

Dieses Manuskript ist eine Preprint Version eines Beitrags der Autoren für einen Sammelband (beim Verlag eingereicht).

Die Autoren dieses Beitrags weisen ausdrücklich darauf, dass die Nutzung dieses Manuskripts ausschließlich für persönliche und private Lesezwecke gestattet ist.

Stand: 22. Juni 2022

Bochum: Ausblick auf messbare Indikatoren in der fortschreitenden Klimakatastrophe bis 2046.

Autoren (in alphabetischer Reihenfolge): Helge Ehrhardt, Christian Linke, Steffen Schüttler.
Scientists for Future Bochum, Kontakt: bochum@scientists4future.org

Dieser Text wurde von Mitgliedern der „Scientists for Future Bochum“ verfasst. Scientists for Future (S4F) ist ein überparteilicher und überinstitutioneller Zusammenschluss von Wissenschaftler:innen, die sich für eine nachhaltige Zukunft engagieren. Scientists for Future bringt als Graswurzelbewegung den aktuellen Stand der Wissenschaft in wissenschaftlich fundierter und verständlicher Form aktiv in die gesellschaftliche Debatte um Nachhaltigkeit und Zukunftssicherung ein.

Einleitung

Der wissenschaftliche Ist-Zustand spielt in gesellschaftlich geführten Debatten hin zu einer zukunftsfähigen Ausrichtung eine zentrale Rolle. Besonders für Szenarioanalysen bietet der Ist-Zustand eine gute Basis, um Szenarien zu entwickeln und zu verstehen. Anlässlich des einjährigen Bestehens des Klimanotstandes in Bochum haben die Scientists for Future Regionalgruppe Bochum den Ist-Zustand in Bochum in einem Impulspapier (S4F Bochum, 2020) analysiert. Darin wurden die Entwicklungen einiger Indikatoren ausgewählter Nachhaltigkeitsziele und der klimatischen Veränderungen in Bochum analysiert, der Stand der Biodiversitätskrise sowie der Mobilitätswende und die Potenziale der Energiewende aufgezeigt und ebenfalls die politischen und finanziellen Rahmenbedingungen für die Umsetzung des Klimanotstands und damit des Klimaschutzes beleuchtet. Auf Grundlage dieser Analysen wurden zu den einzelnen Themenbereichen Handlungsempfehlungen an die Bochumer Politik und Stadtverwaltung aufgestellt. Die Ergebnisse aus dem Impulspapier wurden Anfang 2022 für diese Arbeit aktualisiert, dem Kontext der vorliegenden Szenarien eingeordnet und dienen diesen als Ergänzung.

Veränderung der Klimasituation und Auswirkung auf politisches Handeln

Basierend auf Beobachtungen aus der Vergangenheit werden, unabhängig von den künftigen Werten der globalen Erwärmung, die Temperaturen in allen europäischen Gebieten mit einer höheren Rate ansteigen als die der globalen Durchschnittstemperatur (IPCC, 2021a). Häufigkeit und Intensität extremer Hitzeperioden nahmen in den letzten Jahrzehnten zu und werden den Prognosen zufolge weiter zunehmen, unabhängig vom Szenario für die Treibhausgasemissionen (ebd.). Die globale Oberflächentemperatur wird unter allen betrachteten Emissionsszenarien bis

mindestens Mitte des Jahrhunderts weiter ansteigen (IPCC, 2021b, Kernaussage B.1). Diese aus dem 6. Sachstandsbericht des IPCC stammenden Prognosen lassen sich in ihren Auswirkungen nicht mehr abwenden. Angetrieben von historischen und aktuellen Treibhausgasemissionen, größtenteils aus der Verbrennung fossiler Kohlenstoffablagerungen, kommt das thermodynamische System ‚Erde‘ selbst durch einen sofortigen Stopp sämtlicher Treibhausgasemissionen nicht zurück in seinen Ausgangszustand. Ein Zurück zu einem Zustand ‚wie es einmal war‘ wird es auch nicht mehr geben, vielmehr wird sich bestenfalls in einem Netto-Null-Szenario¹ die globale Jahresmitteltemperatur für längere Zeit bis einige Jahrhunderte auf einem nahezu konstanten Wert einpendeln (Solomon et al., 2008). Da sich der globale Temperaturanstieg in den nächsten Jahrzehnten nicht verhindern lässt, wird sich in der menschlichen Wahrnehmung im Alltag aus dem Zusammenspiel aus umgesetzten ‚Klimaschutzmaßnahmen‘ und gemessenem Temperaturanstieg kein Zusammenhang feststellen lassen. Es gilt, der auf allen Ebenen möglichen Option einer fatalen Fehldeutung des ‚das bringt doch alles Nichts‘ entgegenzuwirken. Selbstverständlich werden Maßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen andere wahrnehmbare positive Effekte nach sich ziehen, weshalb es wichtig ist, diese Maßnahmen umzusetzen, auch mit Blick auf deren langfristige Auswirkungen. Aber: Das allgemein attestierte Wissen um die Auswirkungen des Klimawandels führt nicht zu einem kollektiven Verhaltenswandel von 8 Milliarden Menschen. Ein auf das Individuum ausgerichteter Moralismus blendet zudem die gegenwärtigen systemimmanenten Zerstörungsmechanismen marktbeherrschender Ökonomien aus. Wir haben kein Wissensproblem, sondern ein Handlungsdefizit und vor diesem Hintergrund ein gewaltiges Motivationsproblem. Produziertes Wissen erzeugt noch kein Verständnis und verfügbares Wissen muss man auch umsetzen wollen – auch in der Politik. Ein optimistisches Ambitionsniveau allein reicht nicht aus. Es bedarf eines koordinierten Handelns auf allen staatlichen und nicht-staatlichen Ebenen, um eine klimaresiliente Gesellschaft zu erreichen (Kahlenborn et al., 2021b). Es ist daher wichtig zu vermitteln, dass man als Gemeinschaft, d. h. jeder Einzelne und als Gruppe, den negativen Folgen des Klimawandels begegnen kann. Die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an absehbar lokale Folgen sich ändernder klimatischer Bedingungen werden bei den Menschen vor Ort erlebbare Selbstwirksamkeitserfahrungen hervorrufen. Ein Beispiel: Dachbegrünungen werden sommerliche Hitzewellen nicht verhindern. Das Wohnen unter einem begrünten Dach wird in den Sommermonaten hierzulande während einer Hitzewelle zwar immer noch beschwerlich sein, aber deutlich angenehmer und längst nicht so belastend wie es ohne Dachbegrünung wäre. Allerdings wäre in diesem Beispiel eine Dachbegrünung (sofern

¹ Netto-Null bedeutet hier (stark vereinfacht), es werden nur so viele von Menschen induzierte Treibhausgase (mit ihrer Wirkung auf die Erderwärmung) emittiert wie gleichzeitig durch andere Maßnahmen (natürliche und technische Senken) der Atmosphäre wieder entzogen werden.

baulich überhaupt möglich) nur das niedrigste Ambitionsniveau, wie die Wohnsituation verbessert werden könnte. Auf kleinen Erfolgen darf man sich nicht ausruhen.

Klimasituation 2046

Das Umweltbundesamt publizierte in der „Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021“ im Umfang von sechs Teilberichten eine multiperspektivische und tiefgehende Analyse zur Entwicklung der klimatischen Bedingungen. Eine Aussage dieser Analyse besagt, dass Bochum an der Grenze zwischen zwei herausgearbeiteten Klimaraumtypen liegt: Für die Lage Bochums lassen sich ein vergleichsweise moderater Temperaturanstieg mit annähernd den höchsten mittleren Temperaturen im Bundesgebiet ableiten und zudem deutlich häufigere Temperaturextreme wie steigende Zahlen von Starkregentagen, Hitzetagen und tropischen Nächten, aber auch weniger Frosttagen (Kahlenborn et al., 2021b, S. 109f). Bis Mitte des Jahrhunderts (2031 bis 2060) hat die Wahl des Emissionsszenarios² nur einen geringeren Einfluss auf die Temperaturänderung in Deutschland (Kahlenborn et al., 2021a). Dieser Feststellung folgend können wir bei unserer Prognose der Temperaturänderungen in Bochum bis zum Jahr 2046 ein einfaches Regressionsmodell anwenden, um eine qualitative Aussage zu treffen. Den beobachteten globalen Trend langfristig ansteigender Jahresmitteltemperaturen finden wir auch in Bochum (S4F Bochum, 2020, S. 33f). Heute, 110 Jahre nach Beginn der Messreihe, liegt in Bochum die statistische Jahresmitteltemperatur um 1,8 °C höher. Aus dem linearen Trend der historischen Daten (Abb. 1) folgt eine für das Jahr 2046 zusätzliche Erhöhung der mittleren Temperatursteigerung von 0,4 °C im Vergleich zu heute. Damit läge in Bochum die statistische Jahresmitteltemperatur um 2,2 °C höher als zu Beginn der Wetterdatenaufzeichnungen im Jahr 1912. In der hier einfachen Abschätzung ergibt sich für das Jahr 2046 eine aus der Statistik abgeleitete Jahresmitteltemperatur von $(11,8 \pm 0,4)$ °C.

² Gemeint sind die im 5. Sachstandsbericht des IPCC eingeführten Treibhausgasemissionspfade RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5, <https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien.html>

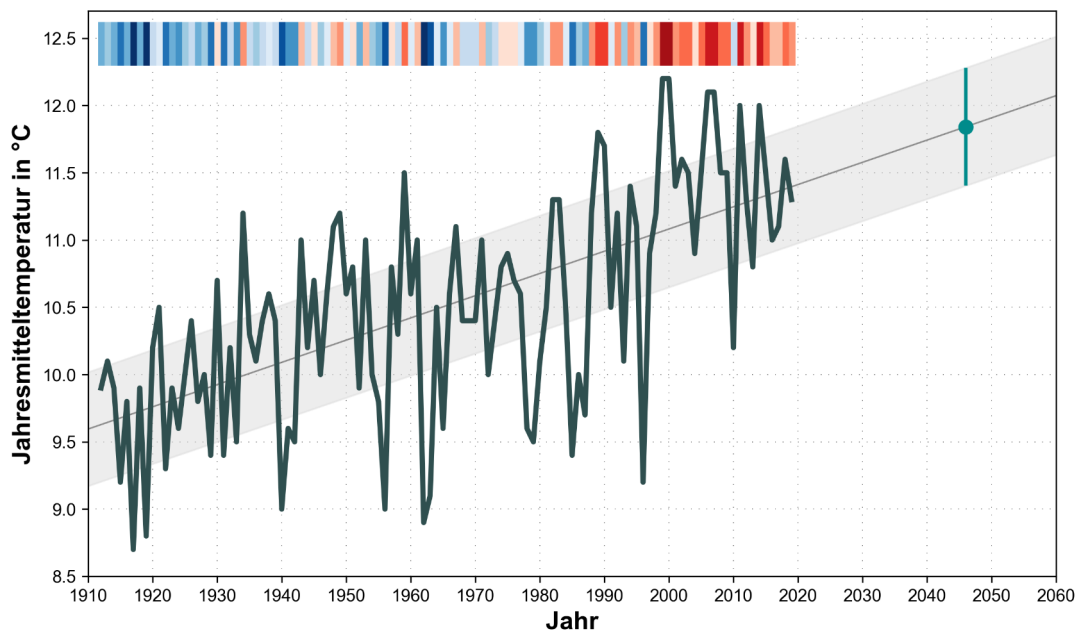


Abbildung 1: Verlauf der Jahresmitteltemperatur (schwarze Kurve) in Bochum einschließlich linearem Trend (graue Gerade und schraffierter Bereich). Die korrespondierenden Warming Stripes für Bochum stehen über der Temperaturkurve. Hervorgehoben ist das Jahr 2046 (cyan). Einzelheiten siehe Text.

In Abbildung 1 dargestellt ist der Verlauf der Jahresmitteltemperatur (schwarze Kurve) am Standort Bochum³ für den Zeitraum 1912 bis 2019. Am oberen Rand sind die von uns berechneten Warming Stripes für Bochum (S4F Bochum, 2020, S. 34f) eingefügt. Weiterhin eingezeichnet sind der lineare Trend (dunkelgraue Regressionsgerade) und dessen Fehlerbereich (hellgraue Fläche). Das Jahr 2046 ist hervorgehoben (cyan). Die Schwankungen der historischen Daten um die Trendlinie zeigen auch, dass die hier genannte Abschätzung für das Jahr 2046 nicht als Gewissheit zu verstehen ist. Ein Jahr mit mildem Winter und nass-kaltem Sommer wäre genauso realistisch wie ein Jahr mit strengem Winter und einer Hitzewelle im Sommer. Beide Szenarien könnten sogar im Jahresmittel die gleiche Temperatur haben. Selbst eine extreme Hitzewelle wie in 2018 mit 92 Sommertagen⁴ (höchster Peak in Abb. 2) muss nicht zu einer verstärkt überhöhten Jahresmitteltemperatur führen (letzte kleine Temperaturspitze in Abb. 1). Tatsächlich weisen die Jahre 2018 und 2002 die gleichen Jahresmitteltemperaturen auf, wobei in 2002 sogar statistisch unterdurchschnittlich wenige 34 Sommertage gezählt wurden. Allein der Blick auf die Jahresmitteltemperatur sagt nichts über das Auftreten einzelner Hitzeperioden aus. Es werden jedoch die Hitzewellen sein, unter denen Stadtbewohner zu leiden haben werden. Starke und/oder längere Hitzewellen führen dabei regelmäßig zu einer erhöhten Mortalität, besonders in den älteren Altersgruppen (an der Heiden et al., 2019), sind aber auch z. B. für

³ Ludger-Mintrop-Stadtklimastation

⁴ Die meteorologische Bezeichnung Sommertag gilt ab einer Tageshöchsttemperatur von 25 °C. Hitzetage (ab 30 °C) bilden eine Untermenge der Sommertage.

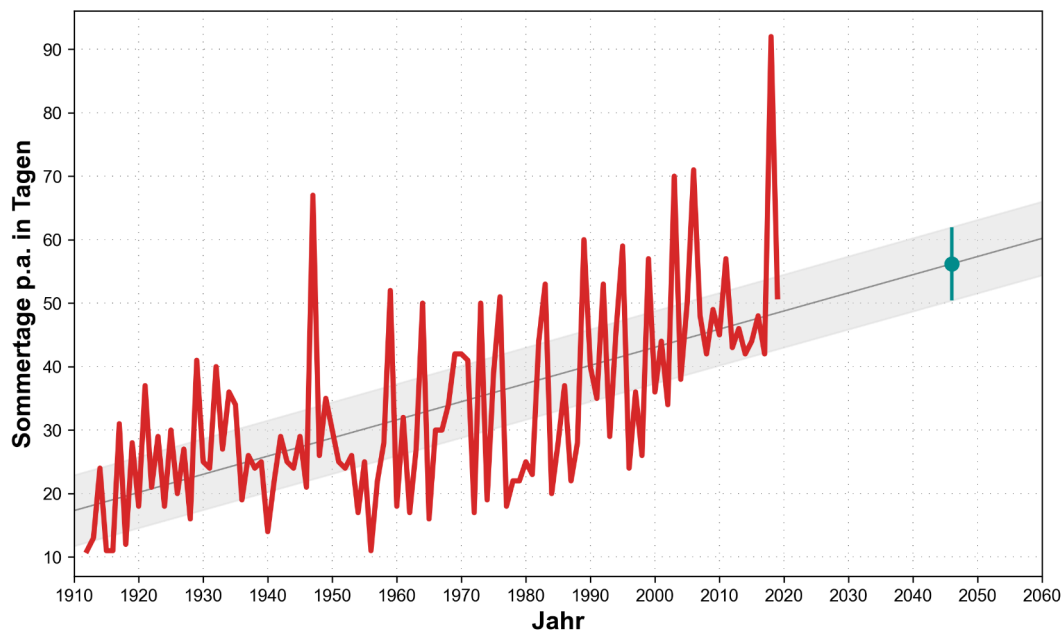


Abbildung 2: Verlauf der Sommertage (rote Kurve) in Bochum einschließlich linearem Trend (graue Gerade und schraffierter Bereich). Hervorgehoben ist das Jahr 2046 (cyan). Einzelheiten siehe Text.

Säuglinge und Kleinkinder gefährlich. Mit zunehmender Erderhitzung steigt auch die Anzahl der erwartbaren Sommertage (S4F Bochum 2020, S. 32).

In Abbildung 2 sind die in Bochum pro Jahr gemessenen Sommertage (rote Kurve) in ihrem zeitlichen Ablauf dargestellt. Es zeigt sich ein über die Jahre zunehmender Trend der pro Jahr gemessenen Sommertage. Wie schon beim Temperaturverlauf nutzen wir hier die lineare Regression (dunkelgraue Gerade mit hellgrauem Fehlerbereich), um eine qualitative Prognose der Entwicklung der jährlich erwartbaren Sommertage zu treffen. In den vergangenen 110 Jahren ist das statistische Auftreten von Sommertagen von anfangs 18 Tage auf heute 49 Tage pro Jahr angestiegen. Die zunehmende Wahrscheinlichkeit der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen, begünstigt durch den sich abschwächenden Jetstream und der daraufhin ansteigenden Wahrscheinlichkeit stabiler Wetterlagen über Mitteleuropa (Loew et al., 2019), und deren Einflüsse auf die Steigerungsraten jährlicher Sommertage können diese einfachen statistischen Überlegungen nicht abbilden. Auf Basis des linearen Regressionsmodells werden ohne physikalische Aussage für das Jahr 2048 (cyaner Balken) statistisch betrachtet (56 ± 6) Sommertage als ‚normal‘ bzw. ‚erwartbar‘ geschätzt.

Gesundheitliche Auswirkungen der Erderhitzung und politischer Handlungsrahmen

Ungeachtet einer gemessenen oder prognostizierten Temperatur sagen diese Werte nichts zu den

Raumtemperaturen in Wohn- und Arbeitsgebäuden aus. So können sich z. B. bauartbedingt industrielle Fertigungshallen, Materiallager und auch Wohngebäude bereits bei moderaten Lufttemperaturen aber direkter Sonneneinstrahlung stark aufheizen. Kritisch wird der Aufenthalt in solch aufgeheizten Räumen, wenn sich die Raumtemperatur nicht senken/ableiten lassen. Die zunehmende Erderhitzung begünstigt das vermehrte Auftreten von Extremwetterereignissen in Deutschland. Die damit verbundenen gesundheitlichen Risiken nehmen in der Wahrnehmung der Bevölkerung eine vergleichsweise untergeordnete Rolle ein bzw. sind von anderen Risiken des Klimawandels überlagert (Berger et al., 2019). Die Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe „Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK)“ empfiehlt den Bundesländern die Erstellung eines Hitzeaktionsplans, dessen Umsetzung im Wesentlichen auf kommunaler Ebene erfolgen soll. Solche Aktionspläne seien dazu geeignet, um zum einen die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels, insbesondere von extremer Hitze, effizient zu kommunizieren und zum anderen ein an die Situation angepasstes Risikoverhalten zu erreichen und präventive Handlungsmöglichkeiten zu etablieren und sie sollten sowohl Verhaltens- als auch verhältnispräventive Maßnahmen in allen Präventionsbereichen beinhalten (GAK, 2017). Die 2014 in der Emscher-Region gestartete Zukunftsinitiative „Wasser in der Stadt von morgen“ fokussiert eine nachhaltige, dezentrale Regenwasserbewirtschaftung zur Stärkung des natürlichen Wasserkreislaufs (Emschergenossenschaft / Lippeverband, o. J.). Davon abgeleitet sind die Projekte „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“ und „Offensive Grüne Infrastruktur 2030“, welche als zukunftsfähige und nachhaltige Stadtentwicklungsmaßnahmen auf den Gesamttraum des Regionalverbands Ruhr ausgeweitet werden sollen, „um die Region klimafest zu machen“ (MULNV, 2020).

Strom- & Wärmeversorgung in Bochum

Ziel jeder Kommune muss es sein, die Potenziale für eine Stromversorgung aus Erneuerbaren Energien (EE) auf dem eigenen Stadtgebiet so gut und vollständig wie möglich zu nutzen. In Bochum entfallen ca. 93% der EE-Strompotenziale auf die Photovoltaik (PV) wodurch hier klar der Fokus zu setzen ist. Laut ‚Energieatlas NRW‘ (LANUV, 2021a) betragen die Potenziale in Bochum mit Stand 31.12.2020 für PV-Dachflächen 877 GWh/a und 321 GWh/a für PV-Freiflächen. Im Jahr 2020 wurden 31,9 GWh PV-Strom in Bochum erzeugt, was einer Potenzialnutzung von 2,7% entspricht. Unter der Annahme, dass sich bis 2046 von den Potenzialen 60% bei den Dachflächen und 50% bei den Freiflächen heben lassen, würde sich eine PV-Stromproduktion von 687 GWh/a für Bochum ergeben. Bei Stromgestehungskosten von 10 ct/kWh entspräche dies einer regionalen Wertschöpfung von 68,7 Mio. € pro Jahr und würde

einiges zur Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen beitragen. Bei der Erschließung der Dachflächenpotenziale sollte nicht übersehen werden, dass vor allem Flachdächer durch Begrünung einen wichtigen Beitrag zur Entschärfung von Hitzeinseln und als Hitzeschutz für die darunter wohnenden Menschen leisten können und sollen. In der Ausführung als Solargründach lassen sich beide Effekte hervorragend kombinieren. Für den Ausbau von PV-Freiflächenanlagen bieten sich vorrangig die großen Parkplätze vor Einkaufszentren und Baumärkten an. Bis 2046 sollten diese mit PV-Dächern und Ladesäulen für E-PKW ausgestattet sein.

Mit 2.944 GWh/a (LANUV, 2021a) liegt der Stromverbrauch in Bochum schon heute mehr als doppelt so hoch wie die Summe aller Potenziale mit 1.287 GWh/a auf dem Stadtgebiet. Für eine Kommune, die mit 2.541 Einwohnern pro km² (Stadt Bochum, 2022b) fast die 11-fache Bevölkerungsdichte aufweist wie die gesamte Bundesrepublik mit 232 EW/km² ist das völlig normal. Zu dem aktuellen Stromverbrauch wird sich der Strombedarf für die E-Mobilität und die Wärmeerzeugung addieren. Auf Basis des Gebäudebestandes 03/2019 in Nordrhein-Westfalen (NRW) wurde vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW über eine modellhafte Berechnung der Wärmebedarf aller Gebäude in Bochum inkl. Trinkwassererwärmung mit 4.294 GWh/a ermittelt. Die Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung (LANUV, 2021b) beinhaltet die Fortschreibung des Wärmebedarfs, woraus sich für 2046 ein Wert von 2.112 GWh/a ableiten lässt. Diese enorme Reduzierung des Wärmebedarfs setzt große Fortschritte bei der Sanierung und Wärmedämmung des Gebäudebestandes voraus. Insbesondere die vor 1978 errichtet und bisher ungedämmten Gebäude müssen bis 2046 annähernd vollständig saniert werden. Ein Orientierungswert für den zusätzlichen Strombedarf kann unter den Annahmen gefunden werden, dass diese 2.112 GWh Niedertemperaturwärme durch elektrische Wärmepumpen mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4,0 bereitgestellt werden (Acksel et al., 2022), woraus sich 528 GWh ergeben. Die Bereitstellung der selben Wärmemenge mit Wasserstoff (H₂) würde selbst bei einem Gesamtwirkungsgrad von 70% des Elektrolyseurs und Heizkessels 3.017 GWh EE-Strom erfordern und damit den Strombedarf von Bochum etwa verdoppeln. Wasserstoff ist unverzichtbar als Grundstoff in der chemischen Industrie, bei der klimafreundlichen Stahl- und Zementherstellung sowie bei der Erzeugung von Hochtemperaturwärme und der saisonalen Energiespeicherung. Für die Raumwärmeversorgung ist Wasserstoff viel zu ineffizient. Die zukünftige Wärmeversorgung von Bochum muss vom Ziel her gedacht werden, also ohne fossile Energieträger und ohne direkte H₂-Nutzung zur Niedertemperaturwärmeerzeugung.

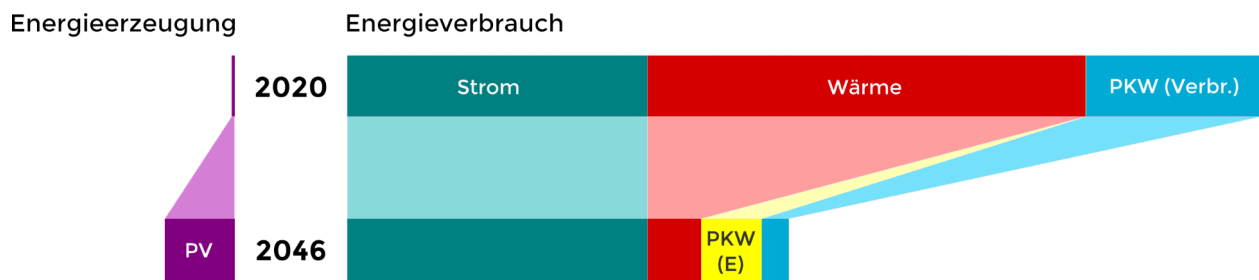


Abbildung 3: Gegenüberstellung der Energieerzeugung und Energieverbräuche in Bochum im Jahr 2020 und bei optimistischer Ausschöpfung der Potenziale für 2046. Einzelheiten siehe Text.

Sollte sich der steigende Trend in der Nutzung der E-Mobilität wie im Abschnitt ‚Mobilität allgemein‘ dargestellt fortsetzen, so entstünde ein zusätzlicher Strombedarf in der Größenordnung von 590 GWh/a. Da die Nutzung elektrischer Energie im motorisierten Individualverkehr viel effizienter ist als die Verbrennung von Flüssigkraftstoffen, reduziert sich der Gesamtenergieverbrauch (vergl. Abb. 3, gelbe und blaue Bereiche).

In einer relativ optimistisch geschätzten Entwicklung nehmen wir für das Jahr 2046 in Bochum einen Strombedarf von ca. 4.060 GWh an. Zur Erinnerung, die geschätzten erschließbaren Potenziale ergäben eine Stromerzeugung von 690 GWh/a. Es ist also völlig ausgeschlossen, dass es im Stadtgebiet von Bochum zu nennenswerten Stromüberschüssen kommt. Ebenso unrealistisch ist eine autarke Energieversorgung. Die PV-Stromerzeugung in Bochum bis 2046 um mehr als den Faktor 20 zu steigern, ist hingegen eine durchaus realistische Zielvorstellung.

Stromnetze

Wenn beim Ausbau der Erneuerbaren in den nächsten 24 Jahren nicht vollkommen versagt wird, werden wir 2046 in etwa um 80% Wind- und Solarstrom im Netz haben, der natürlich witterungsabhängig ist. Daher werden wir entweder zu viel oder zu wenig EE-Strom im Netz haben, was der größtmöglichen Flexibilisierung der Verbraucher enorme Bedeutung verleiht. Da E-Autos als Speicher auf Rädern betrachtet werden, ist die Nutzung dieser Kapazitäten durch intelligentes Laden, auch *smart charge* genannt, der wohl wichtigste Schritt zur Anpassung an die Schwankungen im Tagesverlauf. Ein zweiter großer Beitrag kann durch die netzdienliche Flexibilisierung von Wärmepumpen erfolgen. Gebäude und Heizsysteme sind relativ träge und verfügen über eine nennenswerte Speicherfähigkeit. Daher kann der Betrieb von Wärmepumpen von Zeiträumen mit geringem Stromangebot auf die mit hohem verschoben werden. Bei dynamischen Preisen können so hohe wirtschaftliche Vorteile verwirklicht werden.

Die Handlungsempfehlungen für Strom- und Wärmeversorgung lauten:

- Bestmögliche Nutzung der Potenziale in Bochum.

- Umsetzung von Projekten außerhalb von Bochum durch die Stadtwerke.
- Kommunale Wärmeplanung mit dem Schwerpunkt auf Wärmepumpen.
- Reduzierung des Wärmebedarfs durch Sanierung des Gebäudebestandes.
- Netzdienlicher Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Mobilität (nicht nur E-Autos).
- Netzdienliche Flexibilisierung der Wärmepumpen.

Mobilität allgemein

In Deutschland ist der Verkehrssektor der Sektor aller größten Emittenten, welcher seit 1990 keine Reduzierung der Treibhausgase vorweisen konnte (Drosihn, 2021). Daher besteht in diesem Sektor noch ein riesiges Potenzial, die Treibhausgasemissionen senken zu können. In Bochum zeigt sich dieser Trend ebenfalls in den Treibhausgasemissionen von 2012 bis 2017 (Frisch, 2019), die in diesen Jahren konstant bei 600.000 t CO₂-Äquivalenten pro Jahr lagen. Dass sich die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor in den letzten Jahren reduziert haben, ist unwahrscheinlich. Denn waren es Anfang 2017 noch 187.360 gemeldete PKWs in Bochum (Open Data Stadt Bochum, 2020), so sind es im Dezember 2021 bereits 210.353 (Stadt Bochum, 2022a). Dies entspricht einem Anstieg von knapp 23.000 PKWs und rund 12,3%. Sollte dieser lineare Trend sich weiter in Bochum fortsetzen, so steigt die Anzahl gemeldeter PKW in Bochum im Jahr 2046 auf bis zu 321.000 PKWs an. In dem Zeitraum von 2017 bis 2022 hat sich jedoch auch die Anzahl der E-Autos erhöht, und zwar sehr stark: von 164 im Januar 2017 auf 3.444 im Dezember 2021. Damit hat sich der Anteil an E-Autos an der Gesamtzahl an PKW in 5 Jahren von 0,07% auf 1,32% nahezu versiebenfacht. Sollte sich auch dieser Trend weiter fortsetzen, so könnten bereits im Jahr 2046, oder sogar früher, alle PKW in Bochum elektrisch betrieben sein. In Anbetracht der politischen Entwicklungen der vergangenen Jahre, unter anderem sei hier der Green Deal der Europäischen Kommission zu nennen, scheint diese Entwicklung realistisch, auch wenn eine Quote von 100% in 2046 schwer zu erreichen sein wird. Sollte wie im Green Deal geplant die Zulassung von Verbrennern ab 2035 verboten werden (Europäische Kommission, 2021), so werden zwar noch durch die durchschnittliche Lebenszeit von PKWs von 10 Jahren (Statista, 2022a) Verbrenner auf den Straßen in Bochum unterwegs sein, ihr Anteil an allen in Bochum zugelassenen PKW wird aber gering sein.

Ein hoher Anteil an E-Autos am Individualverkehr lässt zwar die Emissionen des Verkehrssektors sinken, strukturelle Probleme werden dadurch jedoch nicht gelöst. So benötigen die E-Autos eine ebenso große Fläche für Parkplätze und das entsprechende Straßensystem. Zudem treten neue Probleme auf, wie beispielsweise die fehlende Ladeinfrastruktur (Kleine-Möllhoff et al., 2012) oder der größere Ressourcenbedarf von E-Autos gegenüber von

Verbrennern (BMU, 2021). Hinzu kommt die große Menge an Strom, die für die E-Autos in Bochum benötigt werden würde. Dieser muss aus erneuerbaren Energien stammen, damit die klimaneutrale Fortbewegung durch E-Autos gewährleistet ist. Setzt sich, wie oben beschrieben, der lineare Anstieg der PKW in Bochum fort, dann ergibt sich für 2046 eine zusätzliche Menge elektrischer Energie in der Größenordnung⁵ von 590 GWh/a für den Individualverkehr in Bochum.

Da eine Antriebswende noch keine Verkehrswende ist, sind, neben der Elektrifizierung des Verkehrs, weitere wichtige Schritte für eine zukunftsfähige Ausrichtung des Verkehrssektors notwendig, welche als Handlungsempfehlung an die Bochumer Verwaltung und Politik gerichtet werden kann (Pries/Roos, 2020):

- Der Anteil des motorisierten Individualverkehrs durch private Nutzung des PKWs muss reduziert werden und sich auf den geteilten Autoverkehr, den öffentlichen Verkehr, den Fahrradverkehr und Fußverkehr verlagern. Eine gute Abstimmung der Mobilitätsarten in Bochum und über seine Grenzen hinaus ist dabei zwingend erforderlich, sodass die Menschen nicht auf die Nutzung des eigenen PKWs angewiesen sind.
- Ganzheitliche Systemveränderungen mit einer nachhaltigen Neugestaltung des Verkehrssystems müssen die Grundlage bilden. Die Summe vieler kleiner Einzelmaßnahmen kann nicht die nötige nachhaltige Transformation herbeirufen.
- Planungs-, Umsetzungs- und Finanzierungskompetenzen müssen auf städtischer Ebene besser zusammenarbeiten, wobei finanzielle Verhandlungen mit höheren Ebenen wie Land, Bund und EU auf Basis der Priorisierung des nicht-motorisierten Individualverkehrs geführt werden müssen.
- Eine enge Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten wie Verkehrsbetrieben, Kommunalverwaltung, Planungsbehörden, politischen Entscheidungsgremien aber auch privaten Mobilitätsunternehmen und zivilgesellschaftlichen Organisationen ist nötig.
- Technische, organisatorische und ökologische Aspekte bilden nur Teilbereich einer Transformation ab. Soziale, kulturelle und politische Dimensionen dürfen in den Überlegungen nicht vernachlässigt werden.

⁵ Hier wurde mit dem aktuellen durchschnittlichen Energieverbrauch von 16 kWh pro 100 km für E-Autos (Agora Verkehrswende, 2019) und einer durchschnittlichen Fahrleistung von 12.790 km (Statista, 2022b) gerechnet und die Annahme von 90% E-Autos an der Gesamtzahl an PKW in Bochum im Jahr 2046 getroffen.

Biodiversität

Der global IPBES-Assessmentreport der biologischen Vielfalt und Ökosystemleistungen der Zwischenstaatlichen Plattform für Biodiversität und Ökosystemleistungen aus dem Jahr 2019 zeigt deutlich den zunehmenden schlechten Zustand der Biodiversität auf. So deuten die Daten darauf hin, dass 1 Million Arten in den nächsten Jahrzehnten aussterben werden, denn der Anteil von gefährdeter Arten beträgt durchschnittlich 25% für die zu dem Stand untersuchten und bewerteten Tier- und Pflanzenarten. Zudem ist dieser aktuelle Verlust bis zu 100-mal so schnell wie im Mittel der gesamten letzten zehn Millionen Jahre (IPBES, 2019). Die Hauptursache für diesen rasanten Verlust sehen die Autoren und Autorinnen in dem Landnutzungswandel seit 1970: Bis 2016 hat sich der Produktionswert landwirtschaftlicher Nutzpflanzen verdreifacht und bis 2017 stieg die Rohholzernte um 45% an. Mittlerweile sind drei Viertel der Landoberfläche signifikant verändert worden und 85% der Feuchtgebiete sind verloren gegangen. Der Klimawandel ist bei dieser Entwicklung zudem eine Antriebskraft, welche die negativen Einflüsse der veränderten Landnutzung beschleunigen kann (ebd.). Neben den negativen Auswirkungen auf die Natur, Ökosysteme und die Nahrungsmittelproduktion, sollten auch die negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen bei nicht-intakten Ökosystemen nicht vernachlässigt werden.

In Deutschland zeigt sich ein ähnliches Bild. Der Bericht über Daten zur Natur 2016 zeigt auch für Deutschland, dass bereits 29% der 32.000 untersuchten heimischen Tier-, Pflanzen und Pilzarten bestandsgefährdet sind sowie bereits 5,6% ausgestorben sind. Dabei sind bei 34% der Arten die Bestände in den letzten 150 Jahren zurückgegangen (BfN, 2016). Der hohe Verlust an Feuchtgebieten global ist ebenfalls in Deutschland zu erkennen, da 2009 bei einer deutschlandweiten Analyse lediglich 10% aller Auen von 70 Flüssen als „sehr gering verändert“ oder „gering verändert“ eingestuft wurden. 54% der Auen sind dagegen bereits „stark verändert“ oder „sehr stark verändert“ (ebd.). Eine aktuelle Untersuchung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit aus dem Jahr 2020 kommt zu dem Ergebnis, dass 63% aller Flora-Fauna-Habitat (FFH) -Arten und 69% aller FFH-Lebensraumtypen einen „ungünstig-unzureichenden“ oder „schlechten“ Erhaltungszustand haben, sowie der Bestand von ein Drittel der Brutvogelarten in den letzten 12 Jahren zurückgegangen ist (BMU/BfN, 2020). In diesem Bericht nennen die Autoren und Autorinnen insbesondere die hohen Nährstoff- und Pestizideinträge in die Umwelt sowie die verschiedenen Arten der veränderten Land- und Flächennutzung als Ursachen.

Baumbestand in NRW

In NRW liegt der Anteil an Bäumen, welche keine Kronenverlichtung aufweisen, im Jahr 2021 bei gerade einmal 28% (MULNV, 2021). Somit zeigen drei von vier Bäumen eine schlechte Vitalität auf. Zwar hat sich der Wert um 5% gegenüber 2020 verringert, allerdings liegen die Werte für die Jahre 2018 bis 2021 alle oberhalb der Messungen der Vorjahre seit Beginn der Erhebung des Waldzustands im Jahr 1984. In den Jahren 2018 bis 2020 litt der Wald in NRW besonders unter dem Dürrestress. 2021 entspannte sich die Lage etwas, jedoch ist der Wald immer noch in einem kritischen Bereich. Dies zeigt sich u. a. an den Sterberaten der wichtigsten Bäume. Im Jahr 2019 stieg die Absterberate auf 2,4%, 2020 lag sie bei 3,98% und im Jahr 2021 erreichte sie einen Höchstwert von 5,2%, was das 25-fache des langjährigen Mittels (0,21% bis 2018) ist. Besonders die Fichte litt unter der Trockenheit und der Borkenkäfer-Kalamität der letzten Jahre, wodurch die Sterberate der Fichte im Jahr 2021 bei 16,48% lag und damit das 78,5-fache des langjährigen Mittels erreichte (ebd.).

Datenlage zur Biodiversität in Bochum und Handlungen zur Biodiversitätssteigerung

Für Bochum ist die Datenlage nicht sehr aufschlussreich, da kaum Daten zur Entwicklung der Biodiversität gefunden werden können. Das aber die oben beschriebenen Entwicklungen auch für Bochum vorliegen, erscheint nur plausibel. Eine wissenschaftlich begleitete Untersuchung, unter anderem auch auf dem Bochumer Stadtgebiet, befasste sich mit der Entwicklung der Populationen des Feuersalamanders. Dabei zeigte sich, dass die Bestände, welche in Bochum bereits durch die hohe Bebauungsdichte zuvor schon gering waren, zusätzlich durch einen aus Ostasien eingeschleppten Pilz, den sogenannten *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal) in den letzten Jahren dramatisch gesunken sind (Schulz et al., 2020).

Die Probleme rund um den Verlust an Biodiversität hat die Bochumer Politik und Verwaltung bereits erreicht, sodass in den letzten Jahren diverse Programme und Projekte initiiert wurden, um dem Verlust an Insekten und Co. entgegen zu wirken. So besteht seit 2019 im Rahmen des Projektes „Blühstreifen“ bei der Verpachtung von städtischen Ackerflächen die Auflage, Wildblumen an den Rändern zu säen. An bestehenden Ackerrändern konnte durch die Einsaat heimischer Wildblumensamen der Anteil an Blütenpflanzen erhöht werden. Zudem werden bei dem Projekte „Bochum blüht und summt“ seit 2019 städtische Flächen in Blumenwiesen umgewandelt (Stadt Bochum, o.J.). Weitere Programme zum Schutz spezifischer Lebensräume und gefährdeter Tierarten in Bochum sind das Streuobstwiesenprogramm, das Mauerseglerprogramm, das Kreuzkrötenprogramm sowie die Kampagnen „Arten der Feldflur“ und „Spatz braucht Platz“. Ebenso werden, zur Verbesserung der Lebensbedingungen des Waldkauzes, regelmäßig Kopfbäume geschnitten und für die des Uhus eine Steinbruchsteilwand

entbuscht, sowie für den Wanderfalken Nistkästen installiert (Gausmann, 2017).

Um all die Projekte von Seiten der Stadt in ihrem Erfolg bewerten zu können, bedarf es auch auf dem Bochumer Stadtgebiet eines ausführlichen und genauen Biodiversitäts-Monitorings. Dies erlaubt die Projekte wissenschaftlich zu evaluieren, bei Bedarf entsprechende Anpassungen vorzunehmen und die weitere Entwicklung zu bewerten. Hierfür muss in der Stadtverwaltung das benötigte Budget zur Verfügung gestellt bzw. erhöht werden. Ebenso ist eine vertiefte und ausgeweitete Kooperation der Stadt mit den in Bochum angesiedelten Hochschulen sowie den Naturschutzverbänden anzustreben. Ein erfolgreiches Beispiel für die Schnittstelle von Wissenschaft und Naturschutzverbänden ist beispielsweise die Zählaktionen des Naturschutzbundes Deutschland (NABU), bei welcher Anfang Januar 2022 erneut 170.000 Menschen bei der zwölften „Stunde der Wintervögel“ mitmachten und Vögelsichtungen in ihrer nahen Umgebung dokumentierten. Dabei lagen die Ergebnisse im Bundesmittel unter dem Durchschnitt aller zwölf Aktionsjahre. Während im Jahr 2011 noch fast 46 Vögel pro Beobachtung gezählt wurden, waren es im Jahr 2022 mit 35,5 durchschnittlich zehn Vögel weniger (NABU, 2022). Auch dabei wurden die oben beschriebenen negativen Entwicklungen der Biodiversität beobachtet. Solche öffentlichen Wissenschaftsprojekte können auch für Bochum ein mögliches Mittel sein.

Kommunale Selbstverwaltung und Partizipation

Die kommunale Daseinsvorsorge ist die zentrale Aufgabe von Kommunen. Hierbei obliegen ihnen pflichtige und freiwillige Selbstverwaltungsaufgaben, in deren Rahmen sie die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel weitgehend frei verteilen können. Da der Klimaschutz nicht zu den pflichtigen Aufgaben gehört, zählt er wie die Förderung von Wirtschaft, kulturellen Einrichtungen und Grünanlagen zu den freiwilligen Aufgaben der Selbstverwaltung. Dies ist aber kein Grund, beim Klimaschutz ausschließlich auf die Einwerbung von Fördergeldern zu hoffen oder darauf zu verweisen, dass eben solche fehlen. Bei der Erfüllung kommunaler Aufgaben, egal ob freiwillig oder pflichtig, liegt der Entscheidungsspielraum über das ‚Wie‘ der Umsetzung bei der Kommune. Klimaschutz und Klimafolgenanpassung⁶ erfordern ein Hinterfragen der eigenen eingespielten Handlungsabläufe, auch in der kommunalen Verwaltung, woraus sich eine Vielzahl von Möglichkeiten ergeben. Oftmals wird kommunales Handeln ausschließlich als beispielhaft und im Sinne einer Vorbildfunktion gesehen, auch weil der Anteil der vom öffentlichen Sektor verursachten Treibhausgasemissionen nur marginal sei. Mit gutem

⁶ Anpassungsmaßnahmen sind keine Strategie zur Begrenzung des Klimawandels, wohl aber zur Abmilderung der negativen Folgen insbesondere für die Menschen (BVerfG, 2021, Rn. 34).

Beispiel vorangehen: Ein solches Verhalten ist gut fürs Marketing und die Selbstdarstellung. Tiefgreifende Änderungen bewirken sie nicht. Konkret erfordert der Übergang in ein Szenario der Klimaneutralität, dass frühzeitig transparente Maßgaben für die weitere Ausgestaltung der Treibhausgasreduktion formuliert werden (BVerfG, 2021, 4. Leitsatz).

Die Steuerungsfunktion von Kommunen reicht von den eigenen Liegenschaften bis in die Gestaltung von Quartieren hinein. Ein wesentliches Instrument der Stadtentwicklung ist die kommunale Bauleitplanung. Im Bebauungsplan können aus städtebaulichen Gründen Gebiete festgesetzt werden, in denen bei der Errichtung von Gebäuden oder bestimmten sonstigen baulichen Anlagen bestimmte bauliche und sonstige technische Maßnahmen für die Erzeugung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung getroffen werden müssen. Städtebauliche Gründe können dabei sogar notwendig werdende Klimafolgenanpassungsmaßnahmen sein, welche in das Grundrecht der Eigentumsfreiheit, einschließlich der Baufreiheit eingreifen. Selbst gravierende Freiheitseinbußen können künftig zum Schutz des Klimas verhältnismäßig und gerechtfertigt sein (BVerfG, 2021, Rn. 192). Verbindliche kommunale Festsetzungen dienen der nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung und des Klimaschutzes und erfüllen z. B. die städtebaulichen Aufgaben zur Nutzung erneuerbarer Energien. Gegenwärtige Anreizsysteme setzen auf die Prinzipien Hoffnung und Freiwilligkeit. Auch fehlt es den Angeboten an einer aufeinander abgestimmten Vorgehensweise. Diese Praxis entwickelt nicht den nötigen Antrieb, um substantielle Änderungen zur Einhaltung der selbstgesteckten ambitionierten Klimaziele einzuleiten. So schreibt das Bundesverfassungsgericht in seinem Beschluss (2021, Rn. 249) zu Verfassungsbeschwerden gegen das damals gültige Klimaschutzgesetz, dass der nötige Entwicklungsdruck erst entsteht, indem absehbar wird, dass und welche Produkte, Dienstleistungen, Infrastruktur-, Verwaltungs- und Kultureinrichtungen, Konsumgewohnheiten oder sonstigen heute noch CO₂-relevanten Strukturen schon bald erheblich umzugestalten sind. Die meisten beobachteten Anpassungsmaßnahmen sind fragmentiert, von geringem Umfang, schrittweise, sektorspezifisch, darauf ausgerichtet, auf aktuelle Auswirkungen oder kurzfristige Risiken zu reagieren, und eher auf die Planung als auf die Umsetzung ausgerichtet (IPCC, 2022, Kernaussage SPM.C.1.2). Was fehlt sind Mut und Bereitschaft heute quasi ‚unvorstellbare‘ ordnungspolitische Maßnahmen zu ergreifen. Bei vielen Initiativen zur Anpassung liegt der Schwerpunkt auf der unmittelbaren und kurzfristigen Verringerung des Klimarisikos, was die Möglichkeiten für eine transformative Anpassung einschränkt (IPCC, 2022, Kernaussage SPM.C.1). Mangelnde Klimakompetenz⁷ auf allen Ebenen und die begrenzte Verfügbarkeit von

⁷ Klimakompetenz bedeutet, sich des Klimawandels, seiner anthropogenen Ursachen und Auswirkungen bewusst zu sein (IPCC 2022, Fußnote 46).

Informationen und Daten stellen weitere Hindernisse für die Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen dar (IPCC, 2022, Kernaussage SPM.C.3.1). Wird im Kontext der kommunalen Planungen von Klimaresilienz gesprochen, dann beschränkt sich der Blick auf die Anpassung jenes lokalen städtischen Raumes auf die kommenden ‚Klimaeskapaden‘. Dabei wird verkannt, dass bereits viele natürliche Systeme sich an der Grenze ihrer natürlichen Anpassungsfähigkeit befinden, mit zunehmender Erderhitzung an ihre Grenzen stoßen oder sie überschreiten werden (IPCC, 2022, Kernaussage SPM.C.3.3). Als positives Attribut bedeutet Resilienz die Erhaltung von Fähigkeiten wie die der Anpassung und/oder Transformation (IPCC, 2022, Fußnote 12). Städtebauliche Quartiersplanungen mit Erdgasanschluss, die auf zukünftige synthetische Erdgasimporte oder eine vermehrte Einspeisung aus Biogasanlagen bauen, bilden keine tragbaren zukunftsfähigen Entwicklungen ab. In einem Diskussionsbeitrag über die Rolle des Erdgases als Risikofaktor der Energiewende betonen die Scientists for Future (Brauers et al., 2021), dass keine energiepolitische oder energiewirtschaftliche Notwendigkeit für den Neubau von Erdgasinfrastrukturen besteht. So werden Infrastrukturen geschaffen, die auf lange Sicht zu unflexibel sind und nur durch erheblichen finanziellen Aufwand zu ändern sind. Solche und ähnliche Fehlanpassungen werden durch Planungen minimiert, welche ein breites Spektrum potenziell nachteiliger Folgen von Anpassungsmaßnahmen berücksichtigen (IPCC, 2022, Kernaussage SPM.C.4.4). So führt z. B. der Weg einer nachhaltigen Stadtentwicklung mit klimaneutraler Wärmeversorgung über einen kommunalen Wärmeplan. Eine solche Planung, wo in der Umsetzung mit vielfältiger Umgestaltung der Infrastruktur zu rechnen ist, können Kommunen nur in Kooperation mit Partnern aus der Wissenschaft, Industrie und Zivilgesellschaft leisten. Aus Sicht einer anordnenden und handelnden Verwaltung kann die Teilhabe von externen Partnern als Machtverlust und somit als Bedrohung gesehen werden. Um wie vieles Größer könnte jedoch der Gewinn für die Allgemeinheit sein, wenn ein konstruktiver Austausch aller Beteiligten und Betroffenen dafür sorgt, dass das Ergebnis eine Bereicherung für alle darstellt und nicht nur ein Planungserfolg der kommunalen Verwaltung ist. Für die klimaresiliente Entwicklung ist es von Vorteil, wenn die Akteure auf gerechte und förderliche Weise zusammenarbeiten, um divergierende Interessen und Werte in Einklang zu bringen und gerechte Ergebnisse erzielen (IPCC 2022, Kernaussage SPM.D.2.1). Ein Schlüsselfaktor für den Erfolg von Transformationsmaßnahmen ist die frühzeitige, nachvollziehbare und verständliche Information der Gesellschaft. Laut der Studie „Stadt.Land.Chancen“ (Maier et al., 2021) wünschen sich viele Menschen über technologische und gesellschaftliche Zukunftsthemen informiert zu werden, auch darüber welche Veränderungen und welche Chancen für jede Einzelne und jeden Einzelnen zu erwarten sind. Die Autoren und Autorinnen geben zudem an, dass bei den Menschen ein großer Wunsch nach Nachhaltigkeit, Recycling und grüner Energie

besteht. Die Forderung nach Partizipation, welche mehr Zustimmung findet je niedriger der Bildungsstandard ist, bietet Chancen Fragen der sozialen Gerechtigkeit anders zu adressieren (acatech und Körber-Stiftung, 2020). Harald Welzer (2021, S. 86ff) schreibt, dass eine Transformation im Sinne eines modularen Projektes bestehend aus sehr vielen kleinen Transformationen kein Expertenprojekt sein darf, welches die Politik über die Lebenswelt legt, sondern sie muss aus der Lebenswelt heraus entworfen und in ihr erprobt werden. Eine Transformation ist nur von allen und mit allen möglich – für alle, auch für die, die nicht können oder nicht wollen.

Fazit

Wir folgten dem Ansatz darzustellen, wie sich bestimmte Bedingungen aus dem gegenwärtigen Stand Anfang 2022 realistisch und teilweise optimistisch für das Jahr 2046 entwickeln können. Unsere Prognosen können teilweise als Referenz für die Grundlagen der in diesem Sammelband aufgeführten Szenarien dienen. Diese beschreiben, wie sich eine Gesellschaft auf Basis geänderter Bedingungen verhält. Speziell zu den Themen Energie für Wohnen und Mobilität, Temperaturänderung mit Einfluss auf menschliche Gesundheit und Stadtplanung sowie der Biodiversitätsverlust ergeben sich Schnittpunkte unserer prognostizierten Entwicklung zu den Szenarien.

In den vier vorliegenden Szenarien liegen teils große Unterschiede in den skizzierten Themengebieten vor. Die Biodiversität wird in allen Szenarien für das Jahr 2046 jedoch als teilweise zerstört beschrieben, wobei die Stärke und der Umgang der Menschheit mit diesem Problem von Szenario zu Szenario variiert. Selbst in dem optimistischsten Szenario „Greentopia“ wird von irreparablen Schäden und dem Aussterben einiger Tier- und Pflanzenarten sowie der Anfälligkeit von Pflanzenarten gegenüber Krankheiten, Schädlingen und Parasiten gesprochen. Auf Basis der Daten und Fakten aus dem Jahr 2022 und vorherigen Erkenntnissen zur Entwicklung der Biodiversität global, in Deutschland und in NRW, scheint diese zukünftige Entwicklung nur vorstellbar zu sein, wenn sie nicht bereits im Jahr 2022 teilweise vorliegt. Bei einer reinen Betrachtung von Energiebedarf und Potenzialnutzung fällt es schwer unsere Entwicklungserwartung einem konkreten Szenario zuzuordnen, wenngleich alle Szenarien auf einen Ausbau der Erneuerbaren Energien setzen. Unbestritten ist – und das bilden die Szenarien ab –, dass eine sichere Energieversorgung zu bezahlbaren Preisen eine wesentliche Säule der gesellschaftlichen Stabilität und der Einkommensgerechtigkeit ist. Ähnlich ist es im motorisierten Individualverkehr. Der Rückgang von fossilen Verbrennern im Straßenbild wird in

allen vier Szenarien beschrieben, wobei die Ursache für das Verschwinden sich je nach Szenario unterscheidet. Ebenfalls einstimmig wird in allen vier Szenarien die veränderten klimatischen Bedingungen als eine große Herausforderung und prägend für den Alltag beschrieben. Dabei werden unabhängig vom betrachteten Szenario lokale Wetterextreme wie Hitzewellen und Starkregenereignisse als grundlegende Bedrohung für das Leben der Bochumer Bevölkerung gesehen.

Quellen

acatech und Körber-Stiftung. 2020. TechnikRadar 2020. Was die Deutschen über Technik denken. München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.; Hamburg: Körber-Stiftung. <https://www.acatech.de/publikation/technik-radar-2020/>

Acksel, Daniel, Florian Amann, Judith Bremer, David Bruhn, Marcus Budt, Gregor Bussmann, Gregor; J-U. Görke, G. Grün, Florian Hahn, Anja Hanßke, T. Kohl, O. Kolditz, S. Regenspurg, Thomas Reinsch, K. Rink, I. Sass, E. Schill, Clemens Schneider, H. Shao, Dimitra Teza, Leo Thien, Matthias Utri und H. Will. 2022. „Roadmap Tiefe Geothermie für Deutschland Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft für eine erfolgreiche Wärmewende.“ Bochum: Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie (IEG), Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT), Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). <http://dx.doi.org/10.24406/ieg-n-645792>

Agora Verkehrswende. 2019. „Klimabilanz von Elektroautos - Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial.“ ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH im Auftrag der Agora Verkehrswende. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf (Abgerufen am 05.02.2022).

an der Heiden, Matthias, Udo Buchholz und Helmut Uphoff. 2019. „Schätzung der Zahl hitzebedingter Sterbefälle und Betrachtung der Exzess-Mortalität; Berlin und Hessen, Sommer 2018.“ Epid Bull, 23: 193–202. <https://doi.org/10.25646/6178>

Berger, Natalie, Ann-Kathrin Lindemann und Gaby-Fleur Böhl. 2019. „Wahrnehmung des Klimawandels durch die Bevölkerung und Konsequenzen für die Risikokommunikation.“ Bundesgesundheitsbl, 62: 612–619. <https://doi.org/10.1007/s00103-019-02930-0>

BfN. 2016. „Daten zur Natur 2016.“ Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN) https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-09/Daten_zur_Natur_2016_BfN%20%282%29.pdf (Abgerufen am 14.02.2022).

BMU/BfN. 2020. „Die Lage der Natur in Deutschland - Ergebnisse von EU-Vogelschutz und FFH-Bericht.“ Berlin, Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und Bundesamt für Naturschutz (BfN). https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/bericht_lage_natur_2020_bf.pdf (Abgerufen am 14.02.2022).

BMU. 2021. „Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? Eine ganzheitliche Bilanz.“ Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/elektroautos_bf.pdf (Abgerufen am 06.02.2022).

Brauers, Hanna, Isabell Braunger, Franziska Hoffart, Claudia Kemfert, Pao-Yu Oei, Fabian Präger, Sophie Schmalz und Manuela Troschke. 2021. „Ausbau der Erdgas-Infrastruktur: Brückentechnologie oder Risiko für die Energiewende?“ (Version 1.0, Deutsch) (1.0, pp. 1–11). Scientists for Future Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4474498>

BVerfG, Bundesverfassungsgericht. 2021. „Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021, 1 BvR 2656/18, Rn. 1-270.“ http://www.bverfg.de/e/rs20210324_1bvr265618.html

Drosihn, Detlef. 2020. „Übersicht zur Entwicklung der energiebedingten Emissionen und Brennstoffeinsätze in Deutschland 1990 – 2019.“ Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/uebersicht-zur-entwicklung-der-energiebedingten> (Abgerufen am 01.02.2022).

Emschergenossenschaft / Lippeverband. (o. D.). „Städte zukunftssicher machen. Klimaresiliente Städte gegen die Klimafolgen.“ <https://www.klima-werk.de/#projekte> (Abgerufen am

23.02.2022).

Europäische Kommission. 2021. „Vorschlag für eine VERORDNUNG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/631 im Hinblick auf eine Verschärfung der CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge im Einklang mit den ehrgeizigeren Klimazielen der Union.“ https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:870b365e-eecc-11eb-a71c-01aa75ed71a1.0015.02/DOC_1&format=PDF (Abgerufen am 03.02.2022).

Frisch, Frank. 2019. „Antwort der Verwaltung, Vorlage Nr.: 20191910: Ausrufung des Klimanotstandes in Bochum. Anlage Bilanz Bochum.“ Stadt Bochum. https://bochum.ratsinfomanagement.net/vorgang/?_UGhVM0hpd2NXNFdFcExjZS73M0KdwXUD10TGrwcSuDs (Abgerufen am 05.02.2022).

GAK. 2017. „Handlungsempfehlungen für die Erstellung von Hitzeaktionsplänen zum Schutz der menschlichen Gesundheit.“ Bund/Länder Ad-hoc Arbeitsgruppe Gesundheitliche Anpassung an die Folgen des Klimawandels (GAK). Bundesgesundheitsbl, 60: 662–672. <https://doi.org/10.1007/s00103-017-2554-5>

Gausmann, Peter. 2017. „Beschlussvorlage der Verwaltung, Nr.: 20162088, Biodiversitätsstrategie NRW.“ Stadt Bochum. https://bochum.ratsinfomanagement.net/sdnetrim/UGhVM0hpd2NXNFdFcExjZScDPa_Xwe1TQrYhWKSyOuKN4p62h7LE2r1Xibtqd5E-/Beschlussvorlage_der_Verwaltung_20162088.pdf (Abgerufen am 15.02.2022).

IPBES. 2019. „Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services (summary for policy makers).“ S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579> (Abgerufen am 14.02.2022).

IPCC. 2021a. „Sixth Assessment Report, Regional fact sheet – Europe.“ Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Europe.pdf

IPCC. 2021b. „Summary for Policymakers.“ In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson#Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPCC. 2022. „Summary for Policymakers.“ In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of the IPCC Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf (Abgerufen am 28.02.2022).

Kahlenborn, Walter, Manuel Linsenmeier, Luise Porst, Maike Voß, Lukas Dorsch, Stephanie Lacombe, Bettina Huber, Marc Zebisch, Anna Bock, Jennifer Klemm, Alice Crespi, Kathrin Renner, Mareike Wolf, Konstanze Schönthaler, Christian Lutz, Lisa Becker, Philip Ulrich, Martin Distelkam, Julian Behmer, Andreas Walter, Nora Leps, Sabrina Wehring, Enno Nilson und Kerstin Jochumsen. 2021a. „Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021. Teilbericht 1: Grundlagen.“ Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, 20/2021. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-1-Grundlagen>

Kahlenborn, Walter, Luise Porst, Maike Voß, Uta Fritsch, Kathrin Renner, Marc Zebisch, Mareike Wolf, Konstanze Schönthaler und Inke Schauser. 2021b. „Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (Kurzfassung).“ Umweltbundesamt (Hrsg.). Climate Change, 26/2021. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Zusammenfassung>

Kleine-Möllhoff, Peter, Holger Benad, Marina Bruttel, Aron Leitmannstetter, Mourad Ouaid und Stefan Will. 2012. „Infrastrukturelle Aspekte der Elektromobilität von morgen.“ Reutlinger Diskussionsbeiträge zu Marketing & Management 2012-07, Carsten Rennhak & Gerd Nufer (Hrsg.). ESB Business School Reutlingen und Hochschule Reutlingen. https://www.esb-business-school.de/fileadmin/user_upload/Fakultaet_ESB/Forschung/Publikationen/Diskussionsbeitraege_zu_Marketing_Management/2012-07-RT-Diskussionsbeitraege-

[Infrastrukturelle Aspekte der Elektromobilität von morgen.pdf](#) (Abgerufen am 06.02.2022).

LANUV. 2021a. „Energieatlas NRW“. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Stand: 31.12.2020. https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarte_waerme (Abgerufen am 13.02.2022).

LANUV. 2021b. „Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung. LANUV-Fachbericht 116.“ Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). https://www.lanuv.nrw.de/publikationen/details?tx_cartproducts_products%5Bproduct%5D=1079&cHash=10d4ec3d1bce3d396d38cb6c85d2379c

Loew, Thomas, Herbert Formayer und Karsten Schwanke. 2019. „Wetter 2018: Weltweit Hitze, Dürre und Überschwemmungen im Zeichen des Klimawandels. Auswirkungen in Deutschland und Österreich vor dem Hintergrund aktueller Erkenntnisse aus der Klimaforschung.“ Scientists for Future. <https://info-de.scientists4future.org/wetter-2018-weltweit-hitze-duerre-und-ueberschwemmungen-im-zeichen-des-klimawandels/> (Abgerufen am 16.02.2022).

Maier, Moritz Julian, Lynn Harles, Malte Jütting, Alexandra Heimisch-Röcker, Karolina Mizera, Simone Kaiser und Martina Schraudner. 2021. „STADT.LAND.CHANCEN – Wünsche und Sorgen von Bürgerinnen und Bürgern in Stadt und Land“ (acatech KOOPERATIONEN). München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Berlin: Center for Responsible Research and Innovation des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. <https://www.acatech.de/publikation/stadt-land-chancen/>

MULNV. 2020. „Ruhr-Konferenz: Klimaresilienz der Städte im Ruhrgebiet stärken.“ Pressemeldung, 17.07.2020. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV). <https://www.land.nrw/pressemitteilung/ruhr-konferenz-klimaresilienz-der-staedte-im-ruhrgebiet-staerken> (Abgerufen am 16.02.2022).

MULNV. 2021. „Waldzustandsbericht 2021. Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen.“ Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MULNV). https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/Waldzustandsbericht_NRW_2021_Langfassung.pdf (Abgerufen am 15.02.2022).

NABU. 2022. „Mehr Futterhausbesucher als 2021, trotzdem weniger Vögel als im Durchschnitt - Endergebnisse der ‚Stunde der Wintervögel‘“. Pressemeldung, 25. Januar 2022. Naturschutzbund Deutschland (NABU). <https://www.nabu.de/news/2022/01/31017.html> (Abgerufen am 16.02.2022).

S4F Bochum. 2020. „Impulspapier zum Klimanotstand in Bochum – Grundlagen, Analysen und Empfehlungen.“ Scientists for Future Bochum. https://s4f-bo.de/impulspapier_klimanotstand (Abgerufen am 16.02.2022).

Stadt Bochum. o.J. „Infos zur Kampagne - Hier erfahren Sie, wie Sie Biene, Hummel, Schmetterling & Co helfen können!“ Stadt Bochum. <https://www.bochum.de/Umwelt--und-Gruenflaechenamt/Bochum-blueht-und-summt/Infos-zur-Kampagne> (Abgerufen am 15.02.2022).

Stadt Bochum. 2022a. „Fahrzeugbestand ist im Dezember gestiegen“. Pressemeldung, 03. Januar 2022. Stadt Bochum. <https://www.bochum.de/Pressemeldungen/3-Januar-2022/Fahrzeugbestand-ist-im-Dezember-gestiegen> (Abgerufen am 03.02.2022).

Stadt Bochum. 2022b. „Die wichtigsten Zahlen zur Bochumer Bevölkerung / Bevölkerung aktuell“ (Stand 2021). <https://www.bochum.de/Referat-fuer-politische-Gremien-Buergerbeteiligung-und-Kommunikation/Statistik/Die-wichtigsten-Zahlen-zur-Bochumer-Bevoelkerung> (Abgerufen am 03.02.2022).

Statista. 2022a. „Durchschnittliches Alter von Personenkraftwagen in Deutschland von 1960 bis 2021.“ Martin Kords, Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154506/umfrage/durchschnittliches-alter-von-pkw-in-deutschland/> (Abgerufen am 03.02.2022).

Statista. 2022b. „Fahrleistung der Personenkraftwagen in Deutschland nach Merkmalen in den Jahren 2019 und 2020.“ Martin Kords, Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/246069/umfrage/laufleistung-privater-pkw-in-deutschland/> (Abgerufen am 03.02.2022).

Open Data Stadt Bochum. 2020. „Open Data Datensätze – Kategorie ‚Transport und Verkehr‘“.

Stadt Bochum. <https://www.bochum.de/Open-Data/Datensaetze/Transport-und-Verkehr>
(Abgerufen am 20.08.2020).

Pries, Ludger/Roos, Michael (unter Mitarbeit von Florian Lewalder, Maximilian Dirks, Valerie Donath, Kai-David Klärner und Katharina Leikard). 2020. Integrierte Mobilität im Ruhrgebiet – Konzeptstudie. Bochum: Ruhr-Universität Bochum. <https://dx.doi.org/10.13154/rub.149.126>

Schulz, Vanessa, Alina Schulz, Marine Klamke, Kathleen Preißler, Joana Sabino Pinto, Mathias Müsken, Martin Schlüpmann, Lorenz Heldt, Felix Kamprad, Julian Enß, Macimilian Schweinsberg, Jonas Virgo, Hannah Rau, Michael Veith, Stefan Lötters, Norman Wagner, Sebastian Steinfartz und Miguel Vences. 2020. „Batrachochytrium salamandrivorans in the Ruhr District, Germany: history, distribution, decline dynamics and disease symptoms of the salamander plague.“ *Salamandra*, 56(3): 189-214.

Solomon, Susan, Gian-Kasper Plattner, Reto Knutti und Pierre Friedlingstein. 2008. „Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions.“ *PNAS*, 106(6): 1704–1709. <https://doi.org/10.1073/pnas.0812721106>

Welzer, Harald. 2021. (3. Auflage). *Alles könnte anders sein*. Frankfurt am Main: Fischer (Tb.).