

ARBEITSDOKUMENT: STAND 03.11.2021

FORSCHUNGSPORTFOLIO

MENSCH UND SIEDLUNG IM KLIMAWANDEL



Das Forschungsportfolio „Mensch und Siedlung im Klimawandel“ für das Projekt KlimaAlps wurde von der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH erarbeitet.

Kontakt:

Dr. Inga Beck
Referentin Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit
UFS Schneefernerhaus GmbH
Zugspitze 5
82475 Zugspitze

Tel. +49 (0)8821 924 145
Tel. +49 (0)8851 9402962
Mobil +49 (0)174 4705593
Fax +49 (0)8821 924 200
i.beck@schneefernerhaus.de
www.schneefernerhaus.de

Die Eigentumsrechte an den vorliegenden Bildungsmaterialien liegen beim Projekt KlimaAlps. Wir stellen die im Projekt entwickelten Konzepte und Bildungsmaterialien auch weiteren Bildungseinrichtungen für die Entwicklung eigener der KlimaTope, Ausbildungsmodule und Bildungsangebote zur Verfügung, sofern diese unter dem Dach des Projekts KlimaAlps angeboten werden und die Nutzung in Absprache mit dem Projekt KlimaAlps stattfindet. Änderungen an den Materialien bedürfen der Genehmigung durch das Projekt KlimaAlps.

Das Projekt KlimaAlps (AB248) wird zu 75 % gefördert durch das Programm Interreg Österreich-Bayern 2014-2020 mit Mitteln aus dem EFRE Fonds. KlimaAlps wird außerdem gefördert vom Land Tirol und dem Land Oberösterreich.

Kontakt:

Bürgerstiftung Energiewende Oberland (EWO)

Dr. Cornelia Baumann (Projektkoordinatorin)
Am Alten Kraftwerk 4
82377 Penzberg
baumann@energiewende-oberland.de
Tel. +49 (0)8856 80536-24



INHALT

Inhalt	3
Glossar	5
Abkürzungsverzeichnis	14
Factsheet – Mensch und Siedlung im Klimawandel	15
1 Zusammenfassung	16
2 Klimawandel Mensch und Siedlung	16
2.1 Globale und regionale Situation – Bevölkerungsentwicklung und Urbanisierung	18
2.1.1 Mensch und Siedlung – die Klimaalps Projektregion	19
2.2 Stadtklima	19
2.2.1 Veränderung der städtischen Ökosysteme	20
2.2.2 Veränderung der Flora und Fauna in den Städten	22
3 Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit - Allgemeiner Überblick	22
3.1 Gesundheit - direkte Auswirkungen des Klimawandels	23
3.1.1 Thermische Belastung	23
3.1.2 Belastung durch UV-Strahlung	25
3.1.3 Belastungen durch Luftverunreinigung	25
3.2 Gesundheit - indirekte Auswirkungen des Klimawandels	26
3.2.1 Pollen und Allergien	26
3.2.2 Vektorübertragene Infektionskrankheiten	27
3.2.2.1 Lyme-Borreliose und FSME	28
3.2.2.2 Hantavirus	28
3.2.2.3 Denguefieber, Gelbfieber und NilVirus	29
3.2.3 Lebensmittelbedingte Infektionskrankheiten	30
3.2.4 Wasserbürtige Infektionskrankheiten	30
3.3 Anpassung des Menschen an den Klimawandel	30
4 Urbane Siedlungen und der Klimawandel	33
4.1 Kompakte Siedlungsentwicklung „Stadt der kurzen Wege“	33
4.2 Flächenversiegelung	34
4.2.1 Flächenversiegelung in Deutschland	34
4.2.2 Flächenversiegelung in Österreich	35
4.2.3 Ökologische Auswirkungen von Flächenversiegelung	36
4.2.4 Städtische Wärmeinseln	37
4.2.5 Schaffung von Frischluftschneisen	38
4.3 Anpassung der Städte an den Klimawandel	39
4.4 Infrastrukturanpassung in den Städten	40

4.4.1	Blaue Infrastruktur	41
4.4.1.1	Schwammstädte	41
4.4.1.2	Starkregenrisikomanagement	41
4.4.2	Grüne Infrastruktur	42
4.4.2.1	Dachbegrünung	42
4.4.2.2	Fassadenbegrünung	43
4.4.2.3	Straßenbegrünung	43
4.4.2.4	Parkflächen	44
5	Energiewende	44
5.1	Nutzung von Solarenergie	44
5.2	Nutzung regenerativer Energie	45
5.2.1	Anpassung der Energienutzung - Konkrete Projekte in der Projektregion	47
6	Räumliche Mobilität	48
6.1	Entwicklung der CO2-Emissionen im Verkehrssektor	49
6.2	Auswirkungen des Klimawandels auf die Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsbetrieb	50
6.3	Anpassungen im Verkehrssektor - Klimaneutrale Mobilität	51
6.3.1	Projekte aus der Region	51
7	Referenzen	53

GLOSSAR

ABIOTISCHE FAKTOREN	Abiotische Faktoren wirken auf Lebewesen ein, sind selbst aber unbelebt. Zu den abiotischen Faktoren zählt man u. a. die Temperatur, Atmosphäre, Wasser (v. a. der PH-Wert), Licht, Strömung, Salinität, Konzentration an Nährsalzen und anderen chemischen Stoffen. Sie stellen somit alle nicht-belebten Interaktionspartner in einem Ökosystem dar.
ADAPTION (AUCH ANPASSUNG)	Strategien, um gegenüber bestehenden oder zu erwartenden Veränderungen oder Anforderungen sinnvoll zu handeln. In Bezug auf den Klimawandel beschreibt der Begriff Adaptation Maßnahmen und Reaktionen, mit denen die bereits eingetretenen oder drohenden Folgen des Klimawandels gesellschaftlich, ökologisch und wirtschaftlich aufgefangen werden. Das kann sowohl ein bewusst vom Menschen angestoßener Prozess sein (geplante Anpassung), aber auch unbewusst durch spontane Veränderungen in ökologischen und menschlichen Systemen erfolgen (autonome Anpassung).
ALBEDO-EFFEKT	Ein Maß für das Rückstrahlvermögen (Reflexionsstrahlung) von diffus reflektierenden, also nicht selbst leuchtenden Oberflächen. Sie wird als dimensionslose Zahl angegeben und entspricht dem Verhältnis von rückgestrahltem zu einfallendem Licht. Eine Albedo von 0,9 entspricht 90 % Rückstrahlung. Frischer Schnee hat demnach eine Albedo von 70 – 95 % und Waldgebiete von 13 -19 %. In der Klimatologie ist die so genannte Eis-Albedo-Rückkopplung ein wesentlicher, den Strahlungsantrieb und damit die Strahlungsbilanz der Erde beeinflussender Faktor, der relevant für den Erhalt des Weltklimas ist.
ASSIMILATION	Stoff- und Energiewechsel, bei dem aufgenommene körperfremde Stoffe unter Energiezuführung schrittweise in körpereigene Verbindungen umgewandelt werden. Dabei wird nach dem jeweils bestimmenden aufgenommenen Stoff zwischen Kohlenstoff-, Stickstoff- und Mineralstoff-Assimilation unterschieden.
BIOLOGISCHE GEWÄSSERQUALITÄT	Um den ökologischen Zustand eines Fließgewässers zu ermitteln, werden Daten zu den biologischen Qualitätskomponenten Makrozoobenthos Makrophyten & Phytobenthos, Phytoplankton und Fische erhoben. Für die einzelnen Biokomponenten wurden entsprechende biologische Bewertungsverfahren entwickelt, die in einer fünfstufigen Skala (sehr gut bis schlecht: sehr gut = 1, gut = 2, mäßig = 3, unbefriedigend = 4, schlecht = 5) Auskunft über den Zustand des Gewässers geben. Die Gesamtbewertung des ökologischen Zustands eines Fließgewässers wird durch das schlechteste Ergebnis der jeweiligen biologischen Qualitätskomponenten

	bestimmt (worst case Verschnitt). In die ökologische Zustandsbewertung gehen außerdem hydromorphologische Daten, sowie chemisch-physikalische Werte mit ein.
BIOTISCHE FAKTOREN	Belebte Elemente eines Ökosystems. Biotische Faktoren beschreiben die Interaktionen zwischen verschiedenen Lebewesen. Sie können intraspezifisch als auch interspezifisch sein. Sie ergeben sich aus den Wechselwirkungen zwischen einzelnen Arten innerhalb eines Ökosystems. Im Gegensatz dazu stehen abiotische Faktoren, die unbelebte Interaktionspartner darstellen.
BIOZÖNOSE	Eine Gemeinschaft von Organismenarten, die sich aufgrund ähnlicher Lebensbedingungen in einem Biotop befinden. Zwischen den Organismen gibt es enge Wechselbeziehungen.
BUNDESWALDINVENTUR (BWI)	Eine durch das Bundeswaldgesetz vorgeschriebene forstliche Großrauminventur, die deutschlandweit durchzuführen ist. Mit der Bundeswaldinventur werden die großräumigen Waldverhältnisse und forstlichen Produktionsmöglichkeiten erfasst. Ihre Ergebnisse sind eine unentbehrliche Grundlage für forst-, handels- und umweltpolitische Planungen und Entscheidungen. In Österreich spricht man von der Waldinventur (ÖWI). Derzeit (2021) läuft in Deutschland die 4. BWI. Die letzte ÖWI 2007-2009
CO2-ÄQUIVALENT	Einheit für das Treibhauspotenzial eines Gases, das angibt, welche Menge CO ₂ in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren die gleiche Treibhausgaswirkung entfalten würde, wie das betrachtete Vergleichsgas. Die verwendeten Äquivalenz-Faktoren folgen den für die nationale Emissionsberichterstattung vorgegebenen Werten aus dem IPCC Fourth Assessment Report Climate Change 2007.
CO2-SEQUESTRIERUNG	CO ₂ -Abscheidung, CO ₂ -Speicherungspotential oder CO ₂ -Sättigungsdefizit. Allgemein bedeutet dies die Festlegung von Kohlenstoff in einem anderen Kohlenstoffreservoir als der Atmosphäre. Ursprünglich stammt der Begriff Sequestrierung aus dem Bereich der Energiegewinnung durch Kraftwerke. Demnach ist die CO ₂ -Sequestrierung ein Verfahren zur Reduzierung von CO ₂ -Emissionen in die Atmosphäre durch die technische Abspaltung am Kraftwerk (End of pipe) und „dauerhafte“ Einlagerung in unterirdische Lagerstätten. Dies kann technisch durch den Menschen erfolgen oder auf natürlichen Weg, z.B. durch die Photosynthese der Pflanzen und den Humusaufbau im Boden. Im Boden bezeichnet man sozusagen das Kohlenstoff-Sättigungsdefizit als Sequestrierungspotential. Es zeigt das Vermögen des Bodens auf Kohlenstoff aus der Atmosphäre aufzunehmen und in Form von Humusaufbau einzulagern. Je mehr Humus bereits im Boden

	aufgebaut wurde, desto weniger kann in Zukunft dieser Boden noch zum aktiven Klimaschutz beitragen, indem er der Atmosphäre aktiv Kohlenstoff entzieht. Dann ist der Boden nur noch ein Kohlenstoffspeicher.
DESERTIFIKATION	Wüstenbildung. Dies ist das Ergebnis eines vielschichtigen Prozesses, der von Menschen in Gang gesetzt und durch den Klimawandel noch verschärft wird. Man spricht von Desertifikation, wenn in Gebieten mit relativ trockenem Klima die natürlichen Ressourcen wie Boden, Vegetation und Wasser, als Folge einer zu intensiven Landnutzung durch den Menschen beeinträchtigt oder zerstört werden. Ein Verschwinden der Vegetation, Wassermangel und Bodenerosion, Versalzungen und Versandungen können die Folgen sein. Das Land wird unfruchtbar und verödet.
EKTOTHERM	Lebewesen, deren Körpertemperatur vollständig von der Umwelt abhängig ist und normalerweise nicht von ihrem Stoffwechsel beeinflusst wird. Die gegenteilige Eigenschaft nennt man endotherm.
EL NIÑO	Klimaanomalie, die in unregelmäßigen Abständen von etwa zwei bis sieben Jahren vor allem im Pazifik zwischen Südamerika und Indonesien zu weitreichenden Veränderungen der Meeresströmungen und des Zirkulationssystems der Atmosphäre führt. Das Klimaphänomen verursacht in einigen Regionen höhere Temperaturen, Dürren und Waldbrände, in anderen Regionen hingegen Starkniederschläge und Überschwemmungen.
ENDEMITEN	Pflanzen oder Tiere bezeichnet, die nur in einer bestimmten, räumlich abgegrenzten Umgebung vorkommen. Diese sind in diesem Gebiet endemisch. Dabei kann es sich um Arten, Gattungen oder Familien von Lebewesen handeln, die ausschließlich auf bestimmten Inseln oder Inselgruppen, Gebirgen, in einzelnen Tälern oder Gewässersystemen heimisch sind.
ENDOTHERM	Reaktion, bei der Energie, etwa in Form von Wärme, aus der Umgebung aufgenommen wird. Sie stellt das Gegenteil einer exothermen Reaktion dar. Ein Beispiel für eine endotherme Reaktion ist die in Pflanzen stattfindende Photosynthese.
ENTERITIDEN	Entzündung verschiedener Darmabschnitte.
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA)	Eine unabhängige Behörde der Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika zum Umweltschutz und zum Schutz der menschlichen Gesundheit.
EPILIMNION	Die obere, lichtdurchstrahlte damit erwärmte und stark bewegte Wasserschicht in einem stehenden Gewässer (See) und ist ein Begriff der physikalischen Limnologie.

EPIDEMIOLOGIE / EPIDEMIOLOGISCH	Die Lehre von der quantitativen Erforschung der Faktoren, die Gesundheitszustände beeinflussen. Als Teilgebiet der Medizin untersucht sie vor allem die Verteilung von Krankheiten und Risikofaktoren in einer Bevölkerung und die damit zusammenhängenden Variablen. Das entsprechende Adjektiv heißt epidemiologisch.
ERUKTIEREN	Aufstoßen von Luft aus dem Magen
EUTROPHIERUNG	Terminus aus der Ökologie. Er steht für Anreicherung von Nährstoffen in stehenden und fließenden Gewässern durch künstliche und natürliche Prozesse. Im engeren Sinne ist meist die (durch den Menschen bedingte) Erhöhung des Nährstoffgehalts von Gewässern durch gelöste Nährstoffe, besonders Stickstoff und Phosphor gemeint, die meist mit nachteiligen Folgen für die Ökologie der Gewässer und ihre Nutzbarkeit durch den Menschen verbunden ist.
EVAPOTRANSPIRATION	Bezeichnet die Gesamtverdunstung der natürlich bewachsenen Bodenoberfläche. Hierfür wird zum einen die Verdunstung der unbewachsenen Bodenoberfläche, Evaporation genannt, zum anderen die Verdunstung von Wasser aus der Pflanzen- und Tierwelt, die Transpiration, aufsummiert. Der Evapotranspirationswert ist eine wichtige Größe in der Hydrologie.
FERTILITÄTSRATE	Ein Maß in der Demographie. Sie steht für die Fruchtbarkeitsrate von Frauen und gibt an, wie viele Kinder eine Frau im Laufe ihres Lebens während ihrer fruchtbaren Phase durchschnittlich bekommt. Sie ist ein wichtiger Indikator für die Bevölkerungsentwicklung eines Landes bzw. Kontinentes.
HYPOLIMNION	Die untere, nur durch interne Wellen und deren Ausgleichsströmungen bewegte und bei 4 °C homogen kalte Wasserschicht in einem geschichteten, stehenden Gewässer. Das Hypolimnion ist durch die Sprungschicht, das Metalimnion, von der oberen Wasserschicht, dem Epilimnion, getrennt. In Seen mit zu geringer Tiefe kann sich kein Hypolimnion ausbilden, so dass das Metalimnion mit höheren Temperaturen bereits den Seeboden berührt.
INTERZEPTION	Das Abfangen bzw. Zurückhalten von Niederschlägen auf der Oberfläche der Vegetation. Der Begriff ist auch für Schnee gebräuchlich. In Pflanzenbeständen gelangen die interzeptierten Niederschläge entweder als Stammabfluss oder mit dem Kronendurchlass auf den Boden oder sie verdunsten. Da das verdunstende Wasser nicht mehr für die Grundwasserneubildung oder das Pflanzenwachstum zur Verfügung steht, spricht man hier von Interzeptionsverlust.

KOHLENSTOFFINVENTUR	Ein Begriff aus der Forstwirtschaft. Sie liefert Daten zu dem im Wald gebundenen Kohlenstoff des Kyoto-Protokolls (2013 bis 2020). Außerdem zeigt sie, wie sich die Wälder seit der Bundeswaldinventur 2012 verändert haben. Die Kohlenstoffinventur im Wald wird vom Thünen-Institut für Waldökosysteme im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft durchgeführt und ausgewertet.
LA NINA	Wetterereignis, das meist im Anschluss an das Klimaphänomen El Niño auftritt. Man bezeichnet es auch als sein Gegenstück. Die Passatwinde verstärken sich und die Wassertemperaturen im zentralen und östlichen tropischen Pazifik sinken deutlich unter die langjährigen Mittelwerte ab. Dies hat unter anderem zur Folge, dass im Bereich des Westpazifiks Unwetterereignisse und Taifune häufen, während es im ohnehin schon trockenen Küstenbereich Südamerikas noch trockener ist als sonst.
MAKROPHYTEN	Gewächse, die auf Grund ihrer Größe als einzelnes Exemplar mit bloßem Auge sichtbar sind. Der Begriff Makrophyten wird meist im Zusammenhang mit limnischen Ökosystemen verwendet und wird auf Wasserpflanzen angewandt. Im Gegensatz zu Makrophyten stehen Mikrophyten, die nur unter der Lupe oder dem Mikroskop sichtbar sind.
MAKROZOOBENTHOS	Die im/am Gewässerboden lebenden tierischen Organismen bezeichnet, die mit dem Auge noch erkennbar sind. Beispiele hierfür sind Krebse, Schwämme und Muscheln
METALIMNION	Sprungschicht bzw. Übergangs-Wasserschicht in geschichteten stehenden Gewässern. Das Metalimnion bildet den Übergang zwischen der oberen Wasserschicht, dem Epilimnion und der unteren, dem Hypolimnion.
MIKROPHYTEN	Ausdruck für mikroskopisch kleine Pflanzen, die mit bloßem Auge nicht mehr als Individuen erkennbar sind und daher mit Hilfe eines Mikroskops untersucht werden müssen.
MISMATCH	Die Mismatsch-Hypothese in der Ökologie sagt aus, dass der Fortpflanzungserfolg vieler Arten in der Natur davon abhängt, dass der Lebenszyklus der Art, insbesondere die Fortpflanzungszeit, mit dem Maximum des Nahrungsangebots übereinstimmt. Passen Lebenszyklus und Höhepunkt des Nahrungsangebots nicht zusammen, spricht man von Mismatch, und der Fortpflanzungserfolg sinkt.
MITIGATION	Bewusstes Abschwächen von negativen Folgen. In der Klimawandelforschung beschreibt Mitigation, aktive Maßnahmen zum Klimaschutz. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass Mitigation von Adaptionen abzugrenzen ist. Adaptionen beinhaltet nur einen

	Anpassungsprozess an veränderte Klimabedingungen und kein proaktives Verhalten.
MODAL SPLIT	Verteilung des Transportaufkommens auf verschiedene oder Verkehrsmittel (Modi). Eine andere gebräuchliche Bezeichnung im Personenverkehr ist die Verkehrsmittelwahl. Der Modal Split beschreibt das Mobilitätsverhalten und hängt unter anderem vom Verkehrsangebot, wirtschaftlichen und individuellen Entscheidungen ab. Der Modal Split wird teilweise durch Befragungen und/oder Verkehrszählungen ermittelt.
NATÜRLICHER TREIBHAUSEFFEKT	Treibhauseffekt ohne den kein Leben auf der Erde möglich wäre. Er findet auf Grund der Atmosphäre, die wie ein Treibhaus wirkt statt und erhöht die globale Temperatur durchschnittliche Temperatur von -18 °C auf + 15 °C.
NEOBIOTA	Tier- oder Pflanzen, Pilzarten und Mikroorganismen, die von Natur aus nicht in einem bestimmten Gebiet heimisch, sondern erst durch den Einfluss des Menschen in ein bestimmtes Gebiet gekommen sind. Sie gehören daher zu den gebietsfremden oder nichtheimischen Arten - manchmal werden sie wenig zutreffend auch als "Exoten" oder "fremdländische Arten" bezeichnet.
NEOPHYTEN	Neophyten sind nicht heimische, fremde Pflanzenarten. Siehe auch „Neobiota“.
NEOZOEN	Neozoen sind nichtheimische, fremde Tierarten. Siehe auch „Neobiota“.
ÖKOSYSTEMLEISTUNG /ÖKOSYSTEMDIENSTLEISTUNG	Bezeichnet in der verbreitetsten Definition die Nutzenstiftungen bzw. Vorteile, die Menschen von den ökologischen Systemen beziehen. Der Begriff ist zu einem Schlüsselkonzept an der Schnittstelle von natur- und sozialwissenschaftlicher Umweltforschung geworden. Beispiele für Ökosystemdienstleistungen sind das Bestäuben von Obstblüten durch Insekten, die Bereitstellung von nutzbarem Bewässerungs- und Trinkwasser durch natürliche Filtration von Niederschlag, die Reproduktion von Fischpopulationen als Nahrungsmittel sowie die Bereitstellung von frischer Luft und einer ansprechenden Umwelt für Freizeit, Erholung und ästhetische Erbauung. Der Begriff der Ökosystemdienstleistung ist abzugrenzen von dem der Ökosystemfunktion. Obwohl es terminologische Überschneidungen gibt, werden als Ökosystemfunktionen in der Regel die hinter den Ökosystemdienstleistungen stehenden ökosystemaren Prozesse, seltener auch dahinterstehende ökosystemare Strukturen und Zustände bezeichnet. Ohne Ökosystemdienstleistungen wäre menschliches Leben auf der Erde nicht möglich.

PERMAFROST	Bezeichnet Boden, Sediment oder Gestein, welches in unterschiedlicher Mächtigkeit und Tiefe unter der Erdoberfläche mindestens zwei Jahre ununterbrochen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufweist.
PHÄNOLOGIE	Befasst sich mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur. Sie wird auch als Erscheinungslehre bezeichnet. Die periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen sind meist witterungs- bzw. klimaabhängig. Es kann sich um Wachstumserscheinungen bei Pflanzen handeln, wie z.B. das oberirdische Erscheinen, Knospung, Blütenbildung oder Laubfall, oder um das Auftreten fliegender Imagines bei Insekten, Paarungszeiten und Zug bei Vögeln oder Winterschlaf bei Säugern handeln. Dabei werden äußerlich erkennbare Phasen im Jahreszyklus einer Pflanzen- oder Tierart als Phänophasen bezeichnet. Die pflanzlichen Phänophasen sind z.B. Blattentfaltung, Blühbeginn und Laubverfärbung. Erfassung und Auswertung der betreffenden phänologischen Daten obliegen in Deutschland dem Deutschen Wetterdienst und in Österreich der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMAG). In Orientierung an die phänologischen Phasen werden phänologische Jahreszeiten definiert, die sich bezüglich einer Beobachtungsstation als phänologische Uhr festhalten lassen. Bezüglich eines Raums lassen sich Karten des mittleren Eintretens phänologischer Phasen oder Jahreszeiten angeben. Langfristige Veränderungen dieser Phasen weisen auf Klimaänderungen hin. Somit sind phänologische Daten auch eine Informationsquelle der historischen Klimatologie.
PHOTOVOLTAIK (FOTOVOLTAIK)	Die direkte Umwandlung von Lichtenergie, meist aus Sonnenlicht, mittels Solarzellen in elektrische Energie.
PHYTOBENTHOS	Auf dem Gewässerboden lebenden niederen Pflanzen, die mit dem bloßen Auge kaum wahrnehmbar sind und oft nur mikroskopisch erfasst werden können. Überwiegend besteht es aus Algen, aber auch aus anderen Pflanzen. Die bedeutendste Gruppe bilden die Kieselalgen.
PHYTOPLANKTON	Pflanzliche Organismen, die im Wasser freischwebend sowohl marin als auch im Süßwasser vorkommen. Das sauerstoffproduzierende Phytoplankton steht am Beginn der Nahrungskette.
POLLINOSIS	Begriff aus der Medizin. Darunter fallen im Allgemeinen Allergien, bei denen die Allergene durch die Luft übertragen werden. Im Gegensatz zu Kontaktallergien, bei denen ein direkter Kontakt der Haut mit dem auslösenden Allergen stattfinden muss, ist diese Form für erheblich mehr Arten von allergischen Reaktionen verantwortlich. Der wohl bekannteste Vertreter ist die Pollenallergie.

PROTOZOEN	Lebewesen, die das Süßwasser, das Salzwasser und den Boden in einem großen Artenreichtum besiedeln.
RESPIRATION	Steht für äußere Atmung oder Gasaustausch. Dies sind passive und aktive Vorgänge des Austauschs von Sauerstoff und Kohlendioxid mit der Umgebung und deren Transport im Organismus.
RETENSIONSRAUM / RETENSIONSFLÄCHE	Gebiet, in dem zeitweilig ein Wasser- oder Stoffrückhalt durch natürliche Gegebenheiten oder künstliche Baumaßnahmen erfolgen kann. Retentionsräume/-flächen können neben der natürlichen Flutung künstlich und somit gesteuert geflutet werden.
SLCP	Short-lived climate pollutants - kurzlebige Klimaschadstoffe. Sie verursachen bis zu 40 % des Klimawandels. Zu ihnen zählen das troposphärische Ozon, Black Carbon und Methan.
SOLARTHERMIE	Umwandlung der Sonnenenergie in nutzbare thermische Energie. Sie zählt zu den erneuerbaren Energien.
THERMOKLINE	Übergang von Wasserschichten unterschiedlicher Temperatur.
TRANSFORMATION	Prozess der Veränderung, vom aktuellen Zustand hin zu einem angestrebten Ziel-Zustand in der nahen Zukunft. Eine Transformation repräsentiert einen fundamentalen und dauerhaften Wandel.
TRANSPIRATION	Verdunstung von Wasser über die Blätter der Pflanzen, vor allem über deren regulierbare Spaltöffnungen, aber auch über deren übrige Außenhaut, beschrieben. Auch bei Tieren spricht man von Transpiration.
TREIBHAUSGASE (THG)	Treibhausgase sind (Spuren-)Gase, die zum Treibhauseffekt, der Erde beitragen und sowohl natürlichen als auch anthropogenen Ursprungs sein können. Sie absorbieren einen Teil der vom Boden abgegebenen langwelligen (infraroten) Wärmestrahlung (thermische Strahlung), die sonst ins Weltall entweichen würde. Die dabei aufgenommene Energie emittieren sie entsprechend ihrer lokalen Temperatur überwiegend als Wärmestrahlung, deren zur Erde gerichteter Anteil atmosphärische Gegenstrahlung genannt wird. Diese erwärmt die Erdoberfläche zusätzlich zum kurz- bis langwelligen direkten Sonnenlicht. Die natürlichen Treibhausgase, insbesondere Wasserdampf, heben die durchschnittliche Temperatur an der Erdoberfläche um etwa 33 K auf +15 °C an. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt hätte die Erdoberfläche im globalen Mittel nur eine Temperatur von -18 °C, was höher organisiertes Leben auf der Erde kaum möglich machen würde.

TROPENNÄCHTE	Eine Nacht, in der die niedrigste Lufttemperatur zwischen 18 und 6 Uhr nicht unter 20 °C fällt. Der Begriff bezieht sich auf den mitteleuropäischen Raum.
UV - STRAHLUNG	Ultraviolette Strahlung. Sie ist ein Teil der elektromagnetischen Strahlung, der für den Menschen nicht sichtbar ist, jedoch für einige Tierarten wie z. B. Bienen. Die elektromagnetische Strahlung um uns herum stammt in erster Linie von der Sonne. Man unterscheidet drei Arten der UV-Strahlung: UV-A Strahlung: 315–380 nm (Nanometer) UV-B Strahlung: 280–315 nm UV-C Strahlung: 100–280 nm
VEKTOR	Der Vektor ist der Überträger. Ein Organismus, der den Erreger von Wirt zu Wirt überträgt; Beispiele für sog. Vektoren sind Gliedertiere wie Zecken, Sand-, Stechmücken und die asiatische Tigermücke - oder Stechmücken.
VERNALISATION	Auch Jarowisation bezeichnet die natürliche Anregung des Schossens und Blühens bei Pflanzen durch eine längere Kälteperiode im Winter. Zahlreiche ein- und zweijährige Pflanzenarten in Regionen mit ausgeprägten Unterschieden zwischen Winter- und Sommerbedingungen schossen und blühen erst, nachdem sie eine andauernde Periode mit niedrigen Temperaturen durchlebt haben. Das verhindert den Beginn der generativen Phase in der für die Pflanze ungünstigen Zeit vor Wintereinbruch.
WURZELEXUDAT	Ein aus organischen Verbindungen bestehendes Ausscheidungsprodukt der Wurzel. Viele dieser Produkte verlassen die Pflanze passiv auf dem Weg von Austauschvorgängen.
YEDOMA	Organisch reichhaltiger Permafrostboden aus dem Pleistozän mit einem Eisanteil von 50 –90 % des Volumens.
ZEIGERPFLANZEN	Auch Indikatorpflanzen. Das Auftreten dieser Pflanzen gibt auf Grund deren ‚Spezialisierung‘ an verschiedene Standortfaktoren Auskunft über die Beschaffenheit und eventuelle Schadstoffe im Boden.
ZOOPLANKTON	Tierische Organismen, die freischwebend im Wasser leben. Sie tragen neben dem Phytoplankton wesentlich zur Produktion von organischem Material im aquatischen Ökosystem bei.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Abfluss
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
AR4	Fourth Assessment Report of the IPCC
BayWaldG	Bayerisches Waldgesetz
BioClis	Bioklimatisches Informationssystem
BWI	Bundeswaldinventur
C	Celsius
CIPRA	Internationale Alpenschutzkommission
CH4	Methan
CO2	Kohlendioxid
DSW	Deutsche Stiftung Weltbevölkerung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EEA	European Environment Agency
EPA	Environmental Protection Agency
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FSME	Frühsommer – Meningoenzephalitis
INOLA	Innovationen für ein nachhaltiges Land- und Energiemanagement auf regionaler Ebene
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K	Kelvin
KW	Steht in den Forschungsportfolios für Klimawandel
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LKW	Lastkraftwagen
MIV	motorisierter Individualverkehr
N	Niederschlag
N2O	Distickstoffmonoxid
ÖPF	Ökologische Plattform DER LINKEN
PKW	Personenkraftwagen
PCI - Phänomen	Peripheral Component Interconnect
ppm	parts per million
RKI	Robert Koch Institut
SLCP	Short-lived climate pollutants
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
STICKO	Ständige Impfkommision
SR1.5	Sonderbericht 1,5 °C globale Erwärmung des (IPCC)
SROCC	IPCC-Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre
TAR	Third Assesement Report of the IPCC
THG	Treibhausgase
TUM	Technische Universität München
UBA	Umweltbundesamt
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
UV-Strahlung	Ultraviolette Strahlung
V	Verdunstung
WHO	World Health Organization
ZAMG	Zentralanstalt für Metrologie und Geodynamik
ZUK	Zentrum für Umwelt und Kultur

FACTSHEET – MENSCH UND SIEDLUNG IM KLIMAWANDEL

1. Der Klimawandel wirkt sich auch auf unsere Städte aus: Zu erwarten sind u. a. ein Anstieg der Hitzetage (Maximaltemperatur > 30° C) und Hitzewellen und eine Zunahme der Strahlungsintensität der UV-B Strahlung.
2. Das führt zu gesundheitlichen Folgen bei der städtischen Bevölkerung. Insbesondere Menschen mit Vorerkrankung (z. B. Asthma), Kleinkinder und ältere Menschen sind davon betroffen.
3. Hierfür müssen Hitzeaktionspläne von Städten und Gemeinden entwickelt und angewendet werden.
4. Die veränderte klimatische Situation hat außerdem Auswirkungen auf:
 - Die Dauer der Pollenflugsaison sowie die Anzahl der Pollen. Darunter leiden v. a. Asthmatiker.
 - Die Verbreitung von Insekten und das Auftreten von neuen Krankheitserregern, die u. a. schwerwiegende Infektionskrankheiten zur Folge haben können (z.B. Malaria).
5. Atemwegs- sowie Herz- und Kreislauferkrankungen werden durch die zunehmende Luftverschmutzung in den Städten verstärkt - so wirkt Luftverschmutzung auf den Menschen und als Antreiber des Klimawandels.
6. Vorbeugung und Resilienz ist möglich: durch gesunde Lebensweise, Sonnenschutz, durch an die Temperaturen angepasstes Verhalten (z.B. kein Joggen in der Mittagshitze), ausreichendes Trinken und Impfungen gegen z.B. FSME.
7. Bei der Städteplanung sollte auf ausreichend (allergikerfreundliche) Grünflächen geachtet werden und versiegelte Flächen sollten möglichst vermieden werden.
8. Es gibt bereits viele gute Beispiele in Städten, die durch nachhaltige Planung, zu einer deutlichen Verbesserung des Klimas beitragen: dazu gehören u. a. begrünte Dächer und Fassaden, eine durchdachte Anordnung der Gebäude um Frischluftschneisen/ Durchlüftung zu ermöglichen, kompakte Siedlungsstrukturen („Stadt der kurzen Wege“) zur Vermeidung von (langen) Autofahrten
9. Zur Vermeidung von Trockenphasen / Dürren müssen Möglichkeiten geschaffen werden, Wasser in den Städten zu speichern („Schwammstadt“).
10. Durch das eigene Verhalten – wie z.B. Fahrradfahren anstelle PKW benutzen, oder dem Kauf regionaler Produkte – kann jeder Einzelne aktiv zu einem besseren Klima in der Stadt beitragen

1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Klimawandel und das Handeln des Menschen sind eng miteinander verzahnt und stehen in gegenseitiger Wechselbeziehung. Bei fast allen menschlichen Aktivitäten wird Energie verbraucht. In der Industrie laufen die Maschinen, Fahrzeuge bewegen sich mit Maschinenkraft fort, unsere smarte Welt, Computer und Handys, benötigen Strom, um nur einige Dinge anzusprechen. Für die Herstellung des Stromes wird CO₂ freigesetzt und dies führt wiederum zur Erwärmung der Erde. Die zunehmende Erderwärmung zeigt ihre Auswirkungen in verschiedensten Bereichen des gesellschaftlichen Lebens bis hin in die Gesundheit des Menschen. Infektionskrankheiten nehmen als Folge des Klimawandels zu, Allergiker sind einem noch größeren Druck ausgesetzt und Krankheitsüberträger wie Zecken und tropische Stechmücken kommen vermehrt auch in den gemäßigten Klimaregionen vor.

Besonders betroffen vom Klimawandel ist der Lebensraum des Menschen - unsere Städte und Siedlungen. Hier stellen sich künftig neue Anforderungen an die kommunale und regionale Planungsebene bei der Entwicklung von neuen und bestehenden Siedlungsgebieten. Bestehende kommunale Infrastrukturen müssen an die Anforderungen des Klimawandels angepasst und optimiert werden. Neben der Planung von ausreichenden Frischluftschneisen durch Grünanlagen ist die Aufrüstung des Wasser- und Kanalsystems notwendig. Auch bieten neuere Konzepte wie die „Schwammstadt“, welches darauf abzielt, wertvolles anfallendes Regenwasser in Städten lokal aufzunehmen und zu speichern, einen positiven Beitrag um Siedlungsgebiete an den Klimawandel und dessen Anforderungen anzupassen.

Der Umgang mit der Energieversorgung von Regionen und Privathaushalten steht ebenfalls im Fokus. An dieser Stelle werden Alternativen zur fossilen Energiegewinnung aufgezeigt und Beispiele genannt, wie diese in der Projektregion umgesetzt werden. Auch die Mobilität von Gütern und Personen ist Mitverursacher der steigenden Treibhausgasemissionen. Um auch hier die Klimaziele zu erreichen, gilt es umzudenken und innovative Weg zu gehen. Verschiedene Projekte aus der Projektregion zeigen auf, wie eine künftige Mobilitätsgestaltung aussehen kann. Dies können sowohl Beratungsangebote von Kommunen zur Mobilitätsgestaltung, als auch das Umdenken des individuellen Mobilitätsbedürfnisses sein. Laut der Studie die Evolution der Mobilität (2017) spielt künftig die individuelle Verfügbarkeit von Mobilität in Form von Carsharing eine bedeutendere Rolle als der Besitz eines PKWs.

2 KLIMAWANDEL MENSCH UND SIEDLUNG

Die anthropogene Emission von Treibhausgasen (THG) hat einen erheblichen Anteil am Klimawandel, und die negativen Auswirkungen des Klimawandels werden in unseren Breiten die positiven Effekte deutlich übersteigen (IPCC, 2015; EEA, 2012). Städte nehmen zwar nur ca. 3 % der Erdoberfläche ein (McGranahan et al., 2006), aber sie verbrauchen global über 70 % der verfügbaren Energie und emittieren über 70 % des globalen energiebezogenen CO₂-Ausstoßes (Seto et al., 2014). Die Zahlen verdeutlichen das Problem, sind aber für jede Stadt zu konkretisieren. Denn sowohl die THG-Emissionsmengen der einzelnen Städte als auch die Pro-Kopf-Emissionen unterscheiden sich, da urbane THG-Emissionen durch eine Vielzahl von Faktoren wie geographische Lage, Stadtstruktur, Bevölkerungsdynamik, Einkommensniveau und Wirtschaftskraft beeinflusst werden.

Etwa ein Drittel der Endenergie wird durch Gebäude verbraucht (Bau und Betrieb mit Heizung und Kühlung). Unterschiedliche klimatische Bedingungen, Bauweisen, Baumaterialien, Lebensstiltypen und Wohnformen führen hierbei zu lokalen Unterschieden (Lucon et al., 2014).

In deutschen und österreichischen Städten ist der Straßenverkehr die Hauptquelle der Luftbelastung durch Stickoxide, Ozon, Kohlenmonoxid, Feinstaub und Ruß. Die Stadtstruktur beeinflusst die Verkehrsinfrastruktur und diese wiederum den Umfang der urbanen THG-Emissionen. So haben etwa europäische Städte wegen ihrer Kompaktheit, Nutzungsmischung und öffentlichen Verkehrsmittel oftmals einen geringeren THG-Emissionswert pro Kopf als zum Beispiel nordamerikanische Städte. Da sich aber Städte in Deutschland und Österreich auch untereinander sehr voneinander unterscheiden, muss jede Stadt ihre Hauptbelastungsquellen identifizieren, um ihren Handlungsbedarf zu erkennen und Prioritäten setzen zu können (Weiland, 2018).

Die Erläuterungen zeigen, dass die Spezies Mensch in ihrem eigenen Lebensraum ebenfalls von den Folgen des Klimawandels betroffen ist. Diesen Rückkopplungseffekt gilt es verstärkt in den Fokus zu rücken und das Bewusstsein hierzu zu schärfen. Die Folgen wirken sich v. a. auf die Gesundheit des Menschen aus.

Hitzewellen in Städten haben aufgrund der sowieso schon höheren Temperaturen besonders starke Folgen für die Umwelt und die Gesundheit, so kommt es z. B. zu Belastungen des Herz-Kreislauf-Systems, zur Ausbreitung von Allergien und Infektionskrankheiten bis hin zu vorzeitigen Todesfällen. Besonders vulnerabel sind alte und kranke Menschen und Kleinkinder. Höhere Wintertemperaturen und weniger Frost- und Eistage begünstigen das Überleben von Krankheitserregern und Vektoren/Überträger (z. B. tropische Stechmücken), die bisher in wärmeren Klimaten beheimatet waren (Weiland, 2018).

2.1 GLOBALE UND REGIONALE SITUATION – BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG UND URBANISIERUNG

2018 umfasste die gesamte Erdbevölkerung rund 7,63 Mrd. Menschen. Dies kann nur als eine Momentaufnahme betrachtet werden, da die Weltbevölkerung zurzeit um rund 230.000 Menschen pro Tag zunimmt.

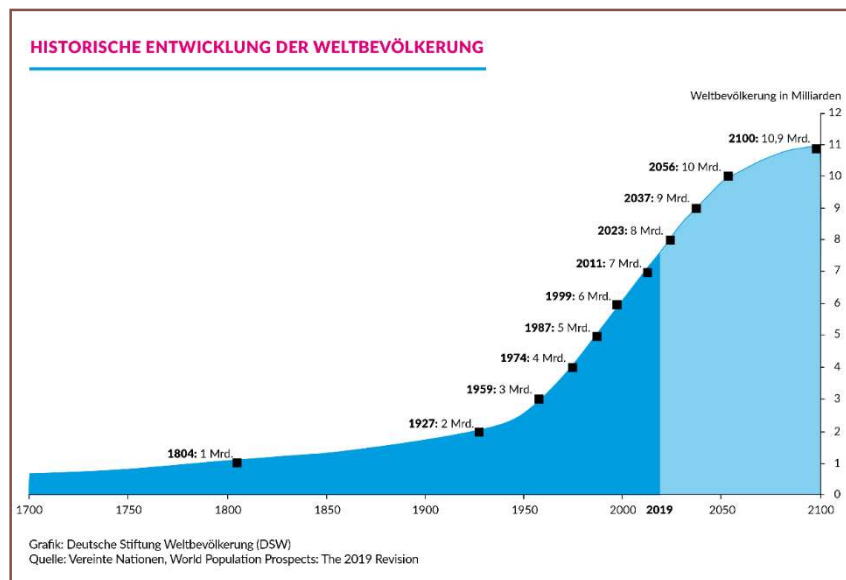


Abb. 1. Historische Entwicklung der Weltbevölkerung. (DSW, ?; United Nations, ?)

Nach der Deutschen Stiftung Weltbevölkerung (DSW, 2018) nimmt die Bevölkerung der Erde jährlich um etwa 83 Mio. zu – das ist in etwa die Bevölkerung Deutschlands. Wie Abb. 1. zeigt, wuchs die Weltbevölkerung bis zum Jahr 1800 nur langsam. Im Jahr 1800 lebten etwa 1 Mrd. Menschen auf der Erde und erst 1927 stieg die Weltbevölkerung auf 2 Mrd. Menschen an. Danach wurde die Zeit für die Zunahme der Weltbevölkerung um eine weitere Milliarde Menschen immer kürzer. In den letzten Jahrzehnten ist jedoch eine Verlangsamung der Zunahme zu beobachten. Nach Lozán et al. (2019) weisen die afrikanischen Staaten südlich der Sahara die aktuell weltweit höchsten Fertilitätsraten auf. Diese sind regional unterschiedlich ausgeprägt und liegen zwischen 3 und 6 (Lozán et al., 2019). Während eine Frau in den 1950-er Jahren im weltweiten Durchschnitt fünf Kinder bekam, waren es in den Jahren 2010-2015 nur noch 2,5 Kinder. In hochentwickelten Industrieländern wie Deutschland lag die Fertilitätsrate 2019 bei 1,56 (Statista, ?a) und in Österreich bei 1,46 (Statista, ?b). Bis zum Jahr 2100 wird die Weltbevölkerung auf 10,9 Mrd. prognostiziert (Lozán et al., 2019).

Der technische Fortschritt, das hohe Arbeitsplatz- und Bildungsangebot sowie das zunehmende kulturelle Leben in Städten und Ballungsgebieten haben eine Landflucht und eine damit einhergehende starke Zuwanderung in die Städte bewirkt. Waren es in den 1950-er Jahren noch ca. 30 % der Weltbevölkerung, die in Städten lebten, wurde 2007 bereits die 50 %-Grenze registriert. Zurückzuführen ist dies auf die zunehmende und anhaltende Land-Stadt-Wanderung und dem einhergehenden kontinuierlich steigenden Bevölkerungswachstum. Da Städte weltweit nur einen sehr kleinen Teil der Landfläche (3 %) ausmachen, steigt in den Städten folglich die Bevölkerungsdichte an. V. a. in asiatischen und südamerikanischen Ländern haben sich durch die Wanderungsbewegungen

sog. Megacities entwickelt, die mehr als 10 Mio. Einwohner verzeichnen. Darunter fallen u. a. Tokio, Neu-Delhi, Shanghai und Sao Paulo. 2018 gab es weltweit 33 solcher Megacities und laut der Vereinten Nationen steigt die Zahl im Jahr 2030 auf 43 an (Lozán et al., 2019).

In Deutschland lag der Urbanisierungsgrad im Jahr 2019 bei 77,4 % (Statista, ?c). Dies besagt, dass 77,4 % an der Gesamtbevölkerung in Städten lebten. Österreich weist einen Urbanisierungsgrad von 58,5 % auf (Statista, ?d) und erreicht damit einen neuen Höchststand, nachdem er in den Vorjahren jeweils leicht aber stetig zunahm. Von der eigentlichen Stadt zu unterscheiden sind Agglomerationen und Metropolregionen. Hierzu zählen an der Kernstadt angrenzende „städtische“ Bereich, die in ihrer Funktion in Wechselbeziehung zueinander stehen und sowohl zahlreiche wirtschaftliche als auch infrastrukturelle Verbindungen aufzeigen (Lozán et al., 2019).

2.1.1 MENSCH UND SIEDLUNG – DIE KLIMAALPS PROJEKTREGION

Die KlimaAlps Projektregion setzt sich aus einem deutschen Teil - den bayerischen Oberland, dem Land Tirol und dem Land Oberösterreich zusammen. Das bayerische Gebiet umfasst die vier Landkreise Bad Tölz – Wolfratshausen, Weilheim – Schongau, Miesbach und Garmisch – Partenkirchen. Insgesamt leben dort rund 452.940 Einwohner (Stand 30.9.2020). Die größte Stadt ist der Markt Garmisch-Partenkirchen mit 27.329 Einwohnern, gefolgt von Geretsried mit 25.465 und Weilheim mit 22.814 Einwohnern (Bayerisches Landesamt für Statistik, 2020). Das Oberland ist überwiegend ländlich geprägt.

Im Land Tirol waren 2020 rund 763.600 Einwohner gemeldet (Amt der Tiroler Landesregierung, ?). Die größeren Siedlungen von Tirol, angeführt von der Landeshauptstadt Innsbruck mit 131.961 Einwohnern, befinden sich überwiegend im Inntal (citypopulation, ?). Im Land Oberösterreich leben rund 1,5 Mio. Einwohner. Die drei größten Zentren in Oberösterreich sind Linz mit ca. 200.000 Einwohnern, Wels und Steyr (Land Oberösterreich, ?).

2.2 STADTKLIMA

In Städten kommt es auch – ohne den Klimawandel – zu höheren Luft- und Oberflächentemperaturen als im unbebauten Umland. Eine hohe Oberflächenversiegelung und dichte Bebauung führen dazu, dass Städte tagsüber sehr viel Sonnenenergie absorbieren und in den Baukörpern speichern. Abwärme, beispielsweise durch Gebäudeheizungen oder Klimaanlage, sorgen für eine zusätzliche Erwärmung und Gas- und Partikelemissionen für eine verminderte Wärmeabstrahlung. Eine sogenannte Dunstglocke entsteht. Auch verursacht die dichte Bebauung oft nur einen geringen Luftaustausch mit dem Umland, wodurch es zu einem verlangsamten Rückgang erhöhter Temperaturen kommt. Durch einen hohen Versiegelungsgrad in Städten und den häufig wenig verbreiteten Grünflächen kommt es gegenüber dem unverbauten Umland nur zu einem geringen Kühlungseffekt durch Verschattung und Verdunstung. Dadurch kann es in Städten zu Temperaturen kommen, welche bei austauscharmen Wetterlagen bis zu 10 K höher sind als im unversiegelten Umland.

Weitere Einflussgrößen, welche zu erhöhten Temperaturen in urbanen Räumen führen, sind das Verhältnis von Gebäudehöhe und Straßenbreite, Farbe der Gebäude, Art der Baumaterialien sowie generell die Einwohnerzahl. Dieser Erwärmungseffekt wird als städtische Wärmeinsel oder Urban Heat Islands bezeichnet und tritt besonders nachts auf, wenn die tagsüber gespeicherte Energie in den

Baukörpern zum größten Teil wieder abgegeben wird. In Abb. 2. ist eine schematische Darstellung des Wärmeinseleffekts aufgezeigt.

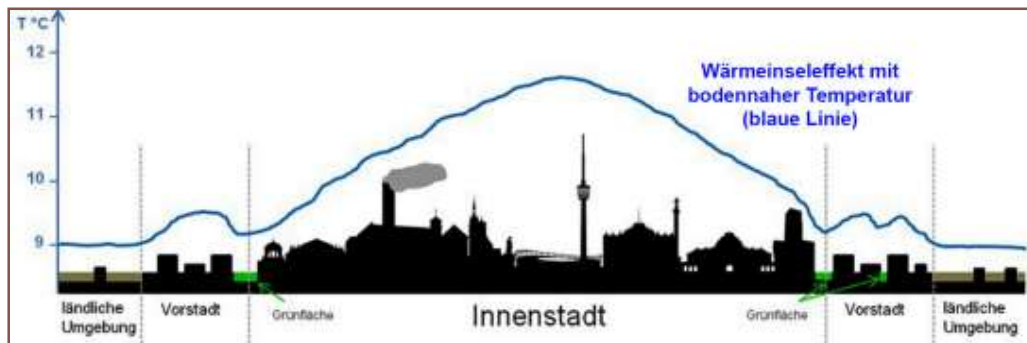


Abb. 2. Schematische Darstellung des städtischen Wärmeinseleffekts mit der bodennahen Temperatur (blaue Linie). (Lozán et al., 2019)

Aufgrund des städtischen Wärmeinseleffektes können die negativen gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels besonders in Städten auftreten (Nelles et al., 2018). Aufgrund des steigenden Urbanisierungsgrades, wie in Kap 2.1 beschrieben, ist ein nicht zu verachtender Teil der Bevölkerung von den gesundheitlichen Auswirkungen des städtischen Wärmeinseleffektes betroffen.

Da Städte bereits unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen meist wärmer als ihr Umland sind, können sie als Vorboten des globalen thermischen Klimawandels angesehen werden. Es wird davon ausgegangen, dass städtische Räume zukünftig häufiger, intensiver und länger von Überwärmung betroffen sein werden als das unbebaute Umland. Thermische Belastungen städtischer Siedlungsräume sind auch im Untergrund nachzuweisen: sowohl im Boden als auch im Grund- und Trinkwasser (Brasseur et al., 2017).

2.2.1 VERÄNDERUNG DER STÄDTISCHEN ÖKOsysteme

Der Wandel der Städte in den vergangenen Jahrzehnten hat sich drastisch in Zahl und Größe verändert. Während mittelalterliche Städte eng und ummauert waren/sind, expandieren heutige Städte flächenmäßig immer mehr in ihr Umland, z. B. für Wohnungsbau und Gewerbeflächen. Die unterschiedlichen Funktionen äußern sich in einem heute sehr aufwendigen, umfangreichen Verkehrsnetz. Die Städte unterscheiden sich jedoch stark in ihrer Bebauungs- und Besiedlungsdichte sowie im Grad der Überbauung und der Verdichtung der Böden. Es existieren in den Städten aber dennoch die unterschiedlichsten Ökosysteme. Das Bestreben, Gebäude zusätzlich zu begrünen, wächst. Eine Begrünung reduziert Temperaturextreme und erhöht den Rückhalt des Regenwassers (siehe Kap. 4.6.2).

Städte selbst sind eigene Ökosysteme, auch wenn der Stoffkreislauf offen und die Energieflüsse nicht ausgeglichen sind. Als künstliche, vom Menschen in Gang gehaltene Ökosysteme, weisen sie damit Besonderheiten auf, vor allem sind sie nicht autark. In den Städten wird mehr Energie und werden mehr Stoffe umgesetzt, als in der Stadt selbst zur Verfügung stehen. So werden Brennstoffe, Elektroenergie und Wasser sowie Nahrungsmittel für die Städte aus dem Umland bezogen.

Andererseits produziert die Stadtbevölkerung und die städtische Infrastruktur mehr Industrieerzeugnisse, als in der Stadt selbst benötigt werden, sie versorgen somit das ganze Umland

mit. Durch Überbauung und Versiegelung großer Flächen sowie durch die Produktion großer Mengen von Stoffen, die auf natürliche Weise nicht oder nur langsam abgebaut werden können, entstehen große Müllmengen; diese Abfallberge werden wiederum ins Umland „entsorgt“.

Die städtischen Grünflächen sind eigene Ökosysteme, sie unterliegen dem wärmeren Stadtklima, Flora und Fauna bestehen anteilmäßig sehr viel mehr aus Neophyten und Neozoen, denen das wärmere Stadtklima behagt. Einerseits fördern erhöhte Temperatur, CO₂-Konzentration und Stickstoffeinträge im Allgemeinen das Pflanzenwachstum, andererseits sind städtische Böden aufgrund der Versiegelung eher trocken. Wasser ist für die Vegetation nur kurzzeitig verfügbar. Auch das geringere Vorkommen von Bestäubern und Fressfeinden hat einen Effekt. Naturgemäß gibt es weniger Insekten als in grünen suburbanen Gebieten.

Die Stadt ist heutzutage in einem ständigen Umbau zur Anpassung an neue Verkehrsverhältnisse und Produktionsverfahren. Vielerorts wird die Fläche knapp und man muss in die dritte Dimension gehen. Es entstehen Hochhäuser und der Verkehr geht in den Untergrund (U-Bahn-Netz, Straßentunnels). All dies hat Auswirkungen auf das besondere Stadtklima. Die Durchlüftungsdynamik ist dabei oft sehr schwer erfassbar, sie ist jedoch ein wichtiger Aspekt, um die zu erwartenden sommerlichen Hitzewellen abzumildern. Aus dem Schema in Abb. 3 wird deutlich, dass die Stadt einen erheblichen Einfluss auf ihr weiteres Umland hat. Die Wechselwirkungen zwischen Klima, Boden, Relief, Vegetation und Fauna sind vielfältig.

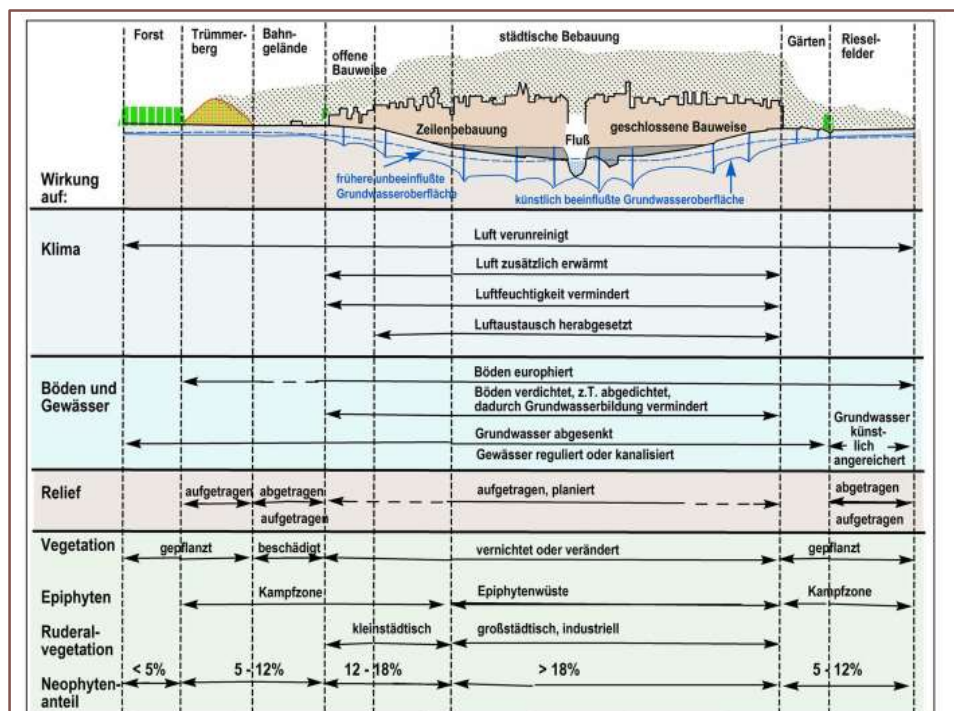


Abb. 3. Abiotische und biotische Komponenten in einem Querschnitt durch die Stadt (Lozán et al., 2019)

Bei den heutigen Megacities ist in manchen Ländern ein großer Ring an Slum-Siedlungen um die Stadt entstanden. Dieser Umstand macht das Stadt-Umland-Verhältnis noch schwieriger. Die weitere Ausdehnung mancher Millionenstädte führt zu einem immer stärkeren Abweichen des Stadtklimas vom Umland, geprägt von höheren Temperaturen, mehr Schwüle und auch oft deutlich höheren Niederschlägen, die aber aufgrund von verdichteten und versiegelten Böden nicht ausreichend schnell abfließen können (Lozán et al., 2019).

2.2.2 VERÄNDERUNG DER FLORA UND FAUNA IN DEN STÄDTEN

Höhere Temperaturen und der aufgrund der starken Bodenversiegelung herrschende Wassermangel sind die dominierenden Faktoren für die registrierten Veränderungen der Flora und Fauna in Städten. Wärmeliebende Pflanzen und Tiere gedeihen besser in Städten als im Umland, auch weil die Wärme die Vegetationsperiode der Pflanzen verlängert. Für Wien konnte belegt werden, dass die Vegetationsperiode um bis zu 10-20 Tage länger dauert als im Umland. Diese Artenverschiebung erfolgt nicht nur innerhalb des einheimischen Artenspektrums. Insbesondere fremde Arten aus wärmeren Regionen profitieren vom städtischen Klima. Zahlreiche Arten wie der nordamerikanische Parkbaum Robinie, der Riesenbärenklau aus dem Kaukasus oder der Götterbaum aus Asien und das beifußblättrige Traubenkraut, Ambrosia, breiten sich aus. Diese Arten verdrängen nicht nur die einheimischen Arten, sondern sie sind auch teilweise giftig und bedrohen die Gesundheit der Menschen (Lozán et al., 2019).

3 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE GESUNDHEIT - ALLGEMEINER ÜBERBLICK

Nach verbreiteter Auffassung ist der globale Klimawandel mit einer Vielzahl gesundheitlicher Risiken d. h. mit überwiegend negativen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden. Klimaänderungen, beziehungsweise die damit einhergehenden Änderungen der Wetterverhältnisse, können die Gesundheit des Menschen beeinflussen. In welche Richtung sich klimatische Änderungen auswirken, hängt von zahlreichen Bedingungen ab, etwa von der klimatischen Ausgangslage, von Geschwindigkeit und Ausmaß der Klimaänderung, von den Adaptationsmöglichkeiten oder Gegenmaßnahmen sowie nicht zuletzt von den betrachteten gesundheitlichen Zielvariablen. Eine positive Auswirkung wäre z. B. die Zunahme der Sonnenscheintage und ein damit verbundener vermehrter Aufenthalt im Freien. Dies wirkt sich günstig auf den Vitamin-D-Status aus. Damit wäre vermutlich eine Reduktion des Osteoporose-Risikos sowie zahlreicher damit verbunden Folgekrankheiten zu erreichen (Eis et al., 2010).

Doch viele Erkrankungen werden von Klimafaktoren wie der Temperatur beeinflusst. Multikausale Zusammenhänge des menschlichen Organismus sowie individuelle Vorerkrankungen spielen hierbei eine wichtige Rolle. Jedoch ist der konkrete Zusammenhang mit dem messbaren Klimawandel momentan meist nicht klar abgrenzbar.

Das vermehrte Auftreten von extremen Wetterereignissen, wie z.B. Hitzeperioden und Tropennächte, kann unter anderem zu Belastungen des menschlichen Organismus führen und klinisch relevante Symptome hervorrufen. Auch klimatisch bedingte langfristige Veränderungen der Umwelt scheinen Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen zu haben. Der Mensch ist zwar grundsätzlich in der Lage, mit physiologischen Anpassungsreaktionen auf die unterschiedlichen Reize zu reagieren, in Extremsituationen können diese jedoch die Gesundheit beeinträchtigen (StMUV, 2015).

Verschiedene Studien (Schönwiese, 2003; Schönwiese, 2008; Schaer et al., 2004) haben ergeben, dass die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Hitzeperiode wie im Sommer 2003 in Europa bereits heute zugenommen hat. Modellsimulationen zeigten, dass sommerliche Hitzewellen in Deutschland signifikant häufiger auftreten, länger andauern und intensiver werden. In den südlichen Regionen

Deutschlands werden diese Effekte mit hoher Wahrscheinlichkeit stärker auftreten als im gesamtdeutschen Durchschnitt.

In Bayern hat nach Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im Zeitraum von 1961 bis 2010 die Zahl der heißen Tage, darunter fallen Tage mit einer Maximaltemperatur von mindestens 30 °C, deutlich zugenommen. Dies zeigt auch folgende Graphik anhand der Messstandorte Peißenberg und München. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Anzahl der heißen Tage in einer Großstadt, in welcher der Versiegelungsgrad höher ist als in einer ländlich geprägten Kleinstadt, größer ist und im Beobachtungszeitraum zunahm.

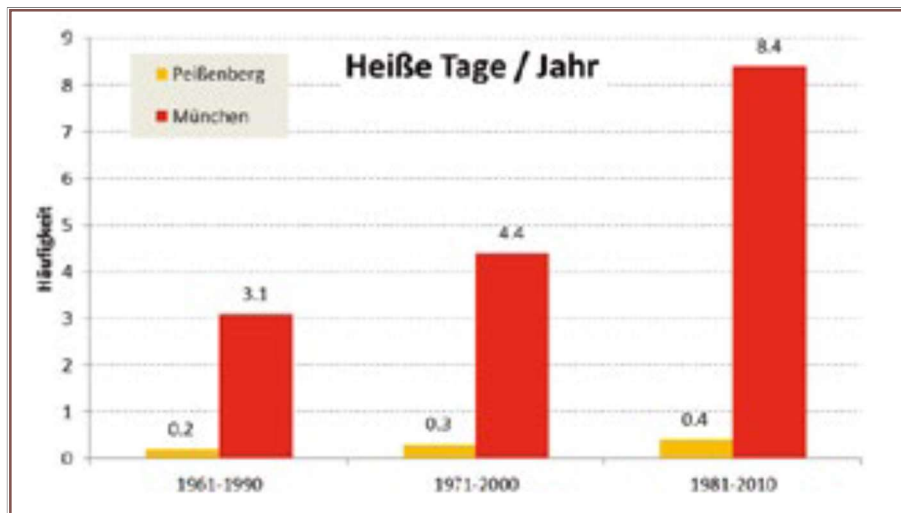


Abb. 4. Zahl der heißen Tage in München und am Hohen Peißenberg. (StMUV, 2015)

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit unterscheiden sich in direkte und indirekte Auswirkungen. Unter direkten Auswirkungen fallen thermische Einflüsse, Belastungen durch UV-Strahlungen und Luftverunreinigungen. Zu den indirekten Auswirkungen gehören Pollenflug und damit verbundenen Allergien sowie zu erwartende zunehmende Infektionskrankheiten (Brasseur et al., 2017). Die beiden folgenden Internetlinks zeigen interessante und gut verständliche Zusammenhänge von Klimawandel und Gesundheit auf.

Video-Link zum Thema Klimawandel und Gesundheit

[Klimakrise - ein medizinischer Notfall \(Claudia Traidl-Hoffmann\) - YouTube](#)

[Wie der Klimawandel unsere Gesundheit beeinflusst - YouTube](#)

3.1 GESUNDHEIT - DIREKTE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

3.1.1 THERMISCHE BELASTUNG

Die Häufigkeit der Hitzewellen in Deutschland hat in den vergangenen Jahren zugenommen. Hitzewellen rufen in der Regel v.a. bei gesundheitlich vorbelasteten Menschen eine erhöhte Krankheitsrate von Lungen- und Herz-Kreislaufkrankungen auf. Diese tragen wiederum zu einer gesteigerten Sterberate bei. Aufzeichnungen der Mortalitätsrate im Jahr 2003 zeigen diesen

Zusammenhang in Verbindung mit auftretenden Hitzewellen an vereinzelt Orten (Brasseur et al., 2017).

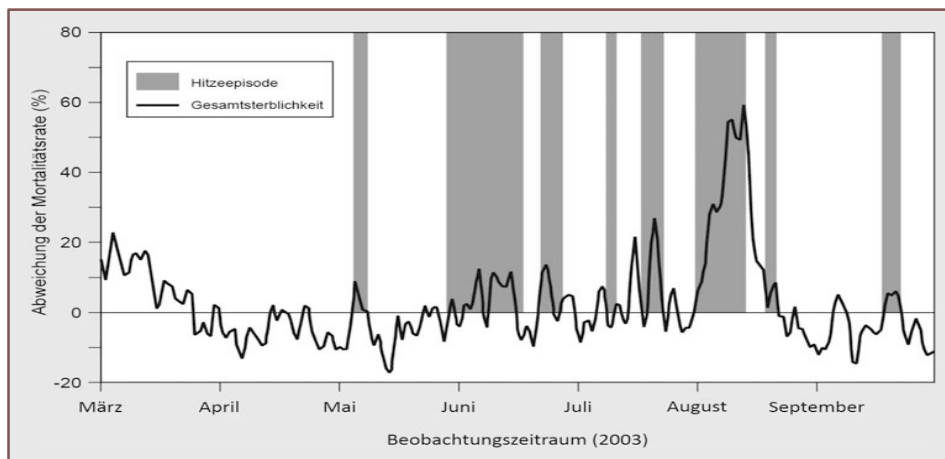


Abb. 5. Hitzewellen 2003 in Baden-Württemberg. (Brasseur et al., 2017)

Die Wirkung von Hitzewellen auf den menschlichen Organismus ist von ihrer Intensität und Dauer sowie dem Zeitpunkt des Auftretens in Bezug auf die Jahreszeit abhängig. Hitzewellen, die früh im Jahr auftreten, entfalten eine stärkere Wirkung als spätere Ereignisse.

Als vulnerable Bevölkerungsgruppen gegenüber erhöhter thermischer Belastung, wie sie v. a. in Bereichen von städtischen Wärmeinseln auftreten, gelten insbesondere ältere Menschen mit stark eingeschränkter physischer (Herz-Kreislauf-, Lungenerkrankungen, Adipositas und Diabetes) oder psychischer Gesundheit. Sie sind meist alleinstehend und können am gesellschaftlichen Leben weniger teilnehmen. Unter der älteren Bevölkerung wiederum scheinen Frauen stärker gefährdet zu sein als Männer. Die Einnahme von Medikamenten, die den Elektrolythaushalt beeinflussen, der Konsum alkoholischer Getränke sowie anstrengende körperliche Tätigkeiten während extremer Wetterbedingungen gehören zu den Risikofaktoren für hitzebedingte Erkrankungen. Schlechte Wohnverhältnisse, das Wohnen in Ballungsräumen und eine unzureichende Klimatisierung der Aufenthaltsräume erhöhen ebenfalls die Wahrscheinlichkeit für hitzebedingte negative gesundheitliche Auswirkungen. Aber auch Kleinkinder sind gefährdet.

Ergebnisse epidemiologischer Studien fließen in Rechenmodelle über Auswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Entwicklung der Sterblichkeit ein. Diese Projektionen sind mit einer Reihe von methodischen Unsicherheiten behaftet, beginnend mit der Unsicherheit bezüglich des Ausmaßes zukünftiger THG-Emissionen bis hin zu den Modellvorstellungen über die Anpassungsfähigkeit der Bevölkerung an zukünftige klimatische Veränderungen.

Trotz dieser Unsicherheiten sind erste konservative Schätzungen zum Ausmaß zukünftiger gesundheitlicher Wirkungen möglich. Für Deutschland wird geschätzt, dass für die Jahre 2071 – 2100 ein Anstieg der hitzebedingten Mortalität um jährlich 5.000 zusätzliche Todesfälle erwartet werden kann, wenn die gegenwärtige Bevölkerungszahl und Altersstruktur zugrunde gelegt und zwischen Wärmebelastung und Mortalität ein exponentieller Zusammenhang angenommen wird (Eis et al., 2010).

3.1.2 BELASTUNG DURCH UV-STRALUNG

Die solare UV-Strahlung besitzt eine starke biologische Wirksamkeit. Bei richtiger Dosierung überwiegen die positiven Auswirkungen auf den menschlichen Organismus, während übermäßiger Sonnengenuss eine Überforderung der Schutzmechanismen von Haut und Auge bedeuten kann. Das wechselnde Wetter, die Jahreszeiten sowie der sich ändernde Ozongehalt der Atmosphäre sorgen für große Unterschiede bei der auf die Erdoberfläche auftreffenden Strahlungsintensität. Beim Durchgang durch die Atmosphäre wird die Intensität der UV-Strahlung aufgrund von Streuung und Absorption geschwächt. Vor allem die Ozonschicht in der Stratosphäre in 20 km Höhe filtert in Abhängigkeit der Wellenlänge Teile der UV-Strahlung heraus (DWD, ?b).

Die Intensität der UV-B-Strahlung ist stark davon abhängig, wie mächtig die Ozonschicht ist, und ist verantwortlich für die Entstehung von Haut- und Augenerkrankungen wie Hautkrebs und Sonnenallergie, sowie die Zunahme der Häufigkeit von Sonnenbränden, Graue Star, Netzhautveränderungen und Makuladegenerationen (StMUV, 2015; Brasseur et al., 2017). 2013 war der Hautkrebs mit 234.000 Neuerkrankungen pro Jahr die häufigste Krebserkrankung in Deutschland (Katalinic, 2013). Auch ist der Graue Star eine der wesentlichen Folgeerscheinungen einer erhöhten UV-Exposition des Menschen (Shoham et al., 2008).

Eis et al. (2010) weisen jedoch darauf hin, dass die Zunahme der Hautkrebserkrankungen weniger mit der Verringerung des Gesamt ozons im Zusammenhang steht, sondern vor allem das veränderte Freizeitverhalten der Bevölkerung, das Schönheitsideal nach gebräunter Haut und der Trend zu deutlich längeren Aufenthalten im Freien und Urlaube in sonnenreichen Regionen dafür verantwortlich sind. Aufgrund der langen Entwicklungszeit von Hautkrebserkrankungen, ca. 20 – 30 Jahre, sind die jetzt auftretenden Erkrankungen eine Folge des (Freizeit-) Verhaltens der 70er und 80er Jahre. Infolge der Temperaturveränderungen, die im Zuge der klimatischen Veränderungen vermehrt auf uns zukommen werden, kann verändertes Freizeitverhalten wie mehr Outdooraktivitäten zu einer stärkeren Gefährdung durch UV-B-Strahlung führen, ohne dass notwendigerweise die spezifische Strahlung selbst erhöht sein muss.

3.1.3 BELASTUNGEN DURCH LUFTVERUNREINIGUNG

Luftverunreinigung und Klimawandel sind eng miteinander verknüpft. Die Hauptursachen von CO₂-Emissionen – der Abbau und das Verbrennen von fossilen Energieträgern – sind nicht nur am Klimawandel wesentlich beteiligt, sondern produzieren auch große Mengen an Luftschadstoffen. Durch den Anstieg der mittleren Lufttemperatur verändern sich der Transport und die Durchmischungsprozesse in der Atmosphäre. Das beeinflusst die physikalischen und chemischen Komponenten der Luftqualität.

Zudem tragen zahlreiche Luftschadstoffe auch zum Klimawandel bei: sie beeinflussen, wie viel Sonnenlicht reflektiert oder von der Atmosphäre absorbiert wird, wobei manche Schadstoffe die Erde aufheizen und andere für Abkühlung sorgen. Zu diesen sogenannten kurzlebigen klimawirksamen Luftschadstoffen (SLCPs) zählen Methan, Ruß, bodennahes Ozon und Sulfat-Aerosole. Sie haben erheblichen Einfluss auf das Klima (klimanavigator, ?). Vor allem Ruß, CO₂, Methan, Lachgas, Fluorkohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluoride und Stickstofftrifluoride gehören nach dem Kyoto-Protokoll zu den Treibhausgasen, welche als Hauptverursacher für die Erderwärmung gelten (wikipedia, ?a).

Mit der zusätzlichen Wärmebelastung und der beobachteten höheren Luftverunreinigung in Städten potenziert sich die Beeinträchtigung der Gesundheit des Menschen. Das ist eines der wichtigsten urbanen Umweltprobleme weltweit. Hohe Temperaturen treten meist bei einer austauscharmen Witterungsepisode mit Windschwäche auf. Aufgrund der oft gleichzeitig herrschenden Wolkenlosigkeit wird durch die dann hohe UV-Strahlung und die hohe Luftverunreinigung die fotochemische Ozonproduktion angeregt.

Laut Weltgesundheitsorganisation gilt die Luftverschmutzung weltweit als das größte Umweltrisiko für die Gesundheit (WHO, 2016). Besonders betroffen sind Menschen, die an Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen leiden. Asthma und Lungenentzündungen werden durch Luftverunreinigungen begünstigt. Jährlich gibt es schätzungsweise etwa 7 Mio. Todesfälle aufgrund verunreinigter Luft, von denen 4,3 Mio. der Verunreinigung der Innenraum- und 3,7 Mio. der Belastung der Außenluft zugerechnet werden. Bei der Außenluft spielen besonders die Luftschadstoffe Feinstaub und Stickstoffdioxid sowie das bodennahe Ozon eine Rolle. Vor allem das bodennahe Ozon kann bei ansteigenden Temperaturen deutlich höhere Konzentrationen erreichen (Lozán et al., 2019). Kinder sind besonders anfällig für die Folgen von Luftverschmutzung: Belastung durch Luftverschmutzung in der frühen Kindheit, wenn sich die Lunge noch entwickelt, kann zu verminderter Lungenfunktion führen, die auch im Erwachsenenalter anhält (IASS Potsdam, ?).

3.2 GESUNDHEIT - INDIREKTE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

3.2.1 POLLEN UND ALLERGIEN

Die zunehmende Erwärmung führt zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode, zur Vergrößerung der Biomasse und somit zu einer Verstärkung und Verlängerung der Allergenexposition. Durch Verlängerung der Pollensaison, mit früherem Start/späterem Ende, und stärkere Exposition steigt die Gefahr einer Sensibilisierung sowie die Belastung von Menschen, die bereits an einer entsprechenden Inhalationsallergie leiden. Laut des Robert-Koch-Institutes (RKI) leiden in Deutschland ca. 30 % der Bevölkerung an Allergien. Unter den Allergikern leiden 14,8 % an Heuschnupfen (Langen et al., 2013).

Auch bei eingeschleppten, hochallergenen Pflanzenarten wie dem Beifußblättrigen Traubenkraut (Ambrosia) wurde eine erhöhte Pollenbildung bei höheren atmosphärischen CO₂-Gehalten bereits nachgewiesen. Nach Zizka et al., 2003 wird bei hohen Lufttemperaturen und CO₂-Konzentrationen eine Zunahme allergieauslösender Proteine in Ambrosiapollen festgestellt. Ein weiteres Beispiel ist eine erhöhte Produktion eines allergieauslösenden Proteins bei Birkenpollen bei erhöhter NO_x-Konzentration (Pöschl, 2005).

Durch die Klimaerwärmung verlängert sich die Vegetationsperiode. Je nach Pflanzenart stieg die Dauer der Pollensaison innerhalb von 20 Jahren um 6 – 19 Tage, wobei die Gräser, eine der wichtigsten Gruppen für die Auslösung von Pollinosis, am geringsten betroffen sind. Wegen ihrer Häufigkeit, gerade im städtischen Raum, ihrer klinischen Relevanz und des frühen, scharf markierten Blühbeginns zwischen Ende März und Mitte April kommt der Birke eine besondere Bedeutung zu. Die Pflanzenphänologie bestimmt maßgeblich den Start der Pollensaison. Da die phänologischen Phasen im Frühjahr überwiegend von der Temperatur abhängig sind, hat der Klimawandel in den vergangenen Jahrzehnten zu deutlichen Veränderungen in Deutschland geführt (Menzel et al., 2001). Wie auch eine europaweite Studie zeigt, haben sich die Frühjahrsphasen durchschnittlich 2 Wochen verfrüht (Menzel

et al., 2006). Durch die milde Witterung im Frühjahr und die milden Temperaturen im Dezember beginnt die Pollensaison früher und ist zudem noch verlängert (Fernandez Rodriguez et al., 2012).

Zu den ca. 20.000 bekannten Allergenen gehören vor allem Pollen von Birke, Erlen und Haselnuss. Die zunehmend steigende Temperaturen und eine erhöhte CO₂-Konzentration in der Atmosphäre können sowohl das Pflanzenwachstum als auch die Länge der Leidenszeit für Allergiker und Asthmatiker verstärken.

Unter den tierischen Allergenproduzenten erlangte in der Klimadebatte der Eichenprozessionsspinner einige Bedeutung. Es handelt sich um eine in Süd- und Mitteleuropa weit verbreitete Art, die langsam nach Norden vordringt. Bei Kontakt des Menschen mit den Spiegelhaaren der Raupen können toxisch-irritative und teils auch allergische Reaktionen ausgelöst werden (Eis et al., 2010).

3.2.2 VEKTORÜBERTRAGENE INFEKTIONSKRANKHEITEN

Die Etablierung eines kompletten Infektionszyklus von vektorvermittelten Infektionskrankheiten mit Übertragung auf den Menschen setzt die Anwesenheit von Erreger, Wirt, Vektor und Mensch am gleichen Ort und zur gleichen Zeit voraus. Beispiele für sog. Vektoren sind Gliedertiere wie Zecken, Sand-, Stechmücken und die asiatische Tigermücke - oder Stechmücken. Krankheitsübertragende Nagetiere und Vögel hingegen werden als Reservoiertiere bezeichnet. Krankheitserreger sind in diesem Fall jeweils Bakterien (z. B. für Lyme-Borreliose), Viren (z. B. für Denguefieber), Protozoen oder andere Parasiten.

Welche Rolle die klimatischen Veränderungen bei der Ausbreitung der vektorvermittelten Infektionskrankheiten spielen bzw. spielen werden, ist nicht eindeutig zu beantworten. Da die meisten Vektoren ektotherme Tiere sind, stellen die für Deutschland prognostizierten Temperaturerhöhungen prinzipiell eine Verbesserung der Lebensbedingungen dar, mit der Möglichkeit einer Ausdehnung des Verbreitungsgebietes nach Norden bzw. einer Ausweitung der Aktivitätsphase im Jahresablauf. Allerdings sind auch Niederschlagsmenge, Luftfeuchtigkeit, Nahrungsangebot und Biotopstruktur von Bedeutung. Die Faktoren, die für das Vorkommen und die Dichte der verschiedenen Vektoren verantwortlich sind, können als komplex bezeichnet werden und entziehen sich weitgehend einer konkreten Vorhersage.

Der zunehmende internationale Tourismus und der weltweite Warenhandel tragen ebenfalls zur Verbreitung neuer Vektoren und Krankheitserreger in Europa bei. Obwohl wahrscheinlich die globale Mobilität von Menschen und Gütern die Einschleppung verursacht hat, können sich diese sowie andere Mückenarten erst durch die veränderten klimatischen Bedingungen in Europa festsetzen und vermehren (Grunert, 2015). Folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die zu erwartenden Infektionskrankheiten und deren Risiko.

Tab. 14.1 Übersicht über die wesentlichen klimasensiblen Infektionskrankheiten, ihre Erreger, den Übertragungsweg (ggf. Vektor) und eine Einschätzung der Zunahme des Risikos je nach Zeitrahmen und Ausmaß der globalen Erwärmung (+2 °C bis +4 °C). Die qualitative Einschätzung orientiert sich an der im Text zitierten Literatur

Krankheit	Erreger	Übertragung (ggf. Vektor)	Derzeitige Gefährdung	Bis 2050	Bis 2100 +2 °C-Welt	Bis 2100 +4 °C-Welt
Magen-Darm-Erkrankungen (ggf. Wundinfektionen und Blutvergiftung bei Vibrionen)	Salmonellen, <i>Campylobacter</i> und andere	Nahrung	++	++	++	++
	<i>Giardia lamblia</i>	Süßwasser	+	+	+	++
	<i>Cryptosporidium</i>		+	+	+	++
	<i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i>		+	++	++	+++
	Vibrionen (z. B. <i>V. cholerae</i>)	Süß- und Meerwasser	+	+	+	++
Hautreizungen, Magen-Darm-Beschwerden, Leberschäden, neuronale Schäden	Toxin produzierende Cyanobakterien („Blaualgen“), Toxin-Beispiele: Microcystine, Anatoxin	Meerwasser, Verzehr von Meeresfrüchten, selten Trinkwasser	0	+	+	++
Lyme-Borreliose	<i>Borrelia burgdorferi</i>	Zecken (<i>Ixodes ricinus</i>)	+	++	++	+++
FSME*	FSME-Virus		+	+	++	+++
Leptospirose (Feldfieber)	Spirochäten	Nager (ggf. im Zuge von Überschwemmung**)	+	+	+	++
HFRS***	Hantavirus (Art: Puumalavirus)	Nager	+	+	++	++
Tularämie (Hasenpest)	<i>Francisella tularensis</i>	Nager, Zecken, Mücken	+	+	+	++
Malaria tropica	<i>Plasmodium falciparum</i>	Anopheles-Mücken	0	0	+	++
Malaria tertiana	<i>Plasmodium vivax</i> , <i>Plasmodium ovale</i>	Anopheles-Mücken	0	0	+	++
Leishmaniose der Haut	<i>Leishmania infantum</i>	Sandmücken	0	+	+	+++
Denguefieber	Denguevirus	Aedes-Mücken	0	+	+	+++
Gelbfieber	Gelbfiebertivirus	Aedes-Mücken	0	+	+	++
Chikungunyafieber	Chikungunyavirus	Aedes-Mücken	0	+	+	++
West-Nil-Fieber (WNF)	WNF-Virus	Culex-Mücken	0	+	+	++

*FSME = Frühsommer-Meningoenzephalitis, **Süßwasserüberschwemmungen, ***HFRS: hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom
0 = praktisch keine Gefährdung, + = Krankheit kommt vereinzelt vor, ++ = Krankheit häufiger, gut beherrschbar, +++ = Krankheit häufiger, Herausforderung für Anpassung

Abb. 6. Zu erwartende Infektionskrankheiten und deren Risiko (Brasseur et al., 2017)

3.2.2.1 LYME-BORRELIOSE UND FSME

Die Lyme-Borreliose und Frühsommer Meningoenzephalitis (FSME), die beide durch Zecken übertragen werden, sind in Deutschland und Österreich weitverbreitete vektorübertragene Infektionskrankheiten (Robert Koch-Institut, 2013).

Die Frage nach einer Veränderung der Zeckendichte durch den Klimawandel ist wegen der komplexen Ökologie und Epidemiologie der Lyme-Borreliose nicht leicht zu beantworten. Mischwälder bieten den Zecken günstigere Bedingungen als Nadelwälder. Milde Winter begünstigen eine höhere Zeckendichte und -aktivität bereits im Frühjahr. Andererseits führen heiße trockene Sommer zu einer Reduktion der Zeckenpopulationen. Eine wichtige Rolle spielen außerhäusige Freizeitaktivitäten – die Benutzung eines Gartens in Waldnähe wurde als Risikofaktor erkannt. Aufgrund der für Deutschland nur lückenhaften Daten ist es derzeit nicht möglich, zuverlässige Prognosen zur Auswirkung klimatischer Veränderungen abzugeben.

Die FSME-Erkrankung ist seit 2001 in Deutschland meldepflichtig. Das gesamte Projektgebiet von KlimaAlps ist mittlerweile als FSME-Risikogebiet deklariert (Robert Koch-Institut, ?; Österreichischer Verband der Impfstoffhersteller, ?).

3.2.2.2 HANTAVIRUS

Die Übertragung von Hantaviren auf den Menschen wird wesentlich beeinflusst von der Populationsgröße und Durchseuchung der Reservoirtiere (bestimmte Maus- und Wühlmausarten), die natürlicherweise mehrjährigen, zyklischen Schwankungen unterliegen. Im Zuge der prognostizierten

klimatischen Veränderungen könnte es zu günstigeren Lebensbedingungen der Reservoirorganismen kommen, wie beispielsweise ein verbessertes Nahrungsangebot und höhere Überlebenschancen infolge milderer Winter. Daneben spielen jedoch auch andere ökologische Faktoren eine Rolle. Die jährlich an das Robert Koch-Institut übermittelten Erkrankungszahlen variieren sehr stark (für die Jahre 2004 bis 2009 zwischen 72 und 1.688) (Eis et al., 2010). Für Bayern wurden im Jahr 2018 31 Fälle der Viruserkrankung gemeldet. 2019 waren es laut Robert Koch-Institut (?b) 293 Fälle.

3.2.2.3 DENGUEFIEBER, GELBFIEBER UND NILVIRUS

Die asiatische Tigermücke ist durch den internationalen Warenverkehr aus dem asiatischen Raum nach Europa eingeschleppt worden und wandert nordwärts über die Alpen nach Österreich und Deutschland. Bei der asiatischen Tigermücke handelt es sich im gesamten Verbreitungsraum um einen wichtigen Überträger von human- und tierpathogenen Erregern, der diverse Viruserkrankungen mit sich bringt. Zu nennen sind hier Krankheiten wie das Dengue-, Chikungunya- als auch Gelbfieber und das West-Nil-Fieber. In Deutschland wurden Eier von der asiatischen Tigermücke erstmals im Jahr 2007 entdeckt. Sie wird seit 2011 jährlich mit steigender Häufigkeit sowohl als adulte Stechmücke als auch im Ei- und Larvenstadium nachgewiesen.

Darüber hinaus wurde diese Art in Europa als Überträger der Hundeherz- und -hautwürmer nachgewiesen. Aufgrund ihres hohen Urbanisierungsgrades, ihrer Tendenz zu mehreren kurz aufeinander folgenden Blutmahlzeiten an mehr als nur einem Individuum und ihrer Eigenschaft, als Brückenvektor für den Erregertransfer zwischen verschiedenen Wirbeltierarten zu dienen, wird das Übertragungspotenzial deutlich erhöht. In Teilen Südeuropas und der USA wurden durch diese Art bereits einzelne Krankheitsfälle und Epidemien von Dengue- und Chikungunya-Fieber ausgelöst (Umweltbundesamt, 2015).

Da sie vor allem mit dem Waren- und Reiseverkehr verbreitet wird, konzentriert man sich bei der Suche nach der asiatischen Tigermücke auf Fernreiserouten. An Orten wie Raststätten für PKW und LKW, Gebrauchtreifenhandel und Häfen werden künstliche Eiablagebehälter und speziell für den Fang erwachsener Stechmücken entwickelte Fallen eingesetzt. Fallenstandorte finden sich in verschiedenen Teilen Deutschlands, nachgewiesen wurde die Art allerdings bisher nur in Baden-Württemberg und in Bayern an aus dem Süden kommenden Reiserouten. In Bayern wurde 2013 erstmals auch in einem Wohngebiet eine sich fortpflanzende Population entdeckt. Hinweise auf eine erfolgreiche Überwinterung der asiatischen Tigermücke in Deutschland gibt es derzeit nicht. Da die Art im Herbst allerdings kälteresistente Wintereier produziert, ist ein Überdauern der kalten Jahreszeit prinzipiell möglich. Dieses Risiko wächst mit der Populationsgröße und ist damit zum Beispiel nach feuchtwarmen Sommern oder an Standorten mit günstigem Mikroklima, der regelmäßigen Verfügbarkeit von Blutwirten und dauerhaften Eiablagemöglichkeiten besonders hoch (Umweltbundesamt, 2015).

Die Situation in Bayern ist laut dem Lima-Report 2015 wie folgt: In Bayern vorkommende Krankheitsüberträger sind unter anderem Stechmücken, Zecken, Flöhe und Wanzen. Über diese kann die Übertragung von verschiedenen Krankheitserregern wie Viren und anderen Mikroorganismen, z. B. Borrelien und Leishmanien, von Mensch zu Mensch oder vom Tier zum Menschen erfolgen. Dieses komplexe System aus Krankheitserregern, tierischen Überträgern und Wirten kann auf vielfältige Weise durch Klimaänderungen beeinflusst werden. Auch nichteinheimische Arten können sich daher durch höhere Temperaturen verstärkt ausbreiten oder neu zuwandern, so dass der Klimawandel eine Ausweitung betroffener Gebiete in bisher nicht betroffene Regionen mit sich bringen kann (StMUV, 2015).

3.2.3 LEBENSMITTELBEDINGTE INFEKTIONSKRANKHEITEN

Neben den vektorvermittelten Infektionskrankheiten können durch den Klimawandel auch Infektionskrankheiten u. a. durch Nahrungsmittel oder Wasser übertragen werden. Dies betrifft v. a. den Magen-Darmbereich. Bakterielle Erreger wie Salmonellen und Campylobacter werden meistens mit kontaminierter Nahrung aufgenommen (Geflügel, Rohmilch, Speiseeis). Beide Erkrankungen weisen einen ausgeprägten saisonalen Trend auf, mit deutlich erhöhter Inzidenz in den Sommermonaten. Dies gilt ebenfalls – wenn auch weniger stark ausgeprägt – für Infektionen mit krankmachenden Darmbakterien (EHEC) und anderen Bakterien. Wie Salmonellen vermehren sie sich bei hohen Temperaturen in Lebensmitteln und Futtermitteln wesentlich rascher. Schätzungen zufolge kann ein Temperaturanstieg um 1 °C zu 4 – 5 % mehr bakteriellen Enteritiden führen. Des Weiteren haben hohe Sommertemperaturen oder ausgeprägte Wärmeperioden in der Regel auch Veränderungen im Freizeitverhalten und bei der Ernährung zur Folge, die eine Infektion begünstigen können, wie beispielsweise häufigerer Verzehr von Risikoprodukten beispielsweise Grillfleisch, Speiseeis, Frischeiprodukte (Eis et al., 2010).

3.2.4 WASSERBÜRTIGE INFEKTIONSKRANKHEITEN

Krankheitserreger können auch durch Trinkwasser, Badegewässer oder bei Überschwemmungen auf den Menschen übertragen werden. Auch die bei steigenden Wassertemperaturen in Seen und Fließgewässern oft sprunghafte Vermehrung von Cyanobakterien (Blualgen), birgt Gesundheitsrisiken (siehe Forschungsportfolie Flüsse und Seen). Diese haben die Fähigkeit Toxine zu bilden und haben eine Gefahr für die menschliche Gesundheit, da diese zu Hautreizungen führen können. Die Häufigkeit der Blualgen-Blüten wird im Zusammenhang mit der globalen Temperaturerhöhung gesehen (Brasseur et al., 2017; Eis et al., 2010).

3.3 ANPASSUNG DES MENSCHEN AN DEN KLIMAWANDEL

Der Mensch ist den Auswirkungen des Klimawandels nicht schutzlos ausgesetzt, so dass es in einigen Bereichen die Möglichkeit gibt sich zu schützen. Vor zu hoher UV-Belastung kann man die Haut mit entsprechenden Sonnenschutzcremes schützen. Auch Sonnenbrillen mit einem UV-Filter bieten Schutz für die Augen. Bereits bietet heute schon die FSME-Impfung, welche von der ständigen Impfkommission (STICKO) empfohlen wird, Schutz vor der FSME-Erkrankung.

Die Wissenschaft versucht mit konkreten Projekten das individuelle und tagesaktuelle Gesundheitsrisiko eines Menschen darzustellen. Um den Einfluss von atmosphärischen Klima- und Umweltparametern auf die Gesundheit des bayerischen Bürgers beurteilen und entsprechend gezielt Anpassungsmaßnahmen planen zu können, ist es erforderlich ihre Wirkung zu quantifizieren. Hier setzt das Vorhaben von BioClis an (UFS, 2019). Weitere Anpassungsstrategien im Bereich Klima- und Gesundheitsschutz sind durchaus möglich.

Um das Allergierisiko für Pollenallergiker transparenter zu machen, hat die Medizinische Universität Wien eine Polleninformationsdienst entwickelt. Der Nutzer kann durch Angabe seiner Postleitzahl (für Deutschland und Österreich) sein Allergierisiko anzeigen lassen. Das Allergierisiko kombiniert die

BioClis – Bioklimatisches Informationssystem

"Um den Einfluss von atmosphärischen Klima- und Umweltparametern auf die Gesundheit des bayerischen Bürgers beurteilen und entsprechend gezielt Anpassungsmaßnahmen planen zu können, ist es erforderlich ihre Wirkung zu quantifizieren. Hier setzt das Vorhaben von BioClis an" (UFS, 2019).

[BioClis: Bioklimatisches Informationssystem \(bayern.de\)](#) Stand 17.03.2021

Belastung durch Pollenflug mit Wetterdaten, um das generelle Risiko für den aktuellen Tag darzustellen. Die stündliche Vorhersage gibt das Allergierisiko zur jeweiligen Tageszeit an und stellt damit die Entwicklung des Allergierisikos im Tagesverlauf dar.

Abzurufen sind Informationsdienste unter folgenden Links:

Polleninfo.at der Medizinischen Universität Wien

[Startseite: Pollenwarndienst](#) Stand 10.02.2021

Pollenfluggefahrindex des DWD

[Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Leistungen - Pollenflug-Gefahrenindex \(dwd.de\)](#) Stand 10.02.2021

Elektronisches Polleninformationsnetzwerk (ePIN)

[Gesundheit: Elektronisches Polleninformationsnetzwerk Bayern \(ePIN\)](#) Stand 17.03.2021

Nach Russo et al. (2015) traten sechs der elf stärksten Hitzewellen im Zeitraum von 1950- 2015 nach 2000 auf. Um die gesundheitlichen Folgen einer Hitzewelle zu reduzieren sind Anpassungsmaßnahmen notwendig. Mit dem Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienst, dass frühzeitig auf eine Gefahrensituation aufmerksam macht, wurde eine Anpassungsmaßnahme im Jahr 2005 umgesetzt. Die heißesten (2015 und 2019) und längsten (2018) Hitzewellen seit 2005 traten dabei in den letzten Jahren auf. Mit dem fortschreitenden Klimawandel ist eine weitere Zunahme von Hitzewellen sehr wahrscheinlich (Muthers et al., 2017).

Verfolgen Klima- und Gesundheitspolitik die gleichen Ziele, ergeben sich Synergien und ein Health Benefit ergibt sich. Einige Beispiele zeigt die folgende Tabelle (Brasseur et al., 2017).

Anpassungsstrategien Klima- und Gesundheitsschutz	
Maßnahmen	Gesundheitlicher Effekt
Radfahren und weitere aktive Mobilitätsformen	Reduktion des Herz-Kreislauftrisikos
Verminderte Treibhausgasemission durch Reduktion des Kfz-Verkehrs und Förderung alternativer Mobilitätsformen	Verminderung der gesundheitlichen Risiken von Luftverschmutzung
Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Dämmung und Isolierung	Verminderung der Sterbefälle durch Hitze
Reduktion bzw. Verzicht auf tierische Nahrungsmittel --> Senkung der landwirtschaftlichen Treibhausgase	Senkung des Herz-Kreislauftrisikos
Städtebauliche Maßnahmen: Ausbau der städtischen Grünflächen bewirken eine CO ₂ -Reduktion in der Luft und sorgen für kühlere Luft und Schatten.	Reduktion von hitzebedingten Gesundheitsschäden
Erstellen von Hitzeaktionsplänen: Kommunikation, Information zu Verhaltensweisen bei Hitzeperioden	Reduktion von hitzebedingten Gesundheitsschäden
Tragen von leichter, atmungsaktiver Kleidung im Sommer	Schutz vor Austrocknung und UV-Strahlung

Tab 1. Anpassungsstrategien Klima- und Gesundheitsschutz nach Brasseur et al., 2017

4 URBANE SIEDLUNGEN UND DER KLIMAWANDEL

Die Folgen von wetterbedingten Extremereignissen wie Überschwemmungen, Murenabgänge und anhaltende Hitzeperioden sind keine Fiktion, sondern Realität. Damit Städte und Gemeinden zukünftig vor diesen gewappnet sind gilt es, dass Entscheidungsträger auf allen Ebenen zusammenarbeiten und adäquate Maßnahmen und Lösungen gefunden werden. Hierfür braucht es Klimaschutzmanager in der Region, Klimaschutzkonzepte und -aktionspläne auf Landkreisebene. Eine Zusammenarbeit mit Experten aus verschiedenen Bereichen wie Naturgefahren und Wasserwirtschaft ist zu forcieren. Ebenso ist es notwendig, die kommunale Infrastruktur wie, die Kanalisation, an die Folgen von Starkregenereignisse anzupassen. Ansätze hierfür liefert das Konzept der „Schwammstädte“, welches eine wassersensible Siedlungsentwicklung forciert.

4.1 KOMPAKTE SIEDLUNGSENTWICKLUNG „STADT DER KURZEN WEGE“

Energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen beginnt nicht erst am Gebäude. Energetische Strategien in der kommunalen Planung haben vor dem Hintergrund des Klimawandels große Bedeutung. Lage und Zuordnung von neuen Stadtquartieren zu bestehenden Siedlungsstrukturen und die Schaffung von Angebots- und Nutzungsvielfalt vor Ort bestimmen Ver- und Entsorgungsnetze und reduzieren Verkehrswegelängen. Schlagwort ist die „Stadt der kurzen Wege“.

Ziel der "Stadt der kurzen Wege" ist es, kompakte Siedlungseinheiten und Freiflächen zu planen und somit eine nachhaltige Siedlungs- und Verkehrsentwicklung umsetzen zu können. Durch kurze Wege kann Verkehr verlagert, vermieden und letztendlich eine PKW-Reduktion erreicht werden. Die Siedlungstätigkeit konzentriert sich auf Innenstädte und Ortszentren. Eine bedarfsgerechte Neuausweisung von Bauflächen mit kompakten Siedlungseinheiten verfolgt bei „Stadt der kurzen Wege“ eine Funktionsmischung in den Quartieren, die Versorgung-, Dienstleistungseinrichtungen, Behörden, Betreuungsangebote und Aufenthaltsqualität vorhalten, so dass „kurze Wege“ möglich sind, um den Verkehr zu minimieren. Diese Konzepte reduzieren die Bodenversiegelung in der Fläche und der CO₂-Ausstoß durch Verkehrsvermeidung kann verringert werden. Eine flächensparende Bauweise bewahrt Freiflächen, die zur Energieeffizienz der Siedlung beitragen. Auf versiegelten Flächen steigt die mittlere Lufttemperatur im Vergleich zur unbebauten Umgebung deutlich an. Durch die Beschränkung der Bodenversiegelung und innerörtliche Freiflächen werden die ökologischen Ausgleichsfunktionen erhalten, Wärmeinseln vermieden und das örtliche Kleinklima verbessert (StMUV, 2015).

Hauptproblem bei der Umsetzung liegt darin, dass Darstellungen und Festsetzungen in Bauleitplänen, die insbesondere dem Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ und den Energieeinsparzielen versuchen zu entsprechen, kaum in baulichen Beständen umgesetzt werden kann. Diese genießen Bestandsschutz und sind nur sehr sukzessive strukturellen Änderungen in Richtung Nutzungsmischung und größerer Dichte zugänglich. Allein jedoch mit den Darstellungen und Festsetzungen für Neubauflächen, die kaum mehr als 1 % des baulichen Bestandes pro Jahr ausmachen, lässt sich die notwendige Transformation zu mehr Klimaschutz in den Städten kaum bewerkstelligen. Die baulichen Bestände aber lassen sich daher nur mit erheblichem Einsatz von Fördermitteln transformieren (Lojewski von, 2019).

4.2 FLÄCHENVERSIEGELUNG

Unter Flächenversiegelung versteht man die Verbauung von freien Flächen mit einer wasserundurchlässigen Schicht, wie dies etwa beim Bau von Gebäuden, Straßen oder Parkplätzen der Fall ist. Von einer „unterirdischen Versiegelung“ spricht man im Bereich von Tunnelbauten oder tiefen Kellern.

Bedingt durch den steigenden Urbanisierungsgrad, wie in Kap 2.1 angesprochen, zeigt sich eine zunehmende Tendenz der fortschreitenden Flächenversiegelung in Deutschland und Österreich. Mit dem zunehmenden Bevölkerungsdruck v. a. in den Ballungsräumen werden immer mehr freie Flächen in Siedlungs-, Verkehrs-, Gewerbe-, Betriebs-, als auch Erholungsflächen umgewandelt. Damit einhergehend verliert der Boden wichtige ökologische Funktionen wie Wasserdurchlässigkeit, Bodenfruchtbarkeit, Kühlfunktionen und CO₂-Speicherfähigkeit. Gase können nicht mehr ausgetauscht werden und Regenwasser kann nur unter erschwerten Bedingungen versickern (Umweltbundesamt, ?a). So kann deutlich weniger Regenwasser versickern und fließt stattdessen an der Oberfläche ab. Die Konsequenz: eine verringerte Grundwasserneubildung und erhöhter Abfluss an der Oberfläche.

Die Flächenversiegelung wird in Deutschland und Österreich mit Hilfe von Luftbilddaufnahmen ermittelt und zur weiteren Absicherung der Daten werden topographische Karten, Katasterdaten, Bebauungspläne oder andere geographische Informationssysteme herangezogen und abgeglichen. Hierbei sei anzumerken, dass es durchaus problematisch ist Vergleiche zu ziehen, da die erfassten Daten den tatsächlichen Daten hinterherhinkt, so dass österreichische Bundesamt (Umweltbundesamt, ?a; Umweltbundesamt Österreich, ?b).

4.2.1 FLÄCHENVERSIEGELUNG IN DEUTSCHLAND

Für Deutschland weist die amtliche Flächenstatistik zum Ende des Jahres 2018 51.315 km² Siedlungs- und Verkehrsflächen aus. Davon waren laut umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder etwa 45,1 % versiegelt. Bezogen auf die Gesamtfläche beträgt der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche 14,4 % und der Anteil der versiegelten Fläche 6,5 % (siehe Abb. 4).

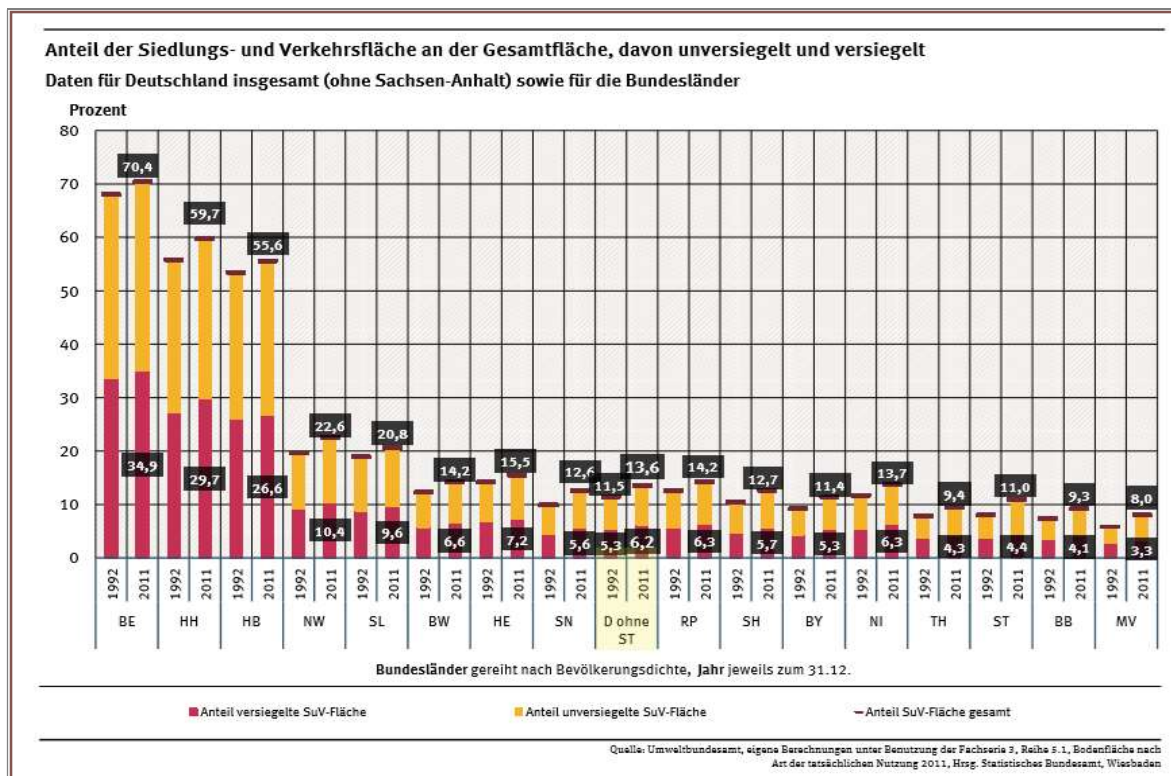


Abb. 4. Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche, davon unversiegelt und versiegelt. (Umweltbundesamt, ?a)

Zum Ende des Jahres 1992 lag der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche noch bei 11,5 % (38.669 km²) und der Anteil der versiegelten Fläche bei 5,3 % (17.839 km²).

Somit hat in den 26 Jahren von 1992 bis 2018 die Bodenversiegelung um insgesamt 4.622 km² zugenommen. Das sind im Durchschnitt 178 km² pro Jahr. Während das Tempo in den Jahren bis etwa 2015 aufgrund baukonjunktureller Effekte etwas nachgelassen hat, ist aufgrund des steigenden Bedarfs an neuem Wohnraum zuletzt wieder ein leichter Zuwachs zu erkennen. Dies zeigt sich u.a. auch an der grundlegenden Entwicklung des Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche. Dennoch hat die jährliche Zunahme der versiegelten Siedlungs- und Verkehrsfläche im Vergleich zur Mitte der 1990er Jahre erheblich abgenommen.

Im 4-Jahreszeitraum von 1993 bis 1996 wuchs die versiegelte Fläche um 185,8 km² pro Jahr. Im Bauboom von 1997 bis 2000 steigerte sich das Wachstum der versiegelten Fläche sogar auf 190,8 km² pro Jahr. Im Jahr 2018 lag der Zuwachs der versiegelten Fläche dagegen bei 65 km² pro Jahr, wobei aufgrund fehlender Daten der Zuwachs in Thüringen pauschal als Null angenommen wurde, was es bei der Interpretation zu berücksichtigen gilt. Die Zunahme versiegelter Flächen ist vor allem auf das stetige Wachstum der Verkehrsflächen zurückzuführen, denn mit 50 bis 70 % weisen Verkehrsflächen einen relativ hohen Anteil versiegelter Fläche auf (Umweltbundesamt, ?a).

4.2.2 FLÄCHENVERSIEGELUNG IN ÖSTERREICH

Die Abb. 5 zeigt den jährlichen Zuwachs des Bodenverbrauchs in Österreich. Es wird unterschieden in nicht versiegelten Bodenverbrauch und versiegelten Bodenverbrauch. Die Flächenversiegelung schreitet jährlich fort.

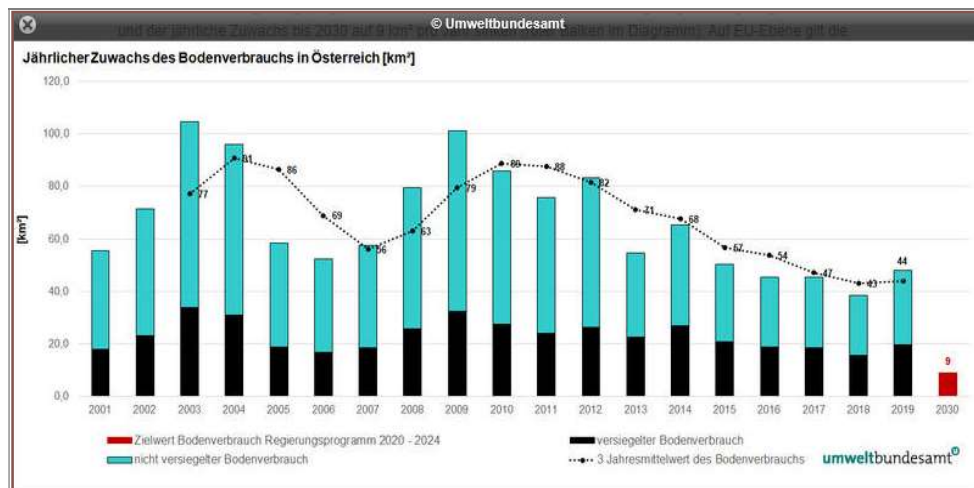


Abb. 5. Jährlicher Zuwachs des Bodenverbrauchs in Österreich in km² (Umweltbundesamt Österreich, 2020)

In Österreich wurden bis zum Jahr 2019 insgesamt 5.729 km² Boden / Fläche in Anspruch genommen. Das entspricht 7 % der Landesfläche und 18 % des Dauersiedlungsraumes. Österreichs produktive Böden verringern sich jährlich um den wachsenden Bodenverbrauch. Dieser jährliche Verlust schwankte im Zeitraum 2001 bis 2019 zwischen 38 km² und 104 km² pro Jahr. Ab dem Jahr 2009 ist eine Trendwende erkennbar und der jährliche Bodenverbrauch geht zurück.

Flächen die für Siedlung, Verkehr, Gewerbe, Bergbau etc. genutzt werden, sind teilweise versiegelt. Der versiegelte Anteil liegt zwischen 32 % und 41 % des jährlichen Bodenverbrauchs (schwarzer Balkenteil im Diagramm). Gemäß Regierungsprogramm 2020 - 2024 soll der Bodenverbrauch so gering wie möglich gehalten werden und der jährliche Zuwachs bis 2030 auf einen Zielwert von 9 km² pro Jahr sinken (Umweltbundesamt Österreich, ?).

4.2.3 ÖKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN VON FLÄCHENVERSIEGELUNG

Warum ist Bodenverbrauch ein Problem? Der fortschreitende Bodenverbrauch, der zumeist landwirtschaftlich genutzte Böden betrifft, hat sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich negative Folgen. Wirtschaftliche Konsequenzen deshalb, weil damit u. a. die Lebensmittelversorgungssicherheit Jahr zu Jahr abnimmt und die Abhängigkeit von Lebensmittelimporten steigt. Auch die Errichtung und Wartung von Siedlungs- und Verkehrsflächen, die zu einem überwiegenden Anteil aus den Gemeindebudgets - aus den Einnahmen aus Grund- und Kommunalsteuern - finanziert werden müssen, fordern die Budgets der Gemeinden.

Die negativen ökologischen und ökonomischen Auswirkungen, die durch Flächenversiegelung entstehen sind zahlreich:

- **Verlust der biologischen Funktionen:** Werden Böden versiegelt, gehen alle biologischen Funktionen verloren. Dieser Prozess ist schwer rückgängig zu machen. Die Entsiegelung von Böden ist ein kostspieliger und zeitaufwendiger Prozess.
- **Verlust der Humusbildung:** Durch die Versiegelung gehen praktisch alle biologischen Funktionen des Bodens verloren. Es gibt kein Leben mehr und damit auch weder eine natürliche Zersetzung noch eine Neuproduktion von Humus. Zu bedenken ist auch, dass die Bodenreubildung langwierig ist, denn die Neubildung von 1 cm Humus dauert 100 bis 200 Jahre.

- **Verlust der Produktivität:** Historisch bedingt liegen die meisten Siedlungen in Regionen mit fruchtbarem Ackerland (Bätzing, 2020). Siedlungserweiterungen bedingen somit automatisch einen weiteren Verlust von produktiven Böden. Angesichts steigender Energiepreise und der höheren Nachfrage von Böden für die Produktion von Nahrungsmitteln und Biomasse gewinnen innerhalb der EU produktive Böden zunehmend an Bedeutung. In Österreich werden jährlich Böden im Ausmaß von rund 50 km² für Wohnen, Gewerbe, Industrie und Freizeit in Anspruch genommen und somit der landwirtschaftlichen Nutzung entzogen. Dieser Produktionsverlust entspricht dem jährlichen Nahrungsbedarf von etwa 20.000 Personen.
- **Gefährdung der biologischen Vielfalt:** Durch zunehmenden Straßenbau werden Landschaften zerschnitten und die Ausbreitung und Wanderung von Pflanzen und Tieren unterbunden. Die Zerschneidung von Lebensräumen kann durch Verschlechterung von Habitatbedingungen zur Abwanderung oder gar zum Verschwinden von Arten führen.
- **Wasserhaushalt und erhöhtes Hochwasserrisiko:** Hohe Versiegelungsdichten in hochwassergefährdeten Siedlungen erhöhen die Gefahr von Überschwemmungen. Ein Hektar funktionellen (unversiegelten) Bodens kann 2.000 m³ Wasser speichern. Im Zuge der Klimaveränderung nehmen die Starkregenereignisse und somit die Überschwemmungen zu. Die Unterbindung der Versickerung von Wasser durch den Boden verhindert die Filterung von Schadstoffen aus dem Wasser und erhöht den Bedarf für die Ableitung von Oberflächenwasser über ein Kanalsystem und kann damit das Hochwasserrisiko verstärken.
- **Verlust der Filterfunktion:** Ein gut funktionierender Boden hat die Fähigkeit Wasser zu filtern. Schadstoffe bleiben in den unterschiedlichen Bodenschichten zurück und das ins Grundwasser versickernde Wasser weist eine hohe Qualität auf. Aber wo kein Boden, da auch keine Filterfunktion. D.h. das Wasser, das oberirdisch bzw. im Kanalsystem abfließt, ist als Trinkwasser (zumindest ohne Aufbereitung) nicht genießbar.
- **Verlust der Staubbindung:** Unversiegelte Böden können Staubpartikel binden. In Städten und stadtnahen Gebieten, wo die Staubbildung besonders hoch ist, liefern Stadtböden einen besonders positiven Beitrag zur Luftverbesserung.
- **Hitzeeffekte:** Auf versiegeltem Boden kann kein Wasser verdunsten. In Siedlungsräumen mit hohen Versiegelungsgraden führt dies zur Veränderung des Mikroklimas und zum Anstieg der lokalen Temperaturen. Daher sind Parkanlagen und „grüne Inseln“ besonders wichtig um den Hitzeeffekten von versiegelten Flächen entgegenzuwirken.

Schließlich ist Bodenversiegelung nur schwer und mit hohen Kosten wieder zu beseitigen. Im Anschluss an eine Entsiegelung bleibt die natürliche Struktur des Bodens gestört. Häufig bleiben Reste von Fremdstoffen, wie Beton- oder Asphaltbrocken, Kunststoffsplitter oder diverse Schadstoffe, im Boden zurück. Eine neue Bodenfauna bildet sich nur über längere Zeiträume, so dass auch die natürliche Bodenfruchtbarkeit verzögert und oft nicht in der vorherigen Qualität wieder herstellbar ist (Blühendes Österreich, ?; Umweltbundesamt Österreich, ?; Umweltbundesamt, ?a).

4.2.4 STÄDTISCHE WÄRMEINSELN

Städtische Wärmeinseln sind eine Besonderheit des Stadtklimas und entstehen durch versiegelte Flächen mit wasserundurchlässigen Materialien für den Straßenbau, Bau von Gebäuden und anderen Strukturen und fehlender Vegetation. Die verwendeten Baumaterialien haben heutzutage einen zunehmend guten Isoliergrad für die Gebäude selbst. Doch führt dies dazu, dass die Temperatur v.a. in den Sommermonaten um die Gebäude herum zunehmend wärmer wird. Die isolierten Gebäude

absorbieren die Sonnenwärme anstatt sie zu reflektieren, wodurch die Oberflächen- und Umgebungstemperatur steigt. Durch enge Straßen und wenig Belüftungsmöglichkeiten gibt es in Städten oft wenig Luftaustausch und die Umgebungswärme steigt. Hinzu kommt in Städten die Abwärme des Verkehrs und des produzierenden Gewerbes. Auf Abb. 8 ist exemplarisch anhand eines Ausschnittes der Wiener Innenstadt, der städtische Wärmeinseleffekt zu sehen.

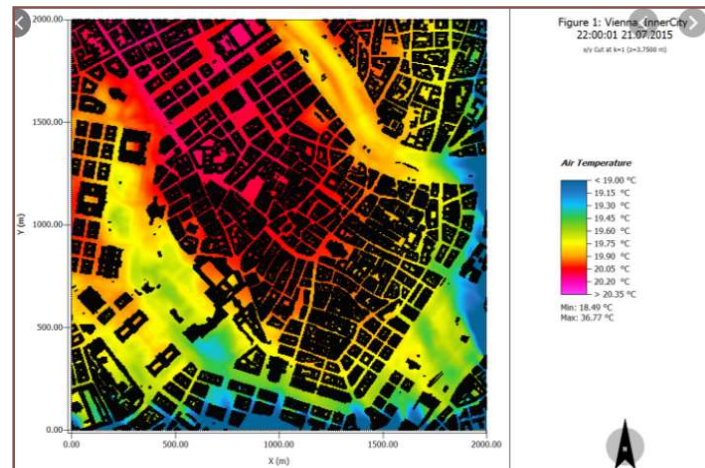


Abb. 6. Städtische Wärmeinsel von Wien (ENVI_MET, ?)

Im Zuge der zunehmenden Erderwärmung spielt das Stadtklima mit seinem städtischen Wärmeinsel Effekt eine besondere Rolle. Bewohner die in Innenstädten leben werden künftig noch mehr von dem städtischen Wärmeinsel Effekt betroffen sein. Gesundheitliche Schäden sowie eine veränderte Fauna und Flora sind anzunehmende Folgen.

4.2.5 SCHAFFUNG VON FRISCHLUFTSCHNEISEN

Bei der örtlichen Siedlungsentwicklung ist zu berücksichtigen, dass ausreichend Frischluftschneisen im Siedlungsgebiet vorhanden sind, da diese durch ihr Mikroklima ein gesundes Klima im Siedlungsbereich begünstigen. Somit wird die Aufheizung der Luft vermieden und Luftverunreinigungen können abgebaut werden. Frischluftschneisen leisten auch einen wichtigen Beitrag, um den Effekt der städtischen Wärmeinseln entgegenzuwirken. Voraussetzung hierfür ist es einen möglichst ungehinderten Luftaustausch mit der unbelasteten Umgebung zu gewährleisten. In Siedlungsbereichen sollen zusammenhängende, in die freie Umgebung übergreifende und gliedernde Grünzüge geschaffen oder gesichert werden.

Besondere Bedeutung für die Frischluftzufuhr in den Siedlungsbereichen kommt hierbei der Kaltluft zu. Kaltluft entsteht nachts über Wiesen, tags in/durch Wälder oder Grünanlagen und fließt zu den tieferen Stellen des Geländes. Hindernisse wie zum Beispiel ungünstig angeordnete Gebäude führen zum Kaltluftstau und mindern den Luftaustausch. Täler und Hangeinschnitte, die den Kaltluftstrom in den Siedlungsbereich lenken, sollten daher von Hindernissen wie beispielsweise größeren Baukörpern quer zur Strömungsrichtung freigehalten werden. An den bewaldeten Hängen ist ein ausreichend großer Abstand zwischen Bebauung und Waldrand vorzusehen, um den Kaltluftabfluss zu erleichtern. Die Bebauung sollte in diesen Fällen die Baumhöhe nicht überschreiten und durch Lüftungsschneisen in der Falllinie aufgelockert werden (StMUV, 2015).

4.3 ANPASSUNG DER STÄDTE AN DEN KLIMAWANDEL

Eine zunehmende Nachverdichtung im Bestand wird von den Entscheidungsträgern befürwortet, da es wertvolle ökologische Fläche erhalten bleibt. Dies kann z. B. durch Aufstockung der Gebäude als auch durch Schließung von Lücken in den Ortszentren erreicht werden und somit zusätzlicher Bodenverbrauch in der Fläche vermieden werden.

Wird der Bestand v. a. in Großstädten zu sehr nachverdichtet, fördert dies den Effekt der städtischen Wärmeinseln. Zusätzliche versiegelte Fläche strahlt v. a. in den Sommermonaten Wärmeenergie an die sowieso schon warme Umgebung ab und es entstehen Wärmeinseln. Diese heizen das Stadtklima zusätzlich auf. Folgen sind gesundheitliche Beeinträchtigung der Bewohner. Auch verursachen Tropennächte eine zunehmende Nutzung von Klimaanlage und Ventilatoren und somit einen zusätzlichen CO₂-Ausstoß, welcher sich wiederum negativ auf die Erderwärmung auswirkt. Diese Ausführungen zeigen, dass sich die Städte zunehmend an den Klimawandel anpassen müssen.

Den Anpassungsstrategien kommt eine immer größer werdende Bedeutung zu. Urbane Räume sind aufgrund ihrer hohen Bebauungs- und Bevölkerungsdichte, sowie hoch komplexer Infrastruktur- und Versorgungssysteme besonders vulnerabel gegenüber wetterbedingten Extremereignissen. Hitzebelastungen tragen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen und verminderter Arbeitsleistung bei, wohingegen Starkregenfälle und Hochwasserereignisse hohe materielle Schäden verursachen. Langanhaltende Trockenheit dagegen führt zu Hitzestress beim städtischen Grün.

Demzufolge sind vorsorgende und vorausschauende Strategien und Maßnahmen zum Klimaschutz zu ergreifen, um im städtischen Raum die Lebensqualität zu erhalten und die Schäden an Infrastruktur, Gebäuden und Grün zu minimieren (BMUB, 2016). Eine frühzeitige Anpassung der urbanen Infrastruktur an den unausweichlichen Klimawandel ist zu entwickeln (DWD, ?a).

Neben der Infrastrukturanpassung an den Klimawandel soll auch im Verhalten und Handeln der Verantwortlichen ein Umdenken stattfinden. Damit beschäftigt sich das Projekt *AdatBehaviour* in Österreich (siehe braunen Kasten).

Projektsammlung aus Österreich zur Klimawandelanpassung

Die Homepage Klimawandelanpassung vom österreichischen Umweltbundesamt zeigt konkrete Projekte aus Österreich, wie versucht wird sich an den Klimawandel anzupassen.

http://bit.ly/Klimawandelanpassung_Österreich Stand 20.1.2020

Hier werden Verantwortliche auf den verschiedenen Entscheidungsebenen bei der Umsetzung von diversen Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten dahingehend geschult, dass ein Bewusstseinswandel auf allen Ebenen stattfinden kann um zum Erfolg von Projekten beizutragen. Damit dies gelingen kann, werden den Verwaltungsbediensteten umweltpsychologische Kenntnisse nähergebracht, v. a. das Wissen darüber welche Faktoren das Verhalten des Menschen beeinflussen und welche konkreten Möglichkeiten es gibt eine Verhaltensänderung zu fördern (Umweltbundesamt Österreich, ?).

4.4 INFRASTRUKTURANPASSUNG IN DEN STÄDTEN

Neben der Siedlungsentwicklung, ist auch die urbane Infrastruktur vor den Folgen des Klimawandels nicht gefeit. Ob in Zeiten von Wasserknappheit aufgrund von langen Hitzeperioden oder enormen Mengen von Niederschlägen in Folge von Starkregen, die Städte und ihre Infrastruktur müssen sich auf die Folgen der extremen Wetterereignisse einstellen. Eine intelligente Stadt- und Infrastrukturplanung, die nicht nur die neuen technischen Lösungen im Bereich des Wassers berücksichtigt, sondern auch die Potenziale von sog. grüner und blauer Infrastruktur nutzt, kann urbane Räume robuster machen.

Vorweg wird kurz auf die Begriffe „blaue“, „grüne“ und „graue“ Infrastruktur eingegangen. Als „blaue“ Infrastruktur werden alle (urbanen) Teilräume bezeichnet, die im Falle von Starkregenereignissen die Wassermassen auffangen, ohne dass Schäden an beispielsweise Gebäuden aufkommen. Zu nennen sind hier sogenannte Retentionsflächen. Auch können dies aquatische Ökosysteme sein. Die „grüne“ Infrastruktur umfasst im Wesentlichen die Grünzüge in (urbanen) Räumen wie Parks, Ökosysteme und Biotopverbundsysteme, aber auch Fassaden- und Dachbegrünungen. Da blaue und grüne Infrastruktur stark miteinander verflochten sind, spricht man auch von der blau-grünen Infrastruktur. Hiermit beschäftigt sich das Forschungsprojekt netWORKS 4 (Deutsches Institut für Urbanistik, ?).

netWORKS 4

Unter folgenden Link sind sämtliche Informationen zu netWORKS 4 zusammengefasst.

<http://bit.ly/netWORKS4> ; Stand 15.1.2020

Blaue und grüne Infrastrukturen erfüllen zahlreiche Funktionen, die für eine klimagerechte Stadtentwicklung genutzt werden können. Bei Starkregen kann Wasser zum Beispiel in abgesenkte Grünflächen eingestaut und versickert sowie über Bäume verdunstet werden. Zugleich lassen sich Parks so gestalten und bewirtschaften, dass sie ihre ökologische, klimatische und zur Erholung dienende Funktion auch bei Hitze und Trockenheit optimal entfalten können. In längeren Hitze- und Trockenperioden müssen Bäume und Grünflächen bewässert werden. Dazu ist es sinnvoll, auf gespeichertes Regenwasser oder auf Betriebswasser aus aufbereitetem Gebrauchswasser zurückzugreifen.

Auch gibt es in der Literatur den Begriff der „grauen“ Infrastruktur. Sie umfasst die sogenannten technischen Infrastrukturen, welche Stoff- und Energieströme innerhalb einer Stadt bzw. zwischen dieser und ihrem Umland ermöglichen (Libbe et al., 2006). Sie sind die funktionale Voraussetzung für urbanes Leben und vermitteln einerseits zwischen der Natur und ihren natürlichen Ressourcen einerseits sowie andererseits zwischen der Gesellschaft und ihren Bedarfen (Libbe, 2015; Libbe et al., 2006). Sie erfüllen grundlegende Ver- und Entsorgungsfunktionen. Zu der grauen Infrastruktur zählen im Wesentlichen die Wasserversorgungs- und -entsorgung, die Energieversorgung und die Abfallentsorgung.

4.4.1 BLAUE INFRASTRUKTUR

4.4.1.1 SCHWAMMSTÄDTE

Die Idee der Speicherung und Rückhaltung von Regenwasser in Städten und der dadurch bedingten Verzögerung und Verminderung des Abflusses wird auch als Konzept der Schwammstadt (Sponge City) bezeichnet. Voraussetzung für Maßnahmen zur Verdunstungskühlung ist, dass entsprechend große Retentionsräume für den Rückhalt von Regenwasser bereitgestellt werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass genügend Wasser für die Verdunstung in trockenen Zeiträumen zur Verfügung steht. Für Dürreperioden können darüber hinaus Bewässerungsmöglichkeiten etabliert werden. Diese müssen jedoch effizient und wassersparend gestaltet sein. Bei der Verwendung von Brauchwasser (z. B. Regenwasser, aufbereitetes Grauwasser (gering verschmutztes Abwasser)) zur Bewässerung von urbanen Grünflächen sind qualitative und hygienische Fragen zu berücksichtigen (DWA, 2019).

Die Retentionsräume haben zusätzlich den Vorteil, dass gleichzeitig Kanalisationssysteme und Gewässer hydraulisch entlastet werden und eine Risikominimierung bei Stark- und Extremregenereignissen erreicht werden kann. Teiche sind dauerhaft mit Wasser gefüllt und weisen eine hohe Verdunstungsleistung auf. Eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Verdunstungsleistung von Teichen stellen Verdunstungsbeete (wassergesättigte Vegetationsbeete) dar, die auch als Urban Wetlands bezeichnet werden. Durch den Bewuchs einer Wasserfläche ist es möglich deren Kühlleistung erheblich zu steigern, vorausgesetzt es ist eine ausreichende Wasserversorgung gegeben. Es bietet sich die Kopplung mit Regenwasserspeichern (Zisternen) an, um einerseits den Regenwasserabfluss zu reduzieren und andererseits Trinkwasser zur Bewässerung zu substituieren.

Abb. 7 zeigt das Schwammstadtprinzip als systematisches Zusammenwirken von Regenwasserbewirtschaftung und Oberflächengestaltung (Kirschbaum et al., 2019).

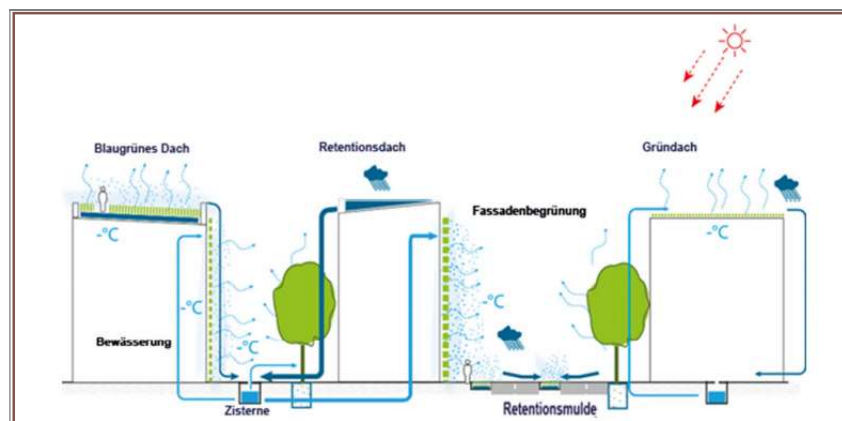


Abb. 7. Das Schwammstadtprinzip (Senstadtum, 2016)

4.4.1.2 STARKREGENRISIKOMANAGEMENT

Eine integrierte und als kommunale Aufgabe verstandene Herangehensweise erfordert auch das Starkregenrisikomanagement für außergewöhnliche und extreme Starkregenereignisse. In diesen Fällen wird mehr und mehr die temporäre „Nutzung“ von Verkehrs- und Freiflächen sowie ein gezielter Objektschutz relevant. Das bedeutet, dass sich nicht nur die kommunalen Akteure aus den verschiedenen Planungsbereichen zu diesem Thema austauschen müssen, sondern auch eine gezielte Sensibilisierung von Bürgern und eine Bereitstellung von Informationen hinsichtlich geeigneter Maßnahmen notwendig ist.

Darüber hinaus sind je nach Randbedingungen auch Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge im öffentlichen Raum notwendig. Eine vielversprechende Handlungsoption ist dabei die multifunktionale Nutzung von Freiflächen. Beispielsweise kann auf einem öffentlichen Spielplatz ein Retentionsraum für außergewöhnliche Regenfälle geschaffen werden, um die Überflutung einer nahegelegenen Schule zu vermeiden. In einem weiteren Beispiel wird Niederschlagswasser von einer überflutungsgefährdeten Straße im Starkregenfall über einen sogenannten Notwasserweg in einen Park geleitet, wo sich das Wasser aufstauen und in einer natürlichen Mulde versickern kann. Anhand dieser Beispiele wird deutlich, dass multifunktionale Flächennutzungen einen positiven Beitrag im Umgang mit Starkregenereignissen darstellen (Günner et al., 2019).

4.4.2 GRÜNE INFRASTRUKTUR

Der Klimawandel mit immer höheren Temperaturen und Hitzewellen macht es erforderlich, in den Städten über Anpassungsmaßnahmen an das sich verändernde Klima nachzudenken. Eine Möglichkeit zur Anpassung ist die Verbesserung der grünen Infrastruktur in den Städten. Dies können sowohl kleinräumige als auch großräumige Maßnahmen wie z. B. Aufforstungen und Renaturierungen sein. Die klimatische Wirkung von grüner Infrastruktur wird schon lange untersucht und ist auch gut dokumentiert. Es zeigt sich, dass sich die klimatische Wirkung des Grüns meist auf den Standort selbst beschränkt und keine weitreichende Wirkung feststellbar ist. Im nahen Umfeld des Grüns sind jedoch Verbesserungen bei der gefühlten Temperatur um bis zu 20 °C möglich, während sich der Einfluss auf die Lufttemperatur nur auf wenige Grad beschränkt. Mit den Hitzewellen ist auch die Gefahr von längerer Trockenheit gegeben, wie die Jahre 2018 und 2019 zeigten. Der Ausbau der grünen Infrastruktur muss daher mit Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung einhergehen (Baumüller, 2019).

4.4.2.1 DACHBEGRÜNUNG

Dachbegrünungen können stadtklimatische Defizite in Bezug auf den Feuchtigkeitshaushalt und das thermische Milieu mindern. Dazu kommt der bauphysikalische Vorteil von Dachbegrünungen. Dächer bieten in Städten und Gemeinden bisher vielfach ungenutzte Flächenreserven für die Schaffung von Grünflächen. In den Ballungsgebieten bieten sich Wohn-, Büro- und Industriegebäude zur Begrünung an. Wenngleich diese Dächer nicht immer aktiv nutzbar sind, z. B. als Sitzplatz im Grünen, so können im Gegensatz zu monotonen Kies-, Bitumen- oder Blechflächen begrünte Dächer das Klima verbessern, Schadstoffe ausfiltern und Energie bei der Hausheizung einsparen. Zudem bringen sie einen äußerst positiven gestalterischen Effekt mit sich.

Eine messbare Fernwirkung kommt begrünten Dachflächen dabei nicht zu. Positive thermische Effekte von Dachbegrünungen beziehen sich vorwiegend auf die Minderung der Temperaturextreme. Während Kiesdächer und schwarze Bitumenpappe sich auf etwa 50 °C bis über 80 °C aufheizen, betragen die maximalen Temperaturen bei bepflanzten, feuchten Dächern nur etwa 20 °C bis 25 °C. Im Sommer sind Dachbegrünungen für darunter liegende Räume insgesamt eine wirksame Maßnahme zum Schutz vor sommerlicher Hitze. Sie ersetzen jedoch nicht eine gute Isolation. Im Winter kommt es durch die Vegetation und das Dachsubstrat zu einer Verminderung des Wärmedurchganges und somit zu einer erhöhten Wärmedämmung. Ein begrüntes Dach ist in der Lage, Oberflächenwasser zu speichern. Je nach Aufbau wird das Niederschlagswasser unterschiedlich lange in den oberen Schichten gehalten und fließt dann erst abzüglich der Verdunstungs- und Transpirationsrate ab.

Dachbegrünungen können im Bebauungsplan rechtsverbindlich festgesetzt werden. Dabei beruht die Begründung auf § 9 (1) 25 BauGB (2013), der die Gemeinden in Deutschland u. a. zur Festsetzung von Bepflanzungen für Teile baulicher Anlagen ermächtigt. Im dicht bebauten Quartier kann man die Flachdächer als zusätzlichen Lebensraum nutzen, bei größeren Anlagen als gemeinsame Gärten- und Aufenthaltsbereiche. Nicht nur in heißen Sommerabenden ist dies ein Gewinn für die Nutzer. Übliche „Sedum-Gründächer“ sind zwar pflegeleicht, die klimatische Ausgleichsleistung ist jedoch gering. Man sollte zukünftig mehr Grünvolumen auf die Dächer bringen. Aufgrund zunehmender Trockenheit sind die Dächer möglichst als Retentionsdächer auszuweisen. Nutzbare Gründächer sollten Vorrang vor Fotovoltaik haben, da diese auch andersorts zu leisten ist. Im Einzelfall ist auch eine Kombination von Grün-, Retention- und Solardach möglich (Baumüller, 2019).

4.4.2.2 FASSADENBEGRÜNUNG

Bei der Begrünung von Fassaden wird erstens zwischen systemgebundenen und bodengebundenen Systemen und zweitens zwischen dem Direktbewuchs an der Hauswand und dem Bewuchs an einem vorgesetzten Klettergerüst differenziert. Während bodengebundene Systeme zumindest zum Teil mit örtlichen Niederschlägen versorgt werden können, benötigen systemgebundene Fassadenbegrünungen meist eine zusätzliche Bewässerung. Die kühlende Wirkung der Fassadenbegrünung beruht neben der Verdunstungskühlung auch auf der gleichzeitigen Verschattung der Hauswand (Kirschbaum et al., 2019).

4.4.2.3 STRAßENBEGRÜNUNG

Der Wert von Stadt- und Straßenbäume ist hoch. Sie regulieren zum Beispiel das Mikroklima, spenden Schatten, filtern Emissionen aus Luft und Boden, werten das Stadtbild auf und sind Lebensraum stadttypischer Vogel- und Insektenarten. Stadtbäume wachsen meist unter schlechteren Standortbedingungen als Bäume in der Natur und leiden unter Verdichtung, Schadstoffen oder Streusalz, so dass die Folgen des Klimawandels wie z.B. Trockenheit sie zusätzlich belasten. Gesunde Straßenbäume sind jedoch für die Kühlung der Städte durch deren kombinierte Wirkung aus Verdunstungsleistung und Schattenwurf von besonderer Bedeutung, da sie einer Aufheizung entgegenwirken.

Eine Baum-Rigole besteht aus einem Baum in einer Versickerungsfläche, die temporär eingestaut werden kann, und einer unterirdisch angelegten Rigole. Teile dieser Rigole werden als Wurzelraum für den Baum genutzt. Im Gegensatz zum herkömmlichen Straßenbaum besitzt die Baum-Rigole ein optimiertes Wasserdargebot. Die Zuleitung von Niederschlagswasser in die Baum-Rigole kann je nach den Gefälleverhältnissen flächig über die sogenannte Baumscheibe oder punktuell mit gefassten Abflüssen erfolgen. Durch das Prinzip der Baum-Rigole wird der Oberflächenabfluss reduziert, bei gleichzeitiger Erhöhung von Verdunstung und Versickerung. Neben den Verdunstungseffekten führt auch die Verschattung der umgebenden versiegelten Flächen zu einer Minderung des städtischen Wärmeinseleffekts (Kirschbaum et al., 2019).

Neben der Straßenbegrünung kommen in der Stadt- und Verkehrsplanung häufig auch begrünte Gleisanlagen zum Einsatz. Grüne Gleisanlagen zeigen positive klimatische Wirkungen im Straßenraum: Es wird eine Wasserrückhaltung im Gleis gewährleistet, Regenwasser kann verdunsten, die Aufheizung der Gleise wird verringert und Schadstoffe werden direkt von der Vegetation aufgenommen und somit zurückgehalten (Baumüller, 2019).

4.4.2.4 PARKFLÄCHEN

Eine häufig gestellte Frage ist, ob eine große Grünfläche bzw. Parkfläche klimatisch günstiger ist als mehrere kleine Grünflächen. Die Antwort darauf hängt davon ab, was man mit der Grünfläche klimatisch erreichen will. Das heißt, die Funktion der Grünfläche ist entscheidend. Größere Parkanlagen dienen in der Regel dazu, dass man sich dort länger aufhält. Die Grünausstattung des Parks sollte deshalb abwechslungsreich sein. Neben offenen besonnten Flächen müssen auch verschattete Plätze unter Bäumen angeboten werden (Savannentyp). So hat der Besucher die Möglichkeit je nach Tageszeit, Jahreszeit und aktuellem Wetter den klimatisch angenehmsten Ort aufzusuchen. Soll der Park auch als Kaltluftproduktionsfläche dienen und die Kaltluft die Umgebung positiv beeinflussen, muss der Übergangsbereich zur Bebauung offen gestaltet sein, um der Kaltluft die Möglichkeit zu geben, in bebaute Strukturen einzufließen. Auch sollte der Park dann keinen zu dichten Baumbestand aufweisen, da sich Wiesen schneller und stärker abkühlen. Der Effekt der Abkühlung innerhalb einer Park- oder Grünfläche wird in der Fachliteratur als „Park Cool Island“ PCI-Phänomen bezeichnet. Die klimatische Wirkung tagsüber ergibt sich durch Verdunstung und Beschattung. Nach Kutter (2011) wird die Reichweite der Klimafunktion von Parkanlagen in die Umgebung meist überschätzt. Der Park und die Grünflächen haben somit in erster Linie den Effekt einer „städtischen Kühlinsel“ innerhalb der städtischen Wärmeinsel.

5 ENERGIEWENDE

5.1 NUTZUNG VON SOLARENERGIE

Vor dem Hintergrund des Ziels, die Nutzung fossiler Energiequellen zu reduzieren, gewinnt unter anderem die Versorgung von Gebäuden durch Solarenergie und anderen regenerativen Energieformen an Bedeutung. Manche Kommunen führen ein sog. Solarkataster. Dies sind Verzeichnisse von Liegenschaften, die Informationen über die geeignete Nutzung von Solarenergieanlagen (Photovoltaik als auch Solarthermie) für ein Dach eines bestimmten Grundstückes bzw. Flurstückes enthalten. Mit dem zunehmenden Ausbau der erneuerbaren Energien stellt sich immer öfter die Frage, ob Häuser in bestimmten Lagen überhaupt für die Installation von Solaranlagen geeignet sind.

Dass ein Hausdach günstig zum Sonnenstand ausgerichtet sein muss, leuchtet ein. Doch allein die Ausrichtung ist noch nicht aussagekräftig. Fragen zur Verschattung, die sich mit den Jahreszeiten zum Teil erheblich ändern kann, und zur Dachneigung müssen auch beantwortet werden.

Daher richteten in den letzten 20 Jahren immer mehr Gemeinden sogenannte Solarkataster ein, in denen Luftaufnahmen der Ortschaft mit entsprechenden Informationen für die einzelnen Gebäude versehen sind. Die hochauflösenden Aufnahmen werden in der Regel durch grafische Einfärbungen sowie eine Bewertung, ob das Dach für die Nutzung von Solarenergie geeignet ist, ergänzt. Dabei gibt es verschiedene Abstufungen von „gut geeignet“ über „bedingt geeignet“ bis hin zu „ungeeignet“.

Der Landkreis Weilheim-Schongau, gelegen in der KlimaAlps Projektregion, bietet beispielsweise ein solches Solarkataster für seine Gemeinden an.

5.2 NUTZUNG REGENERATIVER ENERGIE

Quellen erneuerbarer Energie sind Wind- und Sonnenenergie, Biomasse, Geothermie und Wasserkraft. Sie können einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Außerdem tragen sie zur Versorgungssicherheit und zur Vermeidung von Rohstoffkonflikten bei. Das Grundprinzip von erneuerbaren Energien besteht darin, dass zum einen in der Natur stattfindende Prozesse genutzt und zum anderen auch aus nachwachsenden Rohstoffen Strom, Wärme und Kraftstoffe erzeugt werden.

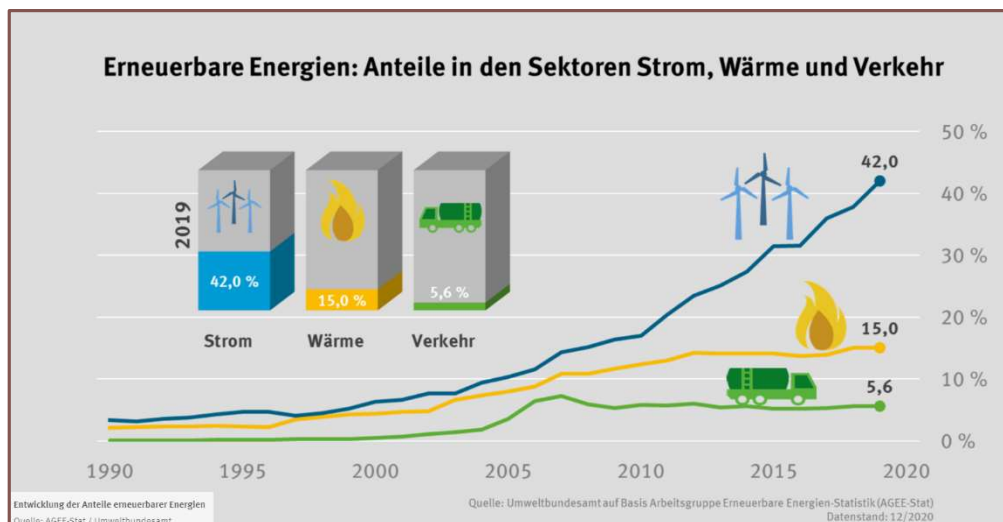


Abb. 8. Erneuerbare Energien: Anteile in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr (Umweltbundesamt, ?c)

In Abb. 8 wird der Anteil der erneuerbaren Energie in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr aufgezeigt. Deutlich wird, dass bei der Stromgewinnung der Anteil der erneuerbaren Energien ab 2010 sprunghaft angestiegen ist. Im Bereich der Wärmeproduktion und im Verkehr ist der Anteil erneuerbaren Energien auf niedrigem Niveau in etwa gleichgeblieben.

Potenziale zur Nutzung dieser Energiearten im bayerischen Oberland bestehen durchaus. Das Projekt INOLA unter der Leitung der Energiewende Oberland, hat sich zum Ziel gesetzt in der Projektregion bis 2035 frei von fossilen Energieträgern zu sein. Nähere Information siehe blauer Kasten.

INOLA

Das Projekt INOLA erarbeitet über fünf Jahre Lösungen wie die Versorgung des bayerischen Oberlandes (Landkreise Weilheim-Schongau, Miesbach, Bad Tölz-Wolfrasthausen und Garmisch-Partenkirchen) mit regenerativen Energien aussehen kann. Ziel ist es eine vollständige Versorgung ohne fossile Energieträger bis 2035 herzustellen.

http://bit.ly/Inola_Berichte Stand 20.1.2020

Um ein Beispiel aus der österreichischen Projektregion zu nennen, wie zukünftig die Gestaltung der Energieversorgung aussehen kann, eignet sich das Energieszenario von Österreich, dargestellt in Abb. 9 basierend auf den Daten der österreichischen Energieagentur. Damit der Energiebedarf gedeckt werden kann setzen die Experten eine Reduktion des Verbrauchs voraus.

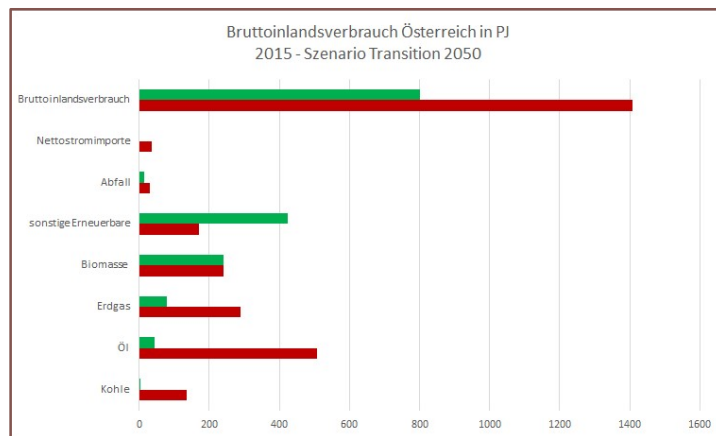


Abb. 9. Energie - Bruttoinlandsverbrauch Österreich in PJ (klimaaktiv-elearning, ?)

Das Szenario Transition 2050 zeigt einen Weg auf, wie Österreich die Klimaziele des Pariser Abkommens umsetzen kann. Als Grundlage dieses Szenarios setzen folgende Annahmen für geeignete Rahmenbedingungen und Maßnahmen vorausgesetzt:

- **Internationalisierung** der externen Kosten bei allen Energieträgern,
- **Verkehr:** Maßnahmen zur Veränderung des Modal Split (Verkehrsmittelswahl) im Personen- und Güterverkehr, umweltfreundliche Verkehrsmodi bzw. Verkehrsträger, die zu einer stark reduzierten jährlichen Pkw-Fahrleistung führen,
- **Gebäude:** verpflichtende thermisch-energetische Sanierung,
- **Industrie:** langlebige Produkte, die eine Kreislaufwirtschaft ermöglichen, Verstärkung der Energie- und Ressourceneffizienz,
- **Energie:** Umstieg auf erneuerbare Strom- und Fernwärmeerzeugung,

- **Landwirtschaft:** eine klimaschonende Ernährungsweise und Vermeidung von Lebensmittelabfällen, weitere Effizienzsteigerung im Umgang mit Stickstoff und stärkere Berücksichtigung der Treibhausgas-Wirksamkeit in der Förderpolitik (klimaaktiv-elearning, ?).

5.2.1 ANPASSUNG DER ENERGIEENTZUG - KONKRETE PROJEKTE IN DER PROJEKTREGION

In der Projektregion arbeiten verschiedene Akteure an dem Aufbau einer nachhaltigen Energieinfrastruktur, indem sie vor Ort Projekte realisieren.

Die folgende Tabelle zeigt, die Akteure und deren Projekte sowie die Projektinhalte auf.

Projektauswahl – nachhaltige Energieinfrastruktur in der KlimaAlps-Region			
Akteur	Projekt	Inhalt	Link
Energiewende Oberland, Penzberg	INOLA	Versorgung einer Region mit regenerativen Energien	https://bit.ly/2NpRVHK
Energiewende Oberland, Penzberg	Bioenergien Oberland	Etablierung technischer und kommunikativer Strukturen zum Ausbau von Bioenergie im ländlichen Raum und Schaffung von Vorbildern	https://bit.ly/38lnPGK
Energiewende Oberland, Penzberg	Heizpumpenaustauschkampagne	Effizientere Energienutzung durch den Austausch von Heizpumpen in Privathaushalten	https://bit.ly/2P1CUMs
Energiewende Oberland, Penzberg	PEACE_ALPS	Effiziente Umsetzung von Energien und Klimaschutzkonzepten durch Bündelung von Aktivitäten	https://bit.ly/3tCxveb
Energiewende Oberland, Penzberg	SEAP_ALPS	Entwicklung von Aktionsplänen für nachhaltige Energie, speziell für Kommunen im Alpenraum	https://bit.ly/3lmsnl2
CIPRA International	climalp	Energieeffiziente Häuser aus regionalem Holz für Wohnkomfort, Klima und Regionalwirtschaft	https://bit.ly/2NlqXAU
Umweltbundesamt	CLISP	Das CLISP-Projekt ist ein transnationales Projekt im Alpenraum, das auf das Thema Klimawandel und Raumplanung fokussiert ist. Dafür wird in 10 Modellregionen vor Ort eine Vulnerabilitätsanalyse und Evaluation der "Klimawandel-Fitness" der derzeitigen Gebietsplanungssysteme durchgeführt.	https://bit.ly/3cr5Tcz

Tab 2. Auswahl an Akteuren und Projekten im Bereich der Anpassung in der Energienutzung der Projektregion KlimaAlps

6 RÄUMLICHE MOBILITÄT

Die moderne Gesellschaft zeichnet sich durch immer weitergehende Differenzierung aus. Soziale Aktivitäten wie die Grunddaseinsfunktionen Wohnen, Arbeiten, Bildung und Erholung sind oft räumlich voneinander getrennt und werden vernetzt durch Mobilität, um diese räumlichen Distanzen zu überwinden. Mobilität ist Ausdruck von Individualisierung, Konnektivität und Lebensstil. Mobil sein ist die Voraussetzung an der sozialen Teilhabe und des gesellschaftlichen Fortschritts.

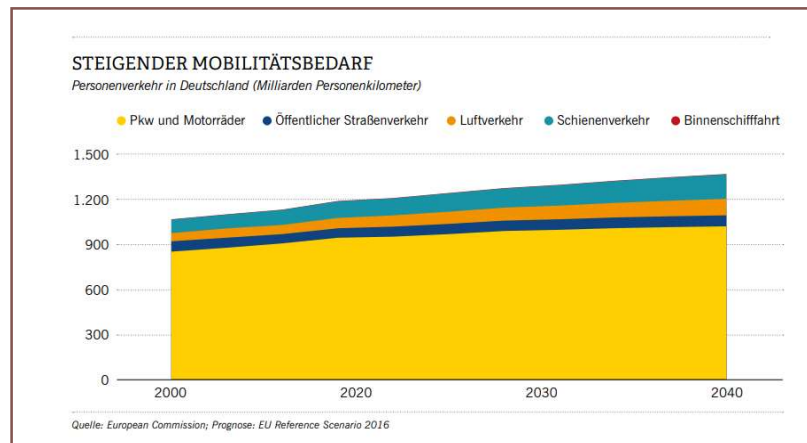


Abb. 10. Steigender Mobilitätsbedarf in Deutschland (ADAC e.V., 2017)

Wie aus Abb. 10 zu sehen ist, ist die individuelle Mobilität für die Menschen eine so elementare Wohlfandserfahrung, dass sie darauf nicht verzichten wollen. Daher wird für das Jahr 2040 prognostiziert, dass zu diesem Zeitpunkt nach wie vor das Auto der Garant für räumliche und zeitliche Flexibilität sein wird.

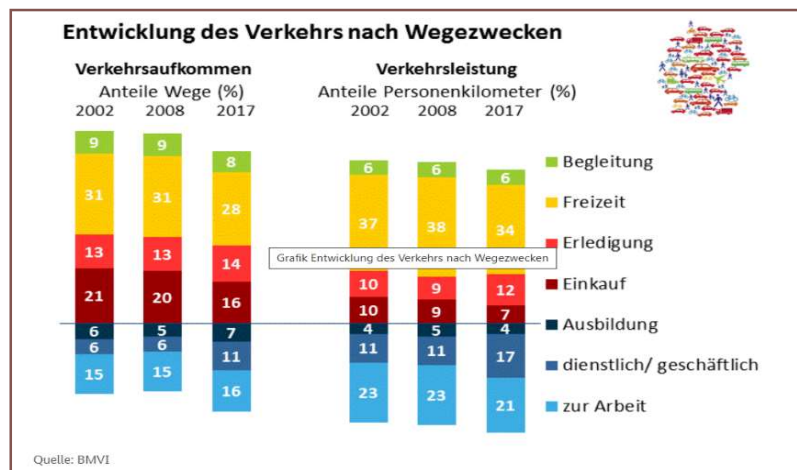


Abb. 11. Entwicklung des Verkehrs nach Wegezwecken (BMVI, 2019)

Die Studie Mobilität in Deutschland zeigt die Entwicklung des Verkehrs nach Wegezwecken auf. Ersichtlich ist, dass der Hauptzweck des Mobilseins die Arbeit (Arbeitsweg + Dienstreisen + Ausbildung) ist, gefolgt von Freizeitverkehren. Sowohl das Verkehrsaufkommen als auch die Verkehrsleistung sind ebenfalls nach unterschiedlichen Zwecken gegliedert. Hinzuzufügen ist, dass neben dem Personenverkehr auch dem Güterverkehr eine wesentliche Rolle beim CO₂-Ausstoß zukommt.

Der Personenverkehr wird wiederum aufgeteilt in verschiedene sogenannte Verkehrsteilnehmer. Zu nennen sind hier der motorisierte Individualverkehr (MIV), der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV), der Schienenpersonen(nah)verkehr (SP(N)V), der Luftverkehr sowie der Rad- und Fußverkehr. Diese Zusammensetzung wird als Modal Split bezeichnet. Den größten Anteil am Modal Split hat der MIV, also die Wege welche mit dem Auto zurückgelegt werden. Daten bezüglich des Modal Split für die Projektregion liegen nicht vor. Im Allgemeinen kann festgestellt werden, je höher der Urbanisierungsgrad einer Region ist, desto mehr verschiebt sich der Anteil des Modal Split vom MIV zu Gunsten der klimaneutralen Verkehrsmittel ÖPNV, SPNV und Radverkehr. Gründe sind hierfür, dass das Verkehrsangebot in (Groß-) Städten größer ist als in ländlichen Regionen, und somit eine Wahlmöglichkeit für den Verkehrsteilnehmer gegeben ist.

Während aus ökologischen Gründen Verkehrsvermeidung sinnvoll ist, sorgen Anreize aus z. B. strukturpolitischen Erwägungen für mehr Verkehr. Zu nennen ist hier die Eigenheimzulage, Pendlerpauschale, aber auch die erhöhten Mieten in Ballungsräumen (wikipedia, ?b).

6.1 ENTWICKLUNG DER CO₂-EMISSIONEN IM VERKEHRSEKTOR

Immer wenn Menschen motorisiert unterwegs sind, verursachen sie THG-Emissionen, in erster Linie CO₂, Methan, Lachgas und andere Luftschadstoffe. Etwa ein Fünftel der THG-Emissionen in Deutschland werden durch den Verkehrssektor verursacht, Für die Emissionsberechnungen zählen hierzu der Straßen-, Schienen-, Schiffs- und Flugverkehr. Dieser Anteil entspricht 163,6 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten, etwa 95 % des verkehrsbedingten CO₂ entsteht durch den Straßenverkehr. Überhaupt ist Deutschland der weitaus größte Verursacher von CO₂-Emissionen in Europa. Mit rund 900 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr ist Deutschland für ein Fünftel der gesamten in der EU freigesetzten Treibhausgase verantwortlich, so der Bayerische Rundfunk (Wolf, 2021).

Der Ausbau der Verkehrswege, die Entwicklung der Verkehrstechnologien sowie die Deregulierung und Liberalisierung des Transportmarktes haben zu einer erheblichen Nachfragesteigerung nach Verkehrsleistung beigetragen, insbesondere im Straßenverkehr. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der CO₂-Emissionen im Personen und -Güterverkehr im Zeitraum von 1990 bis 2012.

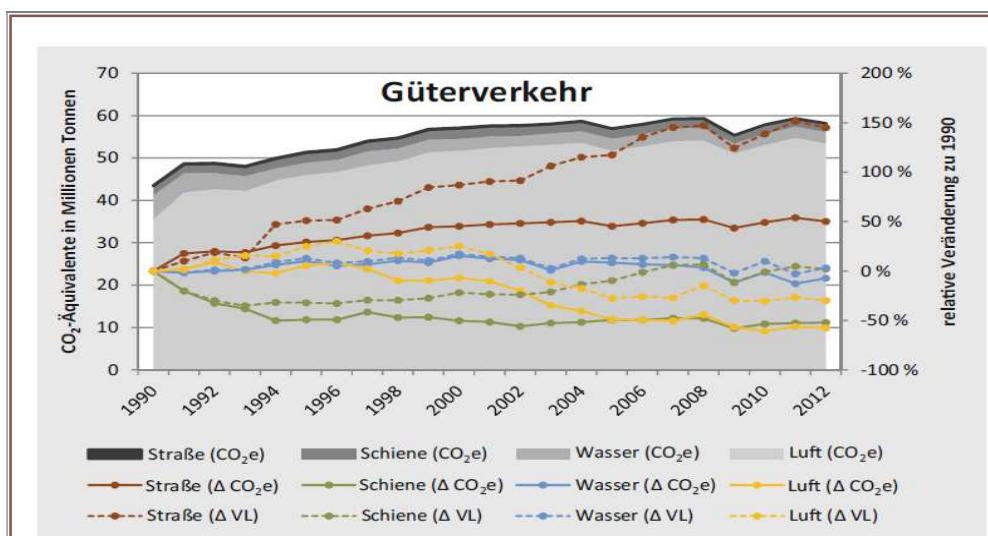


Abb. 12. CO₂-Emissionen des Güterverkehr in Deutschland 1990-2012 (Brasseur et al., 2017)

Insgesamt ist im Zeitraum von 1990 bis 2012 eine deutliche Zunahme der gesamt ausgestoßenen CO₂-Menge im deutschen Güterverkehr festzustellen. Der Luftverkehr weist die größte Zunahme an CO₂-Emissionen auf, wobei der Anteil der anderen Verkehrsarten - Straße, Schiene und Wasser - in etwa gleichgeblieben ist.

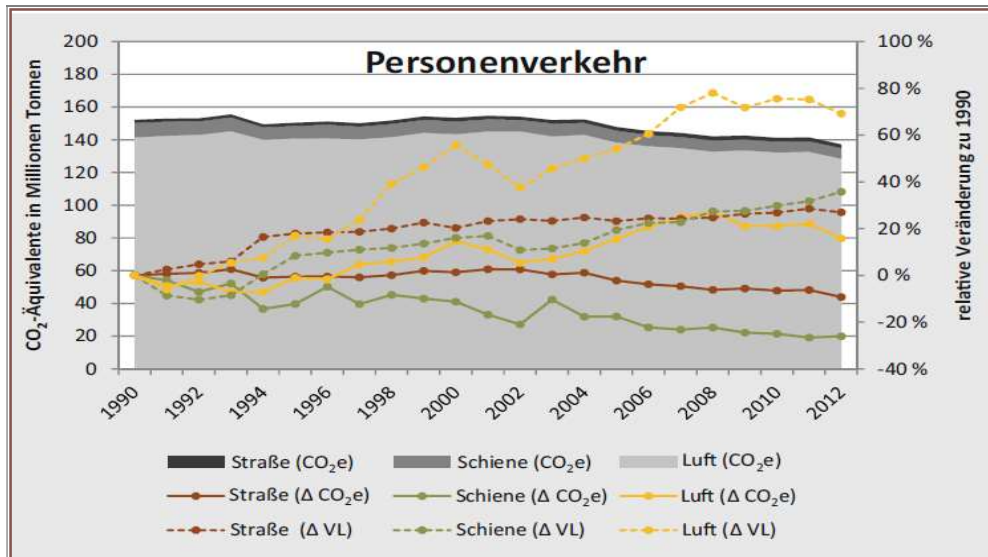


Abb. 13. CO₂-Verbrauch des Personenverkehr in Deutschland 1990-2012 (Brasseur et al., 2017)

Im Zeitraum von 1990 bis 2012 ist der Ausstoß von CO₂ im Personenverkehr insgesamt zurückgegangen. Auch hat hier neben dem Schienen- und Straßenverkehr der Luftverkehr den größten Anteil an CO₂-Emissionen.

6.2 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE VERKEHRSINFRASTRUKTUR UND VERKEHRSBETRIEB

Der Klimawandel zeigt sich auch in seinen Auswirkungen auf den Personen- und Güterverkehr. Schon jetzt muss auf besondere Wetterereignisse reagiert werden, wenn auch nur in Einzelfällen. Werden beispielsweise Starkwinde vorausgesagt, wie der Orkan Sabine im Februar 2020, stellt die Deutsche Bundesbahn ihren Nah- und Fernverkehr ein. Solche Extremwetterereignisse haben nicht nur Auswirkungen auf den Betrieb, auch die Verkehrsinfrastruktur wird durch Überflutungen und umgestürzte Bäume beschädigt. Die Auswirkungen lassen sich an Schäden im Straßenraum und der Schieneninfrastruktur feststellen (StMUV, 2015). Der Vollständigkeit halber ist hier noch die Binnenschifffahrt zu nennen, die bei Niedrigwasser in Folge von Hitzeperioden, wie etwa 2018, stark eingeschränkt ist.

Die wirtschaftlichen Folgen von Extremwetterereignissen betreffen vor allem den Güterverkehr: Die gesamte Logistikkette kann ins Stocken geraten. Da die Produktion heutzutage meist „just-in-time“ ausgerichtet ist, müssen die Zuliefer- und Produktionstermine genau aufeinander abgestimmt sein und auf einem getakteten Güterverkehr aufbauen. Wenn Rohstoffe zu spät angeliefert, fertige Produkte zu spät abgeholt werden und Abnehmer auf ihre Ware warten müssen, kommt es zu Produktionsausfällen und erheblichen Einbußen aus betriebswirtschaftlicher als auch volkswirtschaftlicher Sicht (StMUV, 2015).

6.3 ANPASSUNGEN IM VERKEHRSSSEKTOR - KLIMANEUTRALE MOBILITÄT

Das zunehmende Bewusstsein in der Bevölkerung für eine klimaneutrale Mobilität sorgt dafür, dass der Mobilitätskonsum künftig verstärkt unter Umwelt- und Ressourcengesichtspunkten stattfindet. Mehr denn je wird es in den nächsten Jahren darum gehen, die zunehmende Mobilität auf eine ökologisch tragfähige Basis zu stellen. Neue Player und Plattform-Betreiber orientieren sich nicht nur stärker an den Bedürfnissen und Motiven der Menschen, sondern zielen vor allem auch auf eine effizientere Nutzung von Ressourcen und Infrastrukturen zur Fortbewegung und eine ökologische Mobilität auf Basis erneuerbarer Energien ab. Die Automobilindustrie arbeitet daran, ebenso wie die Politik, die immer ernsthafter die Weichen in Richtung einer klimaneutralen Mobilität stellt. Dekarbonisierung wird zum grundlegenden Wirtschaftsprinzip und zum wichtigsten Treiber des Wandels in der Mobilität. Die politischen Rahmenbedingungen sind gesetzt: Bis spätestens 2050 müssen die Treibhausgas-Emissionen im Verkehr um mindestens 60 % gegenüber dem Stand von 1990 reduziert werden, so die Vorgaben der Deutschen Bundesregierung. Fossile Kraftstoffe als Energieträger im Straßenverkehr werden es angesichts immer strengerer Reglementierungen künftig sehr schwer haben. In ersten Ländern arbeitet man bereits am Abschied vom Verbrennungsmotor: Norwegen plant ab 2025 keine neuen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren mehr zuzulassen. Langfristig werden sie auch in Deutschland zum Auslaufmodell. Der ADAC (2017) geht davon aus, dass in Deutschland bis zum Jahr 2040 rund 50 % aller Pkws im Bestand mit alternativer Antriebstechnologie unterwegs sein werden.

Ein Systemwechsel hin zu emissionsneutraler Mobilität ist bereits eingeläutet. Emissionsneutrale Mobilität hängt allerdings keineswegs allein am Auto. Möglich wird sie nur durch umfassende Veränderungen im gesamten Mobilitätsmix mit öffentlichem Verkehr, Fahrradverkehr und fußgängerfreundlichen Innenstädten. Intelligente, vernetzte Verkehrsmittelnutzung wird dafür ebenso erforderlich sein wie neue, nachhaltige Energieinfrastrukturen, ohne die Elektro- und Wasserstoffmobilität nicht denkbar sind.

Der Ausbau erneuerbarer Energien erfordert ein intelligentes Netzmanagement sowie zusätzliche flexible Speicher. Nachhaltige Systemlösungen zur Erhaltung attraktiver und wettbewerbsfähiger Städte gewinnen schon heute in urbanen Mobilitätskonzepten enorm an Bedeutung. Sie werden sich allerdings stark in Richtung individueller Massenmobilität weiterentwickeln, um wirklich ökologisch und nachhaltig zu funktionieren. Gerade Innovationen im Flottenbetrieb sind einer der wichtigsten Faktoren für die Durchsetzung der Elektromobilität und beschleunigen den Systemwechsel hin zu emissionsneutraler Mobilität. So wird das Auto Teil intelligenter Verkehrssysteme. Nicht zuletzt gestalten immer mehr Kommunen ihre Städte um – mit dem Ziel einer bedarfsgerechten, auf urbane Lebensqualität ausgerichteten Verkehrsinfrastruktur, die das Auto zusehends verzichtbar macht. Mit zunehmendem Radverkehr – insbesondere auf Basis leistungs- und beschleunigungsstarker Pedelecs – stellen sich auch neue Fragen der Sicherheit und Prävention im Straßenverkehr. Die Zukunft der Mobilität wird postfossil und multimodal sein (ADAC, 2017).

6.3.1 PROJEKTE AUS DER REGION

Folgende Tabelle zeigt eine Auswahl an Projekten und Angeboten in der KlimaAlps-Projektregion zu dem Thema nachhaltige Mobilität. Diese beinhalten Car-Sharing Angebote bis hin zu Informationskampagnen.

Projektauswahl – Verkehrswende in der KlimaAlps-Region			
Akteur	Projekt	Inhalt	Link
Energiewende Oberland, Penzberg	CarsharingPenzberg	Bedarfsgerechtes mieten von einem E-Auto	https://bit.ly/3bQqDUg
Landratsamt Garmisch-Partenkirchen	e-Flinkster Carsharing-Station am Garmischer Krankenhaus	Bedarfsgerechtes mieten von einem E-Auto	https://bit.ly/38LOen3
Klimabündnis Tirol	Gemeinde-mobil-Seminar	Informationskampagne von Gemeinden zur Stärkung des ÖPNV	https://bit.ly/3rU9TB0

Tab 3. Eine Auswahl an Projekten zur Anpassung an den Klimawandel im Verkehrssektor in der Projektregion KlimaAlps.

7 REFERENZEN

- ADAC e.V. (Hrsg.), 2017. Die Evolution der Mobilität. Eine Studie des Zukunftsinstituts im Auftrag des ADAC. [ADAC Mobilität 2040 Zukunftsinstitut.pdf](#) (aufgerufen 24.02.2021)
- Amt der Tiroler Landesregierung, ?. [Bevölkerung in Tirol. Bevölkerung in Tirol | Land Tirol](#) (aufgerufen 03.02.2021)
- Bätzing, W., 2020. Das Landleben. Geschichte und Zukunft einer gefährdeten Lebensform.
- Baumüller J., 2019. Grüne Infrastruktur zur Anpassung an den Klimawandel in Städten. In: Lozán J. L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 203-212. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. DOI:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.30.
- Bayerisches Landesamt für Statistik, 2020. Statistische Berichte. Einwohnerzahlen am 30. September 2020. Gemeinden, Kreise und Regierungsbezirke in Bayern. Basis: Zensus 2011. Fürth. Bevölkerungsstand (bayern.de) (aufgerufen 03.02.2021).
- Beggs, P.J., 2004. Impacts of climate change on aeroallergens. past and future. Clin Exp Allergy 34.
- Blühendes Österreich, ?. <https://bit.ly/38NINnR> (aufgerufen 23.02.2021)
- BMUB, 2016: Anpassungen an den Klimawandel. Erster Fortschrittsbericht der Bundesregierung zur Deutschen Anpassungsstrategie. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMVI, 2019. MiD. Mobilität in Deutschland. [BMVI - Mobilität in Deutschland \(MiD\)](#) (aufgerufen 24.02.2021)
- Brasseur, G. P., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Hrsg.). 2017. Klimawandel in Deutschland. Entwicklungen, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin Heidelberg.
- CIPRA, ?. climalp. Energieeffiziente Häuser aus regionalen Holz für Wohnkomfort, Klima und Regionalwirtschaft. <https://bit.ly/30NRXw4> (aufgerufen 20.1.2020)
- citypopulation, ?. <https://www.citypopulation.de/de/austria/> (aufgerufen 03.02.2021)
- Deutsches Institut für Urbanistik, ?, <https://bit.ly/3vC3bII> ; (aufgerufen 15.1.2020)
- DSW, ?. Infographiken. <https://bit.ly/3cldH24> (aufgerufen 02.02.2021)
- DWD, ?a. Urbane Räume im Klimawandel. <https://bit.ly/38P2Ulg> (aufgerufen 5.12.2019)
- DWD, ?b. UV-Strahlung. <https://bit.ly/3cHEV8N> (aufgerufen 09.02.2021)
- DWD, ?. Phänologie. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/phaenologie_node.html (aufgerufen 20.2.2020)
- ECDC, 2013. Antimicrobial resistance surveillance in Europe. <https://bit.ly/3qOHF9C> (aufgerufen 19.2.2020)
- EEA (European Environment Agency), 2012. Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. EEA Report No 12/2012. Kopenhagen.
- ENVI_MET, ? Karte städtische Wärmeinsel. <https://www.envi-met.com/de/modelling-the-urban-heat-island-and-urban-thermal-stress/> (aufgerufen 23.02.2021)
- Eis, D., Helm, D., Laußmann, D., Strak, K., 2010. Klimawandel und Gesundheit - Ein Sachstandsbericht. Robert-Koch-Institut (Hrsg.), 2010. Berlin.
- Fernandez Rodriguez, S., Adams-Groom, B., Tormo Molina, R., Palacios, S., Brandao, R. M., Caeiro, E., Gonzalo Garijo, A., Smith, M., 2012. Temporal and spatial distribution of Poaceae pollen in areas of southern United Kingdom, Spain and Portugal. The 5th European Symposium on Aerobiology. 3–7 September 2012, Krakow, Poland. Alergologia Immunologia 9(2–3):153

- Friel, S., Dangour, A.D., Garnett, T., Lock, K., Chalabi, Z., Roberts, I., Haines, A., 2009. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *Lancet* 374(9706):2016–2025. doi:10.1016/S0140-6736(09)61753-0.
- Grunert, D., 2015. Infektionskrankheiten. Klimawandel als Katalysator. In: *Deutsches Ärzteblatt*. Jg.112. Heft 23.
- Günner C., Meininger, F., Kuchenbecker, A., 2019. Paradigmenwechsel im Umgang mit dem Regenwasser in wachsenden Städten. In: Lozán J. L., Breckle, S.-W., Grassl, H., Kuttler, W., Matzarakis, A. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Städte*. pp. 233-239. Online: www.warnsignal-klima.de. DOI:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.34.
- IASS Potsdam, ?. Institut für transformative Nachhaltigkeitsforschung. Luftverschmutzung und Klimawandel. [Luftverschmutzung und Klimawandel | Institute for Advanced Sustainability Studies \(iass-potsdam.de\)](http://Luftverschmutzung%20und%20Klimawandel%20|%20Institute%20for%20Advanced%20Sustainability%20Studies%20(iass-potsdam.de)) (aufgerufen 09.02.2021)
- IGB, 2018. *Seen im Klimawandel. Diagnosen und Prognosen aus der Langzeitforschung*. Berlin.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2015. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Summary for Policymakers*. Genf: IPCC.
- Katalinic, A., 2013. Wie häufig ist Hautkrebs in Deutschland? Gesellschaftspolitische Kommentare – Sonderausgabe Hautkrebs 1. 2013. 7–8.
- Kirschbaum B., Sieker, H., Steyer, R., Büter, B., Lessmann, D., von Tils, R., Becker, C., Hübner, S. 2019. Maßnahmen zur Hitzestress-Reduzierung anhand Verdunstungsabkühlung. In: Lozán J. L., Breckle, S.-W., Grassl, H., Kuttler, W., Matzarakis, A. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Städte*. pp. 227-232. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. DOI:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.33.
- Klimaaktiv-elearning, ?. [Ein Gesamtbild zur Energiewende \(klimaaktiv-elearning.at\)](http://Ein%20Gesamtbild%20zur%20Energiewende%20(klimaaktiv-elearning.at)) (aufgerufen 20.1.2020)
- Klimabündnis Tirol, ?. [Klimabündnis Tirol \(klimabuendnis.at\)](http://Klimab%C3%BCndnis%20Tirol%20(klimabuendnis.at)) (aufgerufen 20.1.2020)
- Klimanavigator, ?, Klimawandel und Gesundheit - Allergien. [Allergien \(klimanavigator.eu\)](http://Allergien%20(klimanavigator.eu)) (aufgerufen 4.12.2019)
- Kovats, R.S., Edwards, S.J., Hajat, S., Armstrong, B.G., Ebi, K.L., Menne, B., 2004. The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol Infect* 132(3):443–453. doi:10.1017/s0950268804001992.
- Kutter, W., 2011. Klimawandel im urbanen Bereich - Teil 1 Wirkungen, *Environmental Sciences Europe* 23/11, Sp. [2190 4715 23 11.pdf \(uni-due.de\)](http://2190%204715%2023%2011.pdf%20(uni-due.de)) (aufgerufen 24.02.2021)
- Land Oberösterreich, ?. Geschichte und Geographie. [Land Oberösterreich - Bevölkerung \(land-oberoesterreich.gv.at\)](http://Land%20Ober%C3%B6sterreich%20-%20Bev%C3%B6lkerung%20(land-oberoesterreich.gv.at)) (aufgerufen 03.02.2021)
- Langen, U., Schmitz R., Steppuhn, H., 2013. Häufigkeit allergischer Erkrankungen in Deutschland. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). *Bundesgesundheitsbl* 56:698–706.
- Libbe, J., 2015. Transformation städtischer Infrastruktur. Perspektiven und Elemente eines kommunalen Transformationsmanagements am Beispiel Energie. Dissertation an der Wirtschaftlichen Fakultät der Universität Leipzig.
- Libbe, J., Moss, T., 2006. Netzgebundene Infrastruktursysteme im Wandel: am Beispiel der Wasserversorgung. In: Kluge, T., Libbe, J. (Hrsg.): *Transformation netzgebundener Infrastruktur. Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser*. Berlin (Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Bd. 45, S. 19-33.
- Lojewski, H. von, 2019. Anforderungen an eine nachhaltige Stadt. In: Lozán J.L., Breckle, S.-W., Grassl, H. Kuttler, W., Matzarakis, A. (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Städte*. pp. 53-61.

- www.klima-warnsignale. uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.08. (aufgerufen 18.02.2021)
- Lozán, J. L., Breckle, S.-W., Grassl, H. 2019. Entwicklung der Weltbevölkerung, Megastädte und Landflucht. In: Lozán J.L., Breckle, S.-W., Grassl, H. Kuttler, W., Matzarakis, A. (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 188-195. www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. DOI:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.28. (aufgerufen 02.02.2021)
- Lucon O., Ürge-Vorsatz, D., Zain Ahmed, A., Akbari, H., Bertoldi, P., Cabeza, L. -F., Eyre, N., Gadgil, N., Harvey, L., D., D., Jiang, Y., Liphoto, E., Mirasgedis, S., Murakami, S., Parikh, J., Pyke, C., Vilariño, M. V., 2014. Buildings. In: IPCC –Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.): Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, New York: Cambridge University Press, S. 671–738.
- McGranahan, G., Marcotullio, P., Bai, X., Balk, D., Braga, T., Douglas, I., Elmqvist, T., Rees, W., Satterthwaite, E., Songsore, D., Zlotnik, H., 2006. Urban systems. In: Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Hrsg.): Ecosystems and human well-being: Current state and trends. Vol. 1. Washington, DC: Island Press, S. 31–52.
- Menzel, A., Estrella, N., 2001. Plant phenological changes. In: Walther, G.-R., Burga, CA., Edwards, PJ., (Hrsg) „Fingerprints“ of climate change: Adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic/Plenum, New York, S.123–137.
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estella, N., Koch, E., Aasa An., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Creoinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatzcak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, O., Penuelas, J., Pirinen, P., Remisova, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.-E., Zach, S., Zust, A., 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Glob Chang Biol 12:1969–1976.
- Muthers, S., Laschewski, G., Matzarakis, A., 2017. A comparison of the summer 2003 and 2015 with a particular focus on health impacts in South-West Germany. Atmosphere, 8(11), 224; doi: 10.3390/atmos8110224.
- Nelles, D., Serrer, Ch., 2018. Kleine Gase - Grosse Wirkung: Der Klimawandel.
- Österreichischer Verband der Impfstoffhersteller, ?, FSME - ganz Österreich ist Zecken Endemiegebiet. [FSME Impfung: Ganz Österreich ist Zecken-Endemiegebiet | ÖVIH \(oevih.at\)](https://www.oehg.at/FSME-Impfung-Ganz-Österreich-ist-Zecken-Endemiegebiet) (aufgerufen 5.12.2019)
- Pöschl, U., 2005: Atmosphärische Aerosole: Zusammensetzung, Transformation, Klima- und Gesundheitseffekte. Angew. Chemie, 117, 7690-7712.
- Robert Koch-Institut, 2013. FSME: Risikogebiete in Deutschland (Stand: Mai 2013). Epidemiologisches Bulletin 18.
- Robert Koch-Institut, ?. FSME Risikogebiete in Deutschland. [Epidemiologisches Bulletin 9/2021 \(rki.de\)](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/S/FSME/Risikogebiete_in_Deutschland.html) (aufgerufen 5.12.2019)
- Robert Koch-Institut, ?b. Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2019. [Jahresstatistik meldepflichtiger Krankheiten nach Bundesland, Deutschland, 2018 und 2019 \(rki.de\)](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/J/Jahresstatistik_meldepflichtiger_Krankheiten_nach_Bundesland_Deutschland_2018_und_2019.html) (aufgerufen 11.02.2021)
- Russo, S., Sillmann J., Fischer E.M., 2015. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. Environ Res Lett 10:124003.
- StMUV - Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. 2015. Klima-Report Bayern 2015: Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten.
- Schaer, C., Vidale, P., Luthi, D., Frei, C., Haberli, C., Liniger, M., Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature 427.

- Schönwiese, C.-D., 2003. Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland. DWD Klimastatusbericht 2003.
- Schönwiese, C.-D., 2008. Klima-Trendatlas Europa 1901–2000. Berichte des Instituts für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt/Main 7(82).
- Senstadtum Berlin/BGMR, 2016. Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET. Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt/bgmr Landschaftsarchitekten GmbH, Berlin.
- Seto, K. C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G.C., Dewar, D., Huang, L., Inhaba, A. 2014. Human settlements, infrastructure and spatial planning. In: Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, New York: Cambridge University Press, S. 923–1000.
- Shoham, A., Hadziahmetovic, M., Dunaief, J.L., Mydlarski, M.B., Shipper, H.M., 2008. Oxidative stress in diseases of the human cornea. Free Radic Biol Med 45:1047–1055.
- Statista, ?a. Gesellschaft. Demographie. Zusammengefasste Geburtenziffer: Entwicklung der Fertilitätsrate in Deutschland 1990 bis 2019. [Fertilitätsrate in Deutschland bis 2019 | Statista](#) (aufgerufen 02.02.2020)
- Statista, ?b. Gesellschaft. Demographie. Fertilitätsrate in Österreich 2009 bis 2019. [Österreich - Fertilitätsrate 2019 | Statista](#) (aufgerufen 02.02.2020)
- Statista, ?c. Urbanisierungsgrad: Anteil der Stadtbewohner an der Gesamtbevölkerung in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2019. [Grad der Urbanisierung in Deutschland | Statista](#) (aufgerufen 02.02.2021)
- Statista, ?d. Urbanisierungsgrad in Österreich von 2009 bis 2019. [Österreich - Urbanisierung 2019 | Statista](#) (aufgerufen 02.02.2021)
- UFS - Umweltforschungsstation Schneefernerhaus GmbH, 2019. Wissenschaftliche Resultate 2017/2018.
- Umweltbundesamt, 2015. Die Asiatische Tigermücke Aedes albopictus Fachinformation. Dessau. [Die Asiatische Tigermücke \(umweltbundesamt.de\)](#) (aufgerufen 5.12.2019)
- Umweltbundesamt, ?a. Bodenversiegelung. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#okologische-auswirkungen> (aufgerufen 30.4.2020)
- Umweltbundesamt, ?b. CLISP. [CLISP – Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space | Umweltbundesamt](#) (aufgerufen 20.1.2020)
- Umweltbundesamt, ?c. Erneuerbare Energien. [Erneuerbare Energien | Umweltbundesamt](#) (aufgerufen 23.02.2021)
- Umweltbundesamt Österreich, ?, Flächeninanspruchnahme. https://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/datenproblematik/ (aufgerufen 30.4.2020)
- United Nations, ?. Department of Economic and Social Affairs - Population Dynamics. World Population Prospects 2019. [World Population Prospects - Population Division - United Nations](#) (aufgerufen 17.03.2021)
- Weiland, U., 2018. Stadt im Klimawandel. In: Bundeszentrale für politische Bildung. <http://www.bpb.de/politik/innenpolitik/stadt-und-gesellschaft/216883/stadt-im-klimawandel> (aufgerufen 11.02.2021)
- WHO (World Health Organisation), 2016. Ambient air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.
- Wikipedia, ?a, Treibhausgas. [Treibhausgas – Wikipedia](#) (aufgerufen 17.1.2020)

- Wikipedia, ?b, Mobilität. https://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%A4umliche_Mobilit%C3%A4t (aufgerufen 20.2.2020)
- Wolf, L., 2021. Wie viel trägt der Verkehr zum Klimawandel bei? In: Naturschutzjugend im LB (Hrsg.). Nestflüchter - Zeitschrift der Naturschutzjugend 2021.
- Woodcock, J., Edwards, P., Tonne, C., Armstrong, B.G., Ashiru, O., Banister, D., Beevers, S., Chalabi, m Z., Chowdhury, Z., Franco, O. H., Haines, A., Hickman, R., Lindsay, G., Mittal, I., Mohan, D., Tiwari, G., Woodward, A., Roberst, I., Cohen, A. J., 2009. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. Lancet 374(9705):1930–1943. doi:10.1016/S0140-6736(09)61714-1.
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik - ZAMAG. ?, Phänologie. [Phänologiespiegel — ZAMG](#) (aufgerufen 20.1.2020)
- Ziska, L. H., Gebhard, D. E., Frenz, D. A., Faulkner, S., Singer, B. D., Straka, J. G., 2003. Cities as Harbingers of Climate Change: Common Ragweed, Urbanization, and Public Health. J. Allergy Clinical Imm., 111, 2, 290-295.