

Schober, Dominik et al.

Working Paper

Sensitivitätsanalyse klimabezogener Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors

Technical Paper, No. 13/2021

Provided in Cooperation with:

Deutsche Bundesbank

Suggested Citation: Schober, Dominik et al. (2021) : Sensitivitätsanalyse klimabezogener Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors, Technical Paper, No. 13/2021, Deutsche Bundesbank, Frankfurt a. M.

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/283340>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Technical Paper

Sensitivitätsanalyse klimabezogener
Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors

13/2021

Dominik Schober, Tobias Etzel, Alexander Falter,
Ivan Frankovic, Christian Gross, Anke Kablau,
Pierre Lauscher, Jana Ohls, Lena Strobel, Hannes Wilke

Editorial Board:

Emanuel Moench
Stephan Kohns
Alexander Schulz
Benjamin Weigert

Deutsche Bundesbank, Wilhelm-Epstein-Straße 14, 60431 Frankfurt am Main,
Postfach 10 06 02, 60006 Frankfurt am Main

Tel +49 69 9566-0

Please address all orders in writing to: Deutsche Bundesbank,
Press and Public Relations Division, at the above address or via fax +49 69 9566-3077

Internet <http://www.bundesbank.de>

Reproduction permitted only if source is stated.

Non-technical summary

This document describes the methodology, the detailed results and the limitations of the sensitivity analysis of climate-related transition risks in the German financial sector, the results of which were published in Deutsche Bundesbank's' 2021 Financial Stability Report. The aim of this analysis is to quantify the potential losses in the balance sheets of German financial intermediaries that could result from an unexpected transition from a climate scenario with a low emission reduction target to a climate scenario with a higher one. This affects first the real economy. In particular, emission reduction targets and corresponding carbon price increases act as risk factors that unfold their effects heterogeneously across the economy as a whole. These risk factors also have an impact on the financial system via the usual risk channels, credit risk and market risk.

The analysis is based on the climate scenarios of the Network for Greening the Financial System (NGFS). These map both the dynamics of climate change and its dependence on greenhouse gas emissions, as well as the global economic processes that lead to these emissions. The scenarios differ in particular with respect to the climate targets to be achieved, which each require different emission reduction targets and global carbon pricing paths. The climate scenarios are differentiated into important macroeconomic and financial variables by the macroeconomic model NiGEM used by the NGFS.

Building on this, this paper develops a methodology for translating climate scenarios to the level of individual securities and borrowers. For this purpose, the scenarios are first differentiated by sector using a production network model. This simulates the sectoral interdependencies of the global economy along the relationships determined in the NGFS scenarios and distributes potential losses across the sectors of the real economy based on the sectors' heterogeneous emission intensity and the position in supply chains. In the next step, market and credit risk models are used. These determine historical elasticities between, on the one side, the variables depicted in the scenarios and, on the other side, sectoral credit default rates as well as corporate bond valuations. Finally, the losses at the level of securities and borrowers are mapped into the balance sheets of German banks, funds and insurers.

Compared to other international studies the results of the analysis suggest similar, moderate potential losses in each financial sector and in the financial system as a whole. However, individual financial institutions can be more heavily affected by potential losses due to a higher exposure to transition-sensitive sectors

Nichttechnische Zusammenfassung

Dieses Dokument beschreibt die Methodik, die ausführlichen Ergebnisse und die Einschränkungen der Sensitivitätsanalyse klimabezogener Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors, deren Ergebnisse im Finanzstabilitätsbericht 2021 der Deutschen Bundesbank veröffentlicht wurden. Ziel dieser Analyse ist es, die potentiellen Verluste in den Bilanzen deutscher Finanzintermediäre zu quantifizieren, die sich aus einem unerwarteten Übergang von einem Klimaszenario mit geringeren zu einem Klimaszenario mit höheren Einsparzielen von Treibhausgasen ergeben können. Der Übergang hat zunächst Auswirkungen auf die Realwirtschaft. Insbesondere wirken Emissionsreduktionsziele und entsprechende CO₂-Preisanstiege als Risikofaktoren, die über die gesamte Volkswirtschaft heterogen ihre Wirkungen entfalten. Diese Risikofaktoren wirken über die üblichen Risikokanäle, wie Kredit- und Marktrisiken, ebenfalls auf das Finanzsystem.

Grundlage der Analyse bilden die Klima-Szenarien des Network for Greening the Financial System (NGFS). Diese bilden sowohl die Dynamik des Klimawandels und dessen Abhängigkeit von Treibhausgasemissionen ab, als auch die globalen wirtschaftlichen Prozesse, welche zu diesen Emissionen führen. Die Szenarien unterscheiden sich insbesondere in den zu erreichenden Klimazielen, welche jeweils unterschiedliche Emissionsreduktionsziele und dazu notwendige globale CO₂-Bepreisungspfade voraussetzen. Die Klimaszenarien werden durch das vom NGFS verwendete makroökonomische Modell NiGEM entlang wichtiger makro- und finanzwirtschaftlicher Variablen ausdifferenziert.

Aufbauend darauf entwickelt dieses Papier eine Methodik zur Umlegung der Klimaszenarien auf einzelne Wertpapiere und Kreditnehmer. Dazu werden die Szenarien zunächst sektoral ausdifferenziert mittels eines Produktionsnetzwerkmodells. Dieses bildet die sektoralen Interdependenzen der globalen Weltwirtschaft entlang der in den NGFS-Szenarien ermittelten Zusammenhänge nach und verteilt potentielle Belastungen entsprechend der heterogenen Emissionsintensität sowie der Position in Lieferketten über die Sektoren der Realwirtschaft. Anschließend werden Markt- und Kreditrisikomodelle genutzt. Diese ermitteln historische Elastizitäten zwischen in den Szenarien abgebildeten Größen und sektoralen Kreditausfallraten bzw. Unternehmensanleihebewertungen. Schließlich werden die Verluste auf Ebene der Wertpapiere und Kreditnehmer in die Bilanzen der deutschen Banken, Fonds und Versicherer gespiegelt.

Die Ergebnisse der Analyse legen hinsichtlich der analysierten klimabezogenen Risiken im Vergleich zu anderen internationalen Studien ähnliche, moderate potentielle Verluste je Finanzsektor und im Finanzsystem als Ganzes nahe. Einzelne Finanzinstitute können jedoch stärker von potentiellen Verlusten betroffen sein.

Sensitivitätsanalyse klimabezogener Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors

Dominik Schober Tobias Etzel Alexander Falter Ivan Frankovic Christian Gross
Anke Kablau Pierre Lauscher Jana Ohls Lena Strobel Hannes Wilke¹

Abstract

Klimabezogene Risiken aus der Transition zu einem CO₂-armen Wirtschaftssystem können potentielle Verwundbarkeiten des Finanzsystems offenlegen. Wir entwickeln und beschreiben in diesem Artikel ein Instrumentarium zur Analyse dieser Risiken und wenden es auf das deutsche Finanzsystem an. Die Verwendung langfristiger, konsistenter Klimaszenarien, die im Rahmen der gemeinsamen Arbeiten des Network for Greening the Financial System (NGFS) entstanden sind, erlauben die Modellierung der Auswirkungen der Transition und die anschließende Abbildung in das Finanzsystem. Wir nutzen eine umfassende Datenbasis hinsichtlich der einbezogenen Finanzintermediäre und -instrumente und zeigen, dass sich die potentiellen Portfolioverluste aus einem unerwarteten Klimapolitikwechsel im Aggregat für die einzelnen Finanzsektoren im geringen bis mittleren einstelligen Prozentbereich bewegen. Einzelne Finanzintermediäre sind dabei stärker von Transitionsrisiken betroffen. Die Unsicherheit über die aktuellen Erwartungen der Marktakteure führt zu Ergebnissen, welche von den abgeleiteten potentiellen Portfolioverlusten um bis zu 40 % abweichen können.

Keywords: climate scenarios, climate transition risks, macroeconomic and financial impacts, financial stability analysis, sensitivity test, carbon pricing

JEL-Classification: D53; E27; H23; Q51; Q54

¹ Die in diesem Artikel zum Ausdruck gebrachten Ansichten stammen von den Autoren und Autorinnen und repräsentieren nicht notwendigerweise die Ansichten der Deutschen Bundesbank oder des Eurosystems. Alle Autoren und Autorinnen gehören der Deutschen Bundesbank, Zentralbereich Finanzstabilität, an. Korrespondierender Autor ist Dominik Schober (dominik.schober@bundesbank.de).

1 Einleitung

Dieses Dokument beschreibt die Methodik, die ausführlichen Ergebnisse und die Einschränkungen der Sensitivitätsanalyse klimabezogener Transitionsrisiken des deutschen Finanzsektors, deren Ergebnisse im Finanzstabilitätsbericht 2021 veröffentlicht wurden.² Ziel dieser Analyse ist es, die Wertverluste in den Bilanzen deutscher Finanzintermediäre zu quantifizieren, die sich als Folge unterschiedlicher Transitionsszenarien und deren Auswirkungen auf die Realwirtschaft ergeben können. Insbesondere stehen globale Politikmaßnahmen, die CO₂-Emissionen sowie andere Treibhausgasemissionen belasten, als implizite Treiber der Transition im Vordergrund.³

Die globale Bepreisung von CO₂ gilt vor diesem Hintergrund als ein effizientes und effektives Mittel zur Bekämpfung des Klimawandels. Eine solche Bepreisung hat zunächst realwirtschaftliche Auswirkungen. Die damit verbundenen Kosten wirken sich insbesondere auf emissionsintensive Branchen aus, betrifft über Lieferketten jedoch nahezu alle Bereiche der Realwirtschaft, in dessen Folge sich die Profitabilität von Unternehmen reduzieren kann. Durch die Verbindungen zwischen Finanz- und Realwirtschaft über das Halten von Unternehmensanteilen und Anleihen, die Vergabe von Krediten sowie sonstige Finanzinstrumente können klimabedingte Transitionsrisiken zur Entwertung dieser Wertpapiere führen. Um eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich klimabedingter Transitionsrisiken für den deutschen Finanzsektor vorzunehmen, müssen Modelle verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen verwendet und miteinander kombiniert werden. Nur so lassen sich die beschriebenen Wirkungskanäle von CO₂-Preisen vollständig abbilden.

In der vorliegenden Analyse wird die Einführung einer globalen CO₂-Bepreisung angenommen, welche in ihrer Höhe in allen Sektoren und Ländern einheitlich ist. Die potentiellen Verwundbarkeiten aus anderen, global und sektoral heterogenen CO₂-Preispfaden werden daher nicht untersucht. Die potentiellen Verwundbarkeiten aus den physischen Folgen des Klimawandels werden in dieser Analyse ebenfalls nicht betrachtet.

Die Analyse beschränkt sich des Weiteren zum aktuellen Stand auf Politikmaßnahmen, die mit einer staatlichen Einnahmenerzielung verbunden sind, also insbesondere CO₂-Preiseinnahmen aus einem CO₂-Emissionshandel oder einer CO₂-Steuer. Der Analyserahmen berücksichtigt daher keine anderen, denkbaren Politikmaßnahmen, wie beispielsweise staatliche Investitionen in CO₂-freie Technologien, Effizienzstandards oder Verbote. Die Empfehlung politischer Klimaschutzmaßnahmen ist daher auch nicht Gegenstand der Analyse.

² Vgl. Deutsche Bundesbank (2021).

³ In Folgendem wird überwiegend von CO₂-Emissionen, -Budgets und -Preisen gesprochen. Implizit sind aber stets auch andere Treibhausgase, die über Umrechnungsfaktoren in CO₂-Äquivalente übersetzt werden können, mitgemeint.

Den Ausgangspunkt unserer Analysen bilden integrierte Bewertungsmodelle („Integrated Assessment Models“, IAMs), welche die Dynamik des Klimawandels und dessen Abhängigkeit von Treibhausgasemissionen, sowie die globalen wirtschaftlichen Prozesse, welche zu diesen Emissionen führen, gemeinsam abbilden. IAMs können dabei eine Vielzahl an möglichen zukünftigen interdependenten Entwicklungen von Klima und Wirtschaft beschreiben. Solche Klimaszenarien unterscheiden sich insbesondere in den erreichten Klimazielen im Sinne einzuhaltender CO₂-Budgets. Diese CO₂-Budgets können nur unter gewissen Mehrkosten eingehalten werden. Diese CO₂-Vermeidungsaktivitäten werden als Mitigation bezeichnet. Innerhalb der Modelle ergibt sich implizit ein CO₂-Preis aus den jeweils unterschiedlichen CO₂-Emissionssenkungszielen und den dafür zu verausgabenden Kosten. Die in unserer Methodik verwendeten IAMs stammen von renommierten Klimaforschungsinstitutionen und wurden im Rahmen des Network for Greening the Financial System (NGFS) zur Erstellung von Klimaszenarien verwendet (NGFS 2021a, 2021b).

Die IAMs modellieren ökonomische Systeme auf stark reduzierte Weise. Daher verwenden wir komplementäre ökonomischen Modelle, welche die in den IAMs hergeleiteten realwirtschaftlichen Effekte in den zentralen Variablen nachbilden (Bruttoinlandprodukt, Energie- und Emissionsintensitäten, globale CO₂-Preispfade) und um weitere, insbesondere finanzwirtschaftliche, Variablen wie Zinsen, Profite und Unternehmensbewertungen ergänzen.

Darüber hinaus werden die regional und sektoral höher aggregierten IAM-Variablen in beiden Dimensionen weiter ausdifferenziert und in Effekte auf die Realwirtschaft übersetzt. Durch die internationale Handelsvernetzung und die indirekten Auswirkungen von CO₂-Preisen über Importe und Exporte ist auch hier eine globale Perspektive notwendig. So verwenden wir einerseits das ebenfalls im NGFS genutzte und erweiterte makroökometrische Modell NiGEM, welches die ökonomischen Variablen der IAMs in eine Vielzahl von detaillierteren makro- und finanzwirtschaftlichen Variablen übersetzt. Andererseits verwenden wir zusätzlich ein intern entwickeltes Sektorenmodell welches die lediglich auf nationaler Ebene ausdifferenzierten NiGEM-Ergebnisse auf 56 realwirtschaftliche Sektoren umlegt.

Zuletzt werden die von den ökonomischen Modellen bereitgestellten Finanzvariablen je Szenario mit Hilfe von Finanzmarktmodellen in Wertverluste einzelner Wertpapiere umgerechnet. Um eine möglichst breite Abdeckung aller Wertpapierarten in unserer Analyse zu erhalten, werden historische Korrelationen zwischen einerseits der Entwicklung von Bruttoinlandsprodukt, Sektorumsätzen und -aktienbewertungen und andererseits Anleihen- und Kreditausfallraten geschätzt. Die historischen Elastizitäten werden dann auf die Szenariovariablen angewandt um Wertanpassungen zu erhalten. Diese werden anschließend in die Bilanzen der deutschen Finanzintermediäre gespiegelt. Besonderheiten der verschiedenen Finanzsektoren, d.h. Banken, Fonds und Versicherer, werden in der Methodik berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Analyse legen hinsichtlich der analysierten klimabezogenen Risiken im Vergleich zu anderen internationalen Studien ähnliche, moderate potentielle Verluste je Finanzsektor und im Finanzsystem als Ganzes nahe. Einzelne Finanzinstitute können jedoch stark von potentiellen Verlusten betroffen sein.

Die Ergebnisse unterliegen jedoch in der Analyse einer Reihe von Einschränkungen, so besteht beispielsweise eine erhebliche Unsicherheit hinsichtlich zentraler Modellparameter. Erstens kann die Klimaentwicklung für eine gegebene Emissionsmenge nicht eindeutig bestimmt werden. So könnte beispielsweise nur ein deutlich geringeres Emissionsbudget zur Erreichung des 1,5 °C-Ziels als hier angenommen ausreichen. Dies würde die Transitionskosten zusätzlich erhöhen. Zweitens besteht Unsicherheit bezüglich der genauen Ausgestaltung der Transition, ihrer Lastenverteilung und Effektivität. So können Hindernisse in der internationalen Koordinierung von Klimapolitik oder politische Kurswechsel aufgrund von Wahlen die Transitionskosten deutlich steigern. Drittens übersteigt die zeitliche Dimension des Klimawandels und einer Transition zu einer karbonfreien Wirtschaft den üblichen Zeithorizont der von uns betrachteten Vermögenswerte. Anpassungen im Finanzsystem, welche möglicherweise die Kosten der Transition schmälern oder verstärken können, sind nicht durch unsere Analyse abgedeckt.

Bisher durchgeführte Sensitivitätsanalysen klimabedingter Risiken finden sich beispielsweise bei der DNB, BdF, EZB/ESRB oder EIOPA.⁴ Diese Analysen sind ähnlich zu der hier vorgestellten, konzentrieren sich jedoch auf Teilmengen der untersuchten Finanzinstrumente, Finanzintermediäre oder der verwendeten Modellkette zur Szenariokonstruktion. In der vorliegenden Analyse werden die Finanzintermediäre Banken, Fonds und Versicherer einbezogen und hinsichtlich potentieller Verluste bei verschiedenen Finanzinstrumenten neben Kreditrisiken auch Marktrisiken in annähernd vollständiger Abbildung der Bilanzaktiva einschließlich Staatsanleihen betrachtet. Insbesondere folgt die Szenariokonstruktion einem in sich konsistenten Narrativ aus Klimaszenarien, die dem aktuellen Stand in klimapolitischen und akademischen Diskussionen entsprechen, während viele andere Studien ad-hoc Szenarioannahmen treffen, wie beispielsweise einzelne CO₂-Preis-Schocks.⁵ Diese konsistent hergeleiteten klimatischen und ökonomischen Entwicklungen werden über mehrere sequentiell gekoppelte Modelle sukzessive von der Realwirtschaft ausgehend in das Finanzsystem abgebildet. Dabei werden regionale und sektorale Schlüsselungen zentraler ökonomischer Variablen unter Berücksichtigung möglicher sektoraler und verbrauchsseitiger Reaktionen vorgenommen. Diese ermöglichen es, über Wertschöpfungseffekte und Produktionseffekte Vermögenswertanpassungen und Ausfallratenänderungen herzuleiten. Damit geht die vorliegende Studie über bisher durchgeführte Sensitivitätsanalysen im Rahmen der untersuchten Finanzinstrumente, einbezogenen Finanzintermediäre und der Konsistenz der Szenariokonstruktion hinaus. Einen

⁴ S. Abschnitt 5.4. diesesPapiers.

⁵ Vgl. NGFS (2021a) und IPCC (2021).

umfassenden Überblick über die akademische Literatur zu wechselseitigen Zusammenhängen zwischen Finanzsystem und Erderwärmung bieten Furukawa et al. (2020) und Giglio et al. (2020). Insbesondere die Szenariokonstruktion zur Analyse von klimabedingten Risiken im Rahmen Sensitivitätsanalysen und Stresstests ist noch in der Entstehung inbegriffen. Die vorliegende Studie liefert somit einen Beitrag zur Erweiterung bestehender Sensitivitätsanalysen klimabedingter Risiken.

Im Folgenden wird in Abschnitt 2 der Modellrahmen zur Klimaszenarioentwicklung dargestellt. Es wird die Konstruktion der einzelnen Szenarien und die Modellkette von den IAMs bis hin zur Ableitung der Effekte auf einzelne Finanzinstrumente beschrieben. In Abschnitt 3 wird dann die Verwendung dieser einzelnen Klimaszenarien zur Konstruktion von Finanzsystemschocks dargestellt. Ausgehend von einem annahmegemäß von allen Marktakteuren aktuell erwarteten Klimaszenario wird ein Finanzsystemschock erzeugt, in dem überraschend für alle Marktakteure ein glaubhafter Wechsel auf ein anderes Klimaszenario mit größeren Anpassungskosten stattfindet. In Abschnitt 4 wird die Abbildung des Finanzsystemschocks in die Portfolien der Finanzintermediäre beschrieben. Ausführliche Analyseergebnisse zur Darstellung der Funktionsweise der Methodik werden in Abschnitt 5 dargelegt. An den jeweils geeigneten Stellen der Klimaszenarioentwicklung (Abschnitt 2) werden einzelne Modellergebnisse zur besseren Nachvollziehbarkeit allerdings auch schon vorher dargestellt. Einschränkungen der Analyse werden abschließend in Abschnitt 6 detailliert vorgestellt. Abschnitt 7 fasst die vorliegende Arbeit abschließend zusammen.

2 Klimaszenarioentwicklung

Ziel klimaszenariobasierter Sensitivitätsanalysen ist es, potentielle Belastungen für Finanzintermediäre zu quantifizieren, die sich auf der Grundlage verschiedener plausibler Erderwärmungs- und Klimapolitik-Narrative für mögliche klimatische, ökonomische und gesellschaftliche Entwicklungen ergeben können. Im Gegensatz zu diesen Szenarien stellen Prognosen zu erwartende Entwicklungen dar. Aufgrund der Komplexität der möglichen klimatischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Entwicklungen und der damit verbundenen erheblichen Unsicherheit können anstelle von Prognosen nur mehrere plausible Pfade für zukünftige Entwicklungen in Klimaszenarien konstruiert werden. Innerhalb eines jeden solchen Szenarios werden mögliche Folgen für das Finanzsystem über eine Modellkette ausdifferenziert. Diese Kette zur Abbildung von Folgen für das Finanzsystem umfasst eine Reihe von sukzessiv angewendeten Modellen, siehe Abbildung 1.

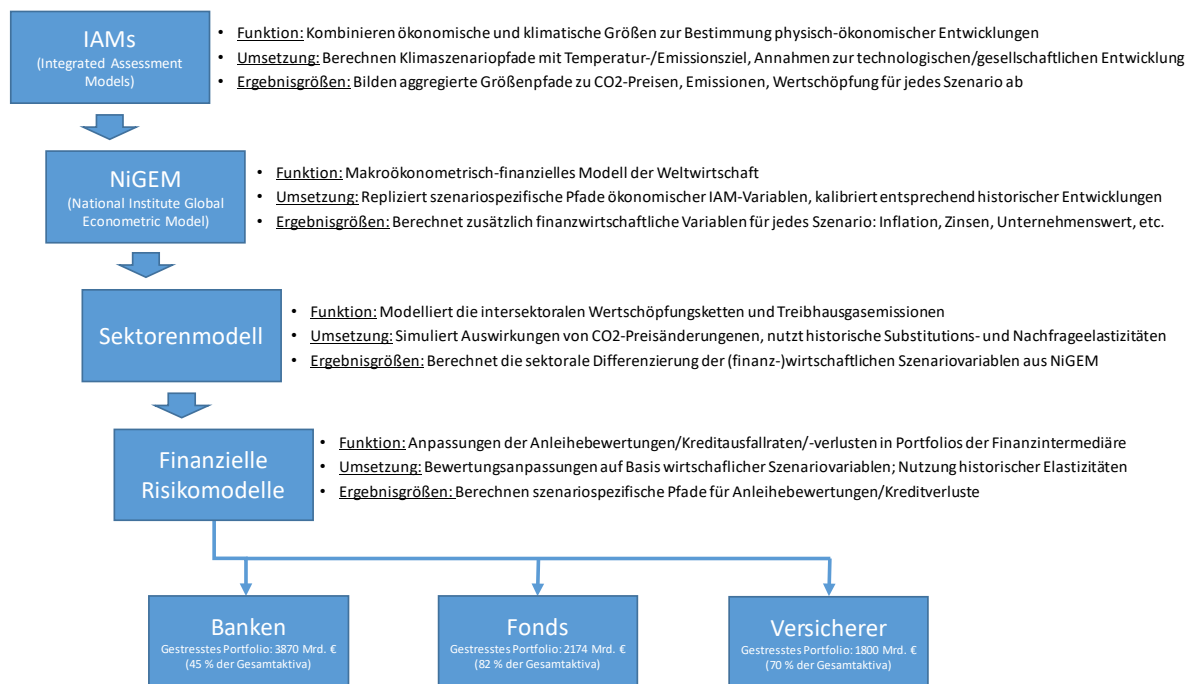


Abbildung 1 Modellkette zur Analyse von Auswirkungen klimabedingter Risiken auf das Finanzsystem

Insbesondere im Bereich der Kopplung von *Klimamodellen* mit makro- bzw. finanzökonomischen Modellen (Schritt 1 bis 2) hat das *Network for Greening the Financial System (NGFS)* Pionierarbeit geleistet. Dieses hat (unter anderem) das Ziel, einen gemeinsamen, auf Vergleichbarkeit beruhenden Analyserahmen für globale Klimarisiken für Zentralbanken und Finanzinstitute zu erarbeiten. Dieser soll helfen, verdeckte bzw. unbekannte und damit nicht eingepreiste Risiken für die Real- und Finanzwirtschaft sowie potentielle Verwundbarkeiten des Finanzsystems zu analysieren. Diese gemeinsamen, weltweit abgestimmten Arbeiten nutzend, werden die Analyseergebnisse in bundesbankeneigene Modelle überführt und Portfolios der Finanzintermediäre abgebildet (Schritt 3, 4 und 5). Im Folgenden wird die Modellkette detailliert dargestellt.

2.1 Integrierte Bewertungsmodelle (IAM)

Ein integriertes Bewertungsmodell (Integrated Assessment Model, kurz IAM) kombiniert Modelle ökonomischer Systeme mit Modellen naturwissenschaftlicher Systeme in einem einheitlichen Rahmenwerk. Der ökonomische Teil des Modells besteht dabei meist aus einem neoklassischen Wachstumsmodell. Zur Quantifizierung der durch die Wirtschaftsaktivitäten verursachten Treibhausgasemissionen ist zudem ein detailliertes Energienachfrage- und -angebotsmodell gekoppelt. Dabei umfasst das Energieangebot Technologien verschiedener Karbonintensität, deren Produktionskosten und Nachfrage und damit deren Verbreitung sich über die Zeit dynamisch verändert. IAMs beinhalten zudem die Abbildung verschiedener Klimaschutzmaßnahmen, sowie eine implizierte gesellschaftliche Akzeptanz und technologische

Entwicklung. Die Bepreisung von Emissionen, welche eine Substitution hin zu karbonarmen Energietechnologien verursacht, spielt dabei eine zentrale Rolle. Der zweite Teil von IAMs beinhaltet die Modellierung von naturwissenschaftlichen Systemen, insbesondere die Abbildung von physikalisch-klimatischen Zusammenhängen und die Auswirkung von Treibhausgasemissionen auf Temperaturen. Darüber hinaus können IAMs auch Modelle der Flächenutzung und Landbewirtschaftung enthalten.

Der zentrale Zweck von Klimamodellen ist die Generierung von Klimaszenarien. Klimaszenarien können dabei Projektionen (projections) darstellen, also die Simulation bisheriger oder angenommener Trends in die Zukunft. Ein Beispiel dafür stellt das sogenannte Business-As-Usual-Szenario dar, in welchem die aktuell geltenden Klimaschutzmaßnahmen in die Zukunft fortgeschrieben werden und dies zu hohen Emissionen und Temperaturanstiegen führt. Klimaszenarien können aber auch als Klimapfade (pathways) konstruiert werden. Hierbei wird ein Klimaziel vorgegeben, beispielsweise das 1,5 °C-Ziel des Pariser Abkommens, während es Aufgabe des Modells ist einen Karbonpreispfad zur Zielerreichung zu ermitteln.

Durch die Variation der den IAMs zugrundeliegenden Annahmen (insbesondere Technologieverfügbarkeit und -produktivität, CO₂-Vermeidungskosten, regionale Heterogenität in Klimaschutzmaßnahmen, Bevölkerungswachstum usw.) kann eine Vielzahl von verschiedenen, in sich konsistenten Klimaszenarien konstruiert werden. Sie können in Simulations- und Optimierungsmodelle unterteilt werden und sich ebenfalls grundlegend hinsichtlich ihrer Zielfunktion (Kosten- vs. Wohlfahrtsoptimierung) unterscheiden. Die Dynamik bei den Anpassungsreaktionen (nachfrage- und angebotsseitige Technologieadaption) ist entscheidend für die quantitative Ausprägung der Ergebnisse.

Ein Konsortium bestehend aus weltweit führenden Klimaforschergruppen und -modellierern⁶ hat im Auftrag des und in Abstimmung mit dem NGFS auf der Basis neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse verschiedene Klimaszenarien erstellt (NGFS, 2021a).⁷ In ähnlicher Form finden diese Szenarien auch im sechsten Berichtszyklus (2016-22) des Weltklimarats (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) Verwendung, an dem Mitglieder des Konsortiums beteiligt sind.⁸ Diese Szenarien gingen auch als Grundlage des Green Deal der EU Kommission in den politischen Prozess ein. Beispiele für zukünftige Erderwärmungspfade in verschiedenen NGFS-Klima-Szenarien, die sich aus variierenden Einsparzielen ergeben, sind in folgender Abbildung zu finden. Die Intervalle geben unterstellte Klima-Sensitivitäten an.⁹

⁶ Dazu gehören das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), das International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), die University of Maryland (UMD), Climate Analytics (CA) und die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich (ETHZ).

⁷ Die Szenarien beschränken sich als Resultat von Abstimmungen zwischen den NGFS-Mitgliedern und dem Konsortium aus Klimamodellierern auf die mittleren sozioökonomischen Pfade, den sog. SSP2. Vgl. [NGFS Scenarios Portal](#).

⁸ Sonderbericht über „1,5 Grad Celsius globale Erwärmung“ (SR1.5): [IPCC \(2018\)](#); Sechster IPCC-Sachstandsbericht (AR6): [IPCC \(2021\)](#).

⁹ Vgl. [NGFS Scenarios Portal](#).

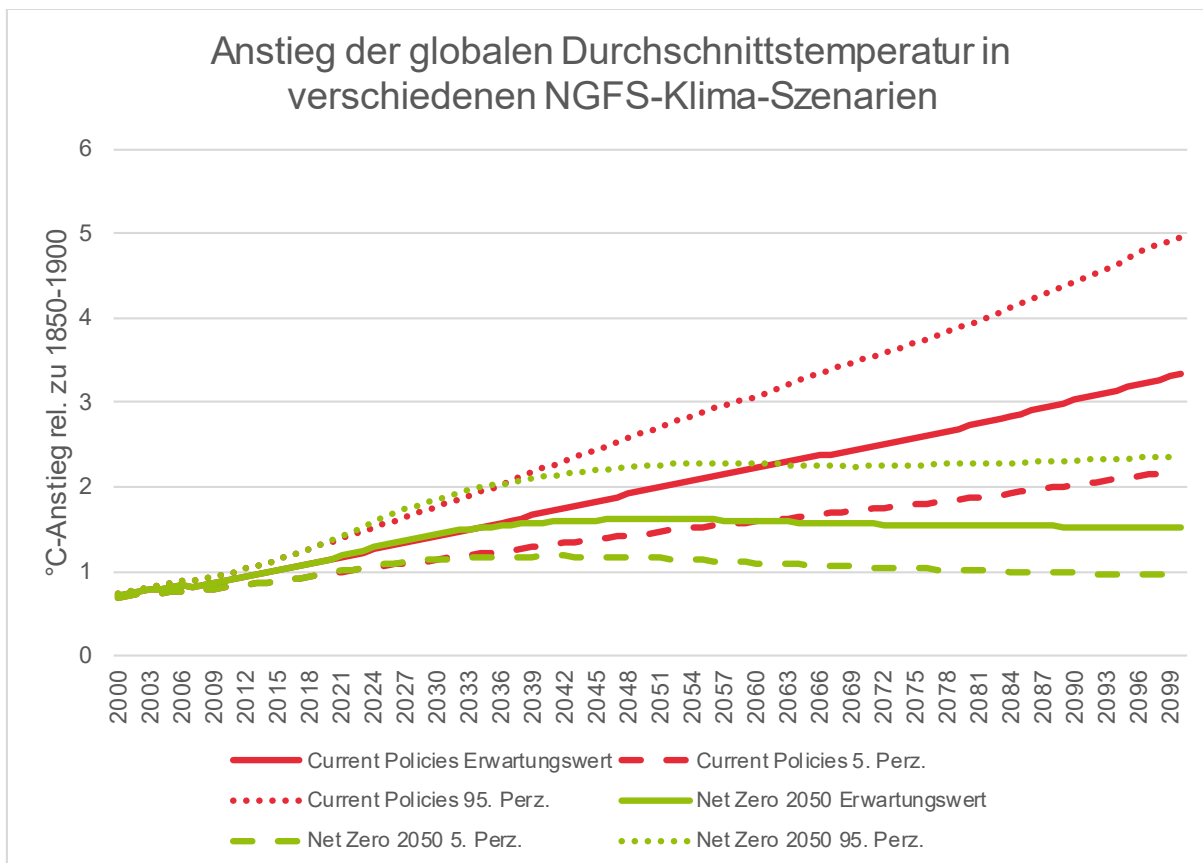


Abbildung 2: Verlauf der Erderwärmung in verschiedenen NGFS-Klima-Szenarien im MESSAGE-Modell; vgl. [NGFS Szenarios Portal](#)

Die definierten Klimaszenarien decken eine Bandbreite von Szenarien ab, die als möglich angesehen werden. Dies umfasst die gleichzeitige Variation mehrerer Annahmen wie z.B. Klimaschadensfunktionen (auch Klima-Kippunkte) einschließlich Annahmen über Adaptionsverhalten und -kosten, die Politikgestaltung, technologischer Wandel einschließlich CO₂-Vermeidungsverhalten und -kosten, Präferenzreaktionen (nachfrage- und angebotsseitige Klima-Vermeidungs-/-Anpassungsreaktionen) sowie allgemeine sozioökonomische Pfade.¹⁰ Die IAMs generieren so eine Vielzahl von Output-Variablen wie beispielsweise zur wirtschaftlichen Entwicklung (BIP, Energiekosten und -intensitäten, Umsätze) und zum Lebensumfeld im Allgemeinen (Emissionen, Technologieverbreitung, regionale Klima- und Wetterentwicklung).

¹⁰ Im Rahmen der Diskussion von Unsicherheit ist hier anzumerken, dass die Marktteilnehmer Erwartungen über gesamte Klimaszenariokonstrukte bilden. Diese umfassen jeweils zahlreiche notwendige Annahmen über zukünftige physische Schäden an der Umwelt, zu wählende Politikpfade, technologischen Fortschritt und sowohl Produzenten- und Konsumenten als auch Wählerpräferenzen, die konsistent ex ante getroffen werden müssen um die Glaubwürdigkeit jedes Szenarios sicherzustellen. Der hier gewählte CO₂-Preis ist lediglich der abgeleitete Output aus den jeweiligen Szenarien, der als zentrales Maß für Politikauswirkungen in Realwirtschaft und Finanzwirtschaft dient und damit erlaubt, die möglichen Verwundbarkeiten des Finanzsystems zu quantifizieren. Die Unsicherheit wird dann über eine Permutation der Szenarienauswahl abgebildet, da keine Wahrscheinlichkeiten zur Quantifizierung des Risikos (i. S. z. B. eines Value-at-Risk) herangezogen werden können (nur *Projektionen, keine Prognosen*).

Die Nutzung verschiedener Modellrahmen ermöglicht Robustheitsanalysen bezüglich modelltechnischer Annahmen, durch welche sich die verschiedenen Ansätze unterscheiden. In den vorliegenden Analysen wurde MESSAGE als Referenzmodell ausgewählt, so dass unsere Kernberechnungen auf den von diesem Modell generierten Klimaszenarien beruht. Eine ausführliche, technische Dokumentation der verwendeten IAMs ist in (NGFS, 2021b) verfügbar.

Da die vom NGFS verwendeten IAMs aufgrund der Komplexität der Berechnungen in lediglich 11-30 Regionen weltweit unterteilt sind, wird im Anschluss eine Umlage der Outputvariablen auf einzelne Länder vorgenommen. Dazu wurden verschiedene Schlüssel verwendet, die auf der im Modell ermittelten länderspezifischen Energienachfrage basieren.

Im Folgenden stellen wir Variablen des MESSAGE-Modells dar: die Entwicklung der CO₂-Preise und der CO₂-Emissionen in Deutschland im „Net Zero 2050“-Szenario. Der CO₂-Preis steigt ab dem Jahr 2021 konstant an, erreicht im Jahr 2030 ca. 400 USD pro Tonne und im Jahr 2050 1000 USD pro Tonne.¹¹ Dies führt zu einer starken Reduktion in der Emissionsintensität. Obwohl globale Emissionsneutralität erst 2050 im „Net Zero 2050“-Szenario erreicht wird, ist dies bereits im Jahr 2045 für Deutschland der Fall. Das Produkt aus dem Pfad des CO₂-Preises und der CO₂-Emissionen in Deutschland ergibt die gesamte Kostenbelastung aus der CO₂-Bepreisung. Diese erreicht ihr Maximum um das Jahr 2030 und beläuft sich auf ca. 120 Mrd \$. Durch die negativen Emissionen ab Anfang der 2040er Jahre wandelt sich die Kostenbelastung zu einer Subvention. Die Emissionen im „Net Zero 2050“-Szenario fallen aufgrund einer Transition hin zu einer emissionsarmen Wirtschaft. Dies wird maßgeblich getrieben durch den Anteil der erneuerbaren Energien in Deutschland (Sonnen-, Wasser-, Windkraft sowie Geothermie und Biomasse), illustriert in Abbildung 5.

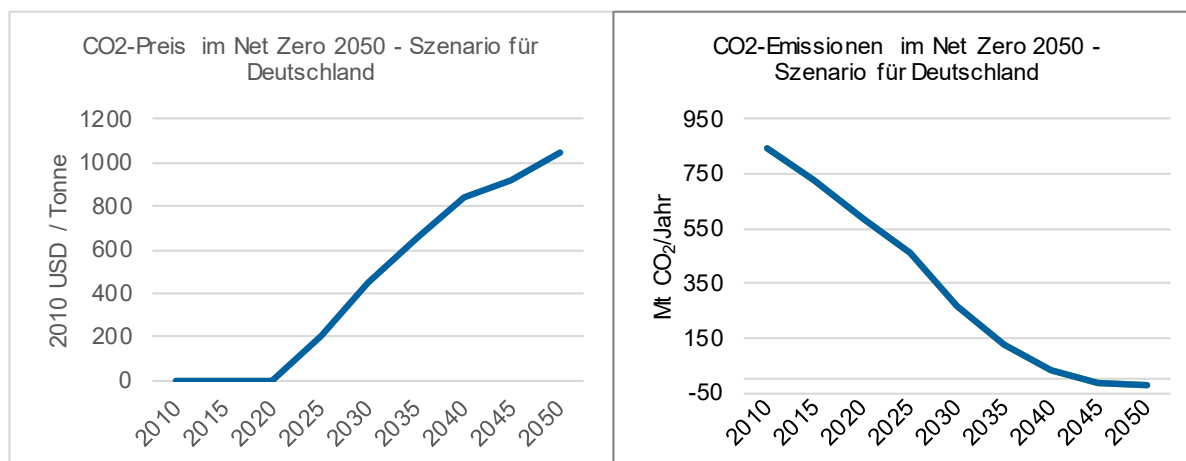


Abbildung 3: CO₂-Preise und -Emissionen in Deutschland im NGFS-„Net Zero 2050“-Szenario; vgl. [NGFS ScenariosPortal](#)

¹¹ Es handelt sich hierbei um reale Preise, ausgedrückt in 2010 USD.

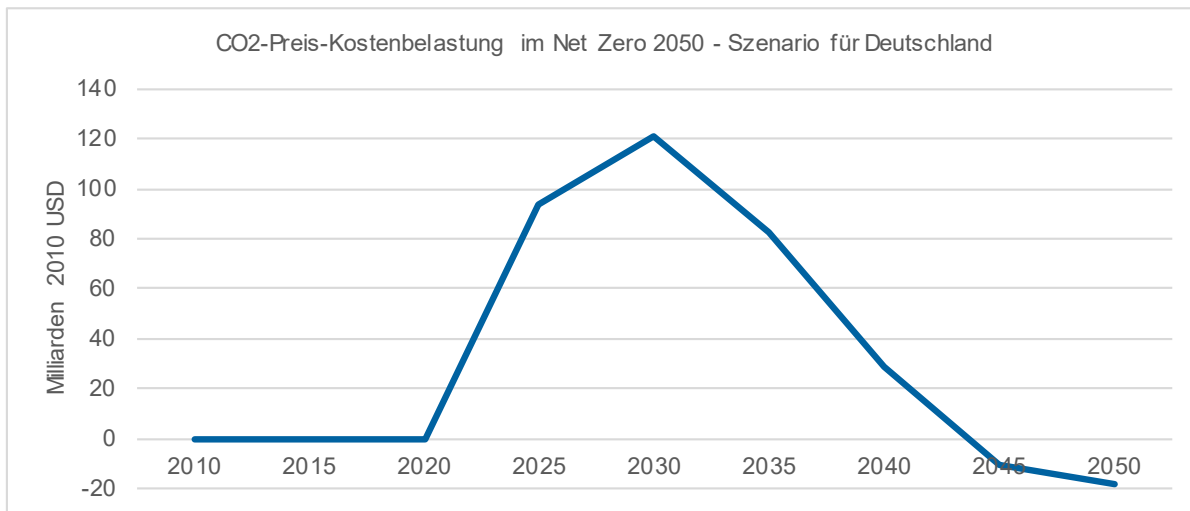


Abbildung 4: CO₂-Kostenbelastung in Deutschland im NGFS-„Net Zero 2050“-Szenario; vgl. [NGFS Scenarios Portal](#)

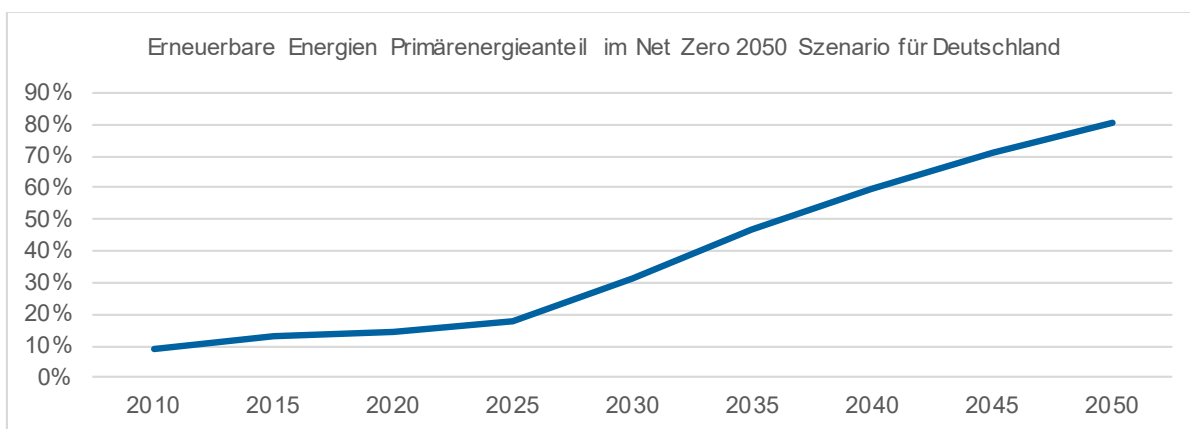


Abbildung 5: Primärenergieanteil Erneuerbarer Energien in Deutschland im NGFS-„Net Zero 2050“-Szenario; vgl. [NGFS Scenarios Portal](#)

2.2 Makroökonomisches Modell (NiGEM)

IAMs bilden real- und finanzwirtschaftliche Variablen, je nach Modellierungszweck, nur unzureichend ab. Insbesondere vor dem Hintergrund von zentralbankrelevanten Analysen erschwert dies die direkte Nutzung der Klimaszenarien. Um diese Lücke zu schließen wurde ein weiteres Modell mit einem Fokus auf (finanz-)wirtschaftliche Kenngrößen im Rahmen der NGFS-Arbeiten mit den IAMs gekoppelt. Das National Institute Global Econometric Model (NiGEM) ist ein makroökonomisches Modell der Weltwirtschaft und umfasst 60 Länder und Regionen. Das Modell bildet über 5000 Variablen mit quartalsweiser Frequenz ab, unter anderem zu den Bereichen volkswirtschaftliche Gesamtrechnung, Handel, öffentlicher Sektor sowie Preise, Zinsen und andere Finanzmarktvariablen, siehe Hantzsche et al. (2020) für Details.

Um die Koppelung durchführen zu können wurde NiGEM hinsichtlich der Modellierung klimarelevanter Zusammenhänge erweitert. Zentral dabei ist die Abbildung sowohl eines Kohlenpreises und der Substitutionsmöglichkeit zu weniger kohlenintensiven Energieträgern als auch des zukünftigen Wirtschaftswachstums.

Die Koppelung zwischen IAMs und NiGEM erfolgt über einen Top-Down-Ansatz. Dabei werden die Verläufe derjenigen realwirtschaftlichen Variablen, die sowohl in den IAMs als auch in NiGEM abgebildet sind, in NiGEM durch eine entsprechende Kalibrierung repliziert. Dies umfasst die regionale Entwicklung von Wirtschaftsleistung, Investitionen, Konsum verschiedener Energieträger sowie den Kohlenpreisen. Die Kopplung erfolgt dabei einzeln für jedes Szenario und jede IAM-Variante. Da NiGEM die Pfade aller anderen abgebildeten ökonomischen Variablen endogen ermittelt, erweitert sich durch diesen Prozess die Bandbreite an Variablen beträchtlich. NiGEM simuliert auf Basis historisch parametrierter Zusammenhänge zwischen real- und finanzwirtschaftlichen Variablen ein passendes Set an finanzwirtschaftlichen Variablen. Dabei wird eine Reihe von weiteren Annahmen, beispielsweise bzgl. der Ausgestaltung von Finanzpolitik und insbesondere der Verwendung von CO₂-Steuereinnahmen, getroffen.

Insbesondere die szenariospezifischen Entwicklungen von Unternehmensprofiten und die daraus abgeleiteten Wertberichtigungen der Aktien werden in den weiteren Rechenschritten des Modellrahmens verwendet. Ebenso werden die in NiGEM modellierten Veränderungen der Staatsanleihenprämien genutzt. Diese hängen in NiGEM von der Entwicklung der nationalen Schuldenquote ab, welche wiederum die Auswirkungen auf staatliche Steuereinnahmen und BIP abbildet. Regionale Inflations- und Zinsverläufe aus NiGEM fließen auch in die weiteren Berechnungen ein.

Im Rahmen der vom NGFS erarbeiteten Szenarien mussten Annahmen bzgl. der fiskalischen Verwendung der CO₂-Steuereinnahmen getroffen werden. Im Fall des „Net Zero 2050“-Szenarios wurde diesbezüglich angenommen, dass die Einnahmen zum Teil zur Finanzierung öffentlicher Investitionen genutzt werden, welche sich positiv auf die Gesamtproduktivität der Wirtschaft auswirken und somit das BIP - ceteris paribus - fördern. Um möglichst konservative Abschätzungen bzgl. der BIP-Auswirkungen der CO₂-Bepreisung zu erhalten, verändern wir für die weitere Nutzung des „Net Zero 2050“-Szenarios innerhalb unserer Berechnungen die Annahmen zur fiskalischen Verwendung. Dazu simulieren wir in NiGEM die Entwicklung des BIPs im Falle der Verwendung der CO₂-Steuereinnahmen zur Senkung der Einkommenssteuern.¹² Des Weiteren enthalten die originären NGFS-Szenarien negative BIP-Effekte aufgrund von physischen Schäden. Da wir in den nachgelagerten Analysen ausschließlich die Auswirkungen von Transitionsrisiken beurteilen möchten, rechnen wir den Einfluss physischer Schäden auf das BIP in Deutschland jedoch heraus.

¹² Alternativ testen wir auch die Verwendung zur Erhöhung von staatlichen Transfers an Haushalte. Dies ergibt jedoch einen sehr ähnlichen BIP-Verlauf im Vergleich zur Einkommenssteuersenkung.

Die folgende Abbildung 6 illustriert diese Szenarioveränderungen anhand des Verlaufs des BIPs in Deutschland im „Net Zero 2050“-Szenario, ausgedrückt relativ zum BIP-Verlauf im „Current Policies“-Szenario. Das originäre „Net Zero 2050“-Szenario ist durch die mittlere, grüne Linie gegeben. Rechnen wir die physischen Schäden heraus, erhalten wir den oberen, hellblauen Verlauf. Durch den steigenden Verlauf des BIPs nach dem Anfangsschock wird deutlich, dass die Verwendung der CO₂-Steuereinnahmen zur Finanzierung öffentlicher Finanzen stark expansive Auswirkungen hat. Bei der Annahme, dass anstelle der Erhöhung der Staatsausgaben die Einkommenssteuer gesenkt wird, verkehrt sich der BIP-Effekt jedoch ins Negative. In anderen Worten, die BIP-senkenden Effekte der CO₂-Besteuerung überkompensieren die positiven Effekte der Steuersenkungen auf das BIP, so dass eine Nettobelastung entsteht. In den gesamten folgenden Berechnungen nutzen wir diejenigen Verläufe, die sich aus dieser fiskalischen Annahme ergeben.

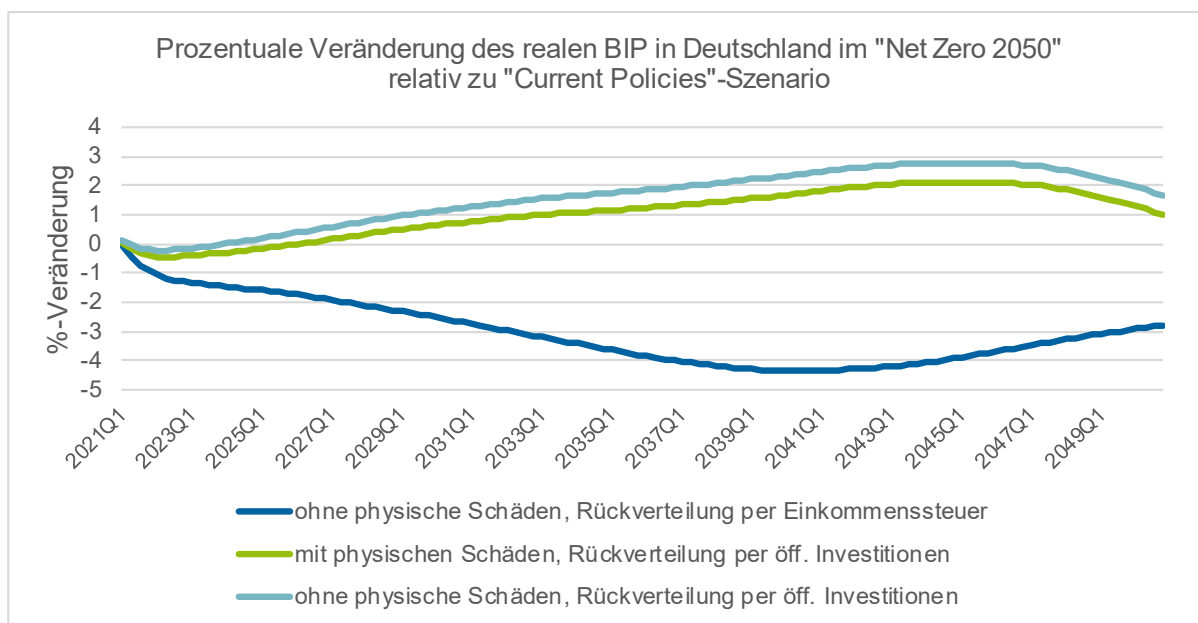


Abbildung 6: Entwicklungspfade des realen BIP in Deutschland im NGFS-„Net Zero 2050“-Szenario relativ zum Current Policies-Szenario mit und ohne physische Schäden und mit Verwendung als öffentliche Investition oder zur Einkommensteuersenkung

Im Folgenden stellen wir drei zusätzliche Variablen des NiGEM-Modells dar: die Entwicklung der Aktienpreise, der Staatsanleihenprämie sowie des BIP-Deflators in Deutschland. Dabei betrachten wir die (prozentuale) Differenz der Variablenwerte im „Net Zero 2050“-Szenario zum „Current Policies“-Szenario.

Die Aktienpreise verzeichnen bereits im Jahr 2021 einen Einbruch von ca. 7 % im „Net Zero 2050“-Szenario relativ zu „Current Policies“, siehe Abbildung 7. Aktienpreise in NiGEM spiegeln nämlich, aufgrund der Annahme vorwärts-gerichteter Erwartungen, den diskontierten zukünftigen Pfad der Unternehmensprofite wider. Zukünftige Profite fallen als Folge der CO₂-Preis-Kostenbelastung der Realwirtschaft. Der initiale Verlust in den Aktienbewertungen berücksichtigt also bereits den gesamten zukünftigen Pfad der CO₂-Preise. Durch das Voranschreiten in

der Zeit werden zukünftige Kostenbelastungen weniger stark diskontiert, Verluste fallen somit stärker aus und erreichen im Jahr 2026 ein Maximaleinbruch von nominell 12 %. Durch die CO₂-Bepreisung erfolgt jedoch über Zeit eine starke Reduktion der Emissionsintensität der deutschen Wirtschaft, so dass die CO₂-Preis-Kostenbelastung ab 2025 im Anstieg stark abflacht und anschließend in den 2030er-Jahren stark abnimmt. Dies führt zu einer starken Erholung der Aktienpreise, welche bereits 2026 beginnt.

In NiGEM gilt eine Taylor-Regel, nach welcher der Leitzins so gewählt wird, dass die Produktions- und Inflationslücke möglichst gering ausfällt. Da die CO₂-Preis-Kostenbelastung sowohl Preise treibt als auch Produktionskapazität reduziert, toleriert diese Regel moderat höhere Inflationsraten bis Mitte der 2030er. Nach vollendeter Transition liegt das Preisniveau im „Net Zero 2050“-Szenario jedoch lediglich 4 % über dem des „Current Policies“-Szenario. Dieses höhere Preisniveau im „Net Zero 2050“-Szenario erklärt auch die im Jahr 2050 deutlichen nominellen Zuwächse in der Aktienbewertung.

Die deutsche Staatsanleihenprämie ist nur sehr moderat vom Anstieg der CO₂-Preise im „Net Zero 2050“ Szenario betroffen. Sie fällt mittelfristig um maximal 8 Basispunkte. Da die Schuldenhöhe konstant gehalten wird (durch die Budget-neutrale Verwendung der CO₂-Steuereinnahmen zur Reduktion der Einkommenssteuern), folgt die Schuldenquote der inversen Entwicklung des nominellen BIPs. Dieses steigt im „Net Zero 2050“-Szenario leicht aufgrund der etwas höheren Inflation in diesem Szenario relativ zum „Current Policies“-Szenario. Da die Staatsanleihenprämie direkt von der Schuldenquote abhängt, beobachten wir als Folge fallende Prämien im „Net Zero 2050“-Szenario.



Abbildung 7: Entwicklungspfade der Aktienpreise, der Inflationsrate, des BIP-Deflators und der Staatsanleihenprämie in Deutschland im NGFS-„Net Zero 2050“-Szenario, relativ zum „Current Policies“-Szenario

2.3 Sektorenmodell

Die Klimaszenarien, welche in den IAMs und NiGEM generiert werden, sind nur geografisch ausdifferenziert, nicht jedoch nach realwirtschaftlichen Sektoren. Eine große Heterogenität und damit Asymmetrie in den realwirtschaftlichen Belastungen erfordert eine solche Disaggregation, um die Klimaszenarien auf die Bilanzen der Finanzintermediäre anzuwenden. Finanzinstitute mit unterschiedlichen Anlagevolumen in unterschiedlich anfälligen Sektoren sind damit auch unterschiedlich hohen Risiken ausgesetzt.

Um diese Lücke der sektoralen Granularität zu schließen, wurde ein Produktionsnetzwerkmodell (Input-Output-Modell) entwickelt. Dieses bildet die intersektoralen Vorleistungen zwischen Wirtschaftssektoren verschiedener Länder ab. Im Modell fällt jeder Sektor Entscheidungen

darüber, in welchem Ausmaß Vorleistungen aus anderen Sektoren bezogen werden in Abhängigkeit des Preises dieser Vorleistungen. Alle Sektoren sind dabei einem global einheitlichen CO₂-Preis ausgesetzt. Die Gesamthöhe der Emissionskosten hängt davon ab wie viel CO₂-Emissionen (und andere Treibhausgase) anfallen. Besonders karbonintensive Sektoren haben daher eine höhere Kostenbelastung und müssen ihre Preise erhöhen. Nachgelagerte Sektoren haben daher den Anreiz, die Menge an Vorleistungen aus karbonintensiven Sektoren zu reduzieren. Dies ist ein Effekt, der sich durch die gesamte Lieferkette der Wirtschaft zieht (die Nachfrageeffekte seitens der Endkonsumenten eingeschlossen), und der somit einen Strukturwandel hin zu weniger karbonintensiven Sektoren auslöst.

Das Modell bildet sieben Weltregionen ab, bestehend aus vier Einzelländern (Deutschland, USA, China und UK) sowie drei Ländergruppen (Rest der Eurozone, andere entwickelte Länder, sowie Rest der Welt). Jede Region besteht aus 56 realwirtschaftlichen Sektoren, welche nach NACE Level 2 klassifiziert sind. Alle (7 x 56) wirtschaftlichen Einheiten stehen im Handel miteinander, kalibriert nach den Handelsdaten der World Input Output Database. Die Höhe der Emissionskostenbelastung pro Sektor bei einer Einführung oder Erhöhung des CO₂-Preises ist kalibriert basierend auf sektoralen Emissionsdaten der World-Input-Output-Database (WIOD). Das Modell simuliert die Einführung eines globalen CO₂-Preises und schätzt die sektoralen Wertschöpfungsverluste über alle abgebildeten Weltregionen ab. Diese liefern die Basis für die sektorale Disaggregation der makroökonomischen Variablen in NiGEM und den IAMs. Dadurch kann die relative Ungleichheit der Betroffenheit verschiedener nicht-finanzieller Sektoren von Risiken des Klimawandels in unseren weiteren Rechnungen berücksichtigt werden. Die Details zum Modell sowie zur Umlegung auf die Klimaszenarien sind in einem separaten Technical Paper beschrieben, siehe Frankovic (2021).

Die Szenarien liegen nach der Umlegung des NiGEM-Outputs durch das Sektorenmodell unter anderen in folgenden Variablen vor. Diese Variablen werden im übrigen Teil des Modellrahmens weiterverwendet:

- VA_{iq} : Value added (Wertschöpfung) im Sektor i / Quartal q
- EQP_{iq} : Equity prices (Aktienpreise) im Sektor i / Quartal q

Im Folgenden werden die Resultate des Sektorenmodells für Deutschland kurz vorgestellt. Ein zentrales Ergebnis ist durch die Skalierungsfaktoren gegeben. Diese messen wie stark sich die Wertschöpfung eines Sektors reduziert aufgrund eines eingeführten CO₂-Preises relativ zur gesamten Wertschöpfungsreduktion in Deutschland. Beispielsweise können wir in der Abbildung erkennen, dass der Sektor C19 (Verarbeitung fossiler Materialien) einen Faktor von 11 aufweist.¹³ Somit reduziert sich die Wertschöpfung im C19-Sektor um 11 % für jedes Prozent Reduktion der aggregierten Wertschöpfung. Auch der Landwirtschaftssektor (A01) und

¹³ Die Sektorenkürzel sind in der Tabelle 1 detailliert aufgeführt.

Bergbau (B) weisen hohe Skalierungsfaktoren auf. Andere Sektoren, insbesondere die Dienstleistungssektoren (ab Kürzel I), haben Skalierungsfaktoren unter 1. Dies bedeutet, dass diese Sektoren unterdurchschnittlich durch den CO₂-Preis betroffen sind.

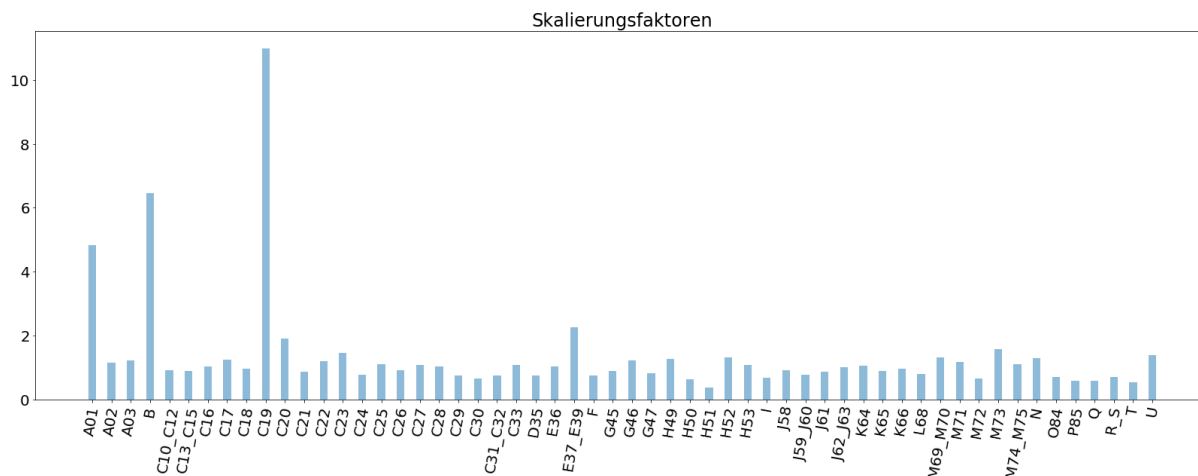


Abbildung 8: Skalierungsfaktoren Input-Output-Modell; vgl. Frankovic (2021)

Die Skalierungsfaktoren werden nun auf die aggregierten Verläufe angewandt. Dazu wird der Pfad der prozentualen BIP-Gesamtverluste mit den jeweiligen Skalierungsfaktoren multipliziert um die prozentualen Verluste in der Wertschöpfung der einzelnen Sektoren zu erhalten. Die Verluste sind demnach bei Sektoren mit den größten Skalierungswerten am größten. Analog wird mit dem Verlauf der Aktienpreisbewertungen verfahren, so dass sektorspezifische Pfade aus den aggregierten Szenarien generiert werden.

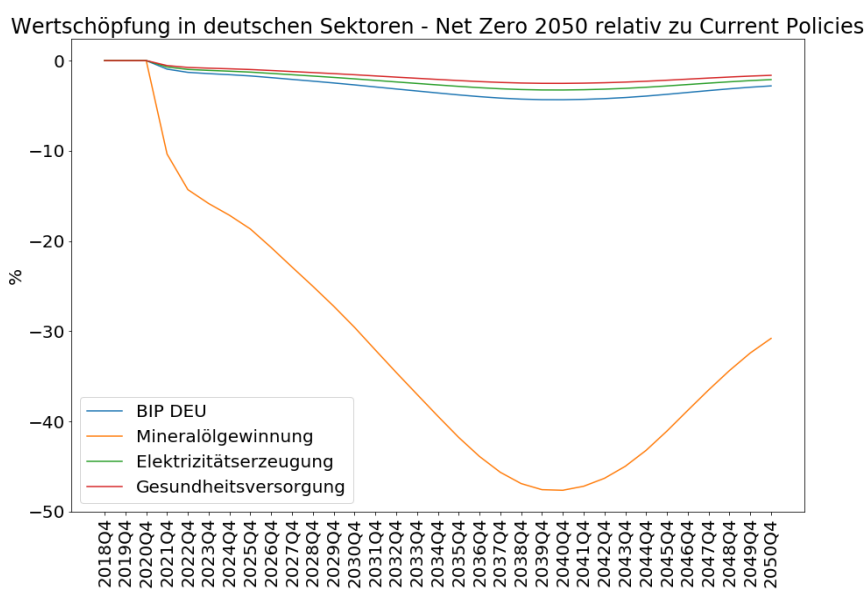


Abbildung 9: Entwicklungspfade der Wertschöpfung in Deutschland im NGFS-„Net Zero 2050“-Szenario relativ zu „Current Policies“-Szenario (%-Veränderung)

Tabelle 1: Übersicht der berücksichtigten Wirtschaftszweige

NACE-Sektor	Name
A01	Landwirtschaft, Jagd und damit verbundene Tätigkeiten
A02	Forstwirtschaft und Holzeinschlag
A03	Fischerei und Aquakultur
B:05-09	Bergbau und Gewinnung v on Steinen und Erden
C10-C12	Herst. von Nahrungs-und Futtermitteln; Getränkeherstellung; Tabakverarbeitung
C13-C15	Herst. von Textilien; Bekleidung; Leder, Lederwaren und Schuhen
C16	Herst. von Holz-, Flecht-, Korb-und Korkwaren (ohne Möbel)
C17	Herst. von Papier, Pappe und Waren daraus
C18	Herst. von Druckerzeugnissen; Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild und Datenträgern
C19	Kokerei und Mineralölv erarbeitung
C20	Herst. von chemischen Erzeugnissen
C21	Herst. von pharmazeutischen Erzeugnissen
C22	Herst. von Gummi-und Kunststoffwaren
C23	Herst. von Glas und Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
C24	Metallerzeugung und -bearbeitung
C25	Herst. von Metallerzeugnissen
C26	Herst. von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen
C27	Herst. von elektrischen Ausrüstungen
C28	Maschinenbau
C29	Herst. von Kraftwagen und Kraftwagenteilen
C30	Sonstiger Fahrzeugbau
C31-C32	Herst. von Möbeln; sonstigen Waren
C33	Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen
D35	Energiev ersorgung
E36	Wasserversorgung
E37-E39	Abwasserentsorgung; Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung; Beseitigung von Umweltverschmutzungen und sonstige Entsorgung
F:41-43	Baugewerbe/Bau
G45	Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen
G46	Großhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen und Krafträdern)
G47	Einzelhandel (ohne Handel mit Kraftfahrzeugen)
H49	Landv erkehr und Transport in Rohrfernleitungen
H50	Schiffahrt
H51	Luftfahrt
H52	Lagerei sowie Erbringung v on sonstigen Dienstleistungen für den Verkehr
H53	Post-, Kurier-und Expressdienste
I:55-56	Gastgewerbe/Beherbergung und Gastronomie
J58	Verlagswesen
J59-60	Herst., Verleih und Vertrieb von Filmen und Fernsehprogrammen; Kinos; Tonstudios und Verlegen von Musik; Rundfunkveranstalter
J61	Telekommunikation
J62-J63	Erbringung v on Dienstleistungen der Informationstechnologie; Informationsdienstleistungen
K64*	Erbringung v on Finanzdienstleistungen
K66	Mit Finanz-und Versicherungsdienstleistungen verbundene Tätigkeiten
L68	Grundstücks-und Wohnungswesen
M69-M70	Rechts-und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung; Verwaltung und Führung von Unternehmen und Betrieben; Unternehmensberatung
M71	Architektur-und Ingenieurbüros; technische, physikalische und chemische Untersuchung
M72	Forschung und Entwicklung
M73	Werbung und Marktforschung
M74-M75	Sonstige freiberufliche, wissenschaftliche und technische Tätigkeiten; Veterinärwesen
N:77-82	Erbringung v on sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen
P85	Erziehung und Unterricht
Q:86-88	Gesundheits- und Sozialwesen
R_S:90-96	Kunst, Unterhaltung, Erholung; Erbringung von sonstigen Dienstleistungen
T97-98	Aktiv itäten von Haushalten als Arbeitgeber

2.4 Markt- und Kreditrisikomodell

Im Folgenden werden klassische finanzielle Risikomodelle zur Abbildung der Markt- und Kreditrisiken auf Basis historischer Daten genutzt. Dabei werden die real- und finanzökonomischen Variablen, welche im bisherigen Modellrahmen hergeleitet wurden, in Wertpapierpreisentwicklungen sowie Kreditrisikoänderungen übertragen. Die resultierenden Bewertungsanpassungen aus der Realwirtschaft werden somit in die Kredit- und Wertpapierinstrumente, welche im Banken-, Fonds- und Versicherungssektor vorkommen, abgebildet. Die betrachteten Finanzinstrumente sind Firmeneigenkapital (Aktienpreise), Unternehmens- und Staatsanleihen sowie Unternehmenskredite.

2.4.1 Marktrisikomodell

Im Sektormodell (Abschnitt 2.3) werden Marktwertveränderungen der einzelnen Branchen auf NACE-Basis abgeleitet. In diesem Abschnitt wird das Marktrisikomodell vorgestellt, welche diese sektoralen Wertveränderungen auf die einzelnen Aktien und Unternehmensanleihen umlegt. Zudem wird dieses Modell verwendet, um Wertveränderungen von Staatsanleihen zu ermitteln, die auf Änderungen einer Risikoprämie beruhen. Letztere Variable wird im Makromodell NiGEM modelliert und ist von der volkswirtschaftlichen Entwicklung und der Verschuldung eines Landes bestimmt.

2.4.1.1 Ermittlung der Risikoaufschläge von Unternehmensanleihen

Das Makro-Modell NiGEM liefert Veränderungen der Aktienmärkte, jedoch nicht der Unternehmensanleihen. Diese Märkte unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer primären ökonomischen Treiber als auch des Umfangs der Haftung erheblich. Für Aktienmärkte spielen zukünftige Gewinnerwartungen eine größere Rolle als kurzfristige Kreditrisiken; gleichzeitig sind Anleihen beschränkt haftend. Die Veränderungen der Risikoaufschläge von Unternehmensanleihen werden aus einem historischen Perzentil-Ansatz ermittelt.

Hierzu werden die historischen Verteilungen von geeigneten Aktien- und Anleiheindizes miteinander verknüpft und über eine Ermittlung relativer Rangstufen, d.h. Perzentile, für jede aus NiGEM ermittelte Aktienrendite eine geeignete Spread-Änderung gegenübergestellt. Die gewählten Indizes finden sich in Tabelle 2. Aufgrund der signifikant negativen Korrelation von Risikoaufschlägen von Anleihen und Aktienrenditen wird die invertierte Verteilung der Anleihe-Spreads verwendet, d.h. dem 90 %-Perzentil der Aktienrenditen würde das 10 %-Perzentil der Veränderungen der Anleihe-Spreads gegenübergestellt.

Tabelle 2: Übersicht über verwendete Aktienindizes

Country Group	Equity	CDS	$\rho_{\{CDS-EQ\}}$	Kolmogorov Smirnov-Test		Mann-Whitney-Test
				D	P	P(> z)
DE	DAX	Itraxx Europe	-0,7607***	0,0632	0,00	0,2566
US	S&P 500	CDX IG	-0,8763***	0,0536	0,00	0,4190
RoEUR	Eurostoxx 50	Itraxx Europe	-0,7371***	0,0645	0,00	0,2336
ODC	MSCI World	CDX IG	-0,8877***	0,0498	0,00	0,4080
EMDC (WD)	MSCI Emerging Markets	Itraxx EM	-0,7786***	0,0980	0,000	0,3619

Die zugrundeliegende Annahme ist, dass die inverse relative Verteilung von Anleihe-Spreads der relativen Verteilung von Aktienmarktrenditen ähnlich ist. So legen Verteilungstests von Aktien- und Anleiheindizes nahe, dass die Verteilungen – wenn auch statistisch unterschiedlich – ähnlich sind (vergleiche Tabelle). So kann die Null-Hypothese des Kolmogorov-Smirnov-Tests, dass die Verteilungen unterschiedlich sind, nicht verworfen werden. Der Distanz (D)-Wert ist jedoch nahe null, was auf nur geringe Unterschiede hindeutet. Die Null-Hypothese des Mann-Whitney-Tests von keinen Unterschieden muss verworfen werden (siehe Tabelle, letzte Spalte).

Die Ermittlung der Spreadveränderungen erfolgt in 4 Schritten:

- 1) Es werden die relativen Veränderungen über 63 Handelstage (=3 Monate) von Aktienmarktrenditen und die absoluten Veränderungen in Basispunkten für CDS-Spreads ermittelt.
- 2) Aktien- und CDS-Märkte derselben Region werden gemäß der Tabelle 2. verknüpft.
- 3) Basierend auf den Verteilungen der Aktienindizes aus 1) wird für jede Aktienmarktrendite eine relative Rangstufe (=Perzentil) ermittelt.
- 4) Anhand der invertierten Verteilungen für CDS-Spreads und dem Perzentil aus Schritt 3) wird die zugehörige CDS-Veränderung ermittelt.

Eine grafische Gegenüberstellung der empirisch beobachteten und für die verschiedenen Szenarien ermittelten Veränderungen der Risikoaufschläge und Aktienmarktrenditen zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Abbildung 1 zeigt Paare gleichzeitig auftretender Veränderungen von Anleiherenditen und Veränderungen von Aktienspreads als orange Punkte. Es zeigt sich für alle Regionen eine negative Korrelation der beiden Märkte sehen. Im historischen Mittel stiegen bspw. in Deutschland die Aktienmärkte um 1 % über einen Zeitraum von 21 Handelstagen während die Anleihe-Spreads von Unternehmen aus dem Investment Grade um 1,6 Basispunkte zurückgingen. Die blauen Punkte stellen die Ergebnisse des Perzentils-

Ansatzes dar. Auch hier sehen wir eine negative Steigung, die von der Größenordnung in der Nähe der empirisch beobachteten Steigung liegt.

Zusammenhang von Aktienrenditen und Veränderungen von Risikoaufschlägen (3M) Empirie vs. Simulation nach Region

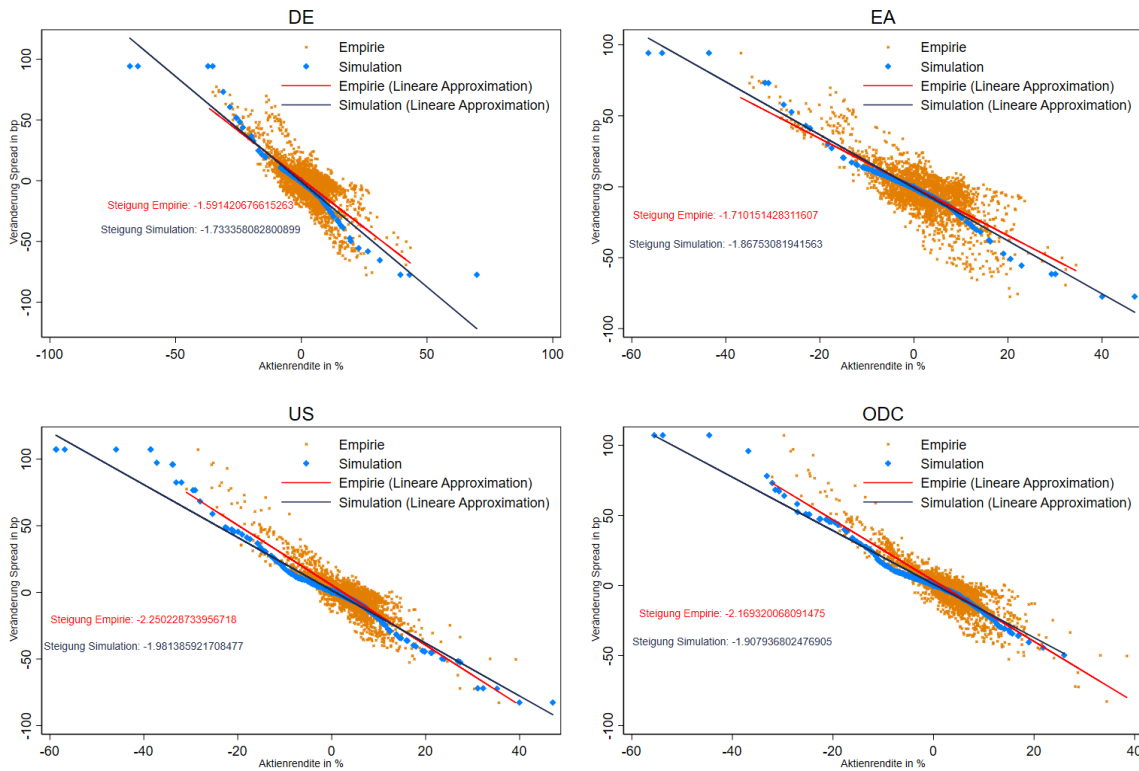


Abbildung 10: Veränderungen von Anleiherenditen und Veränderungen von Aktienspreads

2.4.1.2 Berechnung Wertpapierverluste

Durch das Makromodell NiGEM und das Sektorenmodell liegen für jedes Szenario Aktienpreisveränderungen je Branche und Ländergruppe sowie Veränderungen der Risikoprämie von Staatsanleihen vor.

Im vorherigen Abschnitt 2.4.1.1 wurde erläutert, wie die Aktienpreisveränderungen in Veränderungen der Risikoaufschläge für Unternehmensanleihen überführt werden. Im folgenden Abschnitt wird nun beschrieben, wie basierend auf diesen Daten die Wertveränderungen einzelner Wertpapiere in jedem Szenario ermittelt wird.

- 1) Aus dem Sektorenmodell werden die relativen Veränderungen der Aktien einer Branche einer Ländergruppe auf Quartalsbasis ermittelt. Mithilfe des Perzentil-Ansatzes

wird für jeden Branchenverlust innerhalb einer Ländergruppe eine entsprechende Veränderung der Risikoaufschläge ermittelt.

- 2) Ebenso werden aus dem Marktmodell werden die Veränderungen der Risikoaufschläge von Staatsanleihen aus den Veränderungen der Government Premium in NiGEM ermittelt.
- 3) Aus der Central Securities Database wird für jedes Wertpapier, das im 1. Quartal 2021 von deutschen Banken, Investmentfonds- oder Versicherern gehalten wurde mithilfe der ISIN Stammdaten hinzugefügt. Mittels der Stammdaten lassen sich Aktien- und Anleihen gemäß Art des Wertpapiers, Art und Ländergruppen ihrer Emittenten bzw. Restlaufzeit/modifizierter Duration und Kreditrating klassifizieren. Für Fonds erfolgt die Klassifikation nach Zielregion und Art des Fonds, z.B. Aktienfonds mit Fokus auf Europa (Eine Übersicht über die verwendeten Klassifikationen und die verwendeten CSDB-Variablen findet sich im Anhang.).
- 4) Für Aktien- und Fonds werden die Verluste aus den Wertveränderungen von Eigenkapitalinstrumenten entsprechend ihrer Branchen- und Ländergruppenzugehörigkeit und gemäß der NiGEM- und Sektorenmodell-Ergebnisse verwendet. Für Anleihen werden die Verluste mithilfe der modifizierten Duration, Kreditrating und dem kalibrierten Spread aus der Perzentil-Methode bzw. den Risikoaufschlägen aus NiGEM bestimmt. Hierzu findet die Spread-Matrix von EIOPA-Verwendung; die Methodik erfolgt hier analog zum makroprudenziellen Marktrisikostresstest der Bundesbank (vgl. TP MRST).

Die obigen Schritte werden für jedes Szenario wiederholt, sodass folgende asset-level Variablen in jedem Szenario vorliegen. Diese Variablen werden im übrigen Teil des Modellrahmens weiterverwendet:

- EQP_{sq} : Equity prices (Aktienpreise) für das Asset s / Zeitpunkt t wobei $\Delta EQP_s^{scenario,t} = \frac{EQP_s^{scenario,t}}{EQP_s^{2020q4}} - 1$ die Veränderung der Aktienpreise vom Startquartal 2020Q4 bis t bezeichnet
- BP_{sq} : Bond prices (Anleihenpreise) für das Asset s / Quartal q , wobei $\Delta BP_s^{scenario,t} = \frac{BP_s^{scenario,t}}{BP_s^{2020q4}} - 1$ die Veränderung der Anleihenpreise vom Startquartal 2020Q4 bis q bezeichnet
- FP_{sq} : Fund prices (Fondsanteilspreise) für das Asset s / Quartal q , wobei $\Delta FP_s^{scenario,t} = \frac{FP_s^{scenario,t}}{FP_s^{2020q4}} - 1$ die Veränderung der Fondsanteilspreise vom Startquartal 2020Q4 bis q bezeichnet

2.4.2 Kreditrisiko: Ermittlung der Kreditausfallraten im deutschen Bankensektor

Bei der makroprudenziellen Szenario-Analyse von Kreditrisiken ist es üblich, in zwei Schritten vorzugehen (z. B. EZB 2017, Tente et al. 2019, Memmel und Roling 2021). Im ersten Schritt werden historische Elastizitäten zwischen Kredit-Ausfallraten und makrofinanziellen Variablen mittels eines empirischen Modells abgeleitet. Mithilfe dieser Elastizitäten und verschiedener makroökonomischer Szenarien wird anschließend die Entwicklung der Ausfallraten im Szenariozeitraum projiziert, was wiederum die nachgelagerte Berechnung der Kreditportfolioverluste der Banken ermöglicht. Grundsätzlich folgen wir diesem etablierten Verfahren in unserer Sensitivitätsanalyse, passen aber unser Modell an die spezifischen Bedürfnisse der Szenario-Analyse von Transitionsrisiken an. Ein wichtiger Unterschied zu üblichen Szenario-Analysen betrifft die Granularität, mit der die Szenarien entworfen und angewendet werden. Üblicherweise stützen sich makroprudenzielle Szenario-Analysen auf makrofinanzielle Variablen auf Länderebene, um die Anfälligkeit des Bankensystems gegenüber negativen Entwicklungen zu bewerten. Im Gegensatz dazu verwendet unsere Analyse von Klimaszenarien disaggregierte Pfade der Makroszenarien auf der Ebene einzelner realwirtschaftlicher Sektoren. Das Ziel dieses Vorgehens besteht darin, die Heterogenität zu berücksichtigen, in der Klimarisikoschocks die Wirtschaft voraussichtlich beeinflussen werden. Der folgende Abschnitt beschreibt die Ermittlung der branchenspezifischen Kreditausfallraten für den deutschen Bankensektor über den Szenariohorizont.

Um die Dynamik der Szenarien auf der Makro- und Sektorebene in Kreditverluste des Bankensystems zu übersetzen, werden mittels eines ökonometrischen Modells Projektionen von Pfaden der Ausfallwahrscheinlichkeiten (*probability of defaults*, PDs) über den gesamten Szenariohorizont abgeleitet. Dabei kalibrieren wir die Projektionen auf Basis historischer Daten für sektorspezifische annualisierte Kreditausfallraten (*default rates*, DR) inländischer Unternehmenskreditnehmer. Diese konstruieren wir unter Verwendung von Daten zu Einzelwertberichtigungen auf Kreditnehmerebene, wie sie in der Evidenzzentrale für Millionenkredite, dem deutschen Kreditregister, gemeldet werden. Konkret berechnen wir für jedes Quartal den Anteil der Kreditnehmer mit Einzelwertberichtigungen in der jeweiligen Branche, wobei wir jeweils vier aufeinanderfolgende Quartale betrachten:¹⁴

$$DR_{it} = \sum_{q=1}^4 \frac{\sum_{k=1}^d DB_q}{\sum_{j=1}^N B_q} \quad (1)$$

Dabei bezeichnet DB_q die Anzahl der Kreditnehmer mit Einzelwertberichtigungen (annahmegemäß Kreditnehmer mit Kreditereignis) und B_q die Gesamtzahl der Kreditnehmer im Quartal q . Durch Summenbildung von Zähler und Nenner über jeweils vier Quartale in Gleichung (1)

¹⁴ Siehe Tente et al. (2019), Memmel et al. (2015) und Memmel und Roling (2021) für ähnliche Ansätze zur Ableitung von annualisierten Ausfallraten für deutsche Kreditnehmer unter Verwendung bankaufsichtlicher Daten.

erhält man annualisierte Ausfallraten, die in ihrer Interpretation mit einjährigen PDs vergleichbar sind. Um die vierteljährlichen Ausfallraten in jährliche Beobachtungen umzurechnen, verwenden wir die Werte des vierten Quartals eines jeden Jahres (d.h. jede Beobachtung in Jahr t umfasst die Ausfallraten aus den Quartalen eins bis vier).¹⁵

Die konstruierte Variable der annualisierten Ausfallraten geht als abhängige Variable in unser ökonometrisches Modell ein. Hierdurch können wir das Vorzeichen und die Größe der historischen Beziehung zwischen Ausfallraten und makroökonomischen Variablen, welche die wirtschaftliche Dynamik auf Sektorebene erfassen, ableiten. Aufgrund des Einflusses der wirtschaftlichen Konjunktur auf das Ausfallrisiko im Unternehmenskreditgeschäft, berücksichtigen wir als erklärende Variable die Bruttowertschöpfung je Sektor in Deutschland.¹⁶

Als zweite erklärende Variable werden Aktienkurse in der Regression berücksichtigt, da Aktienbewertungen die Finanzierungsbedingungen der Unternehmen und damit implizit auch das Kreditrisiko beeinflussen (Friewald et al. 2014). Wir verwenden branchenspezifische STOXX Europe 600-Indizes, um die sektorübergreifende Heterogenität zu erfassen.¹⁷

In das Regressionsmodell gehen Daten für den Zeitraum 2008-2018 in jährlicher Frequenz ein, wobei 54 Wirtschaftszweige berücksichtigt werden. Die Wahl des Zeitraums der zugrundeliegenden historischen Beobachtungen richtet sich nach der Datenverfügbarkeit. Tabelle 3 zeigt deskriptive Statistiken der Datengrundlage.

Tabelle 3: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Median	Std. Abw.	5. Perzentil	95. Perzentil
Ausfallrate: DR_{it}	594	0,07	0,06	0,0511	0,02	0,15
Bruttowertschöpfung: ΔVA_{it}	594	0,02	0,03	0,0960	-0,14	0,16
Aktienrenditen: ΔEQP_{it}	594	0,04	0,07	0,2410	-0,46	0,36

¹⁵ Wir verwenden branchenspezifische Ausfallraten für den deutschen Anteil der Kreditnehmer, der den Großteil der Kredite des Kreditregisters ausmacht. Wir konstruieren keine Ausfallraten für ausländische Kreditforderungen, da die Engagements im Ausland teilweise sehr begrenzt sind, was zu unzuverlässigen Schätzungen der Ausfallraten auf Branchenebene führen würde (vgl. Tente et al. 2019).

¹⁶ Die Daten zu Bruttowertschöpfung deutscher Wirtschaftszweige stammen aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung des Statistischen Amtes der Europäischen Union (Eurostat). Diese Daten werden in Übereinstimmung mit dem Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen - ESGV 2010 gemäß Anhang B der Verordnung (EU) Nr. 549/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2013 erstellt. Eurostat gewährleistet die Vergleichbarkeit und Konsistenz der Daten zwischen erfassten Mitgliedsländern. Die historischen Zeitreihendaten zur Bruttowertschöpfung liegen in jährlicher Frequenz für 64 Wirtschaftszweige in Deutschland vor. Die gewählten Wirtschaftszweige entsprechen den Wirtschaftszweigen des Input Output Modells zur Berechnung der sektoralen Szenariopfade (vgl. Abschnitt 2.3). Eine Ausnahme bilden dabei lediglich die Sektoren mit NACE Code 65 (Versicherungen, Rückversicherungen und Pensionskassen (ohne Sozialversicherung) und 99 Exterritoriale Organisationen und Körperschaften). Für diese Sektoren gibt es keine Daten zu den Kreditausfallraten, weshalb diese Sektoren in der Regression nicht berücksichtigt werden.

¹⁷ Die STOXX-Branchenindizes werden im Hinblick auf die ICB-Klassifizierung der enthaltenen Unternehmen konstruiert. Wir ordnen die ICB-Sektoren den NACE Rev.2-Sektoren auf der granularsten Aggregationsebene zu.

Als ökonomischer Rahmen wird ein Panelmodellansatz gewählt. Panel-Regressionsmodelle zur Ableitung historischer Elastizitäten stellen im Kontext makroprudenzieller Szenarioanalysen einen etablierten methodischen Ansatz dar (vgl. ECB 2017, Gross et al. 2021). Die Vorteile eines Panelmodells kommen insbesondere dann zum Tragen, wenn aufgrund einer beschränkten Anzahl an Datenpunkten keine sektor- oder länderspezifischen Regressionen umsetzbar sind.

Die Analyse umfasst Varianten des folgenden Panel-Regressionsmodells¹⁸:

$$DR_{it} = c + \beta_0 DR_{it-1} + \beta_1 \Delta VA_{it} + \beta_2 \Delta VA_{it-1} + \beta_3 \Delta EQP_{it-1} + u_i + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

wobei DR_{it} die Ausfallrate für den Sektor i ($i = 1, \dots, 54$) im Jahr t ($t = 2008, \dots, 2018$) darstellt, die durch die kontemporäre und verzögerte Veränderungsrate der Bruttowertschöpfung ($\Delta VA_{it} = (VA_{it} - VA_{it-1})/VA_{it-1}$), verzögerte Aktienrenditen ($\Delta EQP_{it-1} = (EQP_{it-1} - EQP_{it-2})/EQP_{it-1}$) und einen sektorspezifischen fixen Effekt, u_i , erklärt wird.¹⁹ Um den Einfluss von Autokorrelation bei der abhängigen Variable auf die Schätzergebnisse zu vermindern, nehmen wir die verzögerten Werte der Ausfallrate als zusätzliche Variable auf der rechten Seite mit auf. Wir vergleichen die Ergebnisse für zwei verschiedene Modelle. Zunächst wird das Fixed-Effects (FE)-Modell als Benchmark in der Regressionsanalyse verwendet. Als alternativen Ansatz nutzen wir den verzerrungskorrigierten fixen Effekt-Schätzer (LSDVC), wie vorgeschlagen von Bruno (2005a, b) und Kiviet (1995). Der LSDVC korrigiert die potenzielle Verzerrung, die durch die verzögerte abhängige Variable in der Schätzung bei Vorhandensein von fixen Effekten entsteht.²⁰ Schließlich implementieren wir das Fractional Probit Modell für Paneldaten (Papke und Wooldridge 2008) als zweiten alternativen Schätzer zum FE-Schätzer. Dieser Ansatz berücksichtigt nicht-lineare Zusammenhänge zwischen den Variablen mittels einer Probit-Schätzung und trägt darüber hinaus dem Umstand Rechnung, dass die abhängige Variable in ihrer Ausprägung zwischen 0 und 1 beschränkt ist.

Die empirischen Schätzungen (Tabelle 4) deuten darauf hin, dass beide erklärenden Variablen, die Bruttowertschöpfung und die Aktienrenditen, einen statistisch signifikanten Einfluss auf die sektoralen Ausfallraten haben. Übereinstimmend mit unseren Erwartungen ist das Vorzeichen der Koeffizienten negativ. Sinkende Wertschöpfung und Aktienrenditen gehen mit stei-

¹⁸ Ausfallraten sind ab 2008 in vierteljährlicher Frequenz mit der Einführung des deutschen Evidenzzentrale für Millionenkredite (Kredite mit einem Volumen von mehr als einer Million Euro) verfügbar. Die Branchenklassifizierung der Kreditnehmer im Kreditregister (NACE 2-stellig) ermöglicht uns die Berechnung von Ausfallraten auf Branchenebene. Dieses Modell spiegelt den aktuellen Stand der Analysemethodik wider. Die Belastungen, die im Rahmen der Klima-Szenarien simuliert werden, sind für einzelne, starkbelastete Sektoren teils außerhalb der historisch beobachtbaren Werte. Der Umgang mit diesen extremen Werten ist Gegenstand aktueller Forschung.

¹⁹ Um die Lagstruktur des Modells zu bestimmen, wurden jeweils kontemporäre und um ein Jahr verzögerte Werte der erklärenden Variablen in das Regressionsmodell aufgenommen. Da die kontemporären Aktienrenditen keine statistische Signifikanz aufwiesen, wurden sie aus Gründen parametrischer Sparsamkeit aus dem Modell entfernt. Folglich ist das Modell in Gleichung (1) aufgrund seiner Modellgüte alternativen Spezifikationen vorzuziehen.

²⁰ Darüber hinaus wurde gezeigt, dass der LSDVC-Schätzer für Spezifikationen mit einer mittleren Anzahl von Querschnittsbeobachtungen gut geeignet ist. Frühere Untersuchungen haben auch gezeigt, dass der LSDVC-Schätzer die Instrumentalvariablen- und GMM-Schätzer übertrifft (Dang et al. 2015). Daher wird der GMM-Schätzer in dieser Analyse nicht bewertet.

genden Kreditausfallraten einher. Die Ergebnisse sind im Allgemeinen über die drei verschiedenen Modelle hinweg vergleichbar. In Bezug auf die Modellgüte übertrifft das Standard-Modell mit fixen Effekten den LSDVC-Schätzer. Dies lässt sich anhand der beiden Gütekriterien AIC und RMSE erkennen, bei denen niedrigere Werte eine höhere Erklärungskraft des Modells zum Ausdruck bringen. Aufgrund des nicht-linearen Schätzverfahrens lässt sich die allgemeine Modellgüte des Fractional Probit Modells nicht mit dem FE- und LSDVC-Schätzer vergleichen. Die Ergebnisse dieses alternativen Schätzers sind aber ergänzend angeführt, um die Robustheit der Ergebnisse der linearen Schätzer zu überprüfen. Für die folgende Szenario-Analyse verwenden wir die Parameter des Benchmark-Modells mit fixen Effekten.

Tabelle 4: Empirische Schätzungen der Makro-Determinanten von Kreditausfallraten

Abhängige Variable: Kreditausfallrate (DR_{it})			
	FE	LSDVC	Fractional Probit
DR_{it-1}	0,6640***	0,7530***	
ΔVA_{it}	-0,0509***	-0,0499***	-0,0378***
ΔVA_{it-1}	-0,0267***	-0,0201**	-0,0548***
ΔEQP_{it-1}	-0,0433***	-0,0449***	-0,0287***
N	540	540	540
R ²	0,8153	-	0,1550
AIC	-2786,441	-	211,3841
RMSE	0,0183	0,0194	-

Anmerkungen: FE: Fixed-Effects-Modell, LSDVC: Bias-korrigierter Least-Square-Dummy-Variablen-Schätzer von Bruno (2005a, b) und Kiviet (1995), Fractional Probit: Modellansatz von Papke und Wooldridge (2008). Die angegebenen Koeffizienten für das Fractional Probit Modell wurden nach der Schätzung linearisiert, um Vergleichbarkeit mit dem FE- und LSDVC-Schätzer zu ermöglichen.

*, ** und *** bezeichnen die Signifikanz auf 10-, 5- bzw. 1-Prozent-Niveau. R² und AIC können für das LSDVC-Modell nicht abgeleitet werden. Für das Fractional Probit Modell kann kein RMSE abgeleitet werden, der mit den FE- und LSDVC-Schätzern verglichen werden können.

3 Entwicklung des Finanzsystemschocks

Ein Schock für das Finanzsystem entsteht durch einen überraschenden Wechsel von den bisher erwarteten zukünftigen Entwicklungen zu einem neuen, unerwarteten Szenario. Obwohl,

wie bereits dargelegt, zahlreiche implizite Annahmen zur Szenariodefinition getroffen werden müssen, werden die Szenarien im Folgenden entlang der im Fokus des öffentlichen Diskurses stehenden Klimapolitikparameter unterschieden, dem CO₂-Preis.^{21,22} Analog zu klassischen Stresstests wird ein Basisszenario zugrunde gelegt, das hier als Referenzszenario bezeichnet und konkret durch einen CO₂-Preis-Pfad beschrieben wird. Dieses soll die Markterwartungen über die künftigen Klimaszenarien und die zugehörigen CO₂-Preise widerspiegeln und wird aus den NGFS-Klimaszenarien mit geringerem CO₂-Preis-Pfad abgeleitet (vgl. Abbildung 11, Tabelle 5). Als adverses Szenario wird ein Anstiegsszenario mit einem steileren CO₂-Preis-Pfad unterstellt. In diesem Szenario wird ein unerwarteter Transitionsschock angenommen.²³ Beide CO₂-Preispfade, d.h. für das Referenzszenario und das Anstiegsszenario, spiegeln annahmegemäß die Erwartungen der Marktteilnehmer innerhalb des jeweiligen Szenarios wider. Beide Szenarien und die zugehörigen Pfade sind jedoch mit Unsicherheit behaftet, CO₂-Preiserwartungen sind nur sehr eingeschränkt beobachtbar und über einen Zeitraum von 30 Jahren nicht zuverlässig prognostizierbar. Es können demzufolge keine Verteilungsmaße und damit Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Szenarien und die CO₂-Preispfade selbst geschätzt werden. Um dennoch eine Abschätzung der Bandbreite möglicher Abweichungen und deren ökonomischer Konsequenzen vornehmen zu können, die diese unvollständige Information verursacht, können sowohl verschiedene Referenzszenarien als auch verschiedene Anstiegsszenarien verwendet werden.

²¹ Als übergeordnete, zusammenfassende Kategorisierung wird hier der jeweilige CO₂-Preis der Szenarien gewählt, da dieser als zentrales Maß für die klimabedingten (Transitions-)Risiken angesehen werden kann, die mit einem bestimmten zukünftigen Szenariopfad verbunden sind. Die von der Politik angestrebte Mitigation zielt auf die Vermeidung des Ausstoßes von CO₂. Die hier verwendeten NGFS-Szenarien haben jeweils bereits spezifische Bezeichnungen, die sich auf Gradzahlen oder die ergriffenen/zu ergreifenden Politikmaßnahmen beziehen. Streng genommen stellt der CO₂-Preis ein Modellergebnis aus den IAMs dar. Die Hauptrestriktion und damit das klimatische Ziel sind eingesparte CO₂-Mengen, die über sich über angenommene, und teils (auf Basis technologischen Fortschritts) im Modell berechnete, CO₂-Vermeidungskostenkurven in CO₂-Preise übersetzen lassen. Dennoch sind sie im tatsächlichen Wirtschaftsleben der Haupttreiber für die klimabedingten Produktionskostensteigerungen und damit sowohl für die BIP-Entwicklung als auch für die Eigenkapitalpreisentwicklung – den zentralen finanzwirtschaftlichen Indikatoren für die spätere Bestimmung potentieller Verwundbarkeiten des Finanzsystems.

²² Wir nutzen einen einheitlichen CO₂-Äquivalent-Preis als ein unter bestimmten Bedingungen theoretisches ökonomisches Ideal. Originär stellt CO₂ auch als zentrales Treibhausgas das für den Klimawandel hauptverantwortliche chemische Element dar, dessen Emission mit seinen gesellschaftlichen Kosten zu belegen ist. Aufgrund einiger weiterer Marktversagen, der mangelnden praktischen Umsetzbarkeit sowie dynamischer und einiger weiterer Aspekte sind tatsächlich eine Vielzahl differenzierter CO₂-Preise in verschiedenen Lebensbereichen optimal. Der hier unterstellte einheitliche CO₂-Preis ist somit als Gradmaß („Fieberthermometer“) für die mit verschiedenen politischen Maßnahmen angestrebten CO₂-Einsparungen zu verstehen. Sie stellen in der vorliegenden Analyse ein Intensitätsmaß für die klimapolitischen Änderungen dar. Ausnahmen zu einheitlichen CO₂-Preisen sind theoretisch begründet und sind in der Praxis unverzichtbar. Aufgrund des hier gewählten Fokus der Darstellung einer ganzheitlichen Wirkungskette von den Auswirkungen der Klimapolitik bis ins Finanzsystem wurde auf – potentiell ergebnisrelevante – Detailtiefe an dieser Stelle verzichtet.

²³ Die zukünftigen politischen Ziele und Maßnahmen sind mit großer Unsicherheit behaftet, die heterogenen Erwartungen der Marktteilnehmer über diese Entwicklungen vergrößern diese zusätzlich.

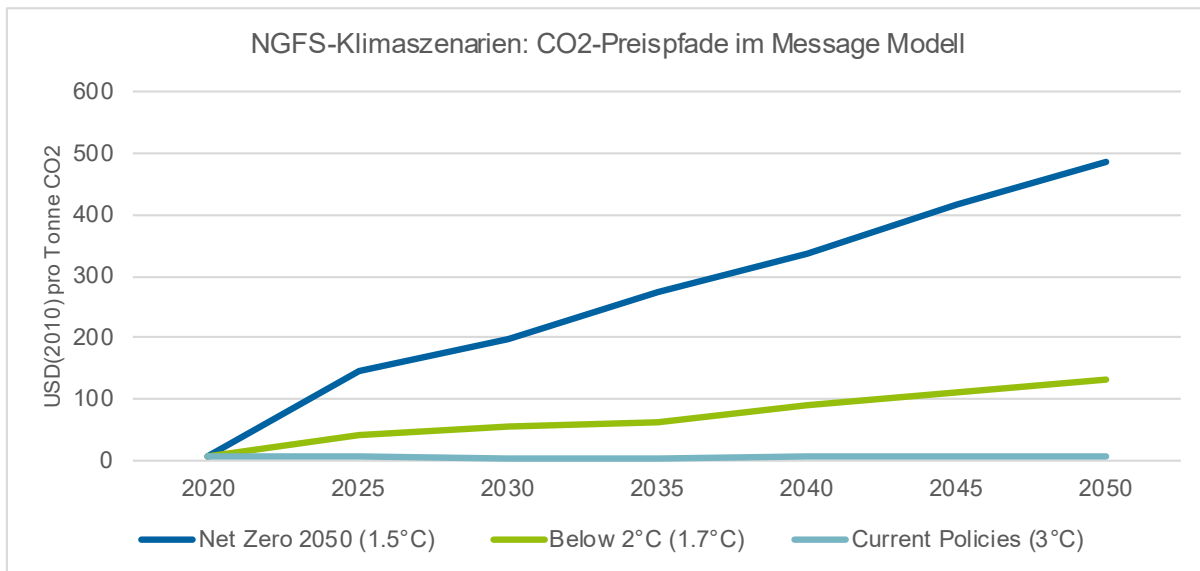


Abbildung 11: Der Finanzsystemschock resultiert aus einem unerwarteten Schock, der von einem *unsicheren Referenzszenario* in ein *unsicheres Anstiegsszenario* führt


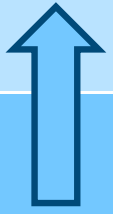

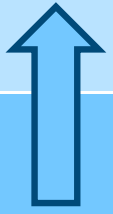
Die Divergenz zwischen den CO₂-Preispfaden in den Referenz- und Anstiegsszenarien bestimmt die Stärke des Schocks und damit auch das potentielle Ausmaß von Verwundbarkeiten des Finanzsystems. Unterstellt wird dabei, dass der Transitionsschock mit den damit verbundenen Politikänderungen im Jahr 2021 (Q1) eintritt und damit die zukünftigen Anpassungen nach diesem Zeitpunkt bekannt sind.²⁴ Spätere überraschende Politikänderungen oder neue wissenschaftliche oder technologische Erkenntnisse im Sinne weiterer Schocks werden somit nicht berücksichtigt. Einhergehend mit der Divergenz der CO₂-Preispfade ist eine Divergenz in den BIP-Entwicklungen und den in der vorangehend beschriebenen Modellkette ermittelten Eigenkapital-/Wertpapierpreisentwicklungen. Einerseits kommt es in den Transitionsszenarien zu permanenten strukturellen Anpassungen von Produktion und Nachfrage entsprechend der Szenarioannahmen, andererseits führen die Erwartungen der Marktteilnehmer zu unmittelbaren Anpassungen von Vermögenswerten. Ausgehend von den unterstellten Erwartungen der (Kapital-)Marktteilnehmer im Referenzszenario passen diese ihre Erwartungen an und bewerten ihre Vermögen neu, wenn ein entsprechender Transitionsschock eintritt.

Im Referenzszenario „Current Policies“ (3 °C) treten bei einem glaubhaften Wechsel auf ein Anstiegsszenario „Below 2 °C“ (1,7 °C) eine vergleichsweise geringe realwirtschaftliche Belastung ein (aufgrund eines geringeren Anstiegs der CO₂-Preise) und der Finanzsystemschock ist entsprechend gering. Sollte stattdessen ein Wechsel auf ein Anstiegsszenario „Net Zero 2050“ (1,5 °C) glaubhaft stattfinden, ausgehend von dem gleichen Referenzszenario, sind die realwirtschaftlichen Belastungen größer, da auch der Anstieg der CO₂-Preise größer ausfällt. Der Finanzsystemschock ist damit als stark einzustufen. Ein Wechsel vom „Below 2 °C“ (1,7

²⁴ Weiterhin fokussiert die Analyse auf Transitionsrisiken. In Sensitivitätsanalysen wurden auch physische Risiken untersucht (im Aggregat auf der Ebene der makroökonomisch-finanziellen Modellierung). Diese ergeben jedoch für Deutschland nur geringe Abweichungen im unteren einstelligen Prozentbereich. Aus Gründen der Darstellbarkeit wurde deshalb auf eine explizite Diskussion der Ergebnisse verzichtet. Dies bedeutet nicht, dass eine detailliertere Untersuchung, insbesondere im Lichte der zunehmenden Extremwetterereignisse, auch signifikante physische Risiken für Deutschland zum Ergebnis haben kann.

°C)“ als Referenzszenario hin zu dem Anstiegsszenario „Net Zero 2050“ (1,5 °C) löst einen Finanzsystemshock mittlerer Größenordnung aus.²⁵ Tabelle 5 illustriert diese Zusammenhänge.

Tabelle 5: Szenarien Finanzsystemshock

NGFS-Klimaszenarien	Schock für das Finanzsystem		
	gering	mittel	stark
"Net Zero 2050" Globale Klimaneutralität bis zum Jahr 2050. 1,5°C-Grad-Ziel aus Pariser Klimaabkommen wird erreicht.		Anstiegs-szenario 	Anstiegs-szenario 
"Below 2°C" Mindestziel Pariser Klimaabkommen. Beschränkung Temperaturanstieg auf unter 2°C.	Anstiegs-szenario 	Referenz-szenario	
"Current Policies" Fortführung aktueller globaler Klimapolitikmaßnahmen. Temperaturanstieg auf circa 3°C.	Referenz-szenario		Referenz-szenario

Die Auswahl des Referenzszenarios ist für die permanenten strukturellen Anpassungskosten und insbesondere für die abgezinsten Wertberichtigungen bedeutend. Abgezinsten Wertberichtigungen, d.h. „Stranded Assets“, berücksichtigen die Divergenz von CO₂-Preisbelastungen, BIP- und Eigenkapital-/Wertpapierpreisentwicklungen der Zahlungsströme über mehrere Dekaden, über die sich die Schere zwischen den Szenarien zudem zunehmend öffnet.²⁶

Zusammenfassend bleibt festzuhalten:

- Die **CO₂-Preis-Referenzszenarien** sollen die aktuellen Erwartungen der Marktteilnehmer reflektieren.
- Die **CO₂-Preis-Anstiegsszenarien** basieren auf von Referenzszenarien abweichenden NGFS-Klimapolitikpfaden.
- Ein **Finanzsystemshock** entsteht für Banken, Versicherer und Fonds aus dem abrupten Übergang vom Referenzszenario in ein Anstiegsszenario. Er ergibt sich

²⁵ Dabei entfällt die Kombination „Below 2 °C“ (1,7 °C) X „Below 2 °C“ (1,7 °C). Ebenfalls nicht betrachtet werden die NGFS-Szenarien „Divergent Net Zero (1,5 °C)“, „Delayed Transition“ (1,8 °C) und „Nationally Determined Contributions“ (2,5 °C). Das „Divergent Net Zero (1,5 °C)“ ist insbesondere für Deutschland mit geringeren Auswirkungen auf allgemeine volkswirtschaftliche Größen (BIP, Vermögenswertverluste) verbunden als das „Net Zero 2050“ (1,5 °C) und wird deshalb ausgeschlossen. Die Haupteffekte treten bei dem „Delayed Transition“ (1,8 °C)-Szenario deutlich nach 2030 auf. Dies ist mit den Einschränkungen der hier vorgenommenen Analyse nur begrenzt vereinbar (z.B. statische Portfolios der Finanzintermediäre). Das „Nationally Determined Contributions“ (2,5 °C)-Szenario ist insbesondere für Deutschland mit seinen letztjährig kommunizierten Zielen für die Senkungsziele im Zuge der COP 2015 und des European Green New Deal weitgehend deckungsgleich mit dem NGFS-Szenario „Below 2 °C“ (1,7 °C) und unterscheidet sich – für Deutschland – nur marginal von diesem. Auf eine Darstellung der Ergebnisse wird aus Redundanzgründen verzichtet. Vgl. zur detaillierten Darstellung der einbezogenen und ausgeschlossenen Szenarien [NGFS Scenarios Portal](#).

²⁶ In dem für die Finanzstabilität üblicherweise beurteilten Zeitraum von drei bis zehn Jahren ist diese Schere in den CO₂-Preisen zwischen den Szenarien eher begrenzt. Ab 2030 treten jedoch reale CO₂-Preisunterschiede von ca. 50 bis 200 €/tCO₂ auf, im Jahr 2050 sogar von ca. 500 bis 800 €/tCO₂ (s. Abbildung 11).

entsprechend aus der Kombination („Differenz“) eines CO₂-Preis-Referenzszenarios und eines CO₂-Preis-Anstiegsszenarios. Dieser ist je nach Auswahl der Referenz- und Anstiegsszenarien als gering bis stark einzuordnen (Tabelle 5).

Die Auswahl des Szenariokanons beschränkt sich auf Szenarien in denen die bisherigen Entwicklungen und Einstellungen in die Zukunft fortgeschrieben werden. Diese umfassenderen Annahmen werden als „Shared Socioeconomic Pathway 2: Middle of the Road“ bezeichnet.²⁷ Während sowohl klimafeindlichere als auch klimafreundlichere weltweite sozioökonomische Entwicklungen vorstellbar sind, werden hier Entwicklungen untersucht, die aus heutiger Sicht am plausibelsten erscheinen. Für die hier untersuchten potentiellen Verwundbarkeiten des Finanzsystems ist es zentral, wie groß der unter plausiblen Annahmen mögliche Schock für das Finanzsystem ist. In dieser Hinsicht stellt die Auswahl eines Referenzszenarios mit möglichst moderatem, aber noch plausiblen CO₂-Preisanstieg, und eines Anstiegsszenarios mit möglichst deutlichem, aber noch plausiblen CO₂-Preisanstieg sicher, dass größtmögliche, aber plausible Risiken für die Finanzstabilität abgeschätzt werden.

4 Abbildung der Szenario-Sensitivitäten bei verschiedenen Finanzintermediären

Die im Abschnitt 2.4 abgeleiteten Auswirkungen auf die Kredite und Wertpapiere des deutschen Finanzsektors werden in diesem Abschnitt in die Portfolios der einzelnen deutschen Intermediäre gespiegelt. Dabei werden die Intermediäre als Preisnehmer modelliert: Explizite (dynamische) Erwartungen und/oder Portfolioanpassungen deutscher Banken, Fonds und Versicherer werden entsprechend nicht modelliert. Dies impliziert, dass deutsche Intermediäre ihre klimarisikobehafteten Assets nicht aneinander oder an ausländische Marktteilnehmer weitergeben.

Insbesondere die originären Auswirkungen des klimapolitikbedingten Realwirtschaftsschocks werden auch in seinen mittel- bis langfristigen Auswirkungen gezeigt. Die aggregierten physisch-ökonomischen Auswirkungen von Klimapolitik und Klimawandel werden in den Klimamodellen abgebildet und über eine makroökonomische Nachbildung der Modellergebnisse um weitere ökonomische Variablen ergänzt, die dann lediglich unter plausiblen Annahmen auf einzelne Realwirtschaftssektoren umgelegt werden. Die in den Klimamodellen unterstellten dynamischen Reaktionen werden somit realitätsnah dargestellt. Durch den Klimawandel verursachte Wertberichtigungen und BIP-Pfadanpassungen sind im realwirtschaftlichen Modellteil demzufolge abgebildet. Lediglich die Bilanzen der Finanzintermediäre sind annahmego-²⁸mäß statisch.

²⁷ Vgl. IPCC (2021).

²⁸ Zum jetzigen Zeitpunkt lediglich Betrachtung von Erstrundeneffekten.

4.1 Banken

4.1.1 Kreditrisiko

Basierend auf den in Abschnitt 2.4.2 dargestellten empirischen Ergebnissen für die Elastizitäten zwischen Kreditausfallraten und Variablen der wirtschaftlichen Entwicklung im Unternehmenssektor, wird im nächsten Schritt eine Szenario-Analyse durchgeführt, um die Auswirkungen von zukunftsgerichteten Klima- und Politikpfaden auf die Kreditportfolios deutscher Banken zu projizieren. Der gewählte Ansatz speist die langfristigen Klimaszenarien in das geschätzte Benchmark-Modell ein, um damit Projektionen der Ausfallraten über den Szenariohorizont ab 2021 zu erhalten. Unter Verwendung der sektor- und regionenspezifischen Szenariovariablen für Aktienkurse und Wertschöpfung werden die Ausfallraten für jede Region und jeden Sektor separat projiziert. In formaler Schreibweise ist die Entwicklung der sektorspezifischen Ausfallraten in den Szenarien, \widehat{DR}_{it} , gegeben durch Gleichung (3):

$$\widehat{DR}_{it} = \hat{c} + \widehat{\beta}_0 \widehat{DR}_{it-1} + \widehat{\beta}_1 \Delta VA_{it}^s + \widehat{\beta}_2 \Delta VA_{it-1}^s + \widehat{\beta}_3 \Delta EQP_{it-1}^s + \hat{u}_i, \quad (3)$$

wobei $\widehat{\beta}_0, \widehat{\beta}_1, \widehat{\beta}_2, \widehat{\beta}_3$ und \hat{u}_i die Schätzwerte der Parameter in (2) bezeichnen, und ΔVA_{it}^s beziehungsweise ΔEQP_{it-1}^s die Veränderungsrate im Szenario s beschreiben.

Basierend auf den prognostizierten Ausfallraten und deren Veränderung (in prozentualen Wachstumsraten) in jedem Jahr des Szenariohorizonts relativ zum Startpunkt in 2020Q4, werden sektorspezifische Skalierungsfaktoren S_{it}^s in jedem Szenario s abgeleitet.²⁹ Diese skalieren die kreditnehmerspezifischen PDs nach oben oder unten und geben die Szenario-PDs für jeden einzelnen Kreditnehmer k im Sektor i zum Zeitpunkt t wieder:

$$PD_{kt}^s = PD_{k,i,2020Q4} * S_{it}^s. \quad (4)$$

Als nächstes können die erwarteten Verluste (EL) für das Kreditportfolio aller Banken M , bestehend aus N Kreditnehmern, zu jedem beliebigen Zeitpunkt des Szenariohorizonts t mit der folgenden Formel abgeleitet werden:

$$EL_t = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M PD_{ijt}^{scenario} * LGD_{ijt} * EAD_{ijt}, \quad (5)$$

wobei LGD_{ijt} der Verlustquote bei Ausfall und EAD_{ijt} der Forderungshöhe bei Ausfall gemäß der Meldung im Kreditregister entspricht. Die kreditnehmerspezifischen LGDs werden so übernommen, wie sie im Kreditregister gemeldet werden.³⁰ Wenn keine LGD-Informationen gemeldet werden, verwenden wir die Branchendurchschnitte für Kredite an deutsche Kreditnehmer

²⁹ Die PDs im Kreditregister stammen aus den internen Ratingsystemen der Kreditgeber. Für Kreditnehmer mit fehlenden Schätzungen der PDs nehmen wir den Medianwert der PDs für alle Kreditnehmer, die derselben Branche (deutsche Engagements) oder demselben Land/derselben Region (ausländische Engagements) angehören.

³⁰ Wenn Informationen zur kreditnehmerspezifischen LGD fehlen, verwenden wir für Kredite an deutsche Kreditnehmer die Branchendurchschnitte und für Kredite an Kreditnehmer mit Sitz in allen anderen Ländern die jeweiligen Länderdurchschnitte.

und Länderdurchschnitte für Kredite an Kreditnehmer mit Sitz in allen anderen Ländern. EAD_{jt} entspricht dem bilanziellen Kreditengagement der Bank j gegenüber dem nichtfinanziellen Unternehmen i in 2020Q4. Wenn mehrere Engagements einer Bank gegenüber einem Kreditnehmer bestehen, wurden die Forderungswerte aggregiert.³¹ Konzerninterne Kredite sind von der Analyse ausgeschlossen. Ferner wird in der Szenarioanalyse ausschließlich das Kreditexposure gegenüber dem Unternehmenssektor betrachtet, ohne Banken und andere Finanzintermediäre (z.B. Geldmarktfonds und Versicherungen). Öffentliche Verwaltung sowie Immobilien- und Konsumentenkredite von privaten Haushalten sind ebenfalls von der Analyse ausgeschlossen.³² Insgesamt werden 1336 Institute betrachtet.

Abbildung 12 zeigt ferner die Aufschlüsselung der Kreditexposures deutscher Banken gegenüber der fünf Klima-sensibelsten Wirtschaftssektoren in Bezug auf Transitionsrisiken, gemessen an der Höhe der vom Input-Output-Modell generierten Skalierungsfaktoren. Es zeigt sich, dass der Anteil am gesamten Unternehmenskreditexposure im deutschen Bankensystem etwa 3,5 % beträgt.

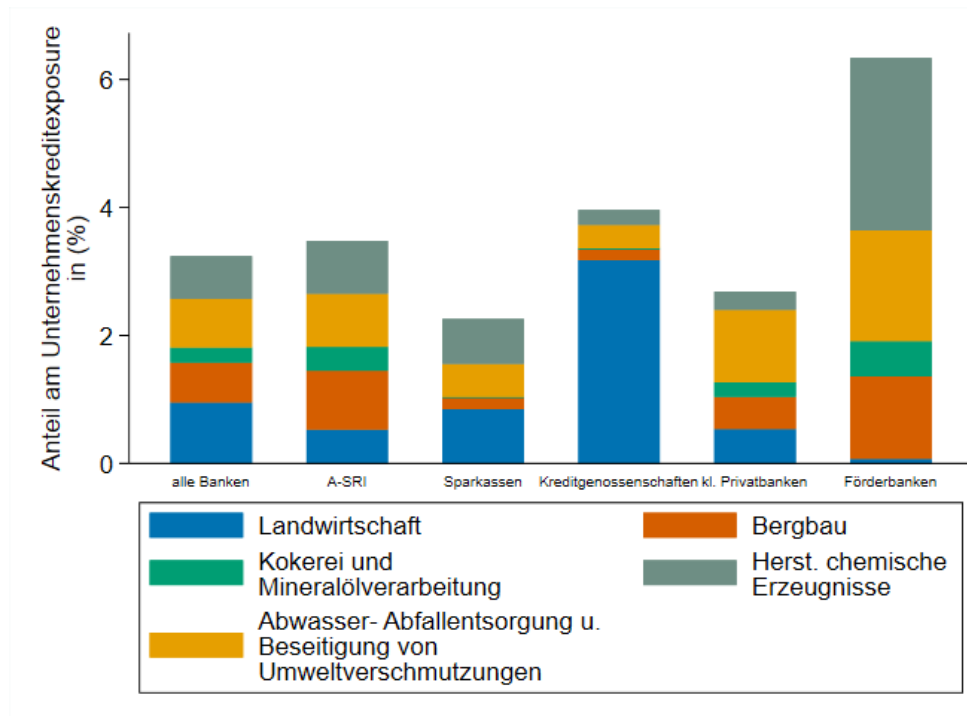


Abbildung 12: Unternehmenskreditexposures deutscher Banken gegenüber klimarisikosensiblen Wirtschaftszweigen

³¹ Ein und derselbe Kreditnehmer kann von verschiedenen Banken unterschiedlich bewertet werden. Wir nehmen den Maximalwert, wenn mehrere PDs für denselben Kreditnehmer verfügbar sind. Wenn für dieselbe Kreditnehmer-Bank-Beziehung unterschiedliche LGDs gemeldet werden, wird der forderungsgewichtete Durchschnitt verwendet.

³² Das Verhalten von Kreditausfallraten im öffentlichen Sektor sowie bei Banken und anderen Finanzintermediären unterscheidet sich von den anderen betrachteten Wirtschaftszweigen und lässt sich nur bedingt durch den gewählten Modellrahmen erklären. Immobilien- und Konsumentenkredite von privaten Haushalten sind im Kreditregister nicht oder nur unzureichend erfasst.

4.1.2 Marktrisiko

Das Marktrisikomodul für den Bankensektor ermittelt Gewinne oder Verluste aus Marktpreisänderungen bei den durch Banken gehaltenen Wertpapieren. Dabei werden Gewinne oder Verluste aus Marktpreisänderungen auf Ebene des einzelnen Wertpapiers (ISIN-Ebene) approximiert. Berücksichtigte Wertpapierportfolios umfassen Eigen- und Fremdkapitaltitel sowie Fondsanteile.

Daten:

- 1.) Depot A der WP Invest: In der WP Invest melden die Finanzinstitute, welche Wertpapiere sie in ihrem Eigendepot (Depot A) halten. Die WP Invest umfasst auch Informationen darüber, ob Wertpapiere im Anlage- oder Handelsbestand gehalten werden, sowie zum Buchwert der Wertpapiere.
- 2.) Centralised Securities Database (CSDB): In der CSDB sind weitere Angaben zu einzelnen Wertpapieren, deren Emittenten und Preisinformationen für Fremd- und Eigenkapitaltitel sowie Fondsanteile enthalten.

Die betrachteten Banken hielten laut WP Invest zum Jahresende 2020 Wertpapierbestände in Höhe von 1.474 Mrd €. Hiervon konnten 96,2 % in die Analyse einbezogen werden.³³

Szenario führt zu Neubewertung der Wertpapiere

Banken j halten in ihren Wertpapierportfolios einzelne Wertpapiere s , welche den Eigenkapitaltiteln, Fremdkapitaltiteln oder Fondsanteilen zugeordnet werden können. Die Ermittlung der Marktwertverluste erfolgt auf Ebene des einzelnen Wertpapiers. Hierzu wird für jeden Zeitpunkt des Szenariohorizonts t in Abhängigkeit des Wertpapiertyps der Marktwert nach Marktpreisschock $MV_{js}^{scenario,t}$ ermittelt, indem die Wertpapierverluste aus Abschnitt 2.4.1.2 angewendet werden.

- a) Neubewertung bei Aktien

$$MV_{js}^{scenario,t} = MV_{js}^{2020q4} * (1 + \Delta EQP_s^{scenario,t})$$

- b) Neubewertung bei Anleihen

$$MV_{js}^{scenario,t} = MV_{js}^{2020q4} * (1 + \Delta BP_s^{scenario,t})$$

³³ Bei einzelnen Wertpapieren kann auf Grund der unbekanntenen Bewertungsfunktion keine Neubewertung approximiert werden, dies betrifft beispielsweise Zertifikate oder hybride Instrumente.

c) Neubewertung bei Fondsanteilen³⁴

$$MV_{js}^{scenario,t} = MV_{js}^{2020q4} * (1 + \Delta FP_S^{scenario,t})$$

Aggregierte Marktwertverluste im Bankensektor

Die Marktwertverluste je Wertpapier ergeben sich aus der Differenz des Marktwerts nach Neubewertung $MV_{js}^{scenario,t}$ und des ursprünglichen Marktwerts MV_{js}^{2020q4} .

Somit können aggregierte Marktwertverluste $MV_{loss}^{scenario,t}$ über alle Wertpapierportfolios P der Banken K des deutschen Bankensektors für jeden Zeitpunkt des Szenariohorizonts t wie folgt ermittelt werden:

$$MV_{loss}^{scenario,t} = \sum_{s=1}^P \sum_{j=1}^K (MV_{js}^{scenario,t} - MV_{js}^{2020q4})$$

Die Marktwertverluste schlagen sich bei Abschreibungen der Wertpapiere als Buchwertverluste in der Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) oder im Other Comprehensive Income (OCI) nieder, wodurch das Eigenkapital der Banken geschwächt werden kann.

Aufgrund der unterschiedlichen buchhalterischen Behandlungsmöglichkeiten von Wertpapieren in Abhängigkeit des verwendeten Rechnungslegungsstandards und des Haltezwecks wirken sich Marktwertverluste dabei nicht immer in gleichem Maße in Buchwertverlusten aus.³⁵ Von einer Modellierung dieser buchhalterischen Besonderheiten wird hier vor dem Hintergrund des ausgeweiteten Stresshorizonts abgesehen, da buchhalterische Behandlungsmöglichkeiten im Grunde eine zeitliche Verschiebung der Realisierung von Gewinnen und Verlusten darstellen.

4.2 Fonds

Die Sensitivitätsanalyse im Fondssektor simuliert die Auswirkungen verschiedener Transitionsszenarien auf die von deutschen Fonds verwalteten Assets. Dies geschieht einerseits im Fondssektor-Aggregat und andererseits auf Ebene des einzelnen Fonds. Die Basis bilden dabei die granularen Portfolios deutscher Fonds zum Ende 2020. Als zentralen Input nutzt die

³⁴ Nach Möglichkeit werden hier fondsspezifische Verluste aus dem Marktpreismodul für den Fondsektor verwendet (siehe auch Abschnitt 2.5.2 b). Dies ermittelt die Verluste der Wertpapiere im Fondsvermögen ähnlich wie das Marktrisiko-Modul für den Bankensektor. Jedoch ist die erforderliche Durchschau nicht für alle durch den Bankensektor gehaltenen Fonds gegeben (insbesondere nicht bei Auslandsfonds), sodass in Abhängigkeit der Fondsart (Aktien-, Misch- oder Anleihenfonds) Annahmen für Preisrückgänge getroffen werden.

³⁵ So können Banken gemäß HGB in Teilen des Anlagebestands von Abschreibungswahlrechten Gebrauch machen, wenn davon ausgegangen wird, dass der Marktpreisrückgang nicht von Dauer ist. Daneben erlaubt das HGB den Ansatz von Wertpapieren des Anlagebestands in der Bilanz auch unterhalb ihres Marktwerts, wodurch stille Reserven entstehen, jedoch keinen Ansatz oberhalb des Kaufpreises. Auch bei Banken, welche den Rechnungslegungsstandard IFRS nutzen, kann die buchhalterische Bewertung vom Marktpreis abweichen, wenn Wertpapiere zu fortgeführten Anschaffungskosten („at amortised cost“) bilanziert werden.

Simulation für jedes einzelne Wertpapier szenarioabhängige relative Wertpapierpreisänderungen auf jährlicher Basis. Modelliert wird stets über den 30-Jahres-Szenariohorizont von 2020 bis 2050 (jeweils Jahresendwerte).

Datenbasis:

- Statistik über Investmentvermögen (IFS): Umfangreiche Informationen über die Aktiva und Passiva deutscher Fonds. Granulare Informationen über die gehaltenen Wertpapiere für jeden Fonds (Wertpapierebene)
- Statistik über Wertpapierinvestments (WP Invest): Informationen über die Halterstruktur deutscher Fonds (Fondsebene)
- Centralised Securities Database (CSDB): Umfangreiche Informationen über die von deutschen Fonds gehaltenen Wertpapiere (Wertpapierebene).

Modellmechanik:

Das zugrundeliegende Modell ist eine Abwandlung des makroprudenziellen Stresstest-Modells von Fricke und Wilke (2021).³⁶ Dabei werden für deutsche Fonds – abhängig vom jeweiligen Transitionsszenario – jährliche Bond- und Aktienpreisänderungen auf der Ebene des einzelnen Wertpapiers simuliert.

Diese Wertänderungen implizieren

- a) unmittelbare Änderungen im Portfoliowert der Fonds (analog zu Abschnitt 2.4.1) sowie
- b) indirekt weitere Portfoliowertänderungen, falls die betrachteten Fonds neben Aktien und Bonds auch Anteile an anderen Fonds halten (Crossholdings).

Es gebe \mathbf{N} Fonds und \mathbf{K} marktgehandelte Assets (Aktien und Bonds) sowie Cash. Sei \mathbf{F} der $(\mathbf{K}+1)$ -Vektor der asset-spezifischen jährlichen Schocks ($EQP_i^{scenario,t} / EQP_i^{scenario,t-1} - 1$ für Aktien, $BP_i^{scenario,t-1} / BP_i^{scenario,t-1} - 1$ für Bonds, vgl. Abschnitt 2.4.1) und \mathbf{M} die $(\mathbf{N} \times \mathbf{K}+1)$ -Matrix der asset-spezifischen Portfoliogewichte.³⁷ Seien \mathbf{A} , \mathbf{E} , \mathbf{D} und \mathbf{B} jeweils $(\mathbf{N} \times \mathbf{N})$ -Diagonalmatrizen der Fondsvermögen, Nettofondsvermögen (= Wert der Fondsanteile), des aufgenommenen Fremdkapitals und des Verschuldungsgrades (D/E). Sei A^{Fund} die $(\mathbf{N} \times \mathbf{N})$ -Crossholdings-Matrix, wobei $a_{i,j}^{Fund}$ dem Eurowert der von Fonds i gehaltenen Fondsanteile an Fonds j entspricht. Dann ergibt sich der Eurowert der von Fonds i gehaltenen Fondsanteile als $A_i^{Fund} = \sum_j a_{i,j}^{Fund}$. Das Fondsvermögen A setze sich zusammen aus den $\mathbf{K}+1$ gehaltenen Aktien, Anleihen und Cash (A^{WP}) sowie den gehaltenen Fondsanteilen (A^{Fund}): $A = A^{WP} + A^{Fund}$.

³⁶ Für Details zum analytischen Vorgehen vgl. Fricke und Wilke (2021), Seite 10ff.

³⁷ Die Cashposition der Fonds wird stets als Asset $\mathbf{K}+1$ mitgeführt und als konstant angenommen, da diese Position keinen Marktpreisschwankungen unterliegt. Dementsprechend erhält die Cash-Position eines Fonds stets einen Ausgangsschock von 0.

Zu a) Unmittelbare Änderungen im Portfoliowert der Fonds:

Die vom gewählten Transitionsszenario abhängigen jährlichen Wertänderungen der K Aktien und Anleihen sowie Cash ergeben sich als $R^{WP} = M \cdot F$. Die Fondsvermögen nach dem Ausgangsschock sind entsprechend $A_0 = A^{WP} \cdot (1 + R^{WP}) + A^{Fund}$, dies impliziert eine Änderung des Fondsvermögens von $R_0^A = (A_0 - A)/A$ und eine Änderung des Nettofondsvermögens von $R_0^E = (E_0 - E)/E = (\mathbb{I}_N + B) \cdot R_0^A$.

Zu b) Zusätzliche Portfoliowertänderungen durch Fonds-Crossholdings:

Fonds können durch das gegenseitige Halten von Fondsanteilen direkt miteinander verbunden sein (Crossholdings-Netzwerk). Auf diese Weise kann der Anteilswert eines Fonds (potenziell) vom Wert *aller* anderen von Fonds ausgegebenen Anteile abhängen. Das Crossholdings-Netzwerk zwischen deutschen Fonds wird explizit mitmodelliert. Auf diese Weise werden direkte Spillover-Effekte innerhalb des Fondssektors berücksichtigt, die aus der direkten Verflechtung zwischen deutschen Fonds entstehen.

Nachdem sich die Wertänderungen der Aktien und Bonds durch das Crossholdings-Netzwerk im deutschen Fondssektor ausgebreitet haben, ergeben sich

- der Eurowert der von Fonds i gehaltenen Fondsanteile als $A_{1,i}^{Fund} = \sum_j a_{i,j}^{Fund} (1 + R_{1,j}^E)$ und mit $A_{1,i}^{Fund} - A_i^{Fund} = \sum_j a_{i,j}^{Fund} R_{1,j}^E$
- die komplette Wertänderung von Fondsanteil i als $R_{1,i}^E = R_{0,i}^E + \frac{\sum_j a_{i,j}^{Fund} R_{1,j}^E}{E_i}$.

Damit ergibt sich die komplette Wertänderung des Fonds i als Summe aus den Wertänderungen der von Fonds i gehaltenen Aktien und Bonds ($R_{0,i}^E$) und den Wertänderungen der von Fonds i gehaltenen Fondsanteile ($\frac{\sum_j a_{i,j}^{Fund} R_{1,j}^E}{E_i}$). Durch das Crossholdings-Netzwerk kann die Rendite von Fonds i somit von den Renditen aller anderen Fonds im Netzwerk abhängen.

Auf diese Weise generiert das Modell – zusätzlich zu den als Input verwendeten jährlichen Wertveränderungen bei Aktien und Bonds – für jedes Jahr die Wertveränderungen der deutschen Fondsanteile. Diese finden Eingang in das Simulationsmodell für den Bankensektor und – zukünftig – in das Modell des Versicherungssektors. Des Weiteren können diese zukünftig für die Kalibrierung der Wertänderungen bei ausländischen Fondsanteilen verwendet werden.

Im Gegensatz zu klassischen makroprudenziellen Fondssektor-Stresstestanwendungen werden die Portfolios deutscher Fonds auf einen Zeitpunkt fixiert (Ende Dezember 2020) und keine Wertpapierverkäufe seitens des Fondssektors modelliert (der Flow-Performance-Kanal

und der Leverage-Targeting-Kanal werden ausgeschaltet). Dies ist konsistent mit der Annahme, dass deutsche Fonds mit Transitionsrisiken behaftete Assets nicht systematisch an andere Marktteilnehmer weitergeben können.³⁸

Output:

Zentraler Output der Simulation ist für jedes der Transitionsszenarien die Wertentwicklung der Portfolios deutscher Fonds im Zeitablauf (jeweils aggregiert über alle Fonds und auf Ebene des einzelnen Fonds).

Dargestellt wird dabei für

- a) den gesamten Fondssektor und
- b) jeden einzelnen Fonds

die Portfoliowert-Differenz zwischen dem jeweiligen Anstiegsszenario und dem Referenzszenario.

Auf diese Weise lassen sich Heterogenitäten zwischen verschiedenen Transitionsszenarien oder verschiedenen Fondstypen (z.B. Aktien-, Bond-, Misch- oder Dachfonds, Publikums- oder Spezialfonds) analysieren und potenzielle Konzentrationsrisiken bei einzelnen Fonds identifizieren.

4.3 Versicherer

Kurzbeschreibung Sensitivitätsanalyse Versicherer

Die Sensitivitätsanalyse für den deutschen Versicherungssektor ermittelt Gewinne oder Verluste aus Marktpreisänderungen für verschiedene Klimaszenarien bei den von Versicherern gehaltenen Wertpapieren. Gewinne und Verluste werden auf Basis des einzelnen Wertpapiers approximiert.

Die gesamten Aktiva des deutschen Versicherungssektors betragen in Q4 2020 rund 2.590 Mrd €. In der Szenarioanalyse werden Aktien/Beteiligungen, Fondsanlagen, Unternehmensanleihen und Staatsanleihen gestresst, sofern das Versicherungsunternehmen unmittelbar die Risiken aus den Anlagen trägt. Folglich werden Unit-Linked Produkte bei der Analyse nicht berücksichtigt, da bei diesen Produkten typischerweise der Versicherungsnehmer das Risiko

³⁸ Des Weiteren wird als Input anstelle eines ISIN-Schockvektors eine ISIN-Zeit-Schockmatrix verwendet, da die Wertpapierpreisänderungen – jeweils in Abhängigkeit vom modellierten Transitions-Szenario – im Zeitablaufschnanken.

aus der Kapitalanlage trägt. Die gestressten Anlagen, nämlich Aktien/Beteiligungen, Fondsanteile, Unternehmensanleihen und Staatsanleihen, machen rund 70 % der gesamten Aktiva aus.

Bei deutschen Fondsanteilen wird der Look-through-Ansatz angewandt, d.h. es wird durch den Fonds auf die von ihm gehaltenen Wertpapiere durchgeschaut. Die Wertverluste aus der Szenarioanalyse werden dann den Anlageklassen der von den Fonds gehaltenen Wertpapieren zugeordnet. Denn insbesondere Lebensversicherer haben institutionelle Anreize ihre Kapitalanlagen über Fonds anstatt direkt auf der eigenen Bilanz zu halten.³⁹ Da rund 80% der deutschen Fondsanlagen aus sogenannten Einanleger-Fonds bestehen, bei denen ein Versicherungsunternehmen den gesamten Fonds besitzt, wird in der Szenarioanalyse die Anlage über Fonds und die Direktanlage gleich behandelt.⁴⁰ Nur wenn der Look-through-Ansatz nicht möglich ist (u.a. bei ausländischen Fondsanteilen) wird der Fondsanteil separat ausgewiesen.

Daten:

- 1.) Solvency II: Die Solvency II Daten stammen aus dem aufsichtlichen Meldewesen für deutsche Versicherer und werden auf Solo-Ebene verwendet (Einzelunternehmen). Als Teil der Solvency II Daten enthält die List of Assets die Bestände an Wertpapieren und anderen Anlagen der Versicherer auf Einzelebene (asset-by-asset) sowie die Eigenschaften der Wertpapiere. Enthalten sind sowohl Wertpapiere und Fondsanteile mit ISIN als auch alle weiteren Anlagen. Zusätzlich werden Daten zur Größe, Versicherungssparte und Eigenmittelausstattung der Versicherungsunternehmen aus Solvency II verwendet.
- 2.) Centralised Securities Database (CSDB): In der CSDB sind weitere Angaben zu einzelnen Wertpapieren, deren Emittenten und Preisinformationen für Fremd- und Eigenkapitaltitel sowie Fondsanteile enthalten. Informationen liegen für Wertpapiere mit einer ISIN vor.
- 3.) Investmentfondsstatistik: Enthält Angaben zur Vermögensstruktur inländischer Fonds sowie zu deren Mittelzu- und -abflüssen, Ausgabe- und Rücknahmepreisen und zu Ertragsausschüttungen. Informationen zu den von Fonds gehaltenen Wertpapieren liegen granular (auf Basis des einzelnen Wertpapiers) vor.

Wie bei Banken und Fonds werden vorrangig Informationen aus der CSDB verwendet (u.a. zu NACE-Sektor, Rating, Emittentenregion und Duration), um den Stress für einzelne Wertpapiere zu bestimmen. Bei der CSDB können allerdings nur Wertpapiere mit ISIN berücksichtigt werden. Hierdurch lässt sich eine Abdeckung von 66 % der Unternehmensanleihen und 74 % der Staatsanleihen erreichen, allerdings mit einer hohen Heterogenität zwischen den Versicherern. In einem zweiten Schritt werden zusätzlich Informationen aus der List of Assets von

³⁹ Vgl. hierzu Deutsche Bundesbank (2017).

⁴⁰ Auch in der Versichererregulierung Solvency II wird der Look-through-Ansatz angewandt und Anlagen, die über Fonds getätigt werden, mit der Direktanlage von Versicherern gleichgestellt.

Solvency II herangezogen, um auch Anleihen ohne ISIN berücksichtigen zu können.⁴¹ Sofern nicht alle benötigten Variablen befüllt sind, wird der Stressfaktor auf Basis der vorhandenen Informationen imputiert. Dadurch lässt sich insgesamt eine Abdeckung von 97 % des Wertpapierportfolios (ohne Unit-Linked Produkte) erreichen.

Modell und Gleichungen:

Szenario führt zu Neubewertung der Wertpapiere

Versicherer j halten in ihren Wertpapierportfolios einzelne Wertpapiere s , welche den Aktien/Beteiligungen und Anleihen zugeordnet werden können. Die Ermittlung der Marktwertverluste erfolgt auf Ebene der einzelnen Anlage. Hierzu wird in Abhängigkeit des Wertpapiertyps der Marktwert nach Marktpreisschock zum Zeitpunkt t , $MV_{js}^{scenario,t}$, ermittelt:

a) Neubewertung bei Aktien und Beteiligungen

$$MV_{js}^{scenario,t} = MV_{js}^{2020q4} * (1 + \Delta EQP_s^{scenario,t})$$

Wobei MV_{js}^{2020q4} der Marktwert der Aktie/Beteiligung s zum Zeitpunkt 2020q4 ist und

$\Delta EQP_s^{scenario,t} = \frac{EQP_s^{scenario,t}}{EQP_s^{2020q4}} - 1$ die Veränderung der Aktienpreise vom Startquartal 2020Q4 bis zum Zeitpunkt t (wobei $2020q4 < t < 2050q1$). $EQP_s^{scenario,t}$ und EQP_s^{2020q4} sind die Aktienkurse aus NIGEM und I/O-Modell zum Zeitpunkt t bzw. 2020q4, die auf Basis der Region und des NACE-Codes der jeweiligen Aktie/Beteiligung s zugeordnet werden.

b) Neubewertung bei Anleihen (Marktpreisschock definiert als Marktpreistrückgang in %)

$$MV_{js}^{scenario,t} = MV_{js}^{2020q4} * (1 + \Delta BP_s^{scenario,t})$$

Wobei $\Delta BP_s^{scenario,t} = \frac{BP_s^{scenario,t}}{BP_s^{2020q4}} - 1$ die Veränderung der Anleihenpreise vom Startquartal 2020Q4 bis q bezeichnet

c) Neubewertung bei Fondsanteilen (wenn Look-through-Ansatz nicht möglich)

$$MV_{js}^{scenario,t} = MV_{js}^{2020q4} * (1 + \Delta FP_s^{scenario,t})$$

Wobei $\Delta FP_s^{scenario,t} = \frac{FP_s^{scenario,t}}{FP_s^{2020q4}} - 1$ die Veränderung der Fondsanteilspreise vom Startquartal 2020Q4 bis t bezeichnet.

Aggregierte Marktwertverluste im Versicherungssektor

Die Marktwertverluste zum Zeitpunkt t ergeben sich aus der Differenz des Marktwerts nach Neubewertung $MV_{js}^{scenario,t}$ und des ursprünglichen Marktwerts MV_{js}^{2020q4} .

⁴¹ Analog zu dem Vorgehen mit den CSDB-Daten werden der NACE-Sektor, Rating, Emittentenregion und modifizierte Duration des Wertpapiers verwendet.

Somit können Marktwertverluste $MV_{loss}^{scenario,t}$ über alle Portfolios P der Versicherer K des deutschen Versicherungssektors wie folgt ermittelt werden:

$$MV_{loss}^{scenario,t} = \sum_{s=1}^P \sum_{j=1}^K (MV_{js}^{scenario,t} - MV_{js}^{2020q4})$$

Bewertung der Marktwertverluste im regulatorischen und handelsrechtlichen Rahmenwerk

Die Marktwertverluste schlagen sich aufgrund der marktwert- und risikoorientierten Betrachtung unter Solvency II direkt in den aufsichtlichen Solvenzquoten der Versicherer nieder. Zum einen reduzieren die Verluste die verfügbaren Eigenmittel der Versicherer, zum anderen sinken die Eigenmittelanforderungen, weil aufgrund der bereits realisierten Verluste nun ein geringeres Exposure besteht und deshalb aufsichtsrechtlich geringere Eigenmittel vorgehalten werden müssen. Der erste Effekt ist in der Regel größer, sodass die Solvenzquoten per Saldo sinken.⁴²

Neben dem aufsichtlichen Rahmenwerk spielt insbesondere bei Lebensversicherern die Behandlung von Marktwertverlusten unter HGB eine wichtige Rolle für die Erfüllung der Zinsgarantien. Wenn Marktwertverluste abgeschrieben werden, schlagen sie sich als Buchwertverluste in der GuV nieder, wodurch die HGB-Eigenmittel der Versicherer geschwächt werden. Für Versicherer gelten analog zu den Banken die Regelungen des § 253 HGB. Danach werden Vermögensgegenstände des Anlagevermögens nach dem gemilderten Niederstwertprinzip behandelt, wenn die Wertminderung nicht dauerhaft ist. Das strenge Niederstwertprinzip gilt bei Vermögensgegenständen des Umlaufvermögens. Dieses spielt für Versicherer kaum eine Rolle, weshalb sie in erster Linie das gemilderte Niederstwertprinzip anwenden. Die Wertminderung ausgehend vom Klimawandel dürfte dauerhaft sein, sodass direkt abgeschrieben wird.

Lebensversicherer müssen ihre Kunden an ihren Erträgen (Kapitalerträge, Risikoerträge, übrige Erträge) nach der Mindestzuführungsverordnung angemessen beteiligen und die zugesagten Zinsgarantien erfüllen. Dafür bilden Lebensversicherer u. a. die Rückstellung für Beitragsrückerstattung (RfB) als eine versicherungstechnische Rückstellung im Jahresabschluss. Die RfB bildet den handelsrechtlichen Wert der Ansprüche der Versicherungsnehmer auf Beitragsrückerstattung zum Bilanzstichtag ab.

Die RfB als bilanzielles Instrument dient der Glättung der Überschussbeteiligung der Versicherten. Die Überschüsse werden in der Regel nicht unmittelbaren Versicherten gutgeschrieben, sondern zunächst der RfB zugeführt. Die den Versicherten zustehenden Überschussanteile werden später der RfB entnommen und zugeteilt. Die RfB übernimmt somit eine Puffer-

⁴² Zusätzlich könnten Ratingmigrationen die Eigenmittelanforderungen verändern. Dieser Effekt wird in den Szenarien nicht untersucht.

funktion. Auch bei schwankenden Ergebnissen kann den Kunden eine relativ stabile Überschussbeteiligung gewährt werden. Die RfB atmet im Zeitablauf. Sie wird abgebaut, wenn die Erträge sinken (z.B. durch ein Niedrigzinsumfeld oder in Folge des Klimawandels). Steigen die Erträge an, wird auch die RfB wiederaufgebaut.⁴³

In der Sensitivitätsanalyse zu den Auswirkungen des Klimawandels werden Marktwertverluste der Portfolios deutscher Versicherer bestimmt. Auf eine Modellierung der Entwicklung der RfB – durch veränderte Überschüsse – wird zunächst verzichtet.

5 Ausführliche Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

5.1 Berücksichtigte Vermögenswerte der Finanzintermediäre

Informationen zu der Abdeckung der gestressten Vermögenswerte, deren Anlageklassen und Restlaufzeiten sowie die Anteile an Anlagen in transitionssensitiven Sektoren im deutschen Finanzsektor sind in Tabelle 6 zusammenfassend dargestellt.

Der in der Szenarioanalyse berücksichtigte Teil der Bilanzsumme deutscher Banken beträgt rund 45 %. Die herangezogenen Positionen hängen jeweils vom Markt- oder Kreditrisiko ab. Beim Kreditrisiko wird ein geringerer Teil der Gesamt-Exposures im Vergleich zum Marktrisiko berücksichtigt (51 % vs. 96 %). Kredite an andere Finanzinstitute (Kreditinstitute und sonstige finanzielle Kapitalgesellschaften) und den öffentlichen Sektor werden in der Analyse nicht berücksichtigt. Kreditforderungen an Zentralbanken, private Haushalte (Wohnungsbaukredite, Konsumentenkredite, usw.) und extraterritoriale Organisationen finden auch keinen Eingang in die Analyse. Der berücksichtigte Kreditbestand deutscher Banken umfasst somit die in der Evidenzzentrale für Millionenkredite gemeldeten Kredite an deutsche und ausländische Unternehmen (d.h. Kreditforderungen > 1 Million Euro). Für das Marktrisiko wird ebenfalls nicht der Gesamtbestand der Wertpapiere herangezogen. So wurden u.a. Derivate ausgeblendet, bei denen ohne detaillierte Kenntnisse der Produktdetails die Reaktion auf die geänderten Parameter im CO₂-Preis-Anstiegsszenario nicht berechnet werden kann. Dieses Vorgehen kann jedoch als konservativ angesehen werden, da derivative Instrumente i.d.R. zu Absicherungszwecken eingesetzt werden und deren Nichtbeachtung somit tendenziell stresserhöhend wirkt.

Die Bilanzsumme des dt. Fondssektors beträgt zum Ende Dezember 2020 insgesamt 2.641 Mrd €. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden die im deutschen Fondssektor gehaltenen Wertpapiere von insgesamt 5.980 Aktien-, Anleihe-, Misch- und Dachfonds mit einer aggregierten

⁴³ Vgl.: Deutsche Bundesbank(2013): Finanzstabilitätsbericht, S. 77.

gierten Bilanzsumme von 2.174 Mrd € bzw. 82 % der gesamten Aktiva des deutschen Fondssektors berücksichtigt. Deren aggregiertes Wertpapiervermögen liegt bei 2.027 Mrd € bzw. 92 % des gesamten Wertpapiervermögens des deutschen Fondssektors (2206 Mrd €). Insgesamt wird somit eine hohe Abdeckung des deutschen Fondssektors erreicht.

Es werden die Aktiva von mehr als 250 Versicherern analysiert. In der Szenarioanalyse werden Aktien/Beteiligungen, Fondsanlagen, Unternehmensanleihen und Staatsanleihen gestresst, sofern das Versicherungsunternehmen unmittelbar die Risiken aus den Anlagen trägt. Folglich werden Unit-Linked Produkte bei der Analyse nicht berücksichtigt, da bei diesen Produkten typischerweise der Versicherungsnehmer das Risiko aus der Kapitalanlage trägt.

Tabelle 6 Vermögensaufschlüsselung der Finanzintermediäre und gestresster Portfolioanteil (Datenstand 2020Q4)

Kreditportfolios			
Kennzahl	Banken		
Gesamt in Mrd €	4,789		
In den Szenarioanalysen berücksichtigte Kreditportfolios (gestresstes Portfolio) in Mrd €	2,452		
davon: Anteil Kredite an transitionssensitive Branchen in %	18.8		
Verhältnis Anteil Kredite an transitionssensitive Branchen zu Wertschöpfungsanteil dieser Branchen	66.6		
Gestresstes Portfolio in % der Kreditportfolios gesamt	51		
Restlaufzeit der Kredite im gestressten Portfolio in Jahren	5 bis 7		
Wertpapierportfolios			
Kennzahl	Banken	Investmentfonds	Versicherer ⁴⁴
Gesamt in Mrd €	1,474	2,206	1,853
In den Szenarioanalysen berücksichtigte Wertpapierportfolios (gestresstes Portfolio) in Mrd €	1,418	2,027	1,800
Gestresstes Portfolio in % der Wertpapierportfolios des jeweiligen Sektors gesamt	96	92	97
Restlaufzeit der Anleihen nichtfinanzieller Unternehmen im gestressten Portfolio in Jahren	6.0	10.5	12.7
Gestresstes Portfolio nach Anlageklassen; Anteile in %			
Staatsanleihen	28	19	30
Anleihen nichtfinanzieller Unternehmen	3	12	9

⁴⁴ Unit-Linked-Produkte werden in der Analyse nicht berücksichtigt, da bei ihnen typischerweise die Versicherten das Kapitalanlage-Risiko tragen. Die von Versicherern gehaltenen Anteile an deutschen Fonds sind der Anlageklasse der von den Fonds gehaltenen Wertpapieren zugeordnet. Die Kategorie Fondsanteile selbst weist lediglich den Anteil aus, bei dem dies nicht möglich ist (u.a. ausländische Fondsanteile).

davon: Anteil an transitionssensitive Branchen	45	15	8
Verhältnis Anteil an transitionssensitive Branchen zu Wertschöpfungsanteil dieser Branchen	150	53	27
Anleihen finanzieller Unternehmen	52	22	31
Aktien und Beteiligungen	3	23	26
davon: Anteil an transitionssensitive Branchen	33	36	9
Verhältnis Anteil an transitionssensitive Branchen zu Wertschöpfungsanteil dieser Branchen	117	126	32
Fondsanteile	14	25	4

Die Abdeckung der Bilanzaktiva ist insgesamt als hoch einzustufen. Bei den Wertpapierbeständen ist die Abdeckung besonders hoch und rangiert zwischen 92 % und 97 %. Während bei Fonds im Aggregat Aktien, Staatsanleihen, finanzielle und nichtfinanzielle Anleihen annähernd zu gleichen Teilen enthalten sind, ist bei Versicherern und Banken ein geringerer Anteil nichtfinanzieller Anleihen zu verzeichnen und ein größerer Anteil an Staatsanleihen und finanziellen Anleihen. Finanzielle Anleihen machen bei Banken über die Hälfte der Wertpapierportfolios aus.

Die Auswirkungen auf das Finanzsystem hängen zum einen davon ab, wie groß der Anteil transitionssensitiver Branchen in den Portfolios der Finanzintermediäre ist.⁴⁵ Je kleiner der Anteil ist, desto geringer sind die potentiellen Verluste aus Transitionsrisiken. Zum anderen hängen die Auswirkungen von den Restlaufzeiten der Finanzierungs- und Finanzinstrumenten in den Portfolios ab, da Risikoaufschläge bei längeren Restlaufzeiten grundsätzlich höher sind.

Die Kredit- und Anleihebestände der Banken weisen verhältnismäßig kurze Restlaufzeiten auf. Wertpapiere wie Aktien, Beteiligungen und Fondsanteile haben aber eine potentiell unbegrenzte Laufzeit. Zwar ist der Anteil von Wertpapieren transitionssensitiver Branchen bei diesen Anlageinstrumenten relativ hoch. Aufgrund des geringen Portfolioanteils von jeweils 3% sind Banken insgesamt dennoch wenig anfällig gegenüber Transitionsrisiken.

Deutsche Fonds halten mit etwa 48% den größten Portfolioanteil an Aktien und Beteiligungen sowie Fondsanteilen. Darüber hinaus halten sie Anleihen nichtfinanzieller Unternehmen mit

⁴⁵ Transitionssensitivität bezeichnet die Stärke der Reaktion der Wertschöpfung einer Branche auf eine CO₂-Preissteigerung. Diese Transitionssensitivität wird durch die sektoralen Verhältnisse aus den Wertschöpfungsverlusten und der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung berechnet. Als transitionssensitiv wird das Drittel der Branchen festgelegt, deren Wertschöpfung am stärksten auf einen Anstieg des CO₂-Preises reagiert, d.h. Sektoren mit den höchsten Skalierungsfaktoren, vgl. Abschnitt 2. Es werden die Anteile der Finanzierungs- und Finanzinstrumente im Portfolio der Intermediäre gemessen, die von einer transitionssensitiven Branche emittiert wurden. Anschließend werden diese Anteile mit dem Wertschöpfungsanteil der transitionssensitiven Branchen an der gesamtwirtschaftlichen Wertschöpfung verglichen.

einer durchschnittlichen Restlaufzeit von 10,5 Jahren. Das Anleihenportfolio der Versicherer hat mit 12,7 Jahren die höchste durchschnittliche Restlaufzeit. Transitionssensitive Branchen sind bei Anleihen nichtfinanzieller Unternehmen sowohl in den Portfolios der Fonds als auch der Versicherer deutlich unterrepräsentiert. Bei Aktien und Beteiligungen sowie Fondsanteilen, die von Versicherern gehalten werden, sind transitionssensitive Branchen ebenfalls deutlich unterrepräsentiert; bei Fonds hingegen eher überrepräsentiert.

5.2 Potentielle Verwundbarkeiten des Finanzsystems

Die potentiellen Verwundbarkeiten des Finanzsystems werden aus den klimabedingten Risiken nach dem im vorigen Abschnitt beschriebenen Vorgehen hergeleitet.

Dazu werden jeweils ein CO₂-Preis-Referenzszenario und ein CO₂-Preis-Anstiegsszenario kombiniert, um den klimabedingten Schock mit Realisierung unter perfekter Voraussicht für alle Marktakteure abzuleiten. In diesem Abschnitt werden Schocks unterschiedlicher Intensität untersucht. Als Anstiegsszenario wird das „Net Zero 2050“ (1,5 °C) angenommen. Als Referenzszenario wird an dieser Stelle ausschließlich das Szenario „Current Policies“ (3 °C) unterstellt. Dies dient der Ableitung der größtmöglichen Verwundbarkeiten innerhalb eines konservativen, aber plausiblen Szenariorahmens. Dies ist so zu verstehen, dass das in seinen Wirkungen auf das Finanzsystem am weitesten auseinanderliegende Szenariopaar gebildet wird. Für Banken, Fonds und Versicherer ergeben sich dabei folgende potentielle Verwundbarkeiten für klimabedingte Marktrisiken, also gegenüber Marktpreisveränderungen, die zu einer Abwertung von zum Marktpreis bewerteten Wertpapieren führen können. Gezeigt werden kumulierte jährliche Portfolioverluste von Banken, Fonds und Versicherern. Die Verluste sind dabei stets in Relation zur Summe der aggregierten Bilanzaktiva des jeweiligen Finanzsektors angegeben.

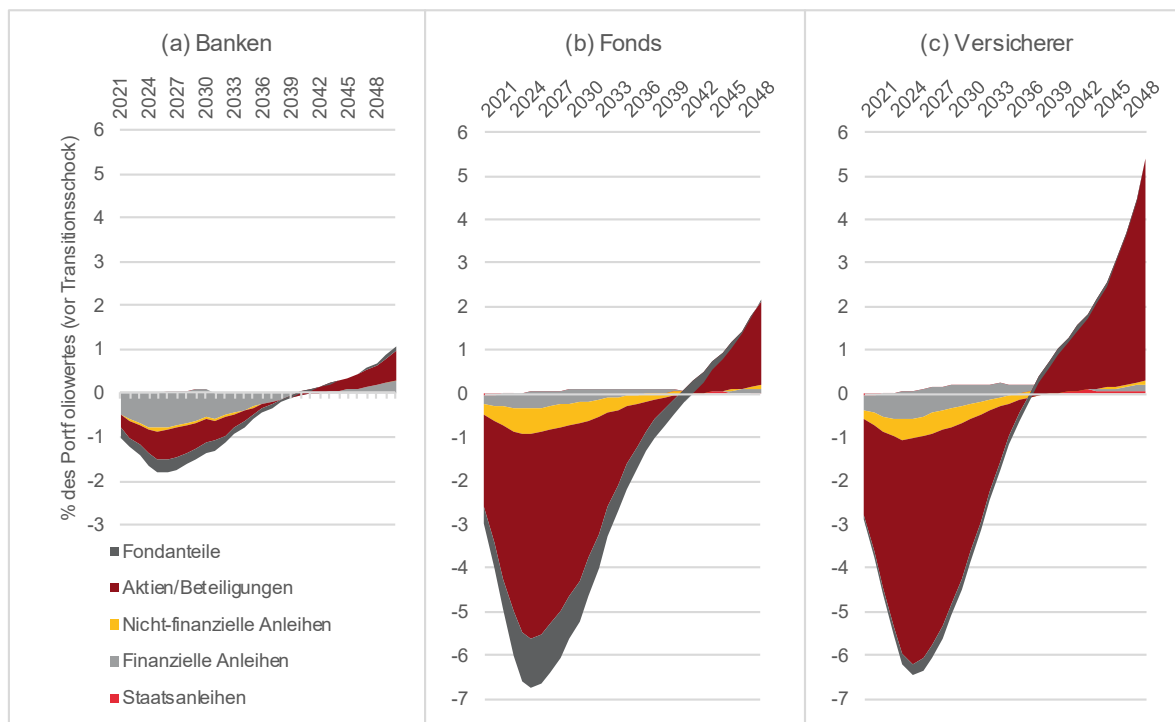


Abbildung 13 Modellerte Portfolioverluste der deutschen Finanzintermediäre im Falle eines starken Shocks für das Finanzsystem, i.e. eines unerwarteten Wechsels vom Referenzszenario „Current Policies“ ins Anstiegsszenario „Net Zero 2050“, aufgeschlüsselt nach Finanzinstrumenten

In der *gemeinsamen Betrachtung* ergeben sich aus der unerwarteten Transition vom Referenzszenario in das schärfere „Net Zero 2050“-Szenario für Banken moderate Portfolioverluste in Höhe von knapp 2 % ihres Wertpapierportfolios, bei Fonds und Versicherern jeweils knapp 7 % ihrer Wertpapierportfolios.

Sehr deutlich wird der Effekt der per Annahme unterstellten perfekten Voraussicht: Ungefähr die Hälfte des potentiellen Verlusts wird unmittelbar bei der Realisierung des Informationsschocks in 2021 realisiert.⁴⁶ Marktakteure sehen die zukünftigen Verluste voraus und preisen diese unmittelbar in ihre Vermögensbewertungen ein. Die nachfolgenden jährlichen Änderungen sind jeweils kleiner als der initiale Portfolioverlust in 2021. Diese niedrigeren modellierten Vermögenswertverluste sind hauptsächlich auf weitere strukturelle Anpassungen nach dem initialen Schock im Jahr 2021 zurückzuführen, die ebenfalls zulasten der Gewinne gehen (CO₂-Preispfad-Änderungen, Wertschöpfungsänderungen, usw.). Insbesondere die Erholung der Wirtschaft ab Mitte der zwanziger Jahre ist auch auf die Restrukturierung der Wirtschaft und die zunehmend CO₂-ärmere Produktion zurückzuführen, die auch zu einer geringeren effektiven Kostenbelastung führt.

Hier wird auch der langfristige Charakter der klimabedingten Risiken deutlich, der sich in den sehr langen Erwartungshorizonten der Transformation hin zur CO₂-armen Wirtschaft ausagiert. Der Großteil der Kostenbelastungen der Realwirtschaft fällt in den zwanziger und frühen dreißiger Jahren an. Die Abzinsung dieser langfristig erwarteten Kostenbelastung und damit

⁴⁶ Der Shocktritt in 2021Q1 ein. Per Konstruktion belaufen sich die Verluste in 2020Q4 also auf Null.

Verlustentwicklung und die unterstellten realwirtschaftlichen Anpassungsprozesse führen zu einer nur moderaten initialen Anpassung der Vermögenswerte. Im weiteren Verlauf der nächsten zwei Jahrzehnte führen klimabedingte Transitionsrisiken aber weiterhin zu moderaten Verlusten. Die anfängliche Geschwindigkeit der Schockrealisation ist demzufolge zwar hoch, aber der Schock in seiner Höhe selbst nicht sehr ausgeprägt, während die Dauer als überaus lang einzustufen ist. Einschränkend ist hier anzumerken, dass die Realisation möglicher Portfolioverluste insbesondere ab Ende der zwanziger Jahre höchst unsicher ist. Zwar finden im Bereich der Realwirtschaft in gewissem Maße dynamische Anpassungsprozesse statt. Die vorgenommenen Analysen unterstellen allerdings ein statisches Verhalten der Finanzakteure. Anpassungen der Bilanzstruktur sind deshalb insbesondere bei der üblichen kurzen Laufzeit der hier betrachteten Finanzinstrumente wahrscheinlich. Dadurch könnten die hier ermittelten Verwundbarkeiten verringert oder vergrößert werden.⁴⁷

Im Einzelnen sorgen die Aktien bei den *Banken* trotz des geringen Volumens (3 %) für knapp die Hälfte der anfänglichen Verluste. Die weiteren Haupttreiber für potentielle Verluste sind die Financial Bonds. Dies ist hingegen nicht der großen spezifischen Verlusthöhe, sondern dem hohen Portfolioanteil von 52 % geschuldet. Mit deutlichem Abstand folgen die Fondsanteile (14 % des Portfolios). Der maximale potentielle Verlust entsteht mit 2,1 % in 2026.

Fonds hingegen realisieren deutlich höhere Verluste: Der aggregierte Portfoliowert deutscher Fonds im „Net Zero 2050“-Szenario ist Mitte der zwanziger Jahre bis zu 7 % geringer als im Referenzszenario „Current Policies“. Zum Vergleich (nicht in der Grafik enthalten) sinkt mit dem „Below 2 °C“ (1,7 °C) -Szenario als angenommenem Anstiegsszenario der aggregierte Portfoliowert deutscher Fonds maximal 2 % gegenüber dem Referenzszenario „Current Policies“. Die Auswirkungen einer schnelleren Transition (mit höheren CO₂-Preisen) kommen insbesondere im Aktienportfolio deutscher Fonds und vermindert auch bei Fondsanteilen zum Tragen. Im Fondssektor gehaltene Aktien tragen bis zum Jahr 2026 rund 4,7 Prozentpunkte zu den gesamten modellierten Wertverlusten deutscher Fonds (6,8 % in 2026) bei. Preiseinbrüche bei im Fondssektor gehaltenen Unternehmensanleihen und Bankanleihen tragen weniger stark zu Portfoliowertentwicklung bei. Das Staatsanleiheportfolio deutscher Fonds erleidet durch die schnellere Transition über den gesamten Betrachtungszeitraum kaum Wertverluste, erzielt jedoch auch keine Wertzuwächse.

Deutsche *Versicherer* sind ähnlichen Verwundbarkeiten wie deutsche Fonds ausgesetzt. Im Vergleich des „Net Zero 2050“-Szenarios relativ zum „Current Policies“-Szenario erzielen sie bis Mitte der zwanziger Jahre potentielle relative Verluste in Höhe von ca. 6 % gemessen am Gesamtportfoliowert. In der Endphase der Transition ab 2040 erzielen Versicherer Gewinne

⁴⁷ Einerseits kann eine Portfolioveränderung hin zu weniger transitionssensitiven Sektoren Verwundbarkeiten ex-ante reduzieren, sofern am Markt die entsprechenden transition-insensitiven Anlagen in ausreichendem Maße verfügbar sind. Andererseits könnten Verkäufe transitionssensitiver Anlagen nach Erfolgen des Transitionsschocks die Verluste weiter steigern, wenn diese Verkäufe in breitem Maße oder in einer Notlage (fire sales) stattfinden.

⁴⁸ Bei dem „Below 2 °C“ (1,7 °C) -Szenario als angenommenem Anstiegsszenario würden die physischen Risiken ansteigen, die in der Analyse an dieser Stelle allerdings nicht berücksichtigt werden (s.o.). Dies sind jedoch nach den Ergebnissen der hier auf Basis aggregierter nationaler Daten vorgenommenen Analysen in Deutschland insbesondere im Hinblick auf Finanzstabilitätseffekte Auswirkungen zweiter Ordnung.

im Vergleich von Anstiegs- und Referenzszenario. Im Vergleich zum Referenzszenario verlieren die Versicherer in ihren Portfolios insbesondere im Aktiensegment. Die potentiellen Verluste belaufen sich hier auf maximal 5 % Mitte der zwanziger Jahre. Bis Ende des Betrachtungszeitraums entstehen jedoch Gewinne i.H.v. 5 % (nominal). In anderen Anlageklassen sind die Verluste geringer. Lediglich finanzielle und nichtfinanzielle Anleihen tragen gemeinsam hälftig ca. einen Prozentpunkt zum potentiellen Maximalverlust in 2026 bei.

Während Kreditrisiken bei deutschen Fonds und Versicherern aufgrund deren stark marktgehandelter Aktiva weitgehend Teil der zuvor untersuchten Marktrisiken sind, halten deutsche Banken hohe Bestände nicht marktgehandelter Kredite. Aus diesen resultierende Kreditrisiken werden für den deutschen Bankensektor separat betrachtet.

Abbildung 14 zeigt die Kreditverluste in den beiden Klima-Szenarien „Below 2 °C“ und „Net Zero 2050“ jeweils im Vergleich zum Basis-Szenario „Current Policies“. Es wird deutlich, dass die Verluste im „Net Zero 2050“ größer ausfallen als im „Below 2 °C“ Szenario. Dabei materialisieren sich die Verluste überwiegend in der ersten Hälfte der 2020er Jahre und kehren sich dann anschließend zu Beginn der 2030er Jahre in Gewinne (beziehungsweise weniger Verluste) relativ zum Basisszenario um, sobald die Anpassungen der Realwirtschaft an den adversen Schock aus den Klimaszenarien abgeschlossen sind. Im Jahr 2050 bewegen sich die relativen Verluste in beiden Szenarien in der Nähe von Null.

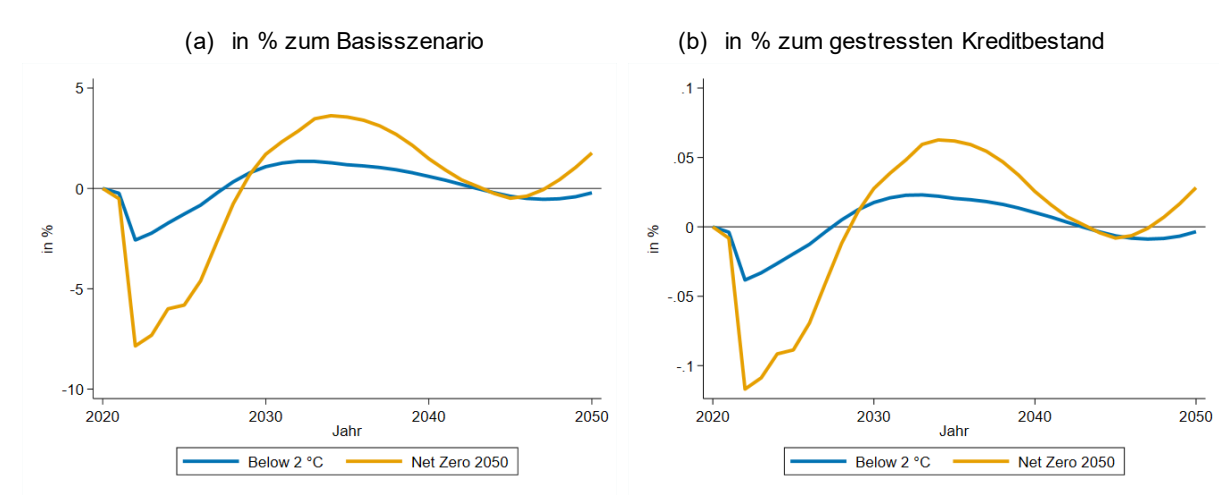


Abbildung 14: Potentielle Kreditverluste im Bankensystem bei einem starken Schock für das Finanzsystem, d.h. bei einem unerwarteten Wechsel vom Referenzszenario „Current Policies“ ins Anstiegsszenario „Net Zero 2050“

5.3 Konzentrationseffekte und potentielle Verwundbarkeiten des Finanzsystems

Die sektoral-heterogene Wirkung des Transitionsschocks erzeugt eine Konzentration klimabedingter Risiken insbesondere in überproportional CO₂-emittierenden Sektoren. Abhängig von

der Alterstruktur von Finanzinstrumenten in diesen Sektoren könnten Risiken ebenfalls konzentriert bei den Finanzintermediäre vorliegen. Diese in den Finanzsektor weitergegebene asymmetrische Belastung kann Verwundbarkeiten verstärken oder sogar entstehen lassen. Ergänzend zu den Betrachtungen des vorigen Abschnitts ist deshalb eine Analyse der heterogenen Wirksamkeit klimabedingter Risiken angezeigt. Dazu wird im Folgenden eine Darstellung der erwarteten Vermögensverluste aus einer schnelleren Transition nach Betroffenheit vorgenommen. In den Jahren von dem angenommenen Schockeintritt im Jahr 2021 bis ins Jahr 2050 werden dazu in jedem Jahr die jeweiligen Perzentile der erwarteten Verluste berechnet. Im Gegensatz zu den vorangehend betrachteten aggregierten Verwundbarkeiten der drei Finanzsektoren im jeweiligen Jahr können so Aussagen über die Verwundbarkeiten einzelner stärker oder schwächer betroffener Banken, Versicherer oder Fonds getroffen werden: So gibt beispielsweise das 5 %-Perzentil (95 %-Perzentil) für den Fondssektor die modellierten Portfolioverluste jenes Fonds an, dessen Verluste nur von 5 % der Fonds überschritten (unterschritten) werden.

Hinsichtlich der Marktrisiken lassen sich Verwundbarkeiten abhängig von der Konzentration der Risiken demzufolge folgendermaßen darstellen.

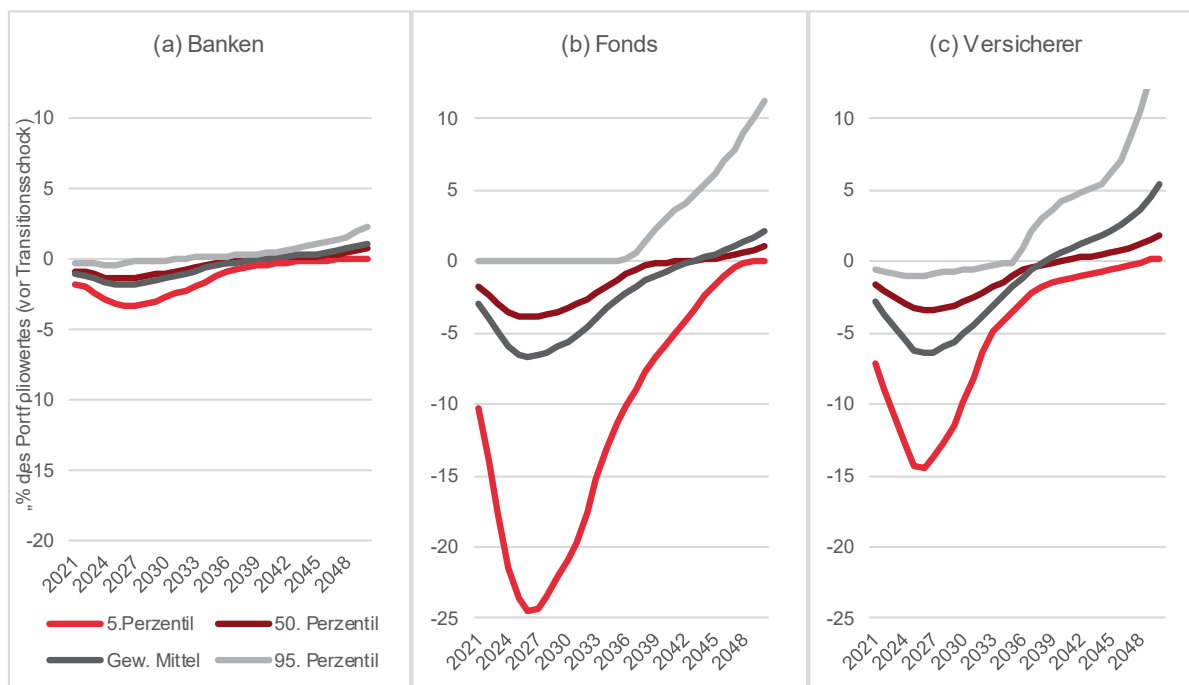


Abbildung 15 Verteilung potentieller Portfolioverluste der deutschen Finanzintermediäre im Falle eines Transitionschocks, i.e. eines unerwarteten Wechsels vom Referenzszenario „Current Policies“ ins Anstiegsszenario „Net Zero 2050“, nach Quantilen.

In der *gemeinsamen Betrachtung* der zukünftigen Entwicklung über die drei Sektoren hinweg lässt sich feststellen, dass bis auf wenige Abweichungen die Entwicklungen über die Zeit sehr ähnlich sind und sich in erster Linie durch die Intensität der Betroffenheit unterscheiden. Die zu Beginn stärker betroffenen Finanzintermediäre verlieren zu Anfang auch größere Vermö-

genswerte, bis zum maximal erwarteten Verlust im Jahr 2026. Danach verengen sich die Verteilungen der modellierten Verluste und die Vermögenswerte der aggregierten Bilanzaktiva sind um das Jahr 2040 herum wieder auf einem vergleichbar hohen Niveau innerhalb der jeweiligen Sektoren und darüberhinaus auch auf einem vergleichbaren Niveau mit dem „Current Policies“-Szenario.

Allen Finanzsektoren gemein ist auch der anfänglich geringere gewichtete Mittelwert im Vergleich zum Median, der den erwarteten potentiellen Verlust des exakt mittleren Finanzintermediärs des jeweiligen Sektors angibt. Dies bedeutet, dass Finanzintermediäre mit größeren Portfolios anfänglich auch stärker von Transitionsrisiken betroffen sind und dadurch auch größere Portfolioverluste als die übrigen Finanzintermediäre realisieren. Folglich verringert sich der gewichtete Mittelwert relativ zum Median, der lediglich die Anzahl der Finanzintermediäre zur Verlustbestimmung heranzieht.⁴⁹ Gegen Ende der Transitionsphase, ab ungefähr dem Jahr 2040, übersteigt der gewichtete Mittelwert den Median. Dies bedeutet, dass Finanzintermediäre mit größeren Portfolios in diesem Zeitraum wieder eine bessere Portfolioentwicklung aufweisen. Es ist zu beachten, dass dies immer relativ zu dem „Current Policies“-Szenario zu verstehen ist. Finanzintermediäre mit größeren Portfolios, die auch anfänglich stärker in fossile Vermögenswerte investiert sind, sind bei einem unerwarteten Anstiegsszenario „Net Zero 2050“ (1,5 °C) im Jahr 2021 anfänglich stärker betroffen sowohl als der Rest des jeweiligen Finanzsektors in diesem Anstiegsszenario als auch zu sich selbst im „Current Policies“-Szenario. Es gilt hier auch wieder, dass die Interpretierbarkeit der mittel- bis langfristigen Entwicklungen aufgrund der statischen Bilanzannahme der Finanzintermediäre eingeschränkt ist. Außerdem sind die Wertentwicklungen in nominalen Werten berechnet. Dies führt dazu, dass die potentiellen Gewinndifferenzen ab dem Jahr 2040 real geringer ausfallen würden.

Im *Fondssektor* sind die größten modellierten Verluste der drei Finanzsektoren zu verzeichnen. Insbesondere nimmt die Spreizung auch relativ am Stärksten zu. Die Portfoliowerte des Fonds, dessen Verluste nur von 5 % der Fonds überschritten werden (5 %-Perzentil), brechen bis Mitte der 2020er Jahre um rund 25 % ein. Dies ist ca. um den Faktor 3,5 größer als der gewichtete Mittelwert, während im Banken- und Versicherungssektor nur Faktoren von jeweils ca. 2 erreicht werden.

Die Verluste von rund 600 Fonds sind größer als das 5 %-Perzentil. Unter diesen finden sich insbesondere Aktienfonds oder gemischte Wertpapierfonds, die Aktien halten und von einer Erhöhung des CO₂-Preises am stärksten betroffen sind. Diese am stärksten von der schnelleren Transition betroffenen Fonds verwalten zwar aggregiert lediglich 65 Mrd € bzw. 3 % des gesamten Nettofondsvermögens deutscher Fonds. Gleichwohl entfallen auf dieses Subsegment bis zu 18 % der durch die schnellere Transition verursachten zusätzlichen potentiellen Verluste. Insbesondere in den zwanziger Jahren verzeichnen diese Fonds im Mittel Portfolioverluste von mehr als 30 % verglichen mit dem Referenzszenario „Current Policies“ (3 °C).

⁴⁹ Es wird hier der modellierte Portfolioverlust des Finanzintermediärs berichtet, der das 50%-Perzentil repräsentiert, also jeweils die Hälfte der Finanzintermediäre sowohl weniger als auch mehr Verluste realisieren.

Auch bei diesen Fonds zeigt sich allerdings in den Folgejahren eine deutliche Wertaufholung gegenüber dem Referenzszenario.

Im *Bankensektor* ist die Differenz der potenziellen Verluste zwischen am stärksten (5 %-Perzentil) und am wenigsten stark betroffenen Banken (95 %-Perzentil) Mitte der zwanziger Jahre mit 3,1 Prozentpunkten am höchsten.⁵⁰ Im Bankensektor verzeichnen weniger Transitionsrisiken betroffene Institute ab Mitte der zwanziger Jahre Portfoliogewinne.

Die Portfolioverluste, die nur von 5 % der Versicherer überschritten werden (5 %-Perzentil), belaufen sich auf etwa 14 % bis Mitte der zwanziger Jahre im Vergleich zu dem Referenzszenario. Die am stärksten betroffenen Versicherer können bis Ende des Betrachtungszeitraums in eine vergleichbare potentielle Verlustsituation kommen wie im Referenzszenario, während die Versicherer mit den größten Zugewinnen sogar ähnlich hohe Gewinne im Jahr 2050 erzielen wie die Verluste der am stärksten betroffenen Versicherer Mitte der zwanziger Jahre. Größere Versicherer sind ebenfalls tendenziell stärker von einer schnelleren Transition betroffen, zunächst durch höhere Verluste, später durch höhere Gewinne.

Ähnlich den Marktrisiken im Bankensektor sind die potentiellen Verluste bei den **Kreditrisiken** beim 5 %-Perzentil im Vergleich zum gewichteten Mittelwert ungefähr doppelt so hoch, wenn Anstiegs- und Referenzszenario verglichen werden (Abbildung 16). Im 95 %-Perzentil liegt der relative potentielle Verlust im Anstiegs- im Vergleich zum Referenzszenario nahe Null. Eine Spreizung der potentiellen Verluste über Einzelbanken hinweg ist demnach vorhanden.

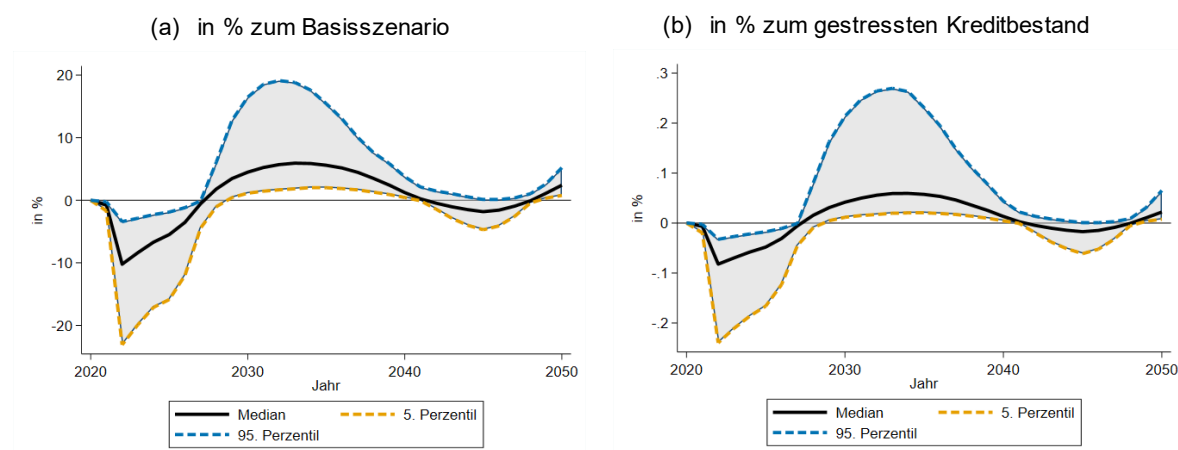


Abbildung 16 Verteilung potentieller Kreditverluste im Bankensystem nach Quantilen bei einem starken Schock für das Finanzsystem, d.h. bei einem unerwarteten Wechsel vom Referenzszenario „Current Policies“ ins Anstiegs-szenario „Net Zero 2050“

⁵⁰ Der Klimastresstest der Niederländischen Zentralbank weist sogar noch geringere Unterschiede zwischen den Banken aus. Hier wurden 2019 Verluste zwischen 1% und 3% verzeichnet. Vgl. Vermeulen et al. (2019).

5.4 Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit externen Studien zu klimabedingten Risiken

Die Ergebnisse sind sowohl in der Breite der Sektoren als auch bzgl. der jeweils abgedeckten Finanzinstrumente als umfassend einzustufen, auch im Vergleich zu anderen Studien.

Hinsichtlich der Marktrisiken ist das moderate Verlustergebnis für den *deutschen Bankensektor* im Einklang stehend beispielsweise mit dem Klimastresstest der niederländischen Zentralbank, die 2019 bei vergleichbaren Rahmenbedingungen einen ähnlich niedrigen Bankenstress ermittelten.⁵¹ Dieser bewegt sich zwischen 1-3 % der Bilanzaktiva.

Für den *deutschen Fondssektor* sind die im Rahmen dieser Analysen hergeleiteten Ergebnisse qualitativ konsistent mit den Arbeiten des Europäischen Systemrisikorats (European Systemic Risk Board, ESRB), der Europäischen Wertpapier- und Marktaufsichtsbehörde (European Securities and Markets Authority, ESMA) und der Europäischen Zentralbank (EZB). In Klimanalysen des ESRB zeigt sich das Portfolio europäischer Investmentfonds ebenfalls etwas verwundbarer als die Portfolios europäischer Versicherer und Banken.⁵² Der ESRB schätzt rund 7-8 % der Wertpapieranlagen europäischer Investmentfonds als klimasensitiv ein. Allerdings beruhen diese Ergebnisse auf einer methodisch einfacheren Exposure-Analyse basierend auf einer Liste mit verwundbaren NACE-Sektoren. Die ESMA schätzt, dass rund 5% der Fondsanlagen von einer abrupten Verschärfung der Klimapolitik betroffen wären, siehe ESMA (2021). Auch Arbeiten der EZB kommen zu dem Ergebnis, dass europäische Fonds ein signifikantes Exposure hin zu klimasensitiven Sektoren haben.⁵³ So unterliegen rund 22 % der von europäischen Fonds gehaltenen Vermögenswerte Transitionsrisiken. Konsistent mit unseren Ergebnissen schwankt auch die Verwundbarkeit europäischer Fonds gegenüber Transitionsrisiken stark in der Querschnittsbetrachtung. Auch diese Werte sind allerdings lediglich Exposures und quantitativ nicht mit den in diesem Papier diskutierten Werten vergleichbar.

Die Arbeiten anderer Institutionen im Versicherungssektor sind grundsätzlich konsistent mit den im Rahmen der hier durchgeführten Analysen abgeleiteten Ergebnisse. EIOPA schätzt, dass die Portfolios deutscher Versicherer in einem mit dem hier verwendeten Anstiegsszenario vergleichbaren Szenario knapp über 6 % an Wert verlieren.⁵⁴ Auch EIOPA findet die größten Verluste bei Aktien. Diese sind für alle untersuchten Versicherer im Aggregat 16,7 % gemessen am gesamten Portfolio. Die potentiellen Verluste der im Rahmen dieses Berichts durchgeführten Analyse sind mit einer Höhe von bis zu 5 % bei Aktien vergleichsweise niedrig.

⁵¹ Vgl. Vermeulen et al. (2019). Der Stresstest ist auch aufgrund der ähnlichen Methodik als vergleichbar einzustufen. Er ist zwar mit fünf Jahren Zeithorizont deutlich kürzer, aber die maximalen potentiellen Verluste treten auch in ähnlicher zeitlicher Struktur nach ca. drei bis vier Jahren auf. Der kürzere Horizont des niederländischen Stresstests wird durch den unmittelbar eintretenden und damit anfänglich höheren CO₂-Preisschock und das leicht höhere Exposure der Banken in die fossile Realwirtschaft kompensiert. Es werden ebenfalls nur transitorische Risiken betrachtet und die Szenariokonstruktion erfolgt unter Nutzung des makroökonomisch-finanziellen Modells NiGEM und einer Verteilung der Schockstärke entsprechend der CO₂-Intensität im Rahmen eines sektoralen Modells. Insgesamt kann deshalb von einer hohen Vergleichbarkeit der Ergebnisse ausgegangen werden.

⁵² Vgl. [ESRB \(2020\)](#).

⁵³ Vgl. hierzu ESRB (2021).

⁵⁴ Vgl. [EIOPA \(2020\)](#). Die Methodik von EIOPA unterscheidet sich von der hier verwendeten. So wird beispielsweise mit Hilfe des PACTA-Tools bei Aktien und Unternehmensanleihen die Karbonintensität gelisteter Wertpapiere geschätzt. Die Abdeckung ist dadurch niedriger als in der hier vorgestellten Analyse. Für Deutschland werden nur rund 45% der Unternehmensanleihen untersucht, bei Aktien sogar nur knapp 5%, da der größte Teil Beteiligungen sind, die ebenfalls nicht in PACTA enthalten sind.

Die niederländische Zentralbank hat demgegenüber berechnet, dass die gesamten potentiellen Verluste für niederländische Versicherer 11 % im Szenario eines sog. Doppelschock-Szenarios betragen.⁵⁵ Dieser setzt sich aus einem Politikshock und einem Technologieschock zusammen. Es kommt zu einem Anstieg des CO₂-Preises auf 100\$ pro Tonne CO₂ und zu Durchbrüchen bei Technologien, die den CO₂-Verbrauch mindern.⁵⁶ Es zeigt sich, dass für niederländische Versicherer der eintretende Zinseffekt von sehr großer Bedeutung für die Wertverluste bei den Aktiva ist. Von den am Gesamtportfolio gemessenen Verlusten von 11 % im Doppelschock-Szenario gehen 9 Prozentpunkte auf den Zinseffekt zurück. Lediglich die restlichen 2 Prozentpunkte ergeben sich aus den Effekten bei den Exposures.

Im Rahmen der Analyse der Kreditrisiken im Bankensektor bieten sich als Vergleich die Ergebnisse des Stresstests der EZB/ESRB-Gruppe zu Klimarisiken für die gesamte EU an.⁵⁷ Die im Rahmen der hier durchgeführten Kreditrisikoanalyse hergeleiteten potentiellen Verluste fallen deutlich geringer aus. Während die ermittelten Kreditverluste auf ca. 0,1 % des gestressten Kreditbestandes anwachsen können, sind die Verluste beim EZB/ESRB Stresstest im Vergleich der beiden Szenarien „Hot House World“ und „Disorderly“ mit ca. -0,15 % – also relativen Gewinnen – der risikogewichteten Aktiva ähnlich niedrig, aber mit unterschiedlichem Vorzeichen. Dies liegt an dem unterschiedlichen Fokus des Stresstests, der nur die Vermögenswerte in 2050 mit denen in 2019 vergleicht und dabei explizit die physischen Klimarisiken einbezieht. Diese fallen aufgrund der unterschiedlichen geographischen Abdeckung im EZB/ESRB-Stresstest höher aus. Auch die Szenariowahl unterscheidet sich. Darüber hinaus sind die Exposures in direkt und indirekt von Transitionsrisiken betroffene Sektoren im deutschen Bankensektor sehr gering und damit nur eingeschränkt vergleichbar. Zudem kann der Vergleich von Finanzintermediärsbilanzen über einen 30-jährigen Zeitraum ohne bilanzstrukturelle Anpassungsmaßnahmen explizit zu berücksichtigen die Aussagekraft der Ergebnisse einschränken.

Zusammenfassend sind die ermittelten potentiellen Verwundbarkeiten als eher moderat im internationalen Vergleich einzustufen.

5.5 Diskussion möglicher Auswirkungen von Unsicherheit

Aufgrund der Komplexität der Vorhersage klimatischer und ökonomischer Entwicklungen besteht eine erhebliche Unsicherheit darüber, welche Klimaszenarien in Zukunft eintreten werden. Dies stellt die Szenarioauswahl und Festlegung eines Referenz- und Anstiegsszenarios vor große Herausforderungen. Bereits bei der Einschätzung der heutigen Erwartungen der Marktakteure, also bei der Auswahl des Referenzszenarios, besteht große Unsicherheit. Bei der Einschätzung welches Referenzszenario plausibel ist, müssten z.B. Informationen darüber

⁵⁵ Vgl. [DNB \(2018\)](#).

⁵⁶ Die Szenarien sind auf fünf Jahre angelegt. Die niederländische Zentralbank benutzt ebenfalls NiGEM. Sie rechnet vorab CO₂-Preis-Pfad in äquivalente Preispfade für fossile Brennstoffe um und simuliert dann endogen die Entwicklungen für BIP, harmonisierten Verbraucherpreisindex und 10-Jahreszins.

⁵⁷ Vgl. [ESRB \(2021\), S. 74-74](#).

vorliegen, welche zukünftigen Verluste („Stranded Assets“) bereits in die heutigen Vermögenswerte eingepreist sind. Ebenso müssten bereits durchgeführte (antizipierte) strukturelle Anpassungen aufgrund erwarteter Klimapolitikänderungen bekannt sein. Auf Basis dieser Informationsgrundlage könnte ein Referenzszenario bestimmt werden.⁵⁸

Das Ausmaß dieser Unsicherheit kann jedoch in einer ersten Annäherung abgeschätzt werden. Bei der Definition des Finanzschocks wird hierzu jeweils das Referenzszenario ausgetauscht. Während in den bisherigen Analysen das „Current Policies“-Szenario als Referenzszenario diente, wird dieses nachfolgend durch das höhere Klimaschutzziele verfolgende „Below 2 °C“-Szenario ersetzt. Der durch eine unerwartete und schnellere Transition bedingte zusätzliche Finanzsystemschock ist somit geringer, wenn von einem Referenzszenario mit höheren Klimaschutzzielen, d.h. höheren Emissionsreduktionszielen, ausgegangen wird. Dies liegt daran, dass ausgehend von einem Szenario mit bereits höheren Klimaschutzzielen, die zusätzlichen klimabedingten Risiken und daraus potentiell entstehende Kosten kleiner sind, um ein mit sehr hohen Klimaschutzzielen verbunden „Net Zero 2050“-Szenario zu erreichen. Insbesondere ist hier interessant, wie groß der Abstand zwischen den beiden potentiellen Verlustkurven der „Net Zero 2050“-Szenarien und dem damit verbundenen Finanzsystemschock ist (s. Abbildung 17). Die untere Kurve bildet den bereits bekannten starken Finanzsystemschock und die resultierenden potentiellen Verwundbarkeiten der vorangegangenen Analysen ab. Dazu wurden die Klimaszenarien „Net Zero 2050“ (1,5 °C) und „Current Policies“ (3 °C) zur Finanzsystemschockerzeugung genutzt. Die obere Kurve bildet die potentiellen Verwundbarkeiten ab, die aus der Wahl eines Referenzszenarios mit bereits höheren Klimaschutzzielen und dazu passenden höheren CO₂-Preis-Pfaden („Below 2 °C“) besteht.

⁵⁸ Die gleichen Probleme treten in ähnlicher Form hinsichtlich des Anstiegsszenarios auf. An dieser Stelle soll Anstiegsszenario jedoch unverändert bleiben, da es das Szenario ist, das die größten potentiellen Verwundbarkeiten der Finanzstabilität im Rahmen der SSP2-Szenarien offenlegen kann.

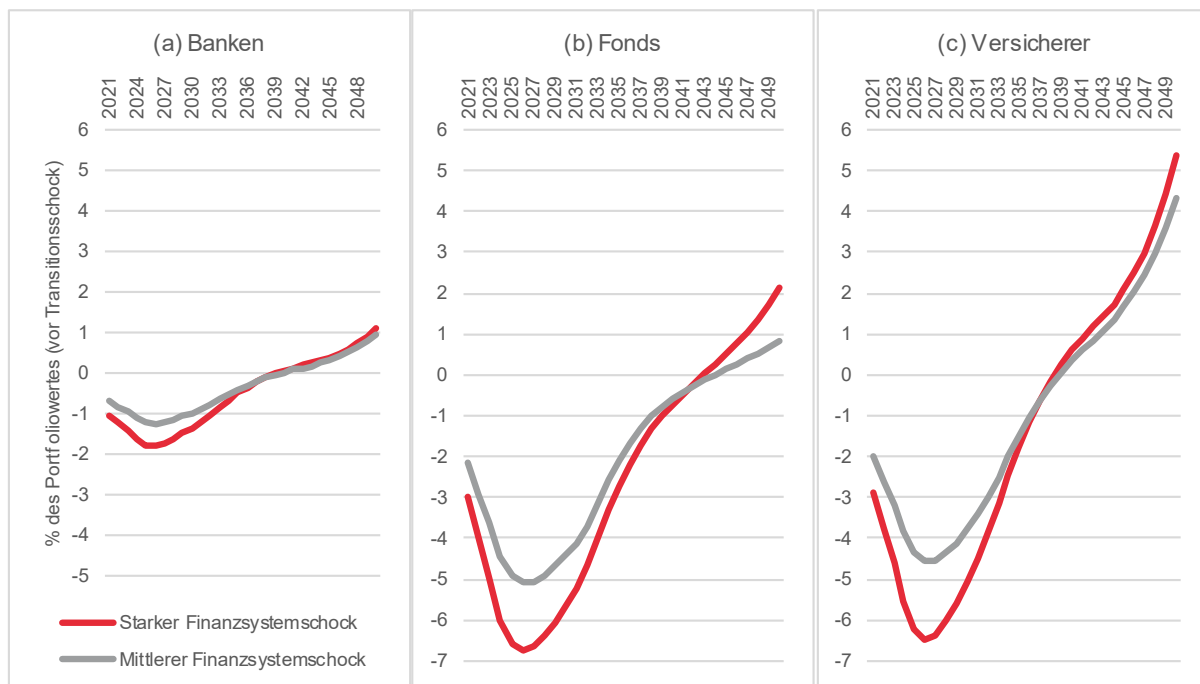


Abbildung 17 Potentielle Portfolioverluste der deutschen Finanzintermediäre unter Unsicherheit über das Referenzszenario bei einem starken vs. mittlerem Schock für das Finanzsystem.

Bei der gemeinsamen Betrachtung der Marktrisiko-Ergebnisse wird deutlich, dass die potentiell entstehenden Verluste des Finanzsystems durch klimabedingte Transitionsrisiken erheblich geringer sind, wenn bereits von einem Referenzszenario mit höheren Klimaschutzziele ausgegangen wird. Die potentiellen Verwundbarkeiten sinken über alle Finanzsektoren umca. ein Viertel bis ein Drittel. Dennoch sind auch bei einem mittlerem Finanzsystemschock, d.h. mit einem Referenzszenario mit höheren Klimaschutzziele, dem „Below 2 °C“-Szenario, weiterhin Verluste, jedoch auf niedrigerem Niveau, vorhanden.

Der Verlauf der Abweichungen ist über alle Finanzsektoren sehr ähnlich. Die Abweichungen nehmen mit größeren potentiellen Verwundbarkeiten ebenfalls zu. Dies ist naheliegend: Die Abweichungen hängen in allen Szenarien unmittelbar von der Höhe der CO₂-Preis-Pfade ab, die modellierten Verluste treiben, und somit auch proportional zu diesen zunehmen bzw. abnehmen.

Die Analyse des Kreditrisikos deutscher Banken bestätigt die gewonnenen Erkenntnisse. Auch hier kann die vorherrschende Unsicherheit zu Abweichungen bei den errechneten Verlusten führen (Abbildung 18).

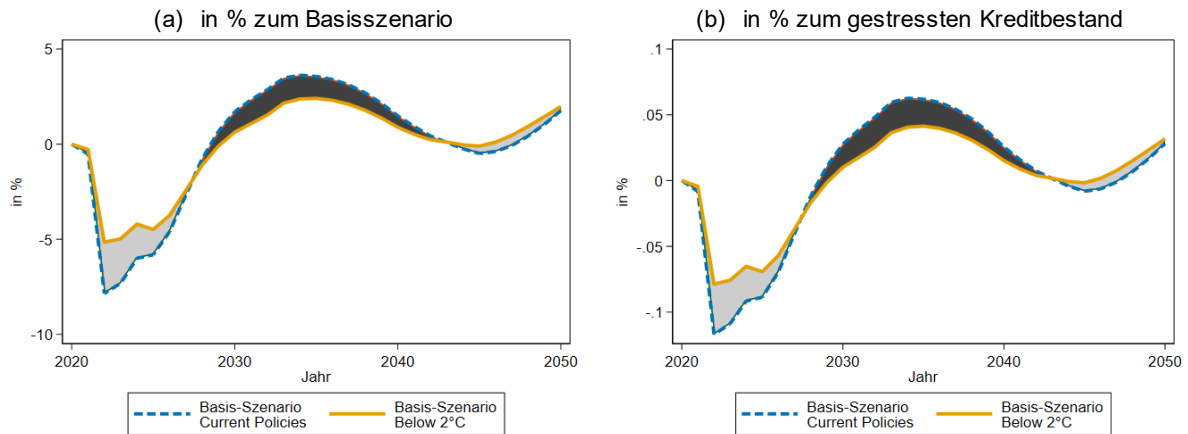


Abbildung 18 Potentielle Kreditverluste im Bankensystem unter Unsicherheit über das Referenzszenario bei einem starken vs. mittlerem Schock für das Finanzsystem.

Einschränkend bleibt hier anzumerken, dass es sich bei den hier quantifizierten Effekten von Unsicherheit weder um eine obere, noch um eine untere Schranke handelt. Das spezifische Charakteristikum von Unsicherheit ist, dass keine Information über die Verteilung und damit die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Entwicklungen vorliegt. Somit kann nicht nur keine glaubwürdige obere oder untere Schranke, sondern auch keine Prognose im Sinne einer wahrscheinlichsten Entwicklung vorgenommen werden. Zusätzlich zu der hier beispielhaft vorgenommenen Quantifizierung von Unsicherheit können zahlreiche weitere Parameter, die zur Szenariokonstruktion genutzt wurden, für eine noch größere Unsicherheit über klimabedingte Risiken verantwortlich sein und dadurch größere Abweichungen in der Quantifizierung von potentiellen Verwundbarkeiten verursachen. Diese können die hier geschätzten maximalen potentiellen Verwundbarkeiten auch vergrößern.

6 Herausforderungen der Klimaszenario- und Finanzsystemschockkonstruktion

Die vorgestellte Methodik beinhaltet die Nutzung einer Reihe von hintereinander geschalteten Modellen. Dies beginnt mit integrierten Bewertungsmodellen, welche mit verschiedenen Klimazielen konsistente CO₂-Preispfade unter eine Reihe von Annahmen bzgl. der sozioökonomischen globalen Entwicklung generieren. Die CO₂-Preispfade werden anschließend über Makro- und Finanzmarktmodelle in Wertanpassungen der vom deutschen Finanzsektor gehaltenen Wertpapiere übersetzt. Diese werden über verschiedene Intermediäre und Sektoren aggregiert um die Sensitivität des deutschen Finanzsektors gegenüber plausiblen CO₂-Preispfaden zu bestimmen.

Auch wenn die vorliegende Methodik einen erheblichen Beitrag dazu leistet, die Implikationen von CO₂-Preisen für das deutsche Finanzsystem zu beschreiben und quantifizieren, müssen eine Reihe von Einschränkungen der vorliegenden Analyse erwähnt werden.

Unsere Analyse von Risiken aus möglichen CO₂-Preispfaden deckt per Konstruktion nicht die gesamte Bandbreite an möglichen Transitionsszenarien und -risiken ab. So können neben der Bepreisung von Treibhausgasemissionen unter anderem auch technologische Durchbrüche und Veränderungen der Konsumpräferenzen Transitionsschocks auslösen und zu Neubewertung von finanziellen Werten führen.

Hinsichtlich der Risiken aus CO₂-Preisen decken die verwendeten NGFS-Szenarien lediglich monoton-steigende Preisverläufe ab. Mögliche politische Kurswechsel, welche angekündigte CO₂-Preispfade umkehren, grüne Subventionen zurückfahren oder die sektoralen Belastungen entscheidend umverteilen, können zu erheblichen Mehrbelastungen und somit auch finanziellen Verwerfungen führen, wie beispielsweise das Platzen "grüner Blasen". Die Relevanz dieses Punktes wird unterstrichen durch die mehrmaligen Kurswechsel in der deutschen Atompolitik der letzten 20 Jahre.

Der Klimawandel ist zudem, anders als bei lokaler Umweltverschmutzung, ein globales Phänomen, das maßgeblich von der Summe der weltweiten Emissionen abhängt. Verursacher und Geschädigte sind geographisch oft in unterschiedlichen Staaten mit unterschiedlichen Rechtssystemen verortet. Allerdings leiden die internationalen Verhandlungen oftmals unter Trittbrettfahrerverhalten, welche die Einigung auf wirksame und glaubwürdige Klimaschutzmaßnahmen erschweren. Dies kann zu unsicheren Transitionspfaden und den damit verbundenen finanziellen Risiken führen. In unserer Analyse abstrahieren wir von dieser Unsicherheit und gehen von einer global einheitlichen Klimapolitik aus.

Die vorliegende Analyse beschränkt sich daher auf die Risiken aus monoton steigenden, globalen CO₂-Preisverläufen. Doch auch diesbezüglich bestehen erhebliche Unsicherheiten, welche auf die verwendeten Modelle und deren Kalibrierung zurückzuführen sind. So übersetzen die integrierten Bewertungsmodelle vorgegebene Klimaziele in globale CO₂-Preisszenarien, verwenden dabei aber Annahmen hinsichtlich der Klimasensitivität sowie der in der Wirtschaft anfallenden Emissionsvermeidungskosten. Beide Aspekte können nicht hinreichend genau bestimmt werden und unterliegen damit einer großen Unsicherheit. Durch die Verwendung verschiedener integrierter Bewertungsmodelle kann diese Unsicherheit jedoch teilweise mit abgebildet werden. Auch das verwendete Makromodell NiGEM, das Sektorenmodell, sowie die Finanzmarktmodelle weisen Unsicherheiten bzgl. der Parametrisierung auf. So ist NiGEM, sowie das Markt- und Kreditrisikomodell basierend auf den historischen Zusammenhängen der modellierten Variablen geschätzt. Zentrale Parameter des Sektorenmodells, die Substitutionselastizitäten zwischen fossilen und nicht-fossilen Energieträgern, beruhen ebenso auf Schätzungen historischer Daten. Die Evaluierung vorwärtsgerichteter Szenarien mittels historisch geschätzten Modellen stellt daher eine Limitierung des Analyserahmens dar. Zu beachten ist dabei, dass durch jedes zusätzliche Modell in der Modellkette die Unsicherheit der Gesamtanalyse verstärkt wird, da die Ergebnisse eines Modells auf den Ergebnissen und Ungenauigkeiten des vorangehenden Modells aufbauen.

Zusätzlich ist eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich einzelner interessierender Parameter nur sehr eingeschränkt möglich. Dies würde in der Regel eine gleichzeitige Neusimulation und -kalibrierung aller im Analyserahmen verwendeten Modelle notwendig machen und läuft der Idee der globalen Standardisierung von Klimaszenarien und integrierten Bewertungsmodellen, welche vom NGFS verfolgt wird, zuwider. Gleichzeitig sind Rückkopplungswirkungen von nachgelagerten auf vorgelagerte Modelle nicht darstellbar. Dies hat insbesondere zu Folge, dass die in der ökonomischen Sphäre angesiedelten möglichen komplexeren als in Klimamodellen dargestellten Reaktionen aus dem Zusammenspiel der wirtschaftlichen Akteure keine Rückkopplungswirkungen auf die Klimamodelle selbst entfalten können. Weiterhin können die in den Klimamodellen implizit unterstellten Annahmen zu Reaktionen auf späteren Stufen nur eingeschränkt variiert werden. Eine große Wechselwirkung mit Variablen, die auch in vorgelagerten Modellen verwendet werden, würde dann mit einer abnehmenden Konsistenz in diesen vorgelagerten Modellen erkaufte werden und letztlich auch zulasten der Konsistenz der konstruierten Szenarien gehen. Selbst vor den hier im Vordergrund stehenden kurzfristigen Analysehorizonten ist dies bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Bei längerfristigen Analysehorizonten können beispielsweise variabel gestaltbare Innovationsanreize (unabhängig von der allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung), Akzeptanzunterschiede, die Ausgestaltung und dynamische Reaktionen des Finanzsystems oder das Überschreiten von Kippunkten der Erderwärmung sowie Extremwetterereignisse und damit verbundene Reaktionen in der Gesellschaft erhebliche Rückkopplungseffekte auf die Klimamodellannahmen und damit -ergebnisse haben. Dies ist nicht Teil des gewählten Modellrahmens.

Zu guter Letzt ist als Einschränkung der vorliegenden Analyse die Annahme statischer Bilanzen der untersuchten Finanzintermediäre zu nennen. Hierbei sind zwei Aspekte relevant. Erstens werden die ermittelten Wertverluste in den Szenarien direkt in die Bilanzen gespiegelt, stellen damit also lediglich Erstrundeneffekte dar. Eventuell finanzstabilitätsrelevante Zweitrundeneffekte werden somit nicht berücksichtigt. Diese können durch die Vernetzung der untersuchten Finanzakteure (über Ansteckung) oder ihre Systemrelevanz (Größe, Substituierbarkeit) verursacht werden, sowie aus der Ähnlichkeit der Exposure der Finanzteilnehmer, welche zu Notverkäufen führen können. Diese Zweitrundeneffekte können daher die in unserem Analyserahmen berechneten direkten Verluste zusätzlich verstärken. Zweitens und insbesondere angesichts des langen Zeithorizonts der vorliegenden Analyse impliziert die Annahme statischer Bilanzen, dass es zu keinen Umwälzungen der Positionen der Finanzteilnehmer kommen wird. So können Banken beispielsweise die Kreditvergabe an transitionssensitive Sektoren reduzieren oder einstellen sobald CO₂-Preise tatsächlich substantiell erhöht werden. Die tatsächlichen Verluste würden sich dadurch relativ zu den hier vorgestellten Ergebnissen tendenziell verringern. Andererseits wird es bei einer schlagartigen Markterwartungskorrektur unmöglich sein, Eigenkapitalwerte rechtzeitig und in großem Umfang ohne Verluste zu verkaufen. Nur der systematische Umbau des Portfolios rechtzeitig vor dem Transitionsschock kann daher die Verluste reduzieren.

7 Zusammenfassende Würdigung

Dieses Dokument beschreibt Methodik, Datenbasis und Ergebnisse der Analyse von klimabezogenen Transitionsrisiken der Deutschen Bundesbank für den Stabilitätsbericht 2021.

Der zentrale Beitrag besteht in der Ableitung von potentiellen Portfolioverlusten der Finanzintermediäre aus Klimaszenarien, die auf konsistenten Annahmen beruhen und in weltweiter Zusammenarbeit im Rahmen des NGFS entstanden sind. Die nachgelagerte Verwendung von quantitativen Modellen erlaubt die Ergänzung um eine reichere ökonomische Variablenlandschaft und die Disaggregation der Klimamodelleffekte entlang geografischer und realwirtschaftlich-sektoraler Trennlinien. Erst die Disaggregation dieser globalen Klimamodell-Effekte ermöglicht die differenzierte Herleitung von Effekten auf Finanzinstrumente und die Portfolien der Finanzintermediäre.

Die umfassende Datenbasis eröffnet die Möglichkeit, repräsentative Effekte für das deutsche Finanzsystem herzuleiten. Dies schließt einerseits die Herleitung der realwirtschaftlichen und makroökonomischen Effekte in einem globalen Rahmen und andererseits die umfassende Berücksichtigung der Portfolien deutscher Finanzintermediäre ein. Die Portfolioverluste sind im Aggregat betrachtet im unteren bis mittleren einstelligen Prozentbereich, jedoch sind einzelne Finanzintermediäre deutlich stärker betroffen. Die untersuchte Unsicherheit bezüglich des Basiszenarios hat erhebliche Auswirkungen auf die potentiellen Verluste der Finanzintermediäre.

Literaturverzeichnis

BCBS (2006). International convergence of capital measurement and capital standards. Basel Committee on Banking Supervision.

Bruno, G., (2005a), Approximating the bias of the LSDVC estimator for dynamic unbalanced panel data models. *Economics Letters* 87, 361–366.

Bruno, G., (2005b), Estimation and inference in dynamic unbalanced panel-data models with a small number of individuals. *Stata Journal* 5, 473–500.

De Nederlandsche Bank, DNB (2018), “An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands”.

Deutsche Bundesbank (2019), “Extrapolated results from financial statements of German enterprises from 1997 to 2018”.

Dang, V., Kim, M., Shin, Y., (2015), In search of robust methods for dynamic panel data models in empirical corporate finance. *Journal of Banking and Finance* 53, 84–98.

Deutsche Bundesbank (2017), Finanzstabilitätsbericht.

Deutsche Bundesbank (2021), Finanzstabilitätsbericht.

European Central Bank (2017), “Stress Test Analytics for Macroprudential Purposes in the Euro Area”, edited by Stéphane Dees, Jérôme Henry and Reiner Martin.

European Insurance and Occupational Pension Authority (2020), Sensitivity analysis of climate-change related transition risks.

European Systemic Risk Board (2020), *Positively Green: Measuring Climate Change Risks to Financial Stability*.

European Systemic Risk Board (2021), “Climate-related risk and financial stability”.

ESMA (2021), “Report on Trends, Risks and Vulnerabilities”, No. 1, 2021.

Frankovic, I. (2021), “The impact of carbon pricing in a multi-region production network model and an application to climate scenarios”, Bundesbank Technical Papers.

Fricke, D. and Wilke, H. (2021), *Connected Funds*, SSRN Working Paper.

Friewald, N., Wagner, C., and Zechner, J. (2014), „The Cross-Section of Credit Risk Premia and Equity Returns“, *Journal of Finance* Vol. 69 (6), 2419-2469.

Furukawa, K., Ichiue, H., Shiraki, N. (2020). How Does Climate Change Interact with the Financial System? A Survey. Bank of Japan. Working Paper. No.20-E-8. Tokio

Giglio, S., Kelly, B.T., Stroebe, J. (2020), Climate Finance, National Bureau of Economic Research. NBER Working Papers 28226. Cambridge MA.

Gross, C., Jarmuzek, M., and Pancaro, C. (2021), “Macro Stress Testing Dividend Income: Evidence from Euro Area Banks”, *Economics Letters* 201.

Hantzsche, A., Lopresto, M., and Young, G. (2020), “Using NiGEM in uncertain times: Introduction and overview of NiGEM”, *National Institute Economic Review* Vol. 224.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018), Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, October 2018.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2021), Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

Kiviet, J., 1995. On bias, inconsistency, and efficiency of various estimators in dynamic panel data model. *Journal of Econometrics* 68, 53–78.

Memmel, C., Gündüz, Y., and Raupach, P. (2015), „The Common Drivers of Default Risk“, *Journal of Financial Stability* Vol. 16, 232-247.

Memmel, C., und Røling, C. (2021), „Risiken im Unternehmenskreditgeschäft inländischer Banken“, Bundesbank Technical Paper.

NGFS (2021a), “NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors”, Link: https://www.ngfs.net/sites/default/files/medias/documents/ngfs_climate_scenarios_phase2_june2021.pdf

NGFS (2021b), "NGFS Climate Scenarios Database Technical Documentation", Link: https://www.ngfs.net/sites/default/files/ngfs_climate_scenarios_technical_documentation_phase2_june2021.pdf

Papke, L. E., and Wooldridge, J.M. (2008), "Panel data methods for fractional response variables with an application to test pass rates", *Journal of Econometrics* Vol. 145, 121-133.

Tente, N., von Westernhagen, N., Slopek, U. (2019), „M-PRESS-CreditRisk: Microprudential and Macroprudential Capital Requirements for Credit Risk under Systemic Stress“, *Journal of Money, Credit and Banking* Vol. 51 (7), 1923-1961.

Vermeulen, R., E. Schets, M. Lohuis, B. Kölbl, D. Jansen, W. Heeringa (2019): „The Heat Is on: A Framework for Measuring Financial Stress Under Disruptive Energy Transition Scenarios“, DNB Working Paper, No 625.