rccm.200802-217OC

Nawrath, S.; Alberternst, B. (2012): Forschungsvorhaben Beifuß-Ambrosie in Bayern FOBAB II-Studie – Endbericht. Studie im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit. 2012.

Nawrath, S.; Alberternst, B. (2013): Aktionsprogramm Ambrosia-Bekämpfung in Bayern: Ergebnisse aus sechs Jahren Monitoring. Anliegen Natur, 35(2): 44-58.

Niehues, B., Merkel, W. (2020): Die Wasserversorgung im Trockenjahr 2018. Stressindikatoren und Ergebnisse einer aktuellen DVGW-Umfrage. Bonn: Deutscher Verein des Gas-und Wasserfachs DVGW e. V. https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/aktuelles/presse/dvgw-umfrage-wasserversorgung-zusammenfassung.pdf. Zugriff: 1.2.2021.

Rai, M.; Breitner, S.; Wolf, K. et al. (2019): Impact of climate and population change on temperature-related mor-tality burden in Bavaria, Germany. Environmental Research Letter 14, (2019) 124080. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5ca6.

RKI (Robert-Koch-Institut) (2020): Lyme-Borreliose. RKI-Ratgeber. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_LymeBorreliose.html;jsessionid=500DA969C854409215452B6F15455902.internet051. Zugriff: 22.12.2020.

Rohn, A., Mälzer, H.-J. (2010): Herausforderungen der Klimawandel-Auswirkungen für die Trinkwasserversorgung. Arbeitsbericht. Dynaklim-Publikation Nr. 3. Mülheim an der Ruhr: IWW Rheinisch Westfälisches Institut für Wasser gGmbH.

Sarnat, S.E.; Coull, B.A.; Schwartz, J. et al. (2006): Factors Affecting the Association between Ambient Concentrations and Personal Exposures to Particles and Gases. Environmental Health Perspectives 114(5): 649-654. https://doi.org/10.1289/ehp.8422.

Scherer, D. et al. (2014): Quantification of heat-stress related mortality hazard, vulnerability and risk in Berlin, Germany. DIE ERDE – Journal of the Geographical Society of Berlin, 144(3-4), 238-259. https://doi.org/10.12854/erde-144-17.

Schultz, M. G., Klemp, D., Wahner, A. (2017): Luftqualität. In: Brasseur et al. 2017: 127-136.

Semenza, J.C. (2011): Mapping Climate Change Vulnerabilities to Infectious Diseases in Europe. Environmental Health Perspectives, 120(3): 385-292.

Stadt Augsburg (2019): Strukturatlas 2019. Augsburg: Amt für Statistik und Stadtforschung.

Stadtzeitung (2020): Blaualgen im Mandichosee: Gefahr besteht weiterhin. 24.4.2020. https://www.staz.de/region/merching/lokales/blaualgen-mandichosee-gefahr-besteht-weiterhin-id205969.html. Zugriff: 30.9.2020.

Steffen, A.; Thom, J.;Jacobi, F. et al. (2020): Trends in prevalence of depression in Germany between 2009 and 2017based on nationwide ambulatory claims data. Journal of Affective Disorders 271(2020): 239-247. https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.03.082

STMGP (Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege) (2017): Ambrosia- Erfahrungsbericht 2015. Stand: Januar 2017. https://www.stmgp.bayern.de/wp-content/uploads/2017/07/ambrosia-bericht-2015.pdf.

Storkey, J.; Stratonovitch, P.; Chapman, D.S. et al. (2014): A Process-Based Approach to Predicting the Effect of Climate Change on the Distribution of an Invasive Allergenic Plant in Europe. PLOS ONE,9(2) e8815. https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0088156&type=printable.

Vicedo-Cabrera, A.M.; Sera, F.; Liu, C. et al. (2020): Short term association between ozone and mortality: global two stage time series study in 406 locations in 20 countries. BMJ 2020;368:m108http://dx.doi.org/10.1136/bmj.m108

Watts, N.; Amann, M.; Arnell, N. (2019): 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. Lancet 2019; 394: 1836–78. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32596-6.

WHO (World Health Organization) (2005): WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen diox-ide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=4C823A335B54895D91BF392C5E12DB53?sequence=1. Zugriff: 12.1.2020.

Witt, C. et al. (2015): Auswirkungen von Klimaveränderungen auf Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen. Deutsches Ärzteblatt, 112, 51-52: 878-883.

Zhang, J., Wei, Y., Fang, Z. (2019): Ozone Pollution: A Major Health Hazard Worldwide. Frontiers in Immunology, 31 October 2019. https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.02518.

Zielo, B.; Matzarakis, A. (2018): Bedeutung von Hitzeaktionspläne für den präventiven Gesundheitsschutz in

Deutschland. Das Gesundheitswesen 80(04): e34-e43. https://doi.org/10.1055/s-0043-107874.

5.3. Industrie/ Gewerbe

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) (2019): Arbeiten im Freien – Beschäftigte vor UV-Strahlung schützen. BIBB/BAuA-Faktenblatt 29. https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fakten/BIBB-BAuA-29.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Bux, K. (2006): Klima am Arbeitsplatz – Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse – Bedarfs-analyse für weitere Forschungen, Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund, Forschung Projekt F 1987.

CDP (Carbon Disclosure Project) (2019): Global Climate Change Analysis 2018. https://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-climate-change-report-2018. Zugriff: 22.11.2019.

Hübler, M.; Klepper, G. (2007): Kosten des Klima-wandels. Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Studie im Auftrag des WWF. Kiel: Institut für Weltwirtschaft.

IHK (Industrie- und Handelskammer Schwaben) (2018): IHK Zahlenspiegel 2018. Zahlen, Daten, Fakten für Schwaben. http://www.gvz-augs-burg.de/fileadmin/user_upload/ihk_zahlenspiegel_schwaben_2018.pdf. Zugriff: 4.10.2019.

Knuschke, P., Unverricht, I., Ott, G. et al. (2007): Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F1777.pdf?__blob=publicationFile. Zugriff: 22.11.2019.

Peter, M.; Guyer, M.; Füssler, J. et al. (2020): Folgen des globalen Klimawandels für Deutschland Ab-schlussbericht: Analysen und Politikempfehlun-gen. Climate Change 15/2020. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. URL: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/folgen-des-globalen-klimawandels-fuer-deutschland-0. Zugriff: 2.12.2020

Schulze Dieckkoff, V.; Becker, D.; Wiechmann, T. et al. (2018): Raummuster: Demographischer Wandel und Klimawandel in deutschen Städten. Raumforschung und Raumordnung (2018) 76: 211–228.

Seppänen, O., Fisk, W.J., Lei, O.H. (2006): Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, CA.

Sieber, S. (2019): Gewerbegebiete im Wandel. Wie Gewerbegebiete in Marl, Remscheid und Frankfurt Biodiversität und Klimaschutz verbinden. Transforming Cities, 3, 2019: 70-75.

Stadt Augsburg (2018): Klimaschutzbericht 2018. Augsburg: Umweltreferat. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/um-welt_soziales/um-welt/klima%20und%20energie/Klimaschutzbericht_2018.pdf. Zugriff: 22.8.2020.

Stadt Augsburg (2019a): Statistisches Jahrbuch 2018. Augsburg: Amt für Statistik und Stadtforschung.

Stadt Augsburg (2019b): Bevölkerungsprognose für die Stadt Augsburg (2019 bis 2038). Augsburg: Amt für Statistik und Stadtforschung. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/kurzmitteilungen/KM_2019_09_Bevoelkerungsprognose_2019_2038_neu.pdf.

Stadt Augsburg (2019c): Strukturatlas 2019. Augsburg: Amt für Statistik und Stadtforschung.

StMFH (Staatsministerium der Finanzen und für Heimat) (2015): Wirbelsturm am 13./14.05.2015 im Bereich Augsburg. https://www.stmfh.bayern.de/service/finanzielle_hilfen/tornado_2015/. Zugriff: 23.9.2019.

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2014): Folgen des Klimawandels - Perspektiven für das Baugewerbe, den Handel und die produzierende Wirtschaft. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000007?SID=884159952&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_001%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27). Zugriff: 17.4.2019.

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2017): Der Betriebliche Klimaanpassungsmanager. Klimaanpassungskompetenz für die Praxis. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000007?SID=2052445572&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_010%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27). Zugriff: 1.4.2020. München: StMUV.

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2019): Folgen des Klimawandels - Strategien für das bayerische Handwerk - Ein Leitfaden. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000005?SID=1665651650&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_011%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27). Zugriff: 11.2.2020.

StMWi (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie) (o.J.): Voraus denken – elementar versichern. https://www.elementar-versichern.de/ Zugriff: 21.4.2020.

SUVA (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt) (2020): UV-Strahlen gehen unter die Haut. https://www.suva.ch/de-ch/news/arbeitssicherheit/vor-der-sonne-schuetzen. Zugriff: 11.2.2021.

UBA (Umweltbundesamt) (2016): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/monitoringbericht_2015_zur_deutschen_anpassungsstrategie_an_den_klimawandel.pdf. Zugriff: 22.3.2020.

UM-BW [Ministerium für Umwelt, Klima, Energiewirtschaft Baden-Württemberg] (2015): Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Vulnerabilitäten und Anpassungsmaßnahmen in relevanten Handlungsfeldern. Stuttgart: UM-BW. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimawandel/Anpassungsstrategie.pdf

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (2020): Studie zum Industriestandort Augsburg. Gutachten im Auftrag der Stadt Augsburg – Wirtschaftsförderung. VDI/VDE: Berlin. https://wirtschaft.augsburg.de/fileadmin/wirtschaftspor-tal/content/aktuell/2020/Studie_Industriestandort_Augsburg.pdf. Zugriff: 23.5.2021.

Weeber, Joachim (2020): Klimawandel und Finanzmärkte. Wiesbaden: Springer Gabler.

WEF (World Economic Forum) (2020): World Economic Forum 2007-2020. Global Risks Reports. https://reports.weforum.org/global-risks-report-2020/shareable-infographics/. Zugriff: 1.2.2021.

WILA (Wissenschaftsladen) Bonn et al. (2019): Gewerbegebiete im Klimawandel. Leitfaden für Kommunen zur Klimavorsorge. Bonn etc.: WILA et al. https://www.wila-bonn.de/images/PDFs/Gruen_statt_Grau/Themenheft_Klimaanpassung_WEB.pdf. Zugriff: 18.3.2020.

5.4. Tourismus/ Kultur

Bayerisches Landesamt für Statistik (2020): GENESIS-Online Datenbank. Bereich Tourismusstatistik. https://www.statistik.bayern.de/statistik/wirtschaft_handel/tourismus/index.html#link_1. Zugriff: 12.3.2021.

Forschungsallianz Kulturerbe (2020): Kulturerbe in Gefahr – Auswirkungen des Klimawandels, Chancen der Digitalisierung. https://www.imw.fraunhofer.de/de/forschung/innovationsakzeptanz/projekte/Kulturerbe-Klimawandel.html. Zugriff: 2.3.2021.

Kluger, M. (2015): Augsburgs historische Wasserwirtschaft: Der Weg zum UNESCO-Welterbe. Augsburg: Context-Verlag.

Kluger, M. (2019): WELTERBE WASSER. Augsburgs historische Wasserwirtschaft.: Das UNESCO-Welterbe „Augsburger Wassermanagement-System“. Augsburg: Context-Verlag.

Refill Deutschland (2021): Karte der Refill-Stationen. https://refill-deutschland.de. Zugriff: 11.2.2021.

Regio Augsburg Tourismus (2019): Geschäftsbericht 2018. Daten, Zahlen, Fakten. Augsburg 2019. https://www.augsburg-tourismus.de/files/augsburgtourismus/media/infomaterial/pdf/regio_geschaeftsbericht_2018_web.pdf. Zugriff: 41.3.2020.

Regio Augsburg Tourismus (2020a): Geschäftsbericht 2019. Daten, Zahlen, Fakten. Augsburg 2020. https://www.augsburg-tourismus.de/files/augsburgtourismus/media/infomaterial/pdf/2019/regio_geschaeftsbericht_2019_web.pdf. Zugriff: 3.4.2021.

Regio Augsburg Tourismus (2020b): Die Strategien der Regio Augsburg Tourismus GmbH. Augsburg, Mai 2020. https://www.augsburg-tourismus.de/files/augsburgtourismus/media/coronavirus/strategien2020.pdf. Zugriff: 1.7.2020.

Reusswig, F. (2019): Der Klimawandel auf der Bühne des Welttheaters. Wie die Theaterbranche auf die Klimakrise reagieren kann. In: Kulturstiftung des Bundes (Hrsg.): Doppelpass. Fonds für Kooperation im Theater. Halle/Saale. https://www.kulturstiftung-des-bundes.de/fileadmin/user_upload/downloads/Arbeitstreffen2019-FondsDoppelpass.pdf. Zugriff: 14.4.2020.

Stadt Augsburg (2019): Tourismus in Augsburg. Kurzmitteilungen aus Statistik und Stadtforschung. Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statistiken_und_geodaten/statistiken/kurzmitteilungen/KM_2019_07_Tourismus.pdf. Zugriff: 2.5.2020.

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2015): Augsburger Puppenkiste unterstützt Klimaschutz / Bayerische Klimawoche eröffnet. https://www.stmuv.bayern.de/aktuell/presse/detailansicht.htm?ID=BTB5ZwrxX0gf7kxYYYBgsg%3D%3D. Zugriff: 4.2.2021.

5.5. Wasser

Augsburger Allgemeine (2018): So viel Trinkwasser verbrauchen die Augsburger bei der Hitze. www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/So-viel-Trinkwasser-verbrauchen-die-Augsburger-bei-der-Hitze-id51840416.html. Zugriff: 10.2.2020.

Augsburger Stadtlexikon (1985): Augsburger Stadtlexikon. Geschichte, Gesellschaft, Kultur, Recht, Wirtschaft, Perlach, Augsburg: Wolfram Baer u. a.

Bosch, U., Cormont, P., Holz, B. (2017): Vorentwurf Stadtentwicklungskonzept (Stadt Augsburg), Augsburg.

br.de (2019): Pfingsthochwasser 1999: Als Augsburg unter Wasser stand. www.br.de/nachrichten/bayern/zwanzig-jahre-nach-dem-pfingsthochwasser-augsburg,RR7lfd1.Zugriff 20.2.2020.

dw.com (2019): UNESCO-Weltkulturerbe: Augsburger Wasserwirtschaft. www.dw.com/de/unesco-weltkulturerbe-augsburger-wasserwirtschaft/a-49440905. Zugriff: 15.2.2020.

Kirchhoff, A. (2019): UNESCO-Weltkulturerbe: Augsburger Wasserwirtschaft | DW Reise | DW | 03.07.2019.

LEW (Lechwerke AG) (2018): Geschäftsbericht 2018. https://boersengefluester.de/wp-content/uploads/assets/annuals/2018/645800.pdf. Zugriff: 1.6.2020.

LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2020): Ausweisung der mit Nitrat belastete Gebiete in Bayern (Rote Gebiete). https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/karte_rote_gebiete_av_d%C3%BCv_20201216.jpeg. Zugriff: 22.11.2020.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2018): Hochwasser-Eigenvorsorge: Fit für den Ernstfall. Infoblatt UmweltWissen Wasser. https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_103_hochwasser.pdf. Zugriff: 22.5.2020.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2020): Umweltatlas Naturgefahren. https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_naturgefahren_ftz/index.html?lang=de&stateId=f4c9e540-f048-49ac-89e5-40f048a9acaa. Zugriff: 16.4.2020.

Myforggensee.de (2019): Der Lech. www.myforggensee.de/der-lech.html. Zugriff: 23.10. 2019.

Regierung von Schwaben (2014): Wasserversorgungsbilanz Schwaben 2025. Augsburg. https://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_5/Wasserwirtschaft_und_Wasserbau/WVB2025_Schwaben_2015-01-26_Web.pdf. Zugriff: 22.11.2020.

Stadt Augsburg (2018a): Das Augsburger Wassermanagementsystem. Welterbebewerbung Augsburg. Nominierung zur Eintragung in die UNESCO Welterbeliste - Nominierungsdossier.

Stadt Augsburg (2018b): Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel- Anpassungsstrategie, Augsburg.

Stadt Augsburg (2019a): Das Augsburger Wassermanagement-System: Die 22 Objekte des Augsburger Wassersystems. https://wassersystem-augsburg.de/de/stationen. Zugriff: 23.10.2019.

Stadt Augsburg (2019b): UNESCO-Weltkulturerbe: Das Augsburger Wassermanagement-System. Pressemitteilung 6. Juli 2019. https://wassersystem-augsburg.de/sites/default/files/medien/19_07_06_pm_das_augsburger_wassermanagement-system.pdf. Zugriff: 22.12.2019.

Stadt Augsburg (2019c): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020

Stadt Augsburg (2019d): Stadtwerke Augsburg bescheinigen Trinkwasser gewohnt hohe Qualität. Available at: www.augsburg.de/aktuelles-aus-der-stadt/detail/stadtwerke-augsburg-bescheinigen-trinkwasser-gewohnt-hohe-qualitaet [Zugriff: April 5, 2020].

Stadt Augsburg. 2020. Beteiligungsbericht 2019. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/verwaltungswegweiser/beteiligungsberichte/Beteiligungsbericht_der_Stadt_Augsburg_2019.pdf.

stadtzeitung.de (2017): Die vitalisierte Wertach: LEBEN MIT DEM NEUEN FLUSS. www.stadtzeitung.de/region/augsburg-stadt/lokales/vitalisierte-wertach-leben-neuen-fluss-id115613.html , Zugriff: 14.11.2020).

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

StMUV (2015): Klima-Report Bayern 2015. München. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000000?SID=1126415814&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_008%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27). Zugriff: 14.12.2019.

StMUV (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. München. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=1877662896&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_009%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27) / Zugriff: 22.1.2020.

swa (Stadtwerke Augsburg) (2014): Wasserbroschüre - Wir versorgen die Region mit unserem wertvollsten Gut. Augsburg: swa.

Swa (Stadtwerke Augsburg) (2020): Die Smaragdgrüne Schatzkammer im Steppacher Berg. https://www.sw-augsburg.de/magazin/detail/die-smaragdgruene-schatzkammer-im-steppacher-berg/. Zugriff: 25.11.2020.

TUM (Technische Universität München) (2012): „Licca Liber" – Der freie Lech. Untersuchung der flussbaulichen Möglichkeiten zur Sanierung des Lechs - Morphologische Grundlagenstudie. TU München.

Wasserwirtschaftsamt Kempten (2018): Der Forggensee- Hochwasserschutz. https://www.wwa-ke.bayern.de/fluesse_seen/gewaesserportraits/forggensee/hochwasserschutz/index.htm. Zugriff: 25.4.2020.

5.6. Energie

BayKLAS (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. Ausgabe 2016. Bayerische Staatsregierung. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=1877662896&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_009%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27) / Zugriff: 11.4.2020.

BBSR (2020): GIS-ImmoRisk Naturgefahren. Internet: https://www.gisimmorisknaturgefahren.de/immorisk.html. Zugriff: 2.2.2021.

Bundesverband Geothermie (2019): Umwelt- und Klimaschutz. https://www.geothermie.de/geothermie/umwelt-und-klimaschutz.html. Zugriff: 12.12.2020.

Buth, M., Kahlenborn, W., Savelsberg, J. et al. (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_24_2015_vulnerabilitaet_deutschlands_gegenueber_dem_klimawandel_1.pdf / Zugriff: 20.09.2019.

Energie-Atlas Bayern (2021): Nutzungsmöglichkeiten Erdwärmesonden. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. https://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten. Zugriff: 11.2.2021.

Karnauskas, K.B., Lundquist, J.K., Zhang, L. (2018): Southward shift of the global wind energy resource under high carbon dioxide emissions. Nature Geoscience 11: 38–43. https://doi.org/10.1038/s41561-017-0029-9.

LfU (Landesamt für Umwelt) (2003): Erdwärme. Die Energiequelle aus der Tiefe. (UmweltWissen – Klima+Energie). https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_20_erdwaerme.pdf. Zugriff: 15.3.2020.

Moemken, J., Reyers, M., Feldmann, H. et al. (2018): Future changes of windspeed and wind energy potentials in EURO-CORDEX ensemble simulations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123, 6373 – 6389.

Stadt Augsburg (2012): Konzeptionelle Überlegungen für ein Windkonzept (WIKO) für die Stadt Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/umwelt_soziales/umwelt/aktuell_Energiewende/Konzept_WIKO.pdf. Zugriff: 12.2.2020.

Stadt Augsburg, Landkreis Augsburg, Landkreis Aichach-Friedberg (2016): Status-Quo-Bericht Windkraft für den Wirtschaftsraum Augsburg. https://www.landkreis-augsburg.de/fileadmin/user_upload/Klimaschutz/Status-Quo-Bericht_Windkraft_Wirtschaftsraum_Augsburg.pdf. Zugriff: 24.3.2020.

Stadt Augsburg (2018): Klimaschutzbericht 2018. CO2-Bilanz, Indikatoren und Daten zum Klimawandel. Hrsg.: Stadt Augsburg, Referat 2 (Umwelt, Nachhaltigkeit und Migration). Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/umwelt_soziales/umwelt/klima%20und%20energie/Klimaschutzbericht_2018.pdf. Zugriff: 12.12.2019.

Vorstudie 2017: Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel-Anpassungsstrategie. Auftraggeber: Stadt Augsburg. Bearbeitung: Infrastruktur + Umwelt, Prof. Böhm und Partner. Augsburg/Darmstadt.

Zebe, H.-C. (2012): Gründach und PV: Eine sinnvolle Ergänzung. Siehe online unter: https://www.dach-holzbau.de/artikel/bhw_Gruendach_und_PV_Eine_sinnvolle_Ergaenzung_3043071.html, Zugriff: 3.3.2020

5.7. Gebäude

Abc (2020d): Kurzfassung Ergebnisse zu Innentemperaturmessung und Simulationen in Augsburg aus dem Sommer 2019. Universität Augsburg/ Universität Ulm, abrufbar unter: https://www.uni-ulm.de/projekt-abc .

Arnfield, A. J. (2003): Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. International Journal of Climatology 23 (1): 1–26.

Bau-Sach-Verstand e.V. (2020): Risse. Internet: https://www.bau-sach-verstand.de/de/risse/. Zugriff: 2.2.2021.

Bayerische Ingenieurkammer-Bau (Hrsg.) (2014): Baudenkmal und Energie. Hrsg.: Bayerische Ingenieurekammer-Bau. Körperschaft des öffentlichen Rechts. München. https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/bayika_baudenkmal_und_energie_0001.pdf. Zugriff: 23.2.2020.

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (2013): Baumaßnahmen an Baudenkmälern. Kooperation und optimaler Ablauf. München. https://www.bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/bayika_blfd_byak_sonderinfo_2-2008_2013_baumassnahmen_ablauf_denkmal_0004.pdf. Zugriff: 12.4.2020.

Bayerisches Landesamt für Umwelt [LfU] (2020): Informationsdienst Überschwemmungsgefährdete Gebiete. URL: http://geoportal.bayern.de/bayernatlas-klassik. Zugriff: 4.6.2020.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (2016): Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Sonderveroeffentlichungen/2016/anpassung-klimawandel-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriff: 18.9.2019.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (2017): Kommunale Wohnungsbestände in Deutschland. Ergebnisse der BBSR-Kommunalbefragung 2015. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2018/kommunale-wohnungsbestaende-dl.pdf;jsessionid=E1AE6CE903223F315521CB12896497A4.live11293?__blob=publicationFile&v=1. Zugriff: 12.2.2020.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2019): Leitfaden Starkregen – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Internet: file:///C:/Users/Lenovo/Documents/WORK_/Literatur/Objektschutz.pdf.Zugriff: 12.2.2020.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (2020): GIS-ImmoRisk Naturgefahren. https://www.gisimmorisknaturgefahren.de/ Zugriff: 12.12.2020.

Beck C., Straub, A., Breitner, S. et al. (2018): Air temperature characteristics of Local Climate Zones in the Augsburg urban area (Bavaria, South ern Germany) under varying synoptic conditions. Urban Climate 25: 152-166.

Beck, C., Buse, K. , Fritsch, M. et al. (2020): Kleinräumige Simulation von Hitze-Hotspots in Augsburg. Vortrag bei der Abschlussveranstaltung des Forschungsprojekts Abc (Augsburg bleibt cool, gefördert durch BMU, FKZ [03DAS144A]) am 16.12.2020. https://www.uni-ulm.de/projekt-abc. Zugriff: 4.2.2021.

Beckmann, S. K., Hiete, M. (2020): Predictors associated with health-related heat risk perception of urban citizens in Germany. In: International Journal of Environmental Research and Public Health 17 (3). 874; https://doi.org/10.3390/ijerph17030874.

Biercamp, N., Hirschfeld, J., Mohaupt, F. et al. (2018): Grünflächenmanagement im Kontext von Klimawandel und Biodiversität. Synthesebericht zum Modul I des Projekts STADTGRÜN. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2018/Stadtgr%C3%BCn_Wertsch%C3%A4tzen_Modul_1_Synthesebericht.pdf. Zugriff: 12.4.2020.

Böhm, J., Böhme, C., Bunzel, A. et al. (2016): Urbanes Grün in der doppelten Innenentwicklung. Bonn: Bundesamt für Naturschutz. BfN-Skripten 444. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript444.pdf. Zugriff: 22.2.2019.

BR24 (2019): Keine Soforthilfen mehr bei Naturkatastrophen. In: Bayerischer Rundfunk 24. Internet: https://www.br.de/nachrichten/bayern/keine-soforthilfen-mehr-bei-naturkatastrophen,RUyE0oJ.

dach.de (2019): Dachdämmung - Das hilft gegen Hitze im Dachgeschoss. Internet: https://www.dach.de/daemmung/daemmarten/daemmarten-dachdaemmung-schuetzt-vor-hitzestau-01558/. Zugriff: 2.3.2020.

Das Baudenkmal (2020): KfW Denkmal: Zuschuss für Ihre Sanierung. https://www.das-baudenkmal.de/wissenswertes/foerderung/kfw/. Zugrif: 22.1.2021.

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2020): Das Stadtklima und seine Einflussfaktoren. www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html (4.2.2021)

DLR/ SLU (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen) (2021a): Grünflächenkartierung und Vergleich von Innen- & Außentemperaturen im Sommer 2019 in Augsburg. Ergebnis aus dem Forschungsprojekt

Abc (Augsburg bleibt cool, gefördert durch BMU, FKZ [03DAS144A]). URL: https://www.uni-ulm.de/projekt-abc , Zugriff: 22.4.2021.

DLR/ SLU [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. / Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen (2021b): Modellierte Tropennächte in Augsburg auf Basis von Messdaten aus 2019, unveröffentlichtes Ergebnis aus dem Forschungsprojekt Abc (Augsburg bleibt cool, gefördert durch BMU, FKZ [03DAS144A]).

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2020): Stadtklima - die städtische Wärmeinsel. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/startseite_projekt_waermeinseln.html. Zugriff: 1.4.2020.

Ehrmann, O., Konold, W., Niederberger, J. et al. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs. In: KLIBB - Schlussbericht - Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg. https://www.herausforderung-klimawandel-bw.de/downloads/KLIBB_Schlussbericht_Herausforderung_Klimawandel.pdf. Zugriff: 12.3.2002.

Fahrion, M.-S. (2015): Sommerlicher Wärmeschutz im Zeichen des Klimawandels. Anpassungsplanung für Bürogebäude. Dissertation an der TU Dresden. https://d-nb.info/1088185509/34. Zugriff: 13.4.2020.

FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) (2018): Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen. Bonn: FLL.

Friesecke, F. (2020): Stadtplanung und Raumentwicklung in Zeiten vor und nach Corona. zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 3 (2020): 144-149.

GdV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.) (2018): Versiegelungsstudie der VdS Schadenversicherung GmbH. https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/muenchen-ist-die-am-staerksten-versiegelte-grossstadt-36418. Zugriff: 3.6.2020.

GdV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.) (2019): Naturgefahrenbilanz 2019. Schäden von 3,2 Milliarden Euro durch Stürme, Hagel und Starkregen. https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/schaeden-von-3-2-milliarden-euro-durch-stuerme--hagel-und-starkregen--54750. Zugriff: 22.4.2020.

Haeseler, S., C. Lefebvre, E. Weigl, T. et al. (2015): Unwetter in Deutschland in der zweiten Maiwoche 2015, hrsg. v. DWD, Stand: 21. Mai 2015. https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/2015/Unwetter_Deutschland_Maiwoche_PDF.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugriff: 2.10.2019. https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/2015/Unwetter_Deutschland_Maiwoche_PDF.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Helbig, A., Baumüller, J., Kerschgens, M.J. (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. Heidelberg etc.: Springer.

Henninger, S., Weber, S. (2019): Stadtklima. Stuttgart: Schöningh/UTB.

Jacobeit, J. (1986): Stadtklimatologie von Augsburg unter besonderer Berücksichtigung der lufthygienischen Situation sowie des Lärms. Augsburger Geographische Hefte. Heft 6. Augsburg: Lehrstuhl für Physische Geographie der Universität Augsburg.

Jendritzky, G., W. Sönning und H. Swantes (1979): Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Millieus in der Stadt-und Landschaftsplanung ("Klima-Michel-Modell"). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-10001-1_11. Zugriff: 12.3.2020.

Krause, C., Schulz, C. (1998): Aufenthaltszeiten der deutschen Bevölkerung im Innenraum, im Freien, im Straßenverkehr. Umweltmedizin - Forschung und Praxis, 3(4), 249.

Leech, J.A., Nelson, W.C., Burnett, R.T. et al. (2002): It's about time: A comparison of Canadian and American time–activity patterns. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology (2002) 12, 427 – 432.

LH (Landeshauptstadt) München (2011): Freiflächengestaltungssatzung. Referat für Stadtplanung und Bauordnung. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjSze_Rjc_wAhUUtqQKHcx6BeIQFjAAegQIAxAD&url=https%3A%2F%2Fwww.muenchen.de%2Frathaus%2Fdam%2Fjcr%3Ab4f79ad9-8e04-4710-ae27-ce56b00c7bbe%2FFreiflaechengestaltungssatzung_210313.pdf&usg=AOvVaw3FjxNJAcPTci9DAFT-oVIp. Zugriff: 22.12.2019.

Kühnau, Böhm, Reinke et al. (o.J.): Doppelte Innenentwicklung – Perspektiven für das urbane Grün. Empfehlungen für Kommunen. Bonn: Bundesamt für Naturschutz. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/planung/siedlung/Dokumente/DOPI_Brosch.pdf. Zugriff: 22.11.2019.

Oke, T.R. (1987): Boundary Layer Climates. London: Routledge. 2nd edition.

Stadt Augsburg (2007): Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg -- Leitfaden zur Berücksichtigung von Klimaschutzbelangen in der städtebaulichen Planung und deren Umsetzung. Hrsg.: Stadt Augsburg, Referat 2, Umweltamt, Abteilung Klimaschutz.

Stadt Augsburg (2015): Denkmalschutz - Geschichte bewahren. Internet: https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/wohnen-und-bauen/denkmalschutz. Zugriff: 22.9.2019.

Stadt Augsburg (2016): Offensive Wohnraum Augsburg. https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/wohnen-und-bauen/offensive-wohnraum-augsburg. Zugriff: 12.3.2020.

Stadt Augsburg (2019): Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept. Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen

Stadt Augsburg (2020): Strukturatlas der Stadt Augsburg 2020. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/strukturatlas/Strukturatlas_der_Stadt_Augsburg_2020.pdf. Zugriff: 2.2.2021.

Stadtplanungsamt Augsburg (2017): Bericht für den Bau- und Konversionsausschuss Städtebauliche Entwicklung Haunstetten Südwest. https://ratsinfo.augsburg.de/bi/___tmp/tmp/4508103617083657 6/00066143/43-Anlagen/01/Bericht_BA_20032017_.pdf. Zugriff: 22.12.2019.

Stadtplanungsamt Augsburg (2019): Stadtentwicklungskonzept Augsburg - Entwurf 23.07.2019.

StadtZeitung.online (2019): Unwetter in Augsburg: Tierheim kämpft mit Überflutung, Augsburg, City, stadtzeitung.de, https://www.stadtzeitung.de/region/augsburg-stadt/lokales/hilfsaktion-tierheim-id184057.html. Zugriff: 2.2.2020.

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

Straub A., Berger K., Breitner S. et al. (2019): Statistical modelling of spatial patterns of the urban heat island intensity in the urban environment of Augsburg, Germany. Urban Climate 29: doi:10.1016/j.uclim.2019.100491

Tratschin, R., Dübendorfer, C., Ritscher, A. (2019): Trockenheit im Sommer und Herbst. EBP Schweiz AG um Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt. Zollikon.

Weller, B., Fahrion, M.-S., Horn, S. et al. (2016): Baukonstruktion im Klimawandel. Wiesbaden: Springer.

WMO (1983): Report Commission for Climatology and Applications of Meteorology (CCl): Abridged final report of the eighth session. Internet: https://library.wmo.int/index.php?lvl=categ_see&id=11052. Zugriff: 12.3.2020.

Wohnbaugruppe Augsburg (2019): Geschäftsbericht 2019. https://www.wohnbaugruppe.de/fileadmin/Downloads/Geschaeftsberichte/Wohnbaugruppe_GB19_Web.pdf. Zugriff: 22.3.2020.

5.8. Verkehr

Augsburger Allgemeine (2015): Orkan Niklas fegt über die Region und sorgt für massive Behinderungen. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Orkan-Niklas-Niklas-fegt-ueber-die-Region-und-sorgt-fuer-massive-Behinderungen-id33578752.html. Zugriff: 1.12.2019.

Augsburger Allgemeine (2015b): Blow-up: Bayern erlässt Tempolimit auf 160 Autobahnkilometern. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Blow-ups-in-Bayern-Blow-up-Bayern-erlaesst-Tempolimit-auf-160-Autobahnkilometern-id34650232.html. Zugriff: 14.11.2019.

Augsburger Allgemeine (2017): Starkregen: Unwetter: Tief Wolf richtet Schäden in der Region an. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Starkregen-Unwetter-Tief-Wolf-richtet-Schaeden-in-der-Region-an-id42015911.html. Zugriff: 22.10.2019.

Augsburger Allgemeine (2018a): Sturm in der Region: Unwetterwarnung aufgehoben - 100.000 Euro Schaden in Augsburg. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Sturm-in-der-Region-Unwetterwarnung-aufgehoben-100-000-Euro-Schaden-in-Augsburg-id43703536.html. Zugriff: 22.2.2020.

Augsburger Allgemein (2018b): Warum sich Busse und Trams trotz Klimaanlage aufheizen. https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Augsburg-Warum-sich-Busse-und-Trams-trotz-Klimaanlage-aufheizen-id51348541.html. Zugriff: 22.11.2019.

Augsburger Allgemeine (2019a): Versicherungsschäden: Unwetterschäden an Autos und Häusern bisher bei 1,3 Milliarden Euro. https://www.augsburger-allgemeine.de/geld-leben/Versicherungsschaeden-Unwetterschaeden-an-Autos-und-Haeusern-bisher-bei-1-3-Milliarden-Euro-id55263136.html. Zugriff: 2.4.2020.

Augsburger Allgemeine (2019b): Unwetter: Heftige Gewitter ziehen über Schwaben und richten Schäden in der Region an. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Unwetter-Heftige-Gewitter-ziehen-

ueber-Schwaben-und-richten-Schaeden-in-der-Region-an-id54707336.html. Zugriff: 2.10.2019.

Augsburger Allgemeine (2019c): Unwetter in Bayern: Videos im Netz zeigen das ganze Ausmaß der Verwüstung. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Hagel-Sturm-und-Regen-Unwetter-in-Bayern-Videos-im-Netz-zeigen-das-ganze-Ausmass-der-Verwuestung-id54556626.html. Zugriff: 14.3.2020.

Augsburger Allgemeine (2019d): Sturm richtet Schäden in der Region an - 18-Jährige schwer verletzt. https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Sturmtief-Eberhard-Sturm-richtet-Schaeden-in-der-Region-an-18-Jaehrige-schwer-verletzt-id53676871.html. Zugriff: 22.1.2020.

Augsburger Allgemeine (2019e): Hitzewelle in Deutschland: Auf den ersten Autobahnen gilt jetzt ein Hitze-Tempolimit. https://www.augsburger-allgemeine.de/panorama/Hitzewelle-in-Deutschland-Auf-den-ersten-Autobahnen-gilt-jetzt-ein-Hitze-Tempolimit-id54678891.html. Zugriff: 12.2.2020.

Augsburger Allgemeine (2020): Gleisschaden: Prinzstraße gesperrt, Trams der Linie 6 fallen aus. https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Augsburg-Gleisschaden-Prinzstrasse-gesperrt-Trams-der-Linie-6-fallen-aus-id57712676.html. Zugriff: 23.11.2020.

AVV (Augsburger Verkehrs- und Tarifverbund) (2019): Über uns - AVV. https://www.avv-augsburg.de/der-avv/ueber-uns/. Zugriff: 22.12.2019.

Bastian, B. (2019): Unwetter in Schwaben: Über 200 Notrufe im Raum Augsburg. BR 24.

Brasseur, G. P., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (2017): Klimawandel in Deutschland. Berlin/Heidelberg: Springer. http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-50397-3.

Donaukurier (2019): Augsburger Gas-Busse vor dem Aus? https://www.donaukurier.de/nachrichten/wirtschaft/Augsburger-Gas-Busse-vor-dem-Aus;art154664,4217971. Zugriff: 2.3.2020.

Frankfurter Rundschau (2019): Klimawandel macht auch der Bahn zu schaffen. https://www.fr.de/wissen/klimawandel-macht-auch-bahn-schaffen-12881785.html. Zugriff: 1.2.2020.

Gerike, R. (2019): Mobilitätssteckbrief für Augsburg 2018. TU Dresden. https://tu-dresden.de/srv. Zugriff: 20.2.2020.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2020): Bodennahes Ozon und Sommersmog, Augsburg, Überarbeitung 2020. Zugriff: 22.3.2020.

Mindener Tageblatt (2019) „Blow-ups“: Sommerhitze lässt Beton auf der A2 platzen - drei Unfälle. Verfügbar unter: https://www.mt.de/regionales/Blow-ups-Sommerhitze-laesst-Beton-auf-der-A2-platzen-drei-Unfaelle-22521783.html. Zugriff: 2.11.2019.

Polizeipräsidium Schwaben Nord (2018): Verkehrsunfallstatistik 2018. https://www.polizei.bayern.de/content/2/9/3/1/0/0/verkehrsstatistik_2018_-_final-web.pdf. Zugriff: 22.10.2019.

SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt) Berlin (2016): Konzept zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin (AFOK). https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/anpassung-an-den-klimawandel/programm-zur-anpassung-an-die-folgen-des-klimawandels/. Zugriff: 12.3.2020.

Stadt Augsburg (2018): Masterplan nachhaltige und emissionsfreie Mobilität für die Stadt Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/umwelt_soziales/umwelt/Masterplan/Masterplan_nachhaltige_und_emissionsfreie_Mobilitaet.pdf. Zugriff: 30.11.2019.

Stadt Augsburg (2019): Mobilität von morgen – Augsburger Agenda für Mobilität. https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/verkehr/agenda-fuer-mobilitaet. Zugriff: 30.3.2020.

Stadt Augsburg (2020): Verkehrsverhalten in Augsburg. https://www.augsburg.de/buergerservice-rathaus/verkehr/verkehrsverhalten. Zugriff: 2.12.2020.

Stadt Augsburg (2021): Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte und Pendler in Augsburg (2005 bis 2019). Kurzmitteilungen aus Statistik und Stadtforschung, e-Paper vom 9. Februar 2021. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/kurzmitteilungen/KM_2021_02_Sozialversicherungspflichtig_Beschaeftigte_und_Pendler_in_Augsburg_2005_bis_2019.pdf. Zugriff: 30.3.2021.

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

swa (Stadtwerke Augsburg) (2019): swa eLadestationen: Standorte im Überblick. https://www.sw-augsburg.de/emobilitaet/. Zugriff: 22.12.2019.

swa (Stadtwerke Augsburg) (2020): Gratis durch die City-Zone. https://www.sw-augsburg.de/magazin/detail/gratis-durch-die-city-zone/. Zugriff: 2.2.2020.

SZ (Süddeutsche Zeitung) (2018): Hitze-Stress: Erhöhtes Risiko im Verkehr. https://www.sueddeutsche.de/panorama/wetter-hitze-stress-erhoehtes-risiko-im-verkehr-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-180801-99-373740. Zugriff: 20.8.2019.

UBA (Umweltbundesamt) (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Dessau-Roßlau: UBA. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf- Zugriff: 22.11.2020.

UBA (Umweltbundesamt) (2020): Feinstaub-Belastung. https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/feinstaubbelastung#feinstaubkonzentrationen-in-deutschland. Zugriff: 20.12.2020.

Vorstudie 2017: Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel-Anpassungsstrategie. Auftraggeber: Stadt Augsburg. Bearbeitung: Infrastruktur + Umwelt, Prof. Böhm und Partner. Augsburg/Darmstadt.

Zeilnhofer, I. (2019): Kostenfreie City Zone in Augsburg: Das ändert sich 2020 - Augsburg - B4B Schwaben. https://www.b4bschwaben.de/b4b-nachrichten/augsburg_artikel,-kostenfreie-city-zone-in-augsburg-das-aendert-sich-2020-_arid,258244.html. Zugriff: 20.9.2019.

5.9 Stadtgrün

AELF (2019): Borkenkäfer 2019 - Käferholz weiterhin konsequent aufarbeiten! Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Augsburg. Internet: http://www.aelf-au.bayern.de/forstwirtschaft/waldbesitzer/222566/index.php.

AGNF (2019): Sachstand Baumpflege mit aktuellen Fällungen und Neupflanzungen. Referat 2; Umwelt, Nachhaltigkeit und MIgration, Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen.

Andrä, H., Kanno, O., Reisch, B. (2013): Klima im Wandel – Grün im Wandel. In: Klima Moro, Regionaler Nordschwarzwald.

Arlt, G., Hennersdorf, J., Lehmann, I., et al. (2005): Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen. (IÖR Schriften, 47). Dresden: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-396830

Augsburger Allgemeine.de (2016): Überflutung nach Starkregen: Wo drohr jetzt Hochwasser? 1–5.

Augsburger Allgemeine (2019): Natürliche Dämmung - KfW-Förderung für Dachbegrünung. In: Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/themenwelten/bauen-wohnen/Natuerliche-Daemmung-KfW-Foerderung-fuer-Dachbegruenung-id30059092.html.

B90/Die Grünen (2019): Kulturempfang: Weltkultur - Klimaschutz – Nachhaltigkeit. Stadtzeitung online Augsburg-Süd. Internet: https://www.stadtzeitung.de/augsburg-sued/politik/kulturempfang-weltkultur-klimaschutz-nachhaltigkeit-d106601.html.

Baumallianz Augsburg (2019): Aktion: Gieß´ mich, sonst sterb´ ich! Internet: https://baumallianz-augsburg.de/archive/850.

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2015): Klima-Report Bayern 2015.

BBSR (2019): Leitfaden Starkregen – Objektschutz und bauliche Vorsorge. Internet: file:///C:/Users/Lenovo/Documents/WORK_/Literatur/Objektschutz.pdf.

Böll, S. (2018): Stadtbäume der Zukunft. Wichtige Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "Stadtgrün 2021". Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/stadtbaeume_der_zukunft.pdf. Zugriff 12.2.2020.

Brune, M. (2016). Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s (GERICS Report 24). Hamburg: Climate Service Center Germany.

Bühling, A. (2019): Folgen des Klimawandels Neue Stadtbäume braucht das Land. In: Bayerischer Rundfunk 21.06.2019. Internet: https://www.br.de/themen/wissen/klimawandel-stadtbaeume-zukunft-100.html.

CityLAB Berlin (o.J.): Gieß den Kiez. https://www.citylab-berlin.org/projects/giessdenkiez/. Zugriff: 31.3.2020.

Dickhaut,W., Eschenbach, A. (2019): Entwicklungskonzept Stadtbäume. Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen. Hamburg: Hafen City University.

Duthweiler, S.; Pauleit, S.; Rötzer, T. et al. (2017):. Untersuchungen zur Trockenheitsverträglichkeit von Stadtbäumen. Jahrbuch der Baumpflege 2017, 21. Jg., S. 137–154.

Feuerwehr Augsburg (2016): Starkregeneinsätze. Internet: http://www.albayan.ae.

GALK Berlin (2011): Berliner Standards für die Pflanzung und die anschließende Pflege von Straßenbäumen.

GdV (2019): Naturgefahrenreport 2019 Jahr der Extreme mit 3,1 Milliarden Euro Versicherungsschäden. Gesamtverband deutscher Versicherer - 09.10.2019. Internet: https://www.gdv.de/de/themen/news/naturgefahrenreport-51704.

Grafe, R. (2020): Umweltgerechtigkeit. Aktualität und Zukunftsvision. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Haug, C. (2018): Mücken-Exoten in Sachsen und Thüringen. mdr Wissen. Internet: https://www.mdr.de/wissen/umwelt/sind-muecken-gefahrlich-mueckenatlas-mueckenkarte-forschung-100.html.

Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International Journal of Biometeorology, 43, 71–75.

IÖR (Leibniz-Institut für ökoogische Raumentwicklung) (2018): Flächennutzungsmonitoring X Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren. Hrsg. v. G. Meinel et al. IÖR Schriften Band 76 · 2018.

Jahn, U. (2019): Faktencheck Hilft es, Straßenbäume zu gießen? In: mdr.de 30.07.2019. Internet: https://www.mdr.de/nachrichten/ratgeber/faktencheck-hilft-baeume-giessen-hitze-100.html.

Krog, S. (2017b): Wo es im Sommer glüht. In: Augsburger Allgemeine 08.08.2017.

LfStaD (2019): GENESIS - Online Datenbank. Bayerisches Landesamt für Statistik. Internet: https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/data?operation=previous&levelindex=3&levelid=1579085242315&levelid=1579085176385&step=2. Zugriff: 2.3.2020.

LfU Bayern (2016): Sturzfluten-und Hochwasserereignisse Mai/Juni 2016.

LH (Landeshauptstadt) München (2011): Freiflächengestaltungssatzung. https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtrecht/vorschrift/924.html. Zugriff: 20.12.2019.

LWG (Bayerisches Landesamt für Weinbau und Gartenbau) (2011): Standortangepasste Bewässerung öffentlicher Grünflächen als Beitrag zur Klimamäßigung im urbanen Lebensraum. In: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.

Medizinische Universität Wien (2020): Ozon macht Pollen aggressiver. MEDICA Magazin. Internet: https://www.medica.de/de/News/Archiv/Ozon_macht_Pollen_aggressiver.

Moderow, U.; Thiel, S.; Goldberg, V. et al. (2019): Zur thermischen Wirkung von Dachbegrünung in Höhe des Straßenniveaus. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M. et al. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XI. Flächenmanagement – Bodenversiegelung – Stadtgrün. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 77, S. 255-263.

Oke, T.R. (1987): Boundary Layer Climates. London: Routledge. 2nd edition.

REGKLAM (2013): Maßnahmenblatt 1.4.4 Städtebauliche Strukturen, Freiflächen, Gebäude - Anpassung Straßenbaumbestandes: 1–3. Internet: http://regklam.de/fileadmin/Daten_Redaktion/Publikationen/Maßnahmenblaetter/Maßnahmenblatt144.pdf.

Rieser Nachrichten (2019): Hitzestau im Schlafgemach - „Augsburg bleibt cool“ identifiziert nächtliche Hot-Spots in der Stadt. In: Universität Augsburg 18.Juli. Internet: https://www.pressreader.com/germany/rieser-nachrichten/20190718/page/30.

Roloff, A. (2013): Bäume in der Stadt. Besonderheiten, Funktion, Nutzen, Arten, Risiken. Stuttgart: Ulmer.

Roloff, A, (Hrsg.) (2019): Baumpflege - Baumbiologische Grundlagen und Anwendung. Stuttgart: Ulmer. t

Schatz, S., Krog, S. (2015): Supersommer. In: Augsburger Allgemeine 14.08.2015: 1–3.

Schönefeld, P. (2019): „ Klimabäume “ - welche Arten können in Zukunft gepflanzt werden? In: LWG aktuell. Internet: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/zukunft_klimabaeume.pdf.

Schumann, F. (2019): Ein spezieller Pollen-Jahrgang. Der Tagesspiegel. Internet: https://www.tagesspiegel.de/wissen/beginn-der-birkenbluete-ein-spezieller-pollen-jahrgang/24131080.html.

Stadt Augsburg (2007): Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg -- Leitfaden zur Berücksichtigung von Klimaschutzbelangen in der städtebaulichen Planung und deren Umsetzung.

Stadt Augsburg (2016b): Flächennutzungsplan mit integrierter Landschaftsplanung: 1–46.

Stadt Augsburg (2018a): Geografie , Wetter und Umwelt. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/augsburg_geografie_wetter_umwelt.pdf. Zugriff: 22.1.2020.

Stadt Augsburg (2018b): Strukturatlas der Stadt Augsburg 2018.

Stadt Augsburg (2019a): Grün- und Freiflächenentwicklungskonzept. Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen.

Stadt Augsburg (2019b): Stadtgrün wertschätzen. Amt für Grünordnung, Naturschutz und Friedhofswesen mit Unterer Naturschutzbehörde. Internet: https://www.augsburg.de/umwelt-soziales/umwelt/stadt-gruen-wertschaetzen/.

Stark, K., Niedrig, M., Biederbick,W. et al. (2009): Die Auswirkungen des Klimawandels : Welche neuen Infektionskrankheiten und gesundheitlichen Probleme sind zu erwarten? Band 52. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz.

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

Strukturatlas Augsburg (2016): Augsburg - Planungsräume (I-XVII) und Stadtbezirke (1-42). Wikipedia. Internet: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Planungsräume_und_Stadtbezirke_von_Augsburg#/media/Datei:Karte_Augsburg_–_Planungsräume_und_Stadtbezirke.png.

Vorstudie 2017: Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel-Anpassungsstrategie. Auftraggeber: Stadt Augsburg. Bearbeitung: Infrastruktur + Umwelt, Prof. Böhm und Partner. Augsburg/Darmstadt.

Winkler, M. (2019): Baum des Jahres 2019: Die Ulme als Stadtbaum. Baumpflegeportal. Internet: https://www.baumpflegeportal.de/aktuell/ulme-stadtbaum/.

5.10 Biodiversität

Andriamifidy, R.F. et al. (2019): Do we know how mosquito disease vectors will respond to climate change? Emerging Topics in Life Sciences (2019). https://doi.org/10.1042/ETLS20180125

Augsburger Allgemeine (2009): Augsburg: Dramatisches Fischsterben im Lech - Lokales (Augsburg) - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Dramatisches-Fischsterben-im-Lech-id5147861.html (06.01.2020).

Augsburger Allgemeine (2010a): Heide, Starkstrom und Autobahn - Lokales (Augsburg) - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Heide-Starkstrom-und-Autobahn-id7944196.html (11.12.2019).

Augsburger Allgemeine (2010b): Ambrosia-Alarm - Lokales (Augsburg) - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Ambrosia-Alarm-id8316816.html (11.12.2019).

Augsburger Allgemeine (2019a): Interview: Wie Augsburg beim Artenschutz eine Vorreiterrolle spielen kann - Lokales (Augsburg) - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Wie-Augsburg-beim-Artenschutz-eine-Vorreiterrolle-spielen-kann-id53555906.html (04.12.2019).

Augsburger Allgemeine (2019b): Augsburg: Artenvielfalt: Es gibt wieder Streit um Mäharbeiten in der Stadt - Lokales (Augsburg) - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Artenvielfalt-Es-gibt-wieder-Streit-um-Maeharbeiten-in-der-Stadt-id54337681.html (04.12.2019).

Augsburger Allgemeine (2019c): Augsburg: Tausende tote Fische im Lech: Fischer fordern Konsequenzen - Lokales (Augsburg) - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Tausende-tote-Fische-im-Lech-Fischer-fordern-Konsequenzen-id55904226.html (06.01.2020).

Augsburger Allgemeine (2019d): Region Augsburg: Blaualgen: Entwarnung für Lechufer im Kreis Augsburg - Nachrichten Friedberg - Augsburger Allgemeine. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/friedberg/Blaualgen-Entwarnung-fuer-Lechufer-im-Kreis-Augsburg-id55454016.html. Zugriff: 7.1.2020.

Augsburger Allgemeine (2019i): Mehrere Gewässer in der Region betroffen: Ist die giftige Blaualge überall?. Augsburger Allgemeine, 13.9.2019. https://www.augsburger-allgemeine.de/friedberg/Blaualgen-Mehrere-Gewaesser-in-der-Region-betroffen-Ist-die-giftige-Blaualge-ueberall-id55425501.html. Zugriff 14.3.2020.

Augsburger Biodiversitätsstrategie (2009): Strategie zum Erhalt der biologischen Vielfalt in Augsburg. Lokale Umsetzung der bayerischen Biodiversitätsstrategie. https://www.kommbio.de/files/web/doks/themen/biodiversitaetsstrategien/Augsburg.pdf. Zugriff: 20.4.2020.

Bäse, F. et al. (2013): Langzeitverhalten der Wassertemperaturen bayerischer Fließgewässer. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt. Augsburg.

Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (2018): Biodiversitätsprojekt: Friedhöfe sind Oasen für Pflanzen und Tiere. Internet: https://www.anl.bayern.de/fachinformationen/biodiversitaet/biodiv_friedhoefe.htm (28.01.2020).

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2019): Risikogebiete für FSME in Bayern. Internet: https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/fsme/zecken_fsme_risikogebiete.htm (09.01.2020).

BayKLAS (2016): Bayerische Klima- Anpassungsstrategie. LfU, Referat 13.

Böll, S. et al. (2019): Stadtklimabäume - geeignete Habitate für die urbane Insektenvielfalt? LWG aktuell, 2019. https://www.zrk-kassel.de/media/files/landschaftsplanung/fachbib/11-stadtklimabaeume-insektenvielfalt.pdf.

De Boeck, H.J. et al. (2017): Patterns and drivers of biodiversity–stability relationships under climate extremes. Journal of Ecology 106(2018): 890–902. DOI: 10.1111/1365-2745.12897.

Domisch, S. et al. (2017): Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. Global Change Biology 19(2013): 752–762. doi: 10.1111/gcb.12107

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2020): Phänologische Uhr. https://www.dwd.de/DE/leistungen/phaeno_uhr/phaenouhr. Zugriff: 23.12.2020.

Feldhaar, H. (2016): Gewinner und Verlierer in der bayerischen Flora und Fauna in den letzten 50 Jahren: Insekten. In: Wie viel Wissenschaft braucht der Naturschutz? Eine kritische Bestandsaufnahme: Rundgespräch am 12. Mai 2015 in München. Rundgespräche Forum Ökologie, Bd. 44. München: Friedrich Pfeil. S. 43-52.

Feldmeier, M. et al. (2018): Climate versus weather extremes: Temporal predictor resolution matters for future rather than current regional species distribution models. Diversity and Distributions 24(2018):1047–1060. DOI: 10.1111/ddi.12746.

Geist, J. (2016): Gewinner und Verlierer in der bayerischen Flora und Fauna in den letzten 50 Jahren:Aquatische Organismen.In: Wie viel Wissenschaft braucht der Naturschutz? Eine kritische Bestandsaufnahme: Rundgespräch am 12. Mai 2015 in München. Rundgespräche Forum Ökologie, Bd. 44. München: Friedrich Pfeil. S. 53-66.

Geist, J./Auerswald, K. (2019): Synergien im Gewässer-, Boden-, Arten- und Klimaschutz am Beispiel von Flussauen. Wasserwirtschaft11 (2019): 11-16. https://mediatum.ub.tum.de/doc/1520446/file.pdf.

Hoffmann, S., Irl, S.D.H., Beierkuhnlein, C. (2019): Predicted climate shifts within terrestrial protected areas worldwide. Nat Commun 10, 4787. URL: https://doi.org/10.1038/s41467-019-12603-w.

Knouft, J.H.; Ficklin, D.L. (2017): The Potential Impacts of Climate Change on Biodiversity in Flowing Freshwater Systems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 48(2017):111–133. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022803

Kreyling, J. et al. (2019): Winter warming is ecologically more relevant than summer warming in a cool-temperate grassland. Nature Scientific Reports, (2019) 9:14632 (https://doi.org/10.1038/s41598-019-51221-w).

Küffer, C. (2017): Ein neuer Naturschutz für das Anthropozän. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 168(1): 26–31.

Kuhn, K. (1990): Die Libellen im Raum Augsburg. (1988): 33–42. https://www.zobodat.at/pdf/Ber-Naturwiss-Ver-fuer-Schwaben_97_0033-0042.pdf. Zugriff: 22.11.2019.

Kuhn, K. (2011): Bemerkenswerte Heuschreckenarten im Raum Augsburg. Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schwaben115. Bd. 2011. S. 50-58.

Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V. (o. J.): Tafel_Firnhaberauheide.jpg (900×600). Internet: https://www.lpv-augsburg.de/files/Bilder/copy/Tafel_Firnhaberauheide.jpg (11.12.2019).

Lebensraum Lechtal (2019): Floren- und Biotopbrücke. Internet: https://www.lebensraumlechtal.de/lebensraum/floren__-und-biotopbrücke/. Zugriff: 24.11.2019.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2014): Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten in Bayern? Antworten der Phänologie. Augsburg: LfU. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000001?SID=1145013303&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_klima_00120%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27). Zugriff: 22.12.2019.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2019): Interview in: sz.de (2019): Klimawandel bedroht Frösche. Süddeutsche Zeitung 8.9.2019

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2020): NATURA 2000 Gebietsrecherche online. https://www.lfu.bayern.de/natur/natura2000/browse/info?id=7631-371. Zugriff: 22.12.2020.

lpv-augsburg.de (2020): Kiesbänke. Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V. Internet: https://lpv-augsburg.de/lebensräume/kiesbänke/. Zugriff: 12.12.2020.

Maxwell, S.L. et al. (2018): Conservation implications of ecological responses to extreme weather and climate events. Diversity and Distributions 25(2019): 613–625. DOI: 10.1111/ddi.12878

MPG (Max-Planck-Gesellschaft) (2019): Klimawandel bedroht genetische Vielfalt der europäischen Pflanzenwelt. Nur wenige Pflanzen sind für die zunehmende Trockenheit gerüstet. https://www.mpg.de/13844143/genetische-vielfalt-klimawandel. Zugriff: 12.3.2020.

Nieder, M.B. (2019): Der Erfolg des Volksbegehrens Artenvielfalt in Bayern – Eine Aggregatdatenanalyse. Bachelorarbeit an der Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München. https://e-pub.ub.uni-muenchen.de/69166/1/Band_Open%20Access_Maximilian%20Nieder.pdf. Zugriff: 14.12.2019.

Nila, U.S. et al. (2019): Predicting the effectiveness of protectedareas of Natura 2000 under climate change. Ecological Processes (2019) 8:13 https://doi.org/10.1186/s13717-019-0168-6

Reinartz, R. (2007): Auswirkungen der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns. Literaturstudie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt Referat 57 / Gewässerökologie.

Schliep, R. et al. (2017): Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt. BfN Skripten 470. https://d-nb.info/1139728814/34

Stadtplanungsamt Augsburg (2019): Stadtentwicklungskonzept Augsburg - Entwurf 23.07.2019.

StMUV (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie. München. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=1877662896&ACTIONxSESSx-SHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_009%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27) / Zugriff: 22.1.2020.

Streitberger, M. e t al. (2017): Eckpunkte eines Handlungskonzepts für den Artenschutz in Deutschland unter Klimawandel. Bonn: Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten 466. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript466.pdf. Zugriff: 22.1.2020.

Umweltbundesamt (2010): Eutrophierung Umweltbundesamt. Internet: https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/eutrophierung. Zugriff 6.1.2020.

Umweltbundesamt (2014): Biodiversität | Umweltbundesamt. Internet: https://www.umweltbundesamt.de/das-uba/was-wir-tun/forschen/umwelt-beobachten/biodiversitaet#textpart-1. Zugriff: 4.12.2019.

Umweltbundesamt (2015): Ambrosia. Wissenswertes & Hintergrundinfos. Ambrosia-Tag am 27. Juni 2015. Internet: http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ambrosia-wissenswertes-hintergrundinfos.

Umweltbundesamt (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau: UBA: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_ba.rrierefrei.pdf. Zugriff: 22.2.2020.

van Vliet, M.T.H. et al. (2011): Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. Water Resources Research, 47(2011): W02544, doi:10.1029/2010WR009198.

Vetter, V.M.S. et al. (2020): Invader presence disrupts the stabilizing effect of species richness in plant community recovery after drought. Global Change Biology, 26(6), 2020. https://doi.org/10.1111/gcb.15025.

Weis, W. (2004): Trockenjahre beeinflussen Sickerwasserchemie und Bodenversauerung. LWF aktuell 43/2004: 19 f. https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/a43_trockenjahre_beeinflussen_sickerwasserchemie_und_bodenversauerung.pdf. Zugriff: 23.9.2019.

Wellstein, C. (2013): Strategien zur Anpassung an den Klimawandel. In: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit: Klimaforschung in Bayern. Ergebnisse des Forschungsverbundes FORKAST, 66-68.

Werner, P. et al. (2020): Schutz und Weiterentwicklung der biologischen Vielfalt im Rahmen der integrierten Stadtentwicklung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der deutschen Städtebauförderung. Bonn: BfN-Skripten 563. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript563.pdf. Zugriff: 3.12.2020.

Werner, P: Zahner, R. (2009): Biologische Vielfalt und Städte. Eine Übersicht und Bibliographie. Bonn: BfN-Skripten 245. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript245.pdf. Zugriff: 3.12.2020.

Wessely, J. et al. (2017): Habitat-based conservation strategies cannot compensate for climate-change-induced range loss. Nature Climate Change, 7, 823–827. https://doi.org/10.1038/nclimate3414

WWA (Wasserwirtschaftsamt Donauwörth) (2016): Umsetzungskonzept Licca liber. Entwurf vom 16.03.2016. https://www.wwa-don.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/liccaliber/massnahmen/doc/plaene_umsetzungskonzept_licca_liber.pdf.

WWA (Wasserwirtschaftsamt) Donauwörth (2016): Wertach vital ... natürlich für Augsburg. Internet: https://www.wwa-don.bayern.de/doc/publikationen/wertachvital_natuerlichfueraugsburg.pdf (28.01.2020).

WWF (2014): Bedeutung des Klimawandels für Fauna und Flora in Deutschland und Nordeuropa. https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Klimawandel_Artenschutz_Deutschland.pdf. Zugriff: 3.2.2020.

5.11. Wald und Forstwirtschaft

AELF (2019a): Der Wald im Landkreis Augsburg und in der Stadt Augsburg. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Internet: http://www.aelf-nd.bayern.de/cms10/aelf-au/forstwirtschaft/075130/index.php. Zugriff: 22.3.2020.

AELF (2019b): Borkenkäfer 2019 - Käferholz weiterhin konsequent aufarbeiten! Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Augsburg. Internet: http://www.aelf-au.bayern.de/forstwirtschaft/waldbesitzer/222566/index.php. Zugriff: 22.2.2020.

Augsburger Allgemeine, A. (2018): Am Gögginger Wäldchen fallen Bäume. (2018): 29.11.2018. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Am-Goegginger-Waeldchen-fallen-Baeume-id52814511.html.

Augsburger Allgemeine (2019): Augsburger Forst-Experte befürchtet: Zahl der Borkenkäfer wird explodieren. Stephanie Sartor (2019): 21.6.19, Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Augsburger-Forst-Experte-befuerchtet-Zahl-der-Borkenkaefer-wird-explodieren-id54636806.html.

Augsburger Allgemeine (2019): Kiefern und Fichten sterben: Der Klimawandel bedroht Bayerns Wälder. Jonas Voss (2019): 12.07.2019. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Kiefern-und-Fichten-sterben-Der-Klimawandel-bedroht-Bayerns-Waelder-id54858871.html.

Bayerische Staatsforsten (2006): Zukunftswald. Internet: https://www.baysf.de/fileadmin/user_upload/04-wald_verstehen/Publikationen/Magazin_1_Zukunftswald.pdf

Bernhofer, C., Goldberg, V.; Pluntke, T. (2019): Pro-jekt Trockenheit in Sachsen. TU Dresden, LFULG (F&E Vorhaben). Internet: https://tu-dres-den.de/bu/umwelt/hydro/ihm/meteorologie/forschung/forschungsprojekte/projekt-trockenheit-in-sachsen

Bolte, A. et al. (2008): Anpassung der Wälder an den Klimawandel: Was Klimahüllen uns verschweigen. AFZ-Der Wald 15(2008): 800-803.

Deutscher Bundestag (2020): Deutscher Bundestag Antwort - Entwicklung der Bodenfeuchtigkeit in Deutschland. In: Drucksache 19/19265 (19/19265): 1–4. Internet: https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/170/1917024.pdf.

Dietrich, H.-P., Zimmermann L. und Raspe S. (2020): Wasserversorgung in Bayerns Wäldern zu Beginn der Vegetationsperiode 2020. LFW Bayern. Internet: https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/wasserhaushalt/247986/index.php

Dolos, K.; Reineking, B. (2011): Walddynamik im Klimawandel. Modellstudie zeigt: innerartliche Variabi-lität und Störungsinteraktionen haben bedeutenden Einfluss auf die künftige Waldentwicklung. In: LWF aktuell 85(2011): 22-24.

Faccoli, M. (2002): Winter mortality in sub-corticolous populations of Ips typographus (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the south-eastern Alps. Anzeiger für Schädlingskunde 75(3): 62-68.

Falk, W. et al. (2013): Bäume für die Zukunft: Baumartenwahl auf wissenschaftlicher Grundlage. Anbaurisikokarten jetzt um Boden- und Reliefparameter ergänzt. LWF aktuell 94 (2013): 8-11.

Forstverwaltung Augsburg (2019): Baumartenzusammensetzung Augsburger Stadtwald.

Gang, B. et al. (2017): Holznutzung und C-Bindung beim Kommunalwald Augsburg. AFZ-Der Wald 19/2017: 15-18.

Gulder, H.-J. (2020): Das Wurzelwerk der Fichte – LWF Wissen 80. LWF Wissen 80. Internet: https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/172816/index.php.

Hinze, J.; John, R. (2019): Effects of heat on the dispersal performance of Ips typographus. Journal of Applied Entomology144: 144–151. https://doi.org/10.1111/jen.12718.

Infrastuktur & Umwelt (2018): Vorbereitende Studie zur Entwicklung einer Klimawandel- Anpassungsstrategie. In: Infrastruktur & Umwelt Professor Böhm und Partner, Stadt Augsburg.

Jakoby, O. et al. (2015): Borkenkäfer im Klimawandel – Modellierung des künftigen Befallsrisikos durch den Buchdrucker (Ips typographus). Birmensdorf: Eidge-nössische Forschungsanstalt (WSL). Internet: https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/insek-ten/wsl_buchdrucker_klimawandel/wsl_buchdrucker_klimawandel_originalbericht.pdf.

Kircher, J. (2017): Die Fichte im Wald der Stadt Augsburg – LWF Wissen 80. LWF - Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Internet:

https://www.lwf.bayern.de/waldbau-bergwald/waldbau/172233/index.php. Zugriff: 2.3.2020.

Kölling, C. (2007): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. AFZ-Der Wald 23(2007): 1242-1245.

Kölling, T. M. C. (2020): Die Zukunft der Kiefer. In: LWF aktuell 2/2020 - Der Wald unter Druck 2: 14–17.

Kölling, C.; Falk, W. (2010): Heute reichlich, morgen knapp: Wasser im Wald. Wasser ist der wichtigste Standortsfaktor für das Gedeihen des Waldes. LWF aktuell 78: 15-17.

Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg (2012): Unsere Kiefernwälder im Stadtwald Augsburg. In: Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V., Forstverwaltung Stadt Augsburg.

Lang, F. (2019): Große Sorgen um erneute Trockenheit. forstpraxis.de. Internet: https://www.forstpraxis.de/gestresste-baeume-sind-anfaelliger/.

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2015): Kulturlandschaftliche Empfehlungen für Bayern. 45 Augsburg und Unteres Lechtal. Internet: https://www.lfu.bayern.de/natur/kulturlandschaft/empfehlungen/doc/45.pdf

Lobinger, G. (2019): Faltblatt: Buchdrucker und Kupferstecher - Borkenkäfer an Fichte. LFW Bayern. Internet: https://www.lwf.bayern.de/waldschutz/monitoring/069249/index.php.

LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forst-wirtschaft) (2009): Fichtenwälder im Klimawandel. Freising: LWF.

LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forst-wirtschaft) (2014): Das forstliche Versuchswesen in Bayern. LWF Wissen 76. Freising: LWF. Internet: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w76_forstliches__versuchswesen_bayern_bf.pdf

LWF (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forst-wirtschaft) (2019): Praxishilfe Klima – Boden – Baumartenwahl. Freising. Internet: http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/praxishilfe_baumarten_bf.pdf

Macher, C. (2008): Wenn Bäumen das Wasser bis zum Hals steht. Eine bayernweite Umfrage zur Hochwassertoleranz von Waldbäumen. In: LWF aktuell 66: 26–29.

Meinardus, C; Bräuning, A. (2011): Zur Trockenstresstoleranz von Eichen und Buchen. Erholungsreaktionen der Rotbuche und der Traubeneiche nach Dürrejahren. In: LWF aktuell, 18(6): 9-11.

Meyer, M.A.; Schulz, C. (2017): Do ecosystem services provide an added value compared to existing forest planning approaches in Central Europe? Ecology and Society 22(3):6. https://doi.org/10.5751/ES-09372-220306.

MKULNV NRW (2011): Klimawandel und Boden - Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Bo-den als Pflanzenstandort. In: Klimawandel in Nordrhein-Westfalen 2. Auflage (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen). Internet: https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/broschuere_klimawandel_boden.pdf

MKULNV-NRW (2014): Klimawandel im Wald. Konzept für eine Anpassungsstrategie für Nordrhein-Westfalen. In: UNIQUE forestry and landuse. Internet: https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Klimawandel/Dokumente/Fachkonzept_Klimaanpassungsstrategie_Wald_NRW.pdf

Netzwerk Holzbau (2019): Netzwerk Holzbau – Holzkompetenz vom Baum zum Bau. In: A3-Wirtschaftsraum Augsburg. Internet: https://www.netzwerkholzbau.de/

Reyer, C. et al. (2017): Are forest disturbances amplifying or canceling out climate change-induced productivity changes in European forests? Environmental Research Letters .12 034027. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa5ef1/pdf

Sailer, W. (2019): Augsburger Forst-Experte befürchtet: Zahl der Borkenkäfer wird explodieren. Augsburger Allgemeine (2019): 21.06.2019. Internet: https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Augsburger-Forst-Experte-befuerchtet-Zahl-der-Borkenkaefer-wird-explodieren-id54636806.html.

Schönefeld, P. (2019): „Klimabäume“ - welche Arten können in Zukunft gepflanzt werden? In: LWG aktuell. Internet: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflege/dateien/zukunft_klimabaeume.pdf.

Seidl, R. (2017): Forest disturbances under climate change. Nature Climate Change 7 (June 2017): 395-402. DOI: 10.1038/NCLIMATE3303.

Stadt Augsburg (2019a): Licca liber - der freie Lech. Internet: https://www.augsburg.de/umwelt-soziales/umwelt/wasser/licca-liber.

Stadt Augsburg (2019b): Forst der Stadt Augsburg - naturnahe und nachhaltige Holzproduktion. Internet: https://www.augsburg.de/umwelt-soziales/umwelt/forst.

Steinacker, C. et al. (2019): Assessing the exposure of forest habitat types to projected climate change—Implications for Bavarian protected areas. Ecology and Evolution (9)2019: 14417–14429. DOI: 10.1002/ece3.5877.

StMELF (2013): Waldfunktionsplan für die Region Augsburg. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Internet: https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/wald/waldfunktionen/dateien/waldfunktionsplan-augsburg_textteil_stand-11-2013.pdf. Zugriff: 22.9.2019.

Temperli, C. et al. (2013): Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach. Ecologi-cal Monographs 83(3): 86-101.

Thierfelder, S. (2020): Extremjahre im Laubwald. In: LWF - Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (125): 10–13.

UBA (Umweltbundesamt) (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Dessau/Roßlau: Umweltbundesamt. Internet: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf

Von Redwitz, Eugen Freiherr (2014): Waldumbau aus Sicht des Privatwaldes. LWF aktuell 102(2014): 6-8. Internet: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbesitz_forstpoli-tik/dateien/a102_waldumbau_aus_sicht_des_privatwaldes_bf_geschuetzt.pdf

Waldwissen.net (2016): Merkblatt Eschentriebsterben. Daniel Riegling et al. Internet: http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/pflanzenschutz/fva_bacillus_thuringiensis/index_DE.

Waldgenetik, Amt für (2020): Hybridpappeln: Mehr als nur KUP und Vorwald. In: LWF - Bayerische Landes-anstalt für Wald und Forstwirtschaft 2: 37–40. Inter-net: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/a125_awg_hybridpappeln.pdf

Wauer, A.; Klemmt, H.-J. (2020): Klimawandel aus Nord(west)en! Ergebnisse der WZE 2019 in Bayern zeigen Nord-Süd-Gefälle der Schäden. LWF aktuell 2/2020. Internet: http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a125_klimawandel_nordwesten.pdf. Zugriff: 23.12.2020.

Weihs, U. (2014): Problem Grünastbrüche. Internet: In: AFZ-Der Wald, 16(2014). Internet: https://www.baumgutachten-verkehrssicherheit.de/Artikel/Gruenastbruch1.pdf.

Wermelinger, B.; Seifert, M. (2008): Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle Ips typographus, and analysis of the potential population growth. Ecological Entemology 24(1): 103-110.

Zimmermann, L. et al. (2020): Dürreperioden und ihre Wirkung auf Wälder Regelmäßige Erhebungen an den Standorten des forstlichen Umweltmonitorings dokumentieren trockenheitsbedingte Veränderungen. LWF aktuell 2(2020): 18-23.

5.12. Landwirtschaft

Bayerisches Landesamt für Statistik (2019): Statistik kommunal 2018. Kreisfreie Stadt Augsburg. 09 761. Eine Auswahl wichtiger statistischer Daten. München: Bayerisches Landesamt für Sta-tistik.

BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)) (Hrsg.) (2019): Kleingärten im Wandel. Innovationen für verdichtete Räume. Bonn: BBSR. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2019/kleingaerten-im-wandel-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1

BGL (Bayerisches Geologisches Landesamt)/LfU (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz) (2003): Das Schutzgut Boden in der Planung. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungs-verfahren. München/Augsburg. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000000?SID=913619719&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%2793018%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27). Zugriff: 21.3.2020.

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2020): Erntebericht 2018. https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ernte2018.html

Bren d'Amour, C., Reitsma, F., Baiocchi, G. et al. (2017): Future urban land expansion and implications for global croplands. PNAS 114(34): 8939-8944.

DMK (Deutsches Maiskomitee e.V.) (2020): Körnermaisernten (inkl. CCM) Deutschland in t, 2015-2019, nach Bundesländern. https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Erntemengen

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2019): Jahrbuch 2018 des Deutschen Wetterdienstes. https://www.dwd.de/DE/leistungen/jahresberichte_dwd/jahresberichte_pdf/jahresbericht_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Friedrich, K., Kaspar, F. (2019): Rückblick auf das Jahr 2018 –das bisher wärmste Jahr in Deutschland. Deutscher Wetterdienst. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20190102_waermstes_jahr_in_deutschland_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Gömann, H., Bender, A., Bolte, A. et al. (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Thünen-Report Nr. 30, Braunschweig. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn055248.pdf

Gömann, H., Frühauf, C., Lüttger, A., Weigel, H.-J. (2017): Landwirtschaft. In: Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Heidelberg: Springer Spektrum, 183-192.

Gornott, C., Wechsung, F. (2016): Statistical regression models for assessing climate impacts on crop yields: A validation study for winter wheat and silage maize in Germany. Agricultural and Forest Meteorology, 217 (2016): 89–100.

Grillakis, M. (2019): Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. Sicne of the Total Environment, 660 (2019: 1245-1255.

Haunberger. T. (2018): Urban Gardening – 7 Gärten in Augsburg, an denen Du selbst anpflanzen und ernten kannst. https://www.hallo-augsburg.de/urban-gardening-in-augsburg-urban-gardening-7-gaerten-in-augsburg-an-denen-du-selbst-anpflanzen-und-ernten-kannst_IHI. Zugriff: 12.11.2019.

Huang, K., Li, X., Liu, X., Seto, K.C. (2019): Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. Environ. Res. Lett. 14 114037.

ISME (Institut Stadt Mobilität Energie) (2018): Studie Ökologische Siedlungsentwicklung im Großraum Augsburg. Abschlussbericht. Stuttgart: ISME. https://www.bund-naturschutz.de/fileadmin/Bilder_und_Dokumente/Themen/Flaechenschutz/2018-06-04_ISME_Siedlungsentwicklung.pdf. Zugriff: 22.6.2019.

Kornhuber, K., Coumou, D., Vogel, E. et al. (2019): Amplified Rossby waves enhance risk of concurrent heatwaves in major breadbasket regions. Nature Climate Change. DOI 10.1038/s41558-019-0637-z.

Kornhuber, K., Coumou, D., Vogel, E. et al. (2020): Amplified Rossby waves enhance risk of concurrent heatwaves in major breadbasket regions. Nat. Clim. Chang. 10, 48–53 (2020). https://doi.org/10.1038/s41558-019-0637-z

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2019): Pilotstudie „Klimawirkungskarten Bayern“. Augsburg: LfU. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000000?SID=388263071&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_klima_00168%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)

Lobinger. G. (2019): Dynamik von Borkenkäferpopulationen. Monitoring und Wissenstransfer in Bayern. Tagungsbeitrag. https://www.sbs.sachsen.de/download/Tag_SBS_2019_Lobinger_Dynamik_von_Borkenkaeferpopulationen.pdf. Zugriff: 22.3.2020.

Maixner, M., Hommes, M., Zwerger, P. (2017): Klimawandel – Auswirkungen auf den Pflanzenschutz. Journal für Kulturpflanzen, 69(2): 53-55.

Porter, J.A., Semonov, M.A. (1999): Climate variability and crop yields in Europe. Nature, 400: 724.

Samaniego, L., Thober, S., Kumar, R. et al. (2018): Anthropogenic warming exacerbates Euro-pean soil moisture droughts. Nature Climate Change 8, 421–426.

Stadt Augsburg. Amt für Stadtentwicklung und Statistik (2006): Kleingartenentwicklungsplan 2005-2020. Stadtentwicklungsprogramm Augsburg, Heft 32.

Stadt Augsburg, Amt für Statistik und Stadtforschung (2019): Statistisches Jahrbuch 2018. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/jahrbuch/2018Jahrbuch_Internet.pdf

Stadt Augsburg, Amt für Statistik und Stadtforschung (2020): Strukturatlas Augsburg. https://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/buergerservice_rathaus/rathaus/statisiken_und_geodaten/statistiken/strukturatlas/Strukturatlas_der_Stadt_Augsburg_2019.pdf

STEK (2020): Stadtentwicklungskonzept Augsburg. Broschüre. Hrsg.: Stadt Augsburg, Stadtplanungsamt. https://www.augsburg.de/fileadmin/portale/stadtplanung/Stadtentwicklung/Stadtentwicklungskonzept/pdf/2020-02-01_STEK_Endfassung_Broschuere.pdf / Zugriff: 11.3.2020.

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2014): Vollzugshin-weise zur Anwendung der Acker- und Grünlandzahlen gemäß § 9 Abs. 2 BayKompV, Stand 16.10.2014. https://www.gesetze-bayern.de/Content/Resource?path=resources%2fBayVwV319722_BayVV7912-0-U-545-A004.PDF

StMUV (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz) (2015): Klima-Report Bayern 2015. Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und For-

schungsaktivitäten. München: StMUV. https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=142607607&ACTIONxSESSx-SHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuv_klima_008%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27).

Songhan Wang et al. (2021): Recent global decline of CO_2 fertilization effects on vegetation photosynthesis. In: Science; 11 Dec 2020, Vol 370, Heft 6522, S.: 1295-1300, DOI: 10.1126/science.abb7772.

Thober, S., Marx, A., Boeing, F. (2018): Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland. Ergebnisse aus dem Projekt HOKLIM: Hochaufgelöste Klimaindikatoren bei einer Erderwärmung von 1.5 Grad. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ. https://www.ufz.de/export/data/2/207531_HOKLIM_Brosch%C3%BCre_final.pdf

Wiesmeier, M., Hübner, R., Kögel-Knabner, I. (2015) Stagnating crop yields: An overlooked risk for the carbon balance of agricultural soils? Science of the Total Environment, 536: 1045-1051.

Wiesmeier, M. (2019): Standorttypische Humusgehalte und Humusveränderungen in Ackerböden Bayerns. Fachvortrag bei der Naturland Ackerbautagung. https://www.naturland.de/images/Erzeuger/Fachthemen/Fachveranstaltungen/2019_Ackerbautagung_Erdweg/Wiesmeier_Humusgehalte.pdf. Zugriff: 2.2.2020.

A.2. Glossar

Anpassungskapazität – (engl. *adaptive capacity*) bezeichnet das Vermögen oder die Fähigkeit eines Systems (oder auch von Menschen), sich gegen negative Folgen zu schützen (z. B. Kühlung im Falle von Hitzeereignissen) und dadurch den Schaden zu minimieren. Zusammen mit der ➤ *Exposition* und der ➤ *Sensitivität* bestimmt die Anpassungsfähigkeit die Verwundbarkeit (➤ *Vulnerabilität*) eines Systems gegenüber bestimmten Folgen des Klimawandels (➤ *Klimaanpassung*).

Anthropozän – Von dem Nobelpreisträger für Chemie Paul Crutzen (2002) vorgeschlagene Bezeichnung für die aktuelle Epoche der Erdgeschichte, in der der Mensch wichtige Prozesse im Erdsystem beeinflusst. Musterbeispiel dafür ist die Erhöhung der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen und der dadurch induzierte Klimawandel.

Citizen Science (engl.) – deutsch: Bürgerwissenschaft. Form der Wissenschaft, bei der Laien an der Durchführung wissenschaftlicher Projekte beteiligt sind bzw. sie allein durchführen. Mit der Digitalisierung sind einfach nutzbare Möglichkeiten entstanden, z. B. erhobene Daten oder Messergebnisse über Smartphone-Apps oder Webseiten zu kommunizieren.

Doppelte Innenentwicklung – ‚Doppelte Innenentwicklung' heißt, die Entwicklung einer Stadt in ihrem Bestand nicht nur im Sinne einer baulichen Verdichtung zu betreiben, sondern den Blick zugleich auch auf die Erhaltung, Weiterentwicklung und Qualifizierung des urbanen Grüns zu richten. So können der offene Landschaftsraum vor weiterer Flächeninanspruchnahme und zusätzlichen baulichen Eingriffen geschützt und gleichzeitig städtische Lebensräume mit hoher Wohn- und Lebensqualität geschaffen und erhalten werden (Böhm et al. 2016, Kühnau et al. o.J.).

Düseneffekt - Zunahme der Windgeschwindigkeit infolge Kanalisierung der Strömung bzw. Einengung des Strömungsquerschnittes.

Earth-Overshoot-Day (engl.) – deutsch: „Erdüberlastungstag"; wird errechnet, indem die weltweiten CO_2-Emissionen und andere Umweltbeanspruchungen durch den Menschen mit der Fähigkeit der Erde zur Bereitstellung von kompensierenden Ökosystemdienstleistungen (z. B. CO_2-Bindung) verglichen und auf den Jahresgang abgebildet werden. Seit Anfang der 1970er Jahre hat sich dieses jährliche Datum immer weiter nach vorne im Jahr verlegt (von Anfang Dezember auf Anfang August), was auf eine immer umweltintensivere Lebensweise hindeutet.

Evapotranspiration – Bezeichnet die Gesamtverdunstung in einem Gebiet. Setzt sich zusammen aus der Verdunstung von Boden- und Wasserflächen (Evaporation) und der Verdunstung aus dem Pflanzen- und Tierreich (Transpiration). Die sehr komplexe Größe wird von etlichen Faktoren (Vegetation, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, etc.) beeinflusst und stellt eine wichtige Kennziffer zur Charakterisierung eines Wasserhaushalts dar. So gewann sie in den letzten Jahren für Hydrologie, Klimatologie sowie Landwirtschaft und Gartenbau stetig an Bedeutung.

Exposition – Fachbegriff im Rahmen der Verwundbarkeits- oder Vulnerabilitätsanalyse, der den Grad des „Ausgesetztseins" eines Systems, einer Region oder eines Akteurs gegenüber einer bestimmten Facette des Klimawandels (Klimasignal) bezeichnet. Zum Beispiel stellt der weltweite Meeresspiegelanstieg eine Bedrohung für viele Regionen der Welt dar, aber Augsburg ist hier nicht „exponiert".

Ferne Zukunft – Zeitraum der Szenarienbildung von Klimamodellen, der von heute aus gesehen eine sehr langfristige zeitliche Perspektive wählt. In der Regel betrachtet die ferne Zukunft den Zeitabschnitt 2071 bis 2100. Aus zwei Gründen ist es wichtig, so weit voraus in die Zukunft zu schauen: (1) Der Klimawandel entfaltet einige seiner Wirkungen in Zeitspannen, die uns sehr lang erscheinen; (2) Aber auch einige gesellschaftliche Aktivitäten umfassen einen derart langen Planungs- und Nutzungshorizont: z. B. Stadtplanung, Infrastrukturprojekte. Siehe auch ➤ *Nahe Zukunft*.

Gewässerstruktur – morphologische (d. h. Gestalt-) Eigenschaften eines Fließ- oder Stillgewässers, die die Lebensbedingungen von Pflanzen und Tieren im und am Gewässer entscheidend bestimmen.

Globale Mitteltemperatur – engl.: *Global Mean Temperatur* (GMT); bezeichnet die über die ge-

samte Erdoberfläche (Land und Wasser) gemittelte Temperatur. Da die GMT nicht direkt messbar ist, muss sie auf Basis von an verschiedenen Orten der Welt gemessenen Daten berechnet werden. Nach den Ergebnissen etwa der NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*; im Hadley Centre des UK MetOffice) beträgt die mittlere globale Durchschnittstemperatur im Referenzzeitraum (1951- 1980) 14 °C. Die entsprechenden Zeitreihen sind die Grundlage für die Ermittlung der Abweichung vom Durchschnitt („Temperaturanomalie“) als eine wesentliche Folge des Klimawandels.

Handlungsfeld (HF) – Thematische Abgrenzung von Themengebieten, in denen es zu Klimafolgen kommt und für die Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden. Synonym zu Sektoren zu gebrauchen. Übliches Gliederungsschema in Klimaanpassungsstrategien, auch auf Bundes- und Landesebene (siehe z.B. die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS 2008)). Die insbesondere in der Verwundbarkeitsanalyse (Kap. 5) im Text verwendeten Pfeile (→) zeigen Verknüpfungen, Wechselwirkungen und Folge-Folgen mit anderen Handlungsfeldern an.

IPCC – Abkürzung für *Intergovernmental Panel on Climate Change* (deutsch: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen), auch: Weltklimarat. Der IPCC ist (IPCC) wurde gemeinsam im Jahr 1988 vom *Umweltprogramm der Vereinten Nationen* (UNEP) und der *Weltorganisation für Meteorologie* (WMO) gegründet. Seine Aufgabe ist es, die weltweit entstehenden Forschungsergebnisse zum Klimawandel, zu den Folgen sowie zu klimapolitischen Maßnahmen zu bündeln. Dazu veröffentlicht der IPCC alle sechs bis sieben Jahre sogen. Sachstandsberichte (engl.: IPCC Assessment Reports). Der zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses aktuelle IPCC-Bericht stammt von 2015; der nächste, sechste IPCC-Sachstandsbericht erscheint planmäßig in den Jahren 2021/ 2022. Weiterhin veröffentlicht der IPCC fallweise Sonderberichte zu speziellen Themen.

Jetstream - Ein Jetstream (oder Strahlstrom) ist ein schmales, bandartiges Starkwindfeld in der Troposphäre oder Stratosphäre, das für den „Transport“ von Wetterlagen verantwortlich zeichnet. Es gibt Anzeichen dafür, dass der für Deutschland relevante polare Jetstream sich durch Klimawandel abschwächt, was zu persistenteren kritischen Wetterlagen (hitze- wie kältedominiert) führt.

Kenntag, klimatologischer – lt. DWD ein Tag, an welchem ein definierter Schwellwert eines Klimaparameters erreicht, bzw. über- oder unterschritten wird. Z.B Heißer Tag, als Tag mit einem Temperaturmaximum von größer gleich 30° C.

Kipppunkte im Erdsystem (engl.: *Tipping points*) – Ein von H.-J. Schellnhuber in die Klimaforschung eingeführtes Konzept, nach dem an bestimmten Punkten eine vorher geradlinige und eindeutige Entwicklung durch bestimmte Rückkopplungen abrupt abbricht und eine plötzliche, starke Reaktion des Klimasystems eintritt, die oft unumkehrbar ist und zu großen Folgeeffekten in anderen Subsystemen führen kann. Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) geht von 16 Kipppunkten im Erdsystem aus; Beispiele sind die Änderung des Strömungsphänomens El Niño im Pazifik, die Umkehr des Golfstroms oder das Auftauen der ➤ *Permafrostböden*.

Klima – der mittlere Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort über einen längeren Zeitraum (mind. 30 Jahre, aber auch Zeiträume wie Jahrhunderte oder Jahrtausende). Das Klima wird durch statistische Eigenschaften der Atmosphäre wie Mittelwerte, Häufigkeiten oder Extremwerte charakterisiert. Im Unterschied zu ➤ *Wetter.*

Klimaanalogon – Für das projizierte zukünftige Klima im Jahre x an einem bestimmten Ort wird ein Ort B ermittelt, der bereits heute klimatische Bedingungen aufweist, die für Ort A für die Zukunft projiziert werden. Als Vergleichskriterien dienen etwa monatliche Temperatur- und Niederschlagswerte auf Basis eines breitgefächerten Modellensembles zukünftiger klimatischer Verhältnisse.

Klimaanpassung (auch Klimawandelanpassung oder Klimafolgenanpassung, engl.: *adaptation*) – bezeichnet Handlungen und Maßnahmen, die die Verwundbarkeit (auch: ➤ Vulnerabilität) natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber den tatsächlichen und den zu erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung verringern; siehe ausführliche Herleitung in Kapitel 5.

Klimaflüchtlinge – Der Klimawandel kann die Lebensgrundlage von Menschen z. B. durch häufig

wiederkehrende Extremereignisse so stark untergraben, dass sie ihre Heimat verlassen müssen. Bereits heute ist dies in vielen Ländern in Südasien, Subsahara-Afrika und Lateinamerika der Fall. Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) rechnet allein in Afrika mit bis zu 85 Mio. Klimaflüchtlingen bis zum Jahr 2050, IPCC (2020) weltweit mit etwa 240 Mio. bis 2100.

Klimasignal – ein im Allgemeinen aufgrund von Klimamodell-Berechnungen abgeschätzter Anteil einer Klimaänderung, der sich einer bestimmten Ursache zuordnen lässt. Klimasignale sind die Voraussetzung für den Nachweis des langfristigen Trends zur Erderwärmung. Bestimmte Trends, wie bspw. der steigende Meeresspiegel lassen sich auf diese Weise den ansteigenden Treibhausgasemissionen zuordnen.

Nahe Zukunft: Zeitraum der Szenarienbildung von Klimamodellen, der in der Regel die Zeitspanne 2031-2060 beschreibt. Siehe auch ➤ *Ferne Zukunft*.

Naturkapital - Der Begriff des Naturkapitals hat in diesem Kontext zwei Facetten: Natürliche Strukturen und Prozesse nützen der Bevölkerung, indem sie eine essenzielle Lebensgrundlage bilden, Input liefern für die gesunde und die produktive Stadt (➤ *Ökosystem-Dienstleistungen*), also in gewisser Weise auch ökonomisch produktiv sind. Zum anderen die Facette, dass Natur auch unabhängig von ihrer Dienstbarkeit für den Menschen als Wert an sich geschätzt wird, im Bestand also schützenswert ist.

Ökosystem-Dienstleistungen (auch Ökosystemleistung, engl.: *Ecosystem Services*, abgekürzt ESS) – ein seit rd. 20 Jahren verbreiteter Schlüsselbegriff der Mensch-Umwelt-Forschung, der die teils überlebensnotwendigen „Nutzenstiftungen", die Menschen von Ökosystemen oder ihren Teilelementen beziehen, bezeichnet. Beispiele sind das Bestäuben von Obstblüten durch die Bienen, die Bereitstellung von Trinkwasser oder von frischer Luft (Millennium Ecosystem Assessment 2005; TEEB 2010).

Pariser Klimaschutzabkommen – Völkerrechtlich verbindliches Abkommen aus dem Jahr 2015 im Rahmen der Vereinten Nationen, in dem sich die Unterzeichnerstaaten (darunter auch Deutschland) dazu verpflichtet haben, ihre Emissionen so weit zu senken, dass die globale Erwärmung auf 1,5-2 °C gegenüber der vorindustriellen Periode begrenzt wird.

Permafrostboden – Böden, deren Temperatur mindestens zwei aufeinanderfolgende Jahre unter null Grad liegt. Sie werden auch als Dauerfrostböden bezeichnet und finden sich z. B. auf der Zugspitze und in Spitzbergen. Im hohen Norden (Sibirien) umfasst der Permafrostboden eine Fläche von 10 Mio. km2 (etwa 30-mal so groß wie Deutschland). Seit der letzten Eiszeit sind hier mehrere Mrd. t Kohlenstoff eingelagert. Wird es nun mit dem Klimawandel immer wärmer, werden große Mengen an Treibhausgasen freigesetzt.

Die Schnelligkeit des Auftauprozesses wurde von der Wissenschaft unterschätzt: Bereits gegenwärtig ist das Auftauen so weit vorangeschritten, wie es die Szenarien des IPCC erst für das Jahr 2090 prognostizieren. – Das Auftauen der Permafrostböden gilt als ein ➤ *Kipppunkt im Erdsystem*.

Perzentil – statistisches Maß; die Angabe des Perzentils (auch: Prozentrang) gibt Auskunft darüber, welcher Anteil der Verteilung über oder unter diesem Messwert liegt, d. h. wie hoch oder niedrig ein Messwert im Vergleich zu den restlichen Werten der Verteilung ist.

Popcorn-Zellen - konvektive, kleinräumige Starkregenereignisse, die ähnlich Popcorn in Topf oder Pfanne plötzlich „hochpoppen" und schwere Unwetter nach sich ziehen können. Solche Zellen können relativ plötzlich entstehen und von hohen Niederschlagsmengen (Regen, Hagel) begleitet sein.

Resilienz (von lat. *resilire*: abprallen, zurückspringen) – Fasst man den Begriff in der erforderlichen Weite, dann liegt die Klimaresilienz einer Stadt in den Fähigkeiten ihrer Sub-Systeme, Folgen von Klimaveränderungen zu antizipieren, negativen Konsequenzen für ihre Schutzgüter zu widerstehen, nach Beeinträchtigungen zentrale Funktionen schnell wiederherzustellen, aus den Ereignissen und Beeinträchtigungen zu lernen, sich an Klimafolgen und veränderte Klimarahmenbedingungen kurz- und mittelfristig anzupassen und sich langfristig so zu transformieren, dass strukturelle Anfälligkeiten systematisch vermieden oder gemindert werden.

Schwammstadt – ist ein Konzept der Stadtplanung, anfallendes Regenwasser in Städten lokal aufzunehmen und zu speichern, anstatt es lediglich zu kanalisieren und abzuleiten. Dadurch sollen Überflutungen bei Starkregenereignissen vermieden, das Stadtklima verbessert und die Gesundheit von Stadtbäumen gefördert werden.

Sensitivität – Im Rahmen der Bestimmung der Verwundbarkeit eines Systems (auch von Menschen) für die Folgen des Klimawandels bezeichnet „Sensitivität" die Empfindlichkeit oder Empfänglichkeit für negative Folgen von ➤ *Klimasignalen*. Sie wird durch die Systemeigenschaften geprägt. So ist z.B. die Sensitivität von älteren Menschen gegenüber extremer Hitze höher als die von anderen Erwachsenen, da sich der ältere Körper weniger gut an extreme Hitze anpassen kann.

Stakeholder - eine Person oder eine Gruppe, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder am Ergebnis eines Projekts bzw. eines Prozesses hat (auch: Interessierte, Betroffene). Bei weitreichenden kommunalpolitischen Prozessen gilt eine Beteiligung der Stakeholder an den Planungs- und Entscheidungsprozessen als sinnvoll. Dafür sind demokratische, legitimatorische Aspekte sowie das Potenzial zur Effektivitätssteigerung ausschlaggebend.

Strahlungsantrieb (auch: Klimaantrieb) - Für den 2013/14 veröffentlichten 5. Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC sind neue Klimaszenarien entwickelt worden („Repräsentative Konzentrationspfade", engl. *Representative Concentration Pathways* - RCPs). Die zuvor verwendete Größe der bodennahen Lufttemperatur wird im 5. IPCC-Bericht durch den Strahlungsantrieb als konstitutiven Faktor der Klimaszenarien ersetzt (engl. *Stratospheric adjusted Radiative Forcing*, RF). Es handelt sich dabei um die Netto-Strahlungsflussdichte an der Tropopause, die insbes. auch durch die veränderte Konzentration von Treibhausgasen zustande kommt.

Treibhauseffekt – Die Erdatmosphäre enthält Gase, die kurzwellige Sonnenstrahlung zum großen Teil passieren lassen, (langwellige) Wärmestrahlung jedoch absorbieren und damit das System erwärmen. In Analogie zu einem Treibhaus – das Sonnenstrahlung durchlässt und Wärmestrahlung „festhält" – werden diese Gase (vor allem Wasserdampf und Kohlendioxid) auch als Treibhausgase bezeichnet. Dieser *natürliche* Treibhauseffekt bewirkt, dass das globale Mittel der bodennahen Lufttemperatur 15°C beträgt. Ohne Treibhausgase in der Atmosphäre läge die Mitteltemperatur bei -18°C und die Erde wäre vereist. Seit der Industrialisierung verursachen wir Menschen durch die Verbrennung fossiler Energieträger sowie Landnutzungsänderungen eine ständige Zunahme der atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen. Durch diesen *anthropogenen* (durch den Menschen verursachten) Treibhauseffekt verringert sich die in den Weltraum abgegebene Wärmestrahlung und das System Erdoberfläche / Atmosphäre erwärmt sich.

Verwundbarkeit ➤ *Vulnerabilität*.

Vulnerabilität (auch: Verwundbarkeit) – Fachbegriff des Weltklimarats (IPCC) für die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel. Vulnerabilität bezeichnet das Ausmaß, wie stark eine Person, eine Region oder ein System durch Veränderungen des Klimas beeinflusst wird und in welchem Maße sie diese bewältigen kann. Die Verwundbarkeit ist abhängig von der Art und Intensität des konkreten klimatischer Einflusses (➤ *Klima;* ➤ *Klimasignal*) sowie von der ➤ *Exposition*, der ➤ *Sensitivität*) und der ➤ *Anpassungskapazität* der Person, der Region oder des Systems.

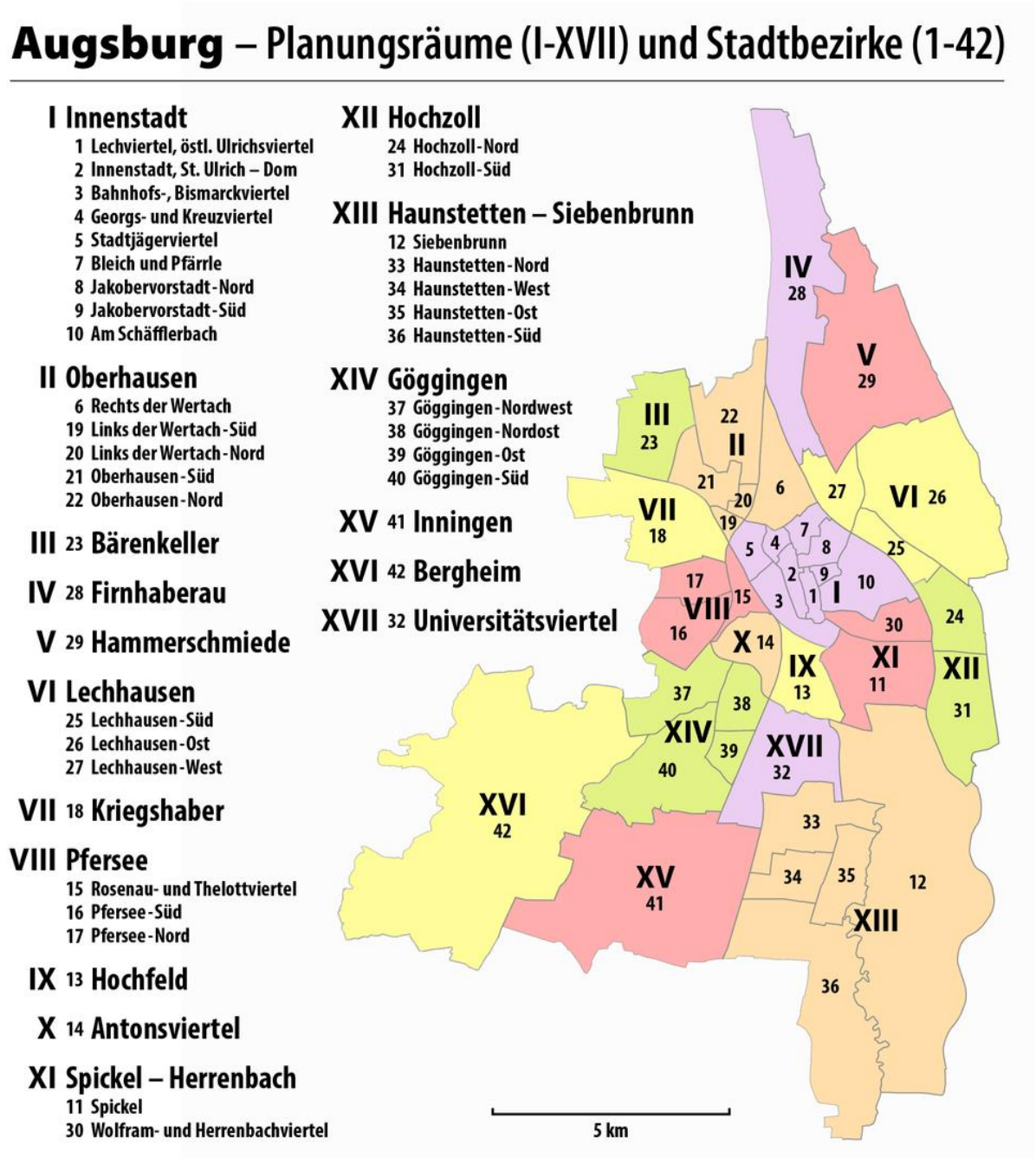
Wetter - ständig wechselnder atmosphärische Zustand, der durch Temperatur, Wind, Niederschlag, Wolkenbedeckung etc. gekennzeichnet ist und durch sich rasch ändernde Wetterlagen (Hochdruck- oder Tiefdruckgebiet) entsteht. Wegen der kurzfristigen Veränderlichkeit ist das Wetter nur wenige Tage im Voraus vorhersehbar; im Unterschied zu ➤ *Klima*.

A.3. Medienanalyse

Titel	Autorenschaft	Medium	Datum	URL
Natürliche Dämmung - KfW-Förderung für Dachbegrünung		Augsburger Allgemeine	Themenwelten -Stand: 10.06.2020	https://www.augsburger-allgemeine.de/themenwel-ten/bauen-wohnen/Natuerliche-Daemmung-KfW-Foerderung-fuer-Dachbe-gruenung-id30059092.html.
Tausende tote Fische im Lech: Fischer fordern Konsequenzen	Eva Maria Knab	Augsburger Allgemeine	07.11.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Tausende-tote-Fische-im-Lech-Fischer-fordern-Konsequenzen-id55904226.html
„Offensive Wohnraum“: Pro Jahr werden 1000 neue Wohnungen fertig.	Stefan Krog	Augsburger Allgemeine	28.09.2019	ttps://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Offensive-Wohnraum-Pro-Jahr-werden-1000-neue-Wohnungen-fertig-id55559071.html
Wie Augsburg beim Artenschutz eine Vorreiterrolle spielen kann	Eva Maria Knab	Augsburger Allgemeine	22.09.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Wie-Augsburg-beim-Artenschutz-eine-Vorreiter-rolle-spielen-kann-id53555906.html
Region Augsburg: Blaualgen: Entwarnung für Lechufer im Kreis Augsburg - Nachrichten Friedberg	Tom Trilges, Tobias Karrer, Leonhard Pitz, Gerald Modlinger	Augsburger Allgemeine	19.09.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/friedberg/Blaualgen-Entwarnung-fuer-Lechufer-im-Kreis-Augsburg-id55454016.html
Extremes Wetter: Rekordverdächtige Hitze sorgt für Probleme im Reiseverkehr	Anika Zidar und Simon Kaminski	Augsburger Allgemeine	24.7.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Rekordverdaechtige-Hitze-sorgt-fuer-Probleme-im-Reiseverkehr-id55007041.html
Hitzestau im Schlafgemach - „Augsburg bleibt cool“ identifiziert nächtliche Hot-Spots in der Stadt		Rieser Nachrichten	18.07.2019	https://www.pressreader.com/germany/rieser-nachrichten/20190718/page/30.
Kiefern und Fichten sterben: Der Klimawandel bedroht Bayerns Wälder	Jonas Voss	Augsburger Allgemeine	12.07.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Kiefern-und-Fichten-sterben-Der-Klimawandel-bedroht-Bayerns-Waelder-id54858871.html.
Hitzewelle 2019: Wird heute der Hitze-Rekord von Juni 1947 geknackt?	(AZ)	Augsburger Allgemeine	26.06.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/panorama/Wird-heute-der-Hitze-Rekord-von-Juni-1947-geknackt-id54630856.html
So kann Hitze reduziert werden	o.V.	Augsburg TV	26.6.2019	https://www.augsburg.tv/mediathek/video/so-kann-hitze-reduziert-werden/
Augsburger Forst-Experte befürchtet:	Stephanie Sartor, Wolfgang Sailer	Augsburger Allgemeine	21.06.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/bayern/Augsburger-Forst-

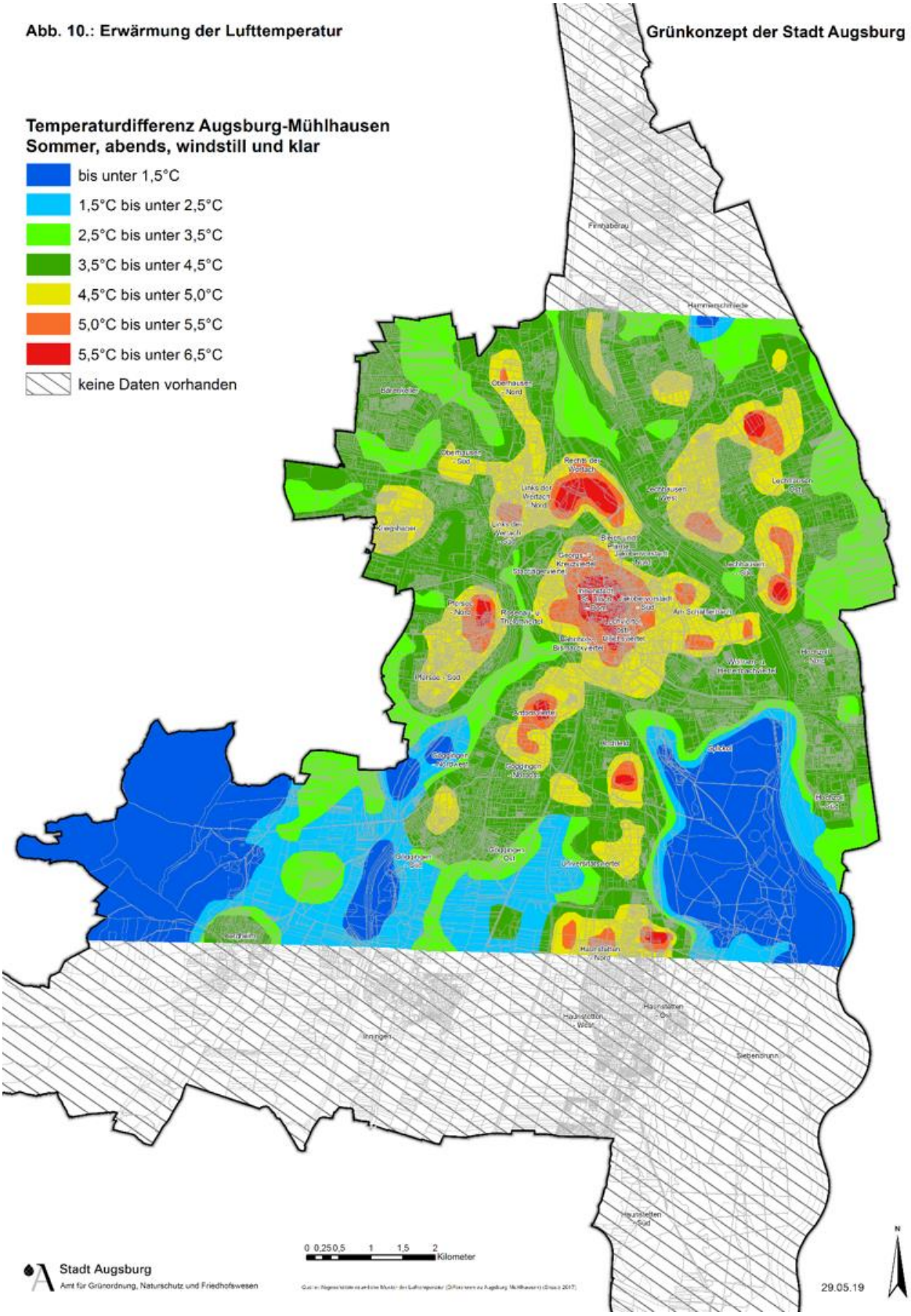
Zahl der Borkenkäfer wird explodieren.				Experte-befuerchtet-Zahl-der-Borkenkaefer-wird-explodieren-id54636806.html.
Hilfsaktion im Tierheim		StadtZeitung.online	26.05.2019	https://www.stadtzeitung.de/augsburg-city/lokales/hilfsaktion-im-tierheim-d89681.html.
Es gibt wieder Streit um Mäharbeiten in der Stadt	Eva Maria Knab	Augsburger Allgemeine	19.05.2019	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Artenvielfalt-Es-gibt-wieder-Streit-um-Maeharbeiten-in-der-Stadt-id54337681.html
Am Gögginger Wäldchen fallen Bäume		Augsburger Allgemeine	29.11.2018	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Am-Goegginger-Waeldchen-fallen-Baeume-id52814511.html
Wie sich die Stadt gegen Starkregen rüstet	Stefan Krog	Augsburger Allgemeine	19.10.2017	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Wie-sich-die-Stadt-gegen-Starkregen-ruestet-id43011951.html.
Wo es im Sommer glüht	Stefan Krog	Augsburger Allgemeine	08.08.2017	Auftraggeber
Überflutung nach Starkregen: Wo droht jetzt Hochwasser?		Augsburger Allgemeine	09.06.2016	https://www.augsburger-allgemeine.de/dillingen/Ueberflutungen-nach-Starkregen-Wo-droht-jetzt-Hochwasser-id38030907.html
Supersommer		Augsburger Allgemeine	14.08.2015	S. 1-3
Ambrosia-Alarm		Augsburger Allgemeine	14.08.2010	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Ambrosia-Alarm-id8316816.html
Heide, Starkstrom und Autobahn		Augsburger Allgemeine	06.06.2010	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Heide-Starkstrom-und-Autobahn-id7944196.html
Dramatisches Fischsterben im Lech	Eva Maria Knab	Augsburger Allgemeine	02.02.2009	https://www.augsburger-allgemeine.de/augsburg/Dramatisches-Fischsterben-im-Lech-id5147861.html

A.4. Planungsräume und Stadtbezirke Augsburgs



Karte 18: Planungsräume und Stadtbezirke Augsburg. Quelle: Stadt Augsburg.

A.5. Räumliche Muster der Lufterwärmung



Karte 19: Abgeschätzte räumliche Muster der Lufttemperatur (Differenz zu Augsburg-Mühlhausen). Quelle: Straub et al. 2019.

A.6. Naturbasierte Ansätze der Klimaanpassung

Als Hintergrundinformation findet sich hier eine Ausführung zu den **Naturbasierten Ansätze der Klimaanpassung** laut Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Quelle: BfN: Beitrag des Naturschutzes zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel, online: https://www.bfn.de/themen/klimawandel-und-biodiversitaet/naturschutz-und-klimawandel/beitrag-des-naturschutzes.html, Zugriff: 12.12.2021)

Herausforderung Klimawandel - die Natur als Partner

Der globale Klimawandel ist kein reines Zukunftsszenario, sondern findet bereits spürbar statt. Umso wichtiger ist es, dass Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel aktiv betrieben werden. Das betrifft nicht nur die Land- und Forstwirtschaft und das Wassermanagement. Auch andere Bereiche wie die Gesundheitsvorsorge, die Stadtplanung, der Verkehr und der Tourismus müssen sich zunehmend an die Veränderungen des Klimas anpassen und durch geeignete Maßnahmen zum Klimaschutz beitragen.

Ökosysteme spielen dabei eine besondere Rolle, denn sie bilden mit ihren vielfältigen Funktionen (Wasser- und Klimaregulierung, Luftreinhaltung, Produktion von Nahrungsmitteln, Bereitstellung von Erholungsräumen etc.) die Grundlage unseres Lebens. Doch auch die Ökosysteme müssen sich langfristig an veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse anpassen, was nur gelingen kann, wenn sie insgesamt intakt und stabil bleiben. Gestörte Ökosysteme können viele für den Menschen wichtige Leistungen nicht mehr ausreichend erbringen. Die Erhaltung, Wiederherstellung und nachhaltige Nutzung von Ökosystemen bilden deshalb die Grundlage der "naturbasierten Ansätze" für Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel.

Mit naturbasierten Ansätzen ist es möglich, Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel, Katastrophenvorsorge, Erhaltung der biologischen Vielfalt und nachhaltiges Ressourcenmanagement miteinander zu verbinden. Nicht selten werden naturbasierte Ansätze auch als Maßnahmen "ohne Reue" ("no-regret-options") bezeichnet, das heißt die Maßnahmen haben auch dann einen Nutzen, wenn Klimaänderungen nicht eintreten. Sie sind oft kosteneffizient und man kann mit ihnen in der Regel flexibel auf das sich weiter verändernde Klima und die damit verbundenen Unsicherheiten reagieren. Zudem werden gleich mehrere Ziele zur gleichen Zeit verfolgt. Sie können deshalb eine sinnvolle Ergänzung zu herkömmlichen technischen Ansätzen sein und sie in Teilen auch ersetzen, zum Beispiel im Küstenschutz oder bei der Anpassung an den klimawandelbedingten Wärmeninseleffekt in Städten.

A.7. Kommunikationsansatz KASA 1 für KASA 2

Eine Anpassungsstrategie kann ohne eine adäquate Kommunikationsstrategie nicht erfolgreich sein. Die Entwicklung einer übergreifenden KASA-Kommunikationsstrategie ist in KASA 2 vorgesehen. An dieser Stelle werden bereits erste Vorschläge für eine Klimaanpassungskommunikation, unmittelbar ausgehend von KASA 1, angeführt.

Zur Notwendigkeit kommunikativer Ansätze

Dass sich Politik und weitere wichtige Akteure der Stadt nicht nur mit den fachlichen Notwendigkeiten in den Handlungsfeldern beschäftigen, sondern zusätzlich auch die **kommunikative Dimension** berücksichtigen, ist eine ebenso wichtige wie oftmals unterschätzte Voraussetzung erfolgreicher Zielerreichung.

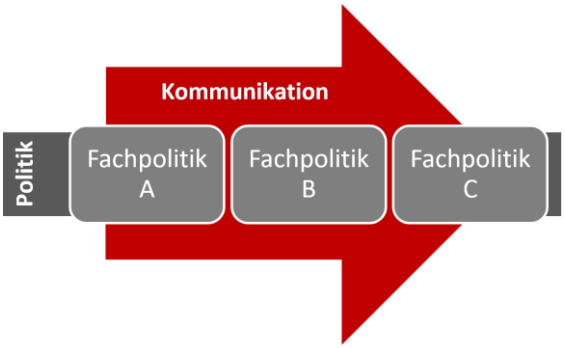


Abb. 138: Politik und Kommunikation – gerade ihre kommunikative Vermittlung laufen Hand in Hand. Quelle: Eigene Darstellung.

Gerade bei komplexen Sachverhalten wie „Klimaanpassung" ein untrennbares Duo, um übergreifende und sektorale Ziele effektiv und schnell genug zu erreichen.

Allgemein ergibt sich die **Notwendigkeit zur „Klimaanpassungs-Kommunikation"** aus verschiedenen Gründen, wovon drei in diesem Zusammenhang besonders wichtig scheinen:

1. Die Politik kann und muss sehr vieles tun, um proaktiv Klimarisiken abzuwehren, Folgen abzumildern und sich bietende Chancen zu nutzen – *allein* wird sie diese Aufgabe nur schwerlich bzw. nicht stemmen können. Klimaanpassung ist (mindestens ebenso stark wie der Klimaschutz) eine **Gemeinschaftsaufgabe**.

   Es ist unabdingbar, verschiedene gesellschaftliche Gruppen – wie die Wirtschaft, den Agrarsektor, die Kirchen, Bildungseinrichtungen etc. – zu sensibilisieren und zu aktivieren, damit sie jeweils ihre Verantwortung und ihre Gestaltungsmöglichkeiten mit tatkräftigem Engagement wahrnehmen.

1. Auch kommt es in diesem Politikbereich mehr als in vielen anderen auf eine sensibilisierte und aktivierte Bevölkerung an. Es gibt nur wenige Bereiche, wo es in vergleichbarem Maße darauf ankommt, dass die Einzelnen (gemäß dem ➤„Subsidiaritätsprinzip") **Eigenvorsorge** betreiben (→ HF Katastrophenschutz). Auch ist es wichtig, dass bei den Augsburgerinnen und Augsburgern **Akzeptanz** für die politikseitig zu treffenden Maßnahmen besteht bzw. hergestellt wird.
2. Die Thematik ist großenteils recht komplex und anspruchsvoll, da es um eine **Verschneidung von sektoralem mit klimatologischem Fachwissen** geht. Neben den Inhalten selbst sind auch die Begrifflichkeiten (Klimaanpassung) teils sperrig und wenig eingängig.

Es sind daher (zielgruppenspezifische) (Teil-)**Inhalte sowie Formate** zu identifizieren, mit denen eine möglichst breite Bevölkerungsschicht, aber auch besonders relevante Zielgruppen informiert, sensibilisiert und aktiviert werden können.

Nachdem der erste Teil des Klimaanpassungskonzeptes erstellt wurde, gilt es, die **Ergebnisse von KASA 1 zu kommunizieren**. Die Gründe dafür sind klar:

- **Sensibilisierung der Fachleute und der allgemeinen Bevölkerung** für die klimawandelbedingten Betroffenheiten, um diese durch ein klimaangepasstes Verhalten bereits mittels Eigenvorsorge zu mindern.
- **Verdeutlichung der Notwendigkeit der Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen**. Die Benennung der Klimawirkungen in den Handlungsfeldern schafft diese Notwendigkeit.
- **Vorbereitung der Akteure auf den zweiten Teil der Konzepterstellung**. Die Akteure sind dazu aufgerufen, sich ausgehend von den benannten Betroffenheiten an der Suche nach Anpassungsmaßnahmen zu beteiligen.

Ansätze der kommunikativen Vermittlung

Um die Ergebnisse des KASA 1 zu kommunizieren, werden die folgenden Schritte vorgeschlagen:

- Information der Verwaltung und der politischen Gremien über die Ergebnisse des 1. Teils der Konzepterstellung mittels Kurzpräsentation und Bericht in digitaler Form.

- **Digitaler Versand des KASA 1** an alle Beteiligten der Konzepterstellung, mit Dank für Mitwirkung.
- Erstellung einer **Internetseite zum Klimaanpassungsprozess** auf dem Internetauftritt der Stadt Augsburg.

Hier sollten die zentralen Ziele, Abläufe und Ergebnisse von KASA 1 benannt werden und ein Ausblick auf den folgenden zweiten Teil der Konzepterstellung gegeben werden:

- Möglichkeit zum Herunterladen des ausführlichen Konzepts KASA 1.
- Zudem sollte eine Kurzfassung erstgestellt werden. Sie hilft der Öffentlichkeit, sich einen schnellen Überblick zu verschaffen.
- Kommunikation bedeutet nicht nur, das Konzept bekannt zu machen. Es sollte auch die Möglichkeit geboten werden, Anregungen, Kritik, fachliche Stellungnahmen usw. einzugeben. Diese können ggf. für die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen nützlich sein. Hierfür kann eine Ansprechperson mit Kontaktdaten benannt werden.
- Aufruf der Stadtgesellschaft zum Ideenwettbewerb für Klimaanpassungsmaßnahmen (siehe 9.3.3.) als diskursive Einstimmung auf KASA 2.

Ideenwettbewerb Klimaanpassungsmaßnahmen

Überblick

In KASA 1 steht die Diskussion von Klimawirkungen und Betroffenheiten im Vordergrund. KASA 2 wird den Schwerpunkt auf die Erarbeitung und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen legen. Damit muss auch ein kommunikativer Wechsel einhergehen. Es gilt an die allgemeine Bevölkerung ebenso wie an Fachleute aus verschiedenen Teilbereichen der Stadtgesellschaft die Botschaft zu kommunizieren: „Wir denken nun über Maßnahmen nach, wir schauen konstruktiv nach vorne auf ein klimaresilientes Augsburg. Dafür sind gute Ideen ins Gespräch zu bringen."

Sehr viele Fachleute, aber auch Einwohnerinnen und Einwohner Augsburgs sind bereits für das Thema „Klimafolgen – Klimaanpassung" sensibilisiert worden und haben ggf. eigene Ideen zur Klimaanpassung entwickelt. Dazu trug zum einen der partizipative Erstellungsprozess des KASA 1 bei. Zum lief parallel das Projekt „➤**Abc – Augsburg bleibt cool"**, das unter anderem ein ➤ *Citizen Science*-Element und Micro-Events zur Sensibilisierung der Bevölkerung umfasste.

Es gilt nun, diese Ideen in einem diskursiven Prozess „einzusammeln". Um seitens der Bevölkerung (sowie der Fachleute) Vorschläge zu generieren, wird ein **Ideenwettbewerb** vorgeschlagen. Auf diese Weise wäre eine breite Beteiligung der Stadtgesellschaft an der Maßnahmenentwicklung gesichert.

Umsetzungsschritte

- **Verbreitung**: Der Aufruf für den Ideenwettbewerb sollte über die Webseite der Stadt, Meldungen in lokalen Medien und Außenwerbung verbreitet werden.

- **Zielgruppen:** Neben der allgemeinen Öffentlichkeit könnten Organisationen und Personen, die sich bereits an der Erstellung des KASA 1 oder am Abc-Projekt beteiligt haben, gezielt informiert werden. Junge Menschen, erreichbar z.B. über *Fridays for Future*, den Angeboten des Kommunalen Energiemanagements an Schulen oder der Umweltstation, sind eine weitere, wichtige Zielgruppe.
- **Rücklauf:** Die Einreichung von Ideen sollte technisch niederschwellig und unkompliziert möglich sein. Denkbar ist etwa ein Online-Formular, in das Ideen einfach „eingetippt" werden, womit sie auch „eingereicht" sind.
- **Sichtung/ Prüfung**: Die eingesendeten Ideen würden im Rahmen der Erstellung des KASA 2 von dem Gutachterteam sowie dem partizipativen Begleitprozess (durch lokale Fachleute/ Stakeholder) analysiert und auf ihre Umsetzbarkeit und Wirksamkeit geprüft.
- **Partizipativer Auswahlprozess**: Bürgerinnen und Bürger, die aussichtsreichen Vorschläge eingereicht haben, könnten in den Prozess eingebunden werden, um ihre Idee vorzustellen und im Diskussionsprozess unter Anleitung zu verbessern.
- **Preise/ Verstetigung:** Für Menschen, deren Ideen es bis in den Maßnahmenkatalog schaffen, könnten Preise ausgelobt werden. Die Einreichenden könnten zudem als Maßnahmenpatinnen bzw. -paten die spätere Umsetzung begleiten.
- **Zeitaspekt:** Der Ideenwettbewerb ist, sofern möglich, bereits *vor* dem Beginn der Erarbeitung des KASA 2 durchzuführen. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass die Vorschläge früh im Bearbeitungszeitraum vorliegen und angemessen berücksichtigt werden können.