

Empfehlungen für die Charakterisierung ausgewählter Klimaszenarien

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

MeteoSchweiz



Rheinland-Pfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

**Umwelt
Bundesamt**

KomPass
Kompetenzzentrum
Klimafolgen und Anpassung



IIASA

Internationales Institut für
Angewandte Systemanalyse

www.iiasa.ac.at



ZAMG

Zentralanstalt für
Meteorologie und
Geodynamik



Landesamt für Umwelt

Stand: 15. März 2022

Das vorliegende Dokument liefert einen Rahmen für die Benennung, Beschreibung und farbliche Kennzeichnung der im sechsten Sachstandsbericht des IPCC verwendeten Klimaszenarien im deutschsprachigen Raum. Das Dokument hat einen empfehlenden Charakter. Es soll das Verständnis und die Wiedererkennung erleichtern.

Das Dokument wurde von Mitarbeitenden der folgenden Einrichtungen erstellt:

Deutscher Wetterdienst (DWD, Deutschland, Potsdam und Offenbach)
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (Schweiz, Zürich)
Internationales Institut für Angewandte Systemanalyse (IIASA, Österreich, Laxenburg)
Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU BB, Deutschland, Potsdam)
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU RP, Deutschland, Mainz)
Umweltbundesamt (UBA, Deutschland, Dessau)
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, Österreich, Wien)

An der Erstellung des Textes beteiligte Personen:

Frank Kreienkamp (DWD), Barbara Früh (DWD), Sven Kotlarski (MeteoSchweiz), Carsten Linke (LfU BB), Marc Olefs (ZAMG), Inke Schauser (UBA), Thomas Schinko (IIASA), Cornelia Schwierz (MeteoSchweiz), Andreas Walter (DWD), Matthias Zimmer (LfU RP)

Wir danken den folgenden Fachleuten für das Gegenlesen des Dokumentes:

Nico Bauer (PIK), Carola Best (De-IPCC), Erich Fischer (ETH Zürich), Andreas Gobiet (ZAMG), Klaus Haslinger (ZAMG), Brigitta Hollosi (ZAMG), Roland Hohmann (BAFU), Gian-Kasper Plattner (WSL), Reto Knutti (ETH Zürich), Elmar Kriegler (PIK), Marian Leimbach (PIK), Annemarie Lexer (ZAMG), Claudia Michl (CCCA), Urs Neu (ProClim), Thomas Reineke (De-IPCC), Keywan Riahi (IIASA), Christiane Textor (De-IPCC), Birger Tinz (DWD), Miriam Tivig (DWD), Matthias Voigt (LfU RP)

Zitiervorschlag:

Kreienkamp et al. (2022): Empfehlungen für die Charakterisierung ausgewählter Klimaszenarien.

Einführung

Eine zentrale Aufgabe der Klimaforschung ist die Beschreibung der möglichen Entwicklungspfade des künftigen Klimas sowie der antreibenden Kräfte. Diese Entwicklungspfade werden Klimaszenarien genannt. Klimaszenarien basieren auf unterschiedlichen Annahmen möglicher Entwicklungen von Gesellschaft, Technologie und Ressourcennutzung, auf Basis derer die zukünftigen Emissionen von Treibhausgasen und weiterer klimarelevanter Substanzen abgeschätzt werden. Da ökonomische, soziale und politische Entwicklungen nicht exakt vorhersagbar sind, werden jeweils plausible Annahmen getroffen und variiert.

Szenarien sind ein wichtiges Werkzeug, um den zukünftigen Klimawandel, dessen Ursachen, sowie die möglichen Auswirkungen zu verstehen und zu beschreiben. Dabei geht es nicht darum, die Zukunft vorherzusagen, sondern es handelt sich um Projektionen dessen, was passieren kann, oder um Wege, wie bestimmte Klimaziele erreicht werden können. Aktuell werden im Kontext des Klimawandels Szenariendefinitionen genutzt, die aus zwei sich ergänzenden Komponenten bestehen: den **Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)**, die mögliche zukünftige sozioökonomische Entwicklungen beschreiben, und den **Representative Concentration Pathways (RCPs)**, die mögliche Konzentrationspfade atmosphärischer Treibhausgase und damit mögliche zukünftige Entwicklungen des Klimas abbilden. Ein Klimaszenario basiert jeweils auf einer Kombination aus Informationen zur sozioökonomischen Entwicklung (SSP) und der resultierenden Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen und des Klimas (RCP). Dabei kann in der Regel mehr als ein SSP zu einem bestimmten Pfad zukünftiger Treibhausgaskonzentrationen (RCP) führen. Umgekehrt kann ein gegebenes SSP durch unterschiedliche spezifische Ausprägungen zu unterschiedlichen Konzentrationsverläufen atmosphärischer Treibhausgase, also zu unterschiedlichen RCPs führen.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Eigenschaften von fünf aktuell genutzten Szenarien mit den gewählten sozioökonomischen Entwicklungspfaden und den daraus resultierenden Konzentrationspfaden beschrieben.

Die beiden Komponenten aktueller Szenariodefinitionen

1. **Shared Socioeconomic Pathways** (Gemeinsam genutzte sozioökonomische Pfade, SSPs):

Sie beschreiben mögliche ökonomische und gesellschaftliche Entwicklungspfade, die zu unterschiedlichen zukünftigen Treibhausgasemissionen und dadurch zu unterschiedlichen Treibhausgaskonzentrationen führen. Es handelt sich um Erzählungen, die sozioökonomische, demographische, technologische, politische, institutionelle und Lebensstil-Trends beschreiben. Es werden fünf Entwicklungspfade (SSP1 bis SSP5) beschrieben. Die SSPs geben somit die Bühne vor, auf der zukünftig Emissionsreduzierungen erreicht - oder eben nicht erreicht - werden. Sie enthalten in ihrer jeweiligen Basisversion noch keine explizite Beschreibung zukünftiger globaler Klimaschutzmaßnahmen, können diese aber implizit voraussetzen.

2. **Representative Concentration Pathways** (Repräsentative Konzentrationspfade; RCPs): Sie definieren unterschiedliche mögliche Pfade der zukünftigen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre für die nächsten Jahrzehnte bis hin zum Ende des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus. RCPs bestimmen deshalb wesentlich das Ausmaß der zukünftigen Erwärmung. Aus einer großen Anzahl an unterschiedlichen Pfaden wurden von der Klimawissenschaft „repräsentative“ Pfade selektiert. Im sechsten Sachstandsbericht des IPCC (AR6) sind dies die Pfade RCP1.9, RCP2.6, RCP4.5, RCP7.0 und RCP8.5. Dabei beschreibt die Zahl in der Bezeichnung den durch den menschengemachten Anstieg der Treibhausgase zusätzlich verursachten Strahlungsantrieb (in W/m^2) gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Dieser ist maßgeblich für das Ausmaß der zukünftigen Erwärmung. Ein gegebener RCP und damit auch ein bestimmter Strahlungsantrieb kann prinzipiell aus unterschiedlichen sozioökonomischen Entwicklungen, also aus verschiedenen SSPs resultieren.

Kombination von SSPs und RCPs: Ein Klimaszenario basiert jeweils auf der Kombination eines gegebenen SSP (X) mit einem bestimmten RCP (Y). Werden diese beiden Komponenten weitgehend unabhängig voneinander gewählt und zum Beispiel erst für eine Klimafolgenanalyse kombiniert, so spricht man von einem "SSPX-RCPY" Szenario. Stammen SSP und RCP bereits aus einem kombinierten und intern konsistenten Modellansatz (resultiert das RCP also direkt aus den sozioökonomischen Annahmen sowie aus zusätzlichen Klimaschutz-Charakteristiken des SSP), so spricht man verkürzt von einem "SSPX-Y" Szenario. Letztere Nomenklatur wird im Sechsten Sachstandsbericht des IPCC vorrangig verwendet und ist auch Grundlage für das hier vorliegende Dokument. Beide Definitionen sind aber grundsätzlich miteinander vergleichbar.

Die Szenarien: Eine kurze Übersicht

Szenariokürzel	Szenarioname	Farbcodierung ¹
Kurzbeschreibung		
SSP1-1.9	Der 1,5 Grad Weg	RGB: 0 – 170 – 208
Eine international koordinierte Entwicklung, dem Pariser Abkommen folgend, ermöglicht durch ambitionierten Klimaschutz eine Beschränkung der globalen Erwärmung auf 1,5 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zeitraum.		
SSP1-2.6	Der 2 Grad Weg	RGB: 0 – 52 – 102
Eine international koordinierte Entwicklung, dem Pariser Abkommen folgend, ermöglicht durch aktiven Klimaschutz eine Beschränkung der globalen Erwärmung auf 2 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Zeitraum.		
SSP2-4.5	Der Mittelweg	RGB: 247 – 148 – 32
Klimaschutz und wirtschaftliche Entwicklung, welche wie bisher auch auf dem Einsatz fossiler Rohstoffe beruht, halten sich die Waage. Dadurch entsteht in vulnerablen Regionen ein steigender Anpassungsbedarf.		
SSP3-7.0	Der konfliktreiche Weg	RGB: 224 – 0 – 0
Nationale Interessen und regionale Konflikte führen zu einem hohen Rohstoff- und Energiebedarf, der größtenteils mit einfach verfügbaren, fossilen Energieträgern wie Kohle gedeckt wird. Dadurch ergeben sich weltweit zunehmend große Herausforderungen in der Klimawandelanpassung, die weitgehend von den Staaten eigenverantwortlich geschultert werden müssen.		
SSP5-8.5	Der fossile Weg	RGB: 153 – 0 – 2
Die soziale und ökonomische Entwicklung einer sich schnell entwickelnden Welt auf der Basis aktiver und verstärkter Nutzung von fossilen Rohstoffressourcen geht mit einem energieintensiven Lebensstil weltweit einher. Maßnahmen zur Vermeidung des Klimawandels werden auf ein Minimum reduziert. Die sehr hohen Herausforderungen in der Klimawandelanpassung werden international koordiniert angegangen.		

¹ **Farbcodierung:** Zur Wiedererkennung ist es sinnvoll, in Abbildungen die Szenarien farblich einheitlich darzustellen. In der Tabelle werden hier die RGB-Farbwerte, die im 6. Sachstandsbericht des IPCC genutzt werden aufgelistet.

Die Szenarien im Detail

SSP1-1.9: Der 1,5 Grad Weg

Die Welt beschreitet verstärkt einen nachhaltigen Entwicklungspfad. Die globalen Gemeinschaftsgüter werden als wichtig erachtet und bewahrt, die Grenzen natürlicher Systeme werden respektiert. Der Konsum orientiert sich verstärkt an einem geringen Material- und Energieverbrauch. Der Einsatz erneuerbarer Energien hat gesellschaftlich eine hohe Priorität und wird dementsprechend stark forciert. Die Treibhausgasemissionen werden bis 2030 radikal reduziert. Die Treibhausgaskonzentrationen nehmen danach bis zum Ende des 21. Jahrhunderts deutlich ab. Gegen Ende des Jahrhunderts gibt es keine anthropogen verursachten Treibhausgasemissionen mehr. Dies wird u.a. durch negative Emissionen (aktive Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre) in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts erreicht. Die globale Erwärmung kann auf weniger als 1,5 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit begrenzt werden. Die Möglichkeiten der Anpassung an die Folgen des Klimawandels kommen somit nur selten an ihre Grenzen. Zum Ausgleich der global unterschiedlichen Belastungen für einzelne Regionen existieren global abgestimmte Mechanismen zur Anpassung.

SSP1-2.6: Der 2 Grad Weg

Die Welt beschreitet verstärkt einen nachhaltigen Entwicklungspfad. Die globalen Gemeinschaftsgüter werden als wichtig erachtet und bewahrt, die Grenzen natürlicher Systeme werden respektiert. Der Konsum orientiert sich an einem geringen Material- und Energieverbrauch. Der Einsatz erneuerbarer Energien hat gesellschaftlich eine hohe Priorität und wird dementsprechend stark forciert. Die Treibhausgasemissionen werden bis zum Jahr 2030 massiv reduziert. Die Treibhausgaskonzentrationen nehmen bis zum Ende des Jahrhunderts allmählich ab. Ende des 21. Jahrhunderts gibt es keine anthropogen verursachten Treibhausgasemissionen mehr. Dieses wird u.a. erreicht durch negative Emissionen (aktive Entnahme von Kohlendioxid aus der Atmosphäre) in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts. Die globale Erwärmung kann auf weniger als 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit begrenzt werden. Es kommt jedoch zu Auswirkungen auf natürliche und sozioökonomische Systeme. Dafür existieren globale Anpassungsmechanismen zur Bewältigung von Verlusten und Schäden im globalen Süden.

SSP2-4.5: Der Mittelweg

Die bisherige Entwicklung (gemessen am Jahr 2022) setzt sich in die Zukunft fort. Die bis dahin etablierte Zusammenarbeit zwischen den Staaten wird sich jedoch nur geringfügig weiterentwickeln. Das globale Bevölkerungswachstum ist moderat und schwächt sich in der zweiten Jahrhunderthälfte ab. Umweltsysteme erfahren eine Verschlechterung. Fossile Ressourcen werden weiterhin genutzt. Die Treibhausgasemissionen erreichen um 2040 ihren Höhepunkt und werden bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um die Hälfte reduziert. Die Herausforderungen der Anpassung werden mit zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels immer größer. Durch die geringere internationale Zusammenarbeit fehlt ein effektiver Mechanismus zum Umgang mit Verlusten und Schäden. Länder können sich nur durch gegenseitige Unterstützung vor möglicherweise existentiellen Risiken schützen.

SSP3-7.0: Der konfliktreiche Weg

Durch eine Verstärkung des Nationalismus, eine Abschwächung der internationalen Zusammenarbeit und regionaler Konflikte rücken globale Themen in den Hintergrund. Die Politik orientiert sich zunehmend an nationalen und regionalen Sicherheitsfragen. Investitionen in Bildung und technologische Entwicklung nehmen ab. Soziale Ungleichheiten nehmen zu. Die Bevölkerung in den armen Ländern wächst stark. In einigen Regionen kommt es zu starken Umweltzerstörungen, beispielsweise von Wäldern und anderen Ökosystemen. Trotz des vergleichsweise geringen Einkommenswachstums und der damit verbundenen Konsummöglichkeiten ist der Rohstoff- und Energiebedarf hoch und wird in großen Teilen mit einfach verfügbaren, fossilen Energieträgern wie Kohle gedeckt. Wirtschaftlicher Erfolg und Energieeinsatz sind stark aneinandergelockt. Die Treibhausgaskonzentrationen steigen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter an. Dieses Szenario stellt große Herausforderungen an die Klimawandelanpassung. Die klimatischen Veränderungen sind umfangreich. Durch die praktisch nicht vorhandene internationale Zusammenarbeit sind die Nationalstaaten weitestgehend auf sich allein gestellt. Weiterhin führt die wachsende internationale aber auch subnationale Ungleichheit zu einer dramatischen Steigerung der Verwundbarkeit einzelner Bevölkerungsgruppen. Die notwendigen transformativen Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung können nur bedingt durchgeführt werden.

SSP5-8.5: Der fossile Weg

Die soziale und ökonomische Entwicklung basiert auf der verstärkten Ausbeutung der fossilen Brennstoffressourcen mit einem energieintensiven Lebensstil weltweit. Die globale Wirtschaft wächst schnell. Das ist vor allem auf die Entwicklung in Industrie- und Schwellenländern zurückzuführen. Der Nutzung fossiler Brennstoffe wird eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz entgegengebracht, erneuerbare Energien sind hingegen wenig anerkannt. Das führt zu einer starken Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre. Der Anstieg der Treibhausgasemissionen hält bis zum Ende des 21. Jahrhunderts an. Die klimatischen Veränderungen sind sehr stark. Durch internationale Zusammenarbeit, die sich im Rahmen einer stark vernetzten Weltwirtschaft etabliert hat, erhalten jedoch die durch die Klimaänderung am stärksten betroffenen Länder Unterstützung. Ein effektiver Mechanismus zum Umgang mit klimabedingten Risiken jenseits der Anpassungsgrenzen ermöglicht es vielen Ländern, die notwendigen und oftmals transformativen Anpassungsmaßnahmen (zumindest teilweise) umzusetzen. Für Schäden und Verluste durch die Klimaänderung, für welche keine proaktiven Anpassungsmaßnahmen mehr greifen, existieren international abgestimmte Kompensationsmechanismen.

Begriffe

Erzählungen

Erzählungen sind Beschreibungen plausibler zukünftiger Weltzustände, die die Eigenschaften, ihren Entstehungshintergrund, die allgemeine Logik und die Entwicklungen darstellen und die dabei die Zusammenhänge zwischen den wichtigsten treibenden Kräften und die Dynamik dieser Veränderungen hervorheben. Diese Erzählungen (im englischen Narrativ genannt) werden in der Literatur auch als "Gesellschaftsszenarios" bezeichnet.

Projektion

Eine Projektion ist eine potentielle zukünftige Entwicklung einer oder mehrerer Eigenschaften, die oft mit Hilfe eines Modells berechnet wird. Projektionen werden von Prognosen unterschieden, um hervorzuheben, dass sie auf Annahmen beruhen – z. B. betreffend künftiger sozio-ökonomischer und technologischer Entwicklungen, die vielleicht realisiert werden, vielleicht aber auch nicht. Projektionen sind Wenn-Dann Rechnungen. Wenn das Szenario eintritt, dann folgt diese Entwicklung.

Strahlungsantrieb

Der Strahlungsantrieb ist die Veränderung in der vertikalen Nettoeinstrahlung (ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter: W/m^2) an der Tropopause aufgrund einer internen Veränderung oder einer Veränderung im externen Antrieb des Klimasystems, wie z. B. eine Veränderung in der Konzentration von CO_2 oder der Sonnenstrahlung.

Szenario

Ein Szenario ist eine plausible und oft vereinfachte Beschreibung, wie die Zukunft sich gestalten könnte, basierend auf einem kohärenten und in sich konsistenten Set von Annahmen betreffend treibenden Kräften und wichtigen Zusammenhängen, beispielsweise aus den Bereichen Demographie, Wirtschaft, Energie- und Landnutzung. In der Klimawissenschaft wird zum Beispiel von sozioökonomischen Szenarien, Emissionsszenarien und Klimaszenarien gesprochen

Vorindustrieller Zeitraum

Der vorindustrielle Zeitraum bezeichnet den Zeitraum von mehreren Jahrhunderten vor dem Beginn groß angelegter industrieller Aktivitäten um 1750. Zur Näherung für die vorindustrielle globale mittlere Oberflächentemperatur (GMST) wird hier analog zum IPCC der Zeitraum 1850-1900 genutzt.

Weiterführende Informationen zu den Klimaszenarien

Allgemeine Informationen zu Klimaszenarien

<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klimaszenarien>

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-sind-emissionsszenarien-.html>

Spezifische Informationen zu:

RCP: <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>

SSP: <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/SSP-Szenarien>

<https://climatescenarios.org/primer/socioeconomic-development/>

Weiterführende wissenschaftliche Literatur

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., and Sanderson, B. M. (2016): The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.*, 9, 3461-3482, <https://gmd.copernicus.org/articles/9/3461/2016/gmd-9-3461-2016.pdf>

Riahi et al. (2017): The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change* 42, 153–168, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

B.C. O'Neill, E. Kriegler, K.L. Ebi, E. Kemp-Benedict, K. Riahi, D.S. Rothman, B.J. van Ruijven, D.P. van Vuuren, J. Birkmann, K. Kok, M. Levy, W. Solecki (2016): The roads ahead: narratives for Shared Socioeconomic Pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environ. Change*, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

Bauer, N., Calvin, K., Emmerling, J., Fricko, O., Fujimori, S., Hilaire, J., Eom, J., Krey, V., Kriegler, E., Mouratiadou, I., de Boer, H. S., van den Berg, M., Carrara, S., Daioglou, V., Drouet, L., Edmonds, J. E., Gernaat, D., Havlik, P., Johnson, N., Klein, D., Kyle, P., Marangoni, G., Masui, T., Pietzcker, R. C., Strubegger, M., Wise, M., Riahi, K. & van Vuuren, D. P. (2017): Shared Socio-Economic Pathways of the Energy Sector –Quantifying the Narratives, *Global Environmental Change*, 42, 316–330. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016301224>

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J. G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S. A., Rayner, P. J., Reimann, S., Smith, S. J., van den Berg, M., Velders, G. J. M., Vollmer, M. K., and Wang, R. H. J. (2020): The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, *Geosci. Model Dev.*, 13, 3571–3605, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>

<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>

Alle IPCC-Berichte sind unter <https://www.ipcc.ch> zu finden. Deutsche Übersetzungen der wichtigsten IPCC-Berichte sowie Informationsmaterial gibt es unter <https://www.de-ipcc.de/>