

Waldinger, Maria; Wintersteller, Franziska

**Article**

## Wirtschaftliche Effekte langfristigen Klimawandels: Lehren aus der Kleinen Eiszeit

ifo Schnelldienst

**Provided in Cooperation with:**

Ifo Institute – Leibniz Institute for Economic Research at the University of Munich

*Suggested Citation:* Waldinger, Maria; Wintersteller, Franziska (2022) : Wirtschaftliche Effekte langfristigen Klimawandels: Lehren aus der Kleinen Eiszeit, ifo Schnelldienst, ISSN 0018-974X, ifo Institut - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München, München, Vol. 75, Iss. 05, pp. 39-44

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/263813>

**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.*

Maria Waldinger und Franziska Wintersteller

# Wirtschaftliche Effekte langfristigen Klimawandels: Lehren aus der Kleinen Eiszeit

Die Folgen des menschengemachten Klimawandels und die Notwendigkeit einer adäquaten Reaktion sind in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus des politischen Geschehens gerückt. Hitzewellen, Starkregen und andere Extremwetterereignisse haben in dieser Zeit stark zugenommen, und globale Durchschnittstemperaturen steigen aktuell schneller an als ursprünglich angenommen (EASAC 2018; Cheng et al. 2019). Eine der zentralen Aufgaben, um den zunehmenden Herausforderungen gerecht werden zu können, ist eine verlässliche Abschätzung der wirtschaftlichen Folgen.

In den letzten Jahren haben Ökonom\*innen wie Deschenes und Greenstone (2007; 2012), Dell et al. (2012), Burgess et al. (2013), Barreca et al. (2015) und Carleton et al. (2018) einen empirischen Ansatz entwickelt, um die ökonomischen Effekte des Klimawandels zu untersuchen. Hierfür verwenden sie jährliche Temperaturveränderungen und finden signifikante ökonomische Effekte derselben.

Um die ökonomischen Auswirkungen des Klimawandels besser einschätzen zu können, sind nicht nur kurzfristige Schwankungen interessant. Es ist besonders relevant, die Folgen von langfristigen Temperaturveränderungen zu verstehen. Haben diese ebenfalls starke ökonomische Effekte, oder passt sich die Bevölkerung an? Um diese Fragen zu beantworten, untersucht Waldinger (2022) die Kleine Eiszeit und ihre Auswirkung auf die Bevölkerungszahl von europäischen Städten zwischen 1600 und 1850. Sie nutzt hierfür einen Paneldatensatz von 2 120 Städten, den sie im Rahmen eines Regressionsmodells mit fixen Effekten auf Stadt- und Jahrebene analysiert.

Die Studie zeigt die Bedeutung der Landwirtschaft als Wirkungskanal von Temperaturveränderungen auf die wirtschaftliche Entwicklung von Städten in der Frühen Neuzeit. Im Folgenden werden die Daten und die Methode sowie die zentralen Ergebnisse der Arbeit vorgestellt. Zudem werden die möglichen Wirkungskanäle des Temperaturabfalls auf die Stadtgröße, wie beispielsweise eine verringerte Produktivität der Landwirtschaft, und potenzielle Anpassungsstrategien, wie den (See-)Handel und eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, untersucht.

## IN KÜRZE

**Aktuelle Studien finden immer wieder einen signifikanten wirtschaftlichen Effekt von kurzfristigen Temperaturveränderungen. Im Hinblick auf die aktuell zu beobachtende globale Klimaerwärmung ist es besonders wichtig zu verstehen, wie sich langfristige Temperaturveränderungen wirtschaftlich auswirken. Eine neue Studie untersucht anhand historischer Daten über die Bevölkerungszahlen und Durchschnittstemperaturen von 2 120 europäischen Städten in den Jahren 1600 bis 1850 die Effekte der Kleinen Eiszeit auf die Größe und wirtschaftliche Entwicklung europäischer Städte (Waldinger 2022). Während der Kleinen Eiszeit (1400–1900) sanken die Temperaturen in weiten Teilen Europas, und es kam vielerorts zu Ernteausfällen. Die Temperaturveränderung beeinflusste die wirtschaftliche Entwicklung durch ihre Wirkung auf landwirtschaftliche Produktivität und Sterblichkeit. Aufgrund der Dauer der Kleinen Eiszeit hatten Städte aber auch die Möglichkeit, sich an die Veränderungen anzupassen und so negative Folgen abzuschwächen. Städte, die Teil von großen Handelsnetzwerken waren, waren kaum von den negativen Effekten der Temperaturveränderungen betroffen.**

## DIE KLEINE EISZEIT

Die Kleine Eiszeit bezeichnet den Zeitraum zwischen 1400 und 1900. Dies war die letzte klimatische Periode vor Eintritt des heute zu beobachtenden rapiden Temperaturanstiegs. Die Durchschnittstemperaturen sanken von 1400 bis 1700 und stiegen ab 1700, im Verlauf des 19. Jahrhunderts, wieder auf die Ausgangstemperaturen an. In Europa fielen die jährlichen Durchschnittstemperaturen um 0,5 bis 1°C und somit an vielen Orten unter die für europäische Landwirtschaft optimale Temperatur (EEA 2012).<sup>1</sup> Historiker haben gezeigt, dass das kältere Klima der Kleinen Eiszeit mit einem Anstieg sozialer Unruhen, wie Hexenverbrennungen (Behringer 1999; Oster 2004),

<sup>1</sup> Waldinger (2022) beschränkt die Analyse auf Europa, das Phänomen der Kleinen Eiszeit wurde aber auch in Asien und Afrika beobachtet (bspw. Zhang et al. 2007; Cronin 2009; Parker 2013; Grove 2004).

und einem Sinken landwirtschaftlicher Erträge (Pfis- ter und Brázdil 2006) in Verbindung gebracht werden kann. Diese klimatische Veränderung war sowohl von einem Jahr zum anderen als auch langfristig spürbar. Das zeigt sich daran, dass Bauern eine Verschiebung in Blüte- und Erntezeiten bemerkten und dies auch in Aufzeichnungen größerer Gehöfte wieder zu finden ist (Behringer et al. 2005).

**EIN PANELDATENSATZ ÜBER 250 JAHRE FÜR 2 120 EUROPÄISCHE STÄDTE**

Die in der Studie verwendeten Daten sind zu einem Panel- datensatz für 2 120 europäische Städte zusammen- gesetzt worden. Dieser besteht zum einen aus jähr- lichen lokalen (für ca. 50 x 50 km Blöcke) und saison- alen Durchschnittstemperaturen ab dem Jahr 1500 (Luterbacher et al. 2004) und der Stadtgröße in den Jahren 1600, 1700, 1750, 1800 und 1850 (Bairoch 1988). Die Größe einer Stadt wird als Annäherung an ihre wirtschaftliche Entwicklung verstanden.

Die Temperaturdaten wurden anhand geologi- scher Gegebenheiten (Baumringe und Sedimente), historischer Aufzeichnungen und, in späteren Jahren, Messungen rekonstruiert (Luterbacher et al. 2004). Um die Daten zu kombinieren, werden für die Zeit- punkte, zu denen die Stadtgrößen verfügbar sind, die durchschnittlichen lokalen Temperaturen in den letzten 50 oder 100 Jahren zuvor berechnet. Die Tem- peraturentwicklung ist in Abbildung 1 zu sehen und verdeutlicht, wie unterschiedlich Städte von der Ver- änderung des Klimas betroffen waren.

80% der Städte im Sample erlebten Temperatur- abfälle im 16. und 17. Jahrhundert, für die übrigen Städte betrug die beobachtete Veränderung in etwa 0 Grad. Im Durchschnitt waren Städte, die eine starke Abkühlung erlebten, in anfänglich wärmeren Regionen gelegen und hatten ein stärkeres Wachstum erlebt. Sie waren weiter vom Meer entfernt, besser für den

Weizen- und Kartoffelbau geeignet und waren eher protestantisch. Ein positiver Effekt höherer Tempe- raturabfälle könnte theoretisch aufgrund dieser an- fänglichen Differenzen beobachtet werden, allerdings deuten die Ergebnisse einen gegenteiligen Effekt an: Stadtwachstum wurde durch relativ kältere Tempe- raturen verlangsamt.

**METHODE UND ZENTRALE ERGEBNISSE**

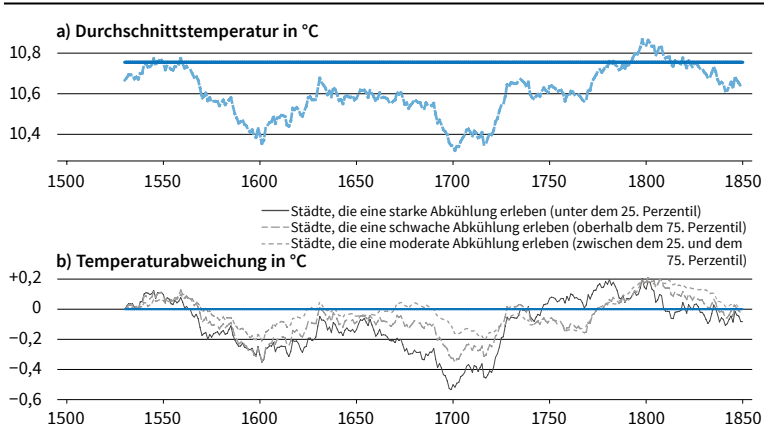
Die Untersuchung (Waldinger 2022), ob Wetterverän- derungen während der Kleinen Eiszeit die Stadtgröße beeinflussten, nutzt den Paneldatensatz von 2 120 eu- ropäischen Städten und führt Regressionen mit fixen Effekten auf der Stadt- und Jahresebene durch, die durch verschiedene historische und geografische Kon- trollvariablen erweitert werden. Die fixen Effekte auf dem Jahrlevel stellen in diesem Modell die Variation von Temperatur und Stadtgröße dar, die alle Städte im Sample gemeinsam haben. Die fixen Effekte auf dem Stadtlevel umfassen Charakteristika der Städte, die sich über die Zeit hinweg nicht verändern, beispie- lweise die Nähe zum Meer, Zugang zu Handelsstraßen oder permanente Bodenbeschaffenheit. Da wirtschaft- liches Wachstum in Europa nicht gleichmäßig verteilt war, werden die transatlantischen Handelsbeziehung einer Stadt, die Verbreitung des Protestantismus und ein mögliches Erbe aus der römischen Antike eben- falls berücksichtigt. Wären diese Faktoren nicht in das Modell eingebunden und wären mit den Temperaturschwankungen korreliert, würde dies zu Verzerrungen der Schätzungen führen. Die Annahme der Kausalität des Effekts von Temperaturveränderungen auf Stadt- gröÙe in diesem Modell beruht darauf, dass Tempe- raturentwicklungen mit keinen anderen Faktoren der Stadtgröße, als den in das Modell eingebundenen, korrelieren.

Einen ersten Hinweis auf den Zusammenhang zwi- schen Stadtgröße und Temperaturveränderungen gibt die grafische Untersuchung in Abbildung 2, die die Veränderung der Stadtgröße und die Veränderung der Durchschnittstemperatur in Grad Celsius abbildet. Der hier sichtbare positive Zusammenhang würde be- deuten, dass das Stadtwachstum in Europa durch die Kleine Eiszeit verringert wurde. Dies wird durch die nachfolgenden Ergebnisse bestätigt.

Die Standardfehler werden diesem Modell auf drei verschiedene Arten geschätzt: 1) Standardfehler, die sowohl zeitliche als auch geografische Korrelation berücksichtigen (ähnlich Conley 2008), 2) wechselseitig geclusterte Standardfehler auf dem Temperatur- grid- und dem Regionen-Jahr-Level und 3) Standard- fehler, die auf dem Temperaturgrid-Level geclustert wurden. Zusätzlich wird die Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Temperatur und Stadt- gröÙe überprüft und bestätigt, so dass ein lineares Modell geschätzt werden kann.

Das Modell kalkuliert den Effekt einer langfris- tigen Durchschnittstemperaturerhöhung um 1°C

Abb. 1 Temperaturveränderungen im Verlauf des Untersuchungszeitraums



Anmerkung: Panel a) zeigt die Durchschnittstemperatur im Verlauf des Untersuchungszeitraums. Die dunkelblaue Linie stellt die Durchschnittstemperatur zwischen 1900 und 1950 (im Anschluss an die Kleine Eiszeit, aber vor der aktuellen globalen Erwärmung) dar. Panel b) zeigt die Veränderungen im Langzeittemperaturdurchschnitt für drei Stadtgruppen im 17. Jahrhundert.

Quelle: Luterbacher et al. (2004); Berechnungen der Autorinnen.

© ifo Institut

auf die Stadtgröße, wenn alle Kontrollfaktoren fix gehalten werden. Die Ergebnisse zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen Temperatur und Stadtgröße und deuten somit darauf hin, dass der Temperaturabfall während der Kleinen Eiszeit eine negative Wirkung auf das Stadtwachstum hatte. Der Koeffizient deutet an, dass eine Absenkung der langfristigen Durchschnittstemperatur um 1°C die Stadtgröße um 70% verringert. Für die Interpretation ist es wichtig zu betonen, dass es sich um langfristige Veränderungen der Temperatur handelt, die signifikant geringer sind als die Temperaturdifferenz zwischen dem wärmsten und kältesten Jahr. Die stärkste langfristige Abkühlung, vom 16. ins 17. Jahrhundert, betrug 0,28°C. Diese Stadt würde über 100 Jahre hinweg eine temperaturbasierte Verkleinerung um 19,6% erleben. Eine Temperaturverringering um eine Standardabweichung verringerte die Stadtgröße über 100 Jahre hinweg um 5%.

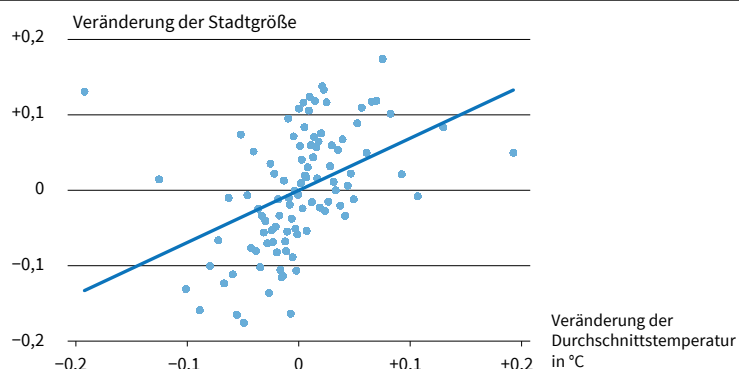
Das Modell nutzt die Größe der Städte als Annäherung an ihr Wirtschaftswachstum. Der genaue Zusammenhang von Stadtgröße und wirtschaftlichem Wachstum in der Frühen Neuzeit ist nicht bekannt. Allerdings zeigt Glaeser (1993) eine Korrelation zwischen Stadtgröße und Wirtschaftswachstum von 0,39 für amerikanische Städte zwischen 1960 und 1990. Unter Annahme eines ähnlichen Zusammenhangs im Europa der Frühen Neuzeit würde der geschätzte Effekt auf die Stadtgröße eine Verringerung des Wirtschaftswachstums um 27% bedeuten. Dieses Ergebnis ist ähnlich dem von Burke et al. (2015). Hier geht eine Temperaturveränderung von 1°C bis 2°C mit einer Veränderung des globalen BIP pro Kopf um 25% einher. Wenn die Temperatur bis 2100 um 4°C bis 5°C ansteigt, verringert dies das BIP pro Kopf für die 20 ärmsten Länder der Welt um 80%.

Im Folgenden wurden Robustheitstests durchgeführt.<sup>2</sup> Geografische Faktoren, die die Stadtgröße durch ihren Einfluss auf landwirtschaftliche Produktivität beeinflussen, werden mit fixen Effekten auf der Jahrebene interagiert, so dass sich ihr Einfluss über die Zeit verändern kann und nicht statisch ist. Der Anstieg des Koeffizienten deutet an, dass eine Temperatursenkung um eine Standardabweichung die Stadtgröße um 7,3% über 100 Jahre hinweg verringerte. Werden Haupt- und Küstenstädte, als Städte mit besonders hohem Wachstum, ausgeschlossen, bleiben die Ergebnisse robust. Die Ergebnisse sind auch stabil, wenn Ländereffekte berücksichtigt werden. Länder werden dabei als Länder im Jahr 1600 nach Nüssli (2016) definiert. Die linearen Ländereffekte stellen den Effekt dar, den beispielsweise die Institutionen eines Landes auf das Stadtwachstum haben. Die Interaktion mit fixen Effekten auf der Jahrebene prüft Faktoren auf dem Länderniveau, die sich mit der Zeit verändern können, beispielsweise wie offen ein Land für internationalen Handel ist.

<sup>2</sup> Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 in Waldinger (2022) dokumentiert.

Abb. 2

#### Veränderung der Durchschnittstemperatur vs. Veränderung der Stadtgröße



Anmerkung: Die Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen (residualisierten) Veränderung der Durchschnittstemperatur (in Grad Celsius) und (residualisierten) Veränderung der Stadtgröße (in Log Stadtgröße). Die Darstellung entspricht den Regressionsergebnissen in Spalte 2, Tabelle 2 in Waldinger (2022). Das Sample wurde in 100 gleich große Gruppen eingeteilt und die Durchschnittswerte der Stadtgrößenresiduen gegen die der Temperaturresiduen geplottet. Quelle: Berechnungen der Autorinnen. © ifo Institut

#### WIE WIRKEN TEMPERATURSCHWANKUNGEN AUF DIE GRÖSSE VON STÄDTEN?

Um den oben aufgedeckten Zusammenhang besser nachzuvollziehen, werden die Mechanismen, durch die die Kleine Eiszeit die Stadtentwicklung beeinflusst haben könnte, untersucht. Dies sind landwirtschaftliche Produktivität, Sterblichkeit und Migration.

In der europäischen Landwirtschaft ist Temperatur die wichtigste Determinante der Dauer der jährlichen Wachstumsphasen (Oelsen und Bindi 2002). Durch die Abkühlung in der Kleinen Eiszeit wurden Wachstumsphasen deutlich verkürzt (Aguado und Burt 2007). Ob diese Temperatursenkung auch die landwirtschaftliche Produktivität senkte, zeigt eine Überprüfung der Weizenertragsquoten und Weizenpreise (Waldinger 2022). Die Daten zum Weizenertrag wurden aus Slicher et al. (1963) übernommen. Diese liefern ein Panel aus Ertrag pro Jahr und Ort vom 16. bis ins 19. Jahrhundert für Orte in zwölf europäischen Ländern. Die Ertragsrate ist dabei der Quotient aus Ertrag und ausgebrachter Saat, je höher sie ist, desto höher die landwirtschaftliche Produktivität. Aus den Temperaturdaten von Luterbacher et al. (2004) werden drei Temperaturvariablen definiert: Jahresdurchschnittstemperatur, Wachstumsphasen-Temperatur und Nicht-Wachstumsphasen-Temperatur. Es wird berücksichtigt, ob ein Land in den atlantischen Handel involviert war und ob eine Stadt weniger als 10 Kilometer von der Küste entfernt lag.

Weizenpreise können als ein alternatives Maß für Produktivität genutzt werden. Daten über jährliche Weizenpreise in zehn europäischen Städten werden aus Allen (2001) übernommen. Da sich die Nachfrage nach Weizen in Städten nur graduell verändert, können Schwankungen im Preis als Angebotsveränderungen angenommen werden. Auch andere Determinanten der Produktivität wie Institutionen und Bodenbeschaffenheit sollten sich nicht temperaturabhängig von Jahr zu Jahr verändern. Daher hängt der Effekt

von der Temperatur auf die Weizenpreise vom Einfluss der Temperatur auf die Produktivität ab.

Höhere Temperaturen in einem Jahr stehen im Zusammenhang mit einer höheren Weizenertragsquote im selben Jahr. Eine Temperaturerhöhung um eine Standardabweichung erhöht die Ertragsquote um bis zu 14%. Gleichzeitig geht eine höhere Temperatur auch mit niedrigeren Weizenpreisen einher. Des Weiteren wird dieser Effekt von höheren Temperaturen in der Wachstumsphase ausgelöst, während die Temperaturen außerhalb der Wachstumsphase keine Rolle spielen (Waldinger 2022).

Auch eine erhöhte Sterblichkeit infolge des Temperaturabfalls könnte dem negativen Zusammenhang zugrunde liegen. Daten aus 404 englischen Gemeinden (Wrigley und Schofield 1989) zeigen, dass wärmere Jahre eine geringere Sterblichkeit der Bevölkerung zur Folge hatten. Auch hier scheint die niedrigere Temperatur in den Wachstumsphasen während der Kleinen Eiszeit der Treiber des Effekts gewesen zu sein. Gemeinden, die näher an Märkten gelegen waren, spürten einen weniger starken Effekt des Temperaturabfalls. Sie konnten einen gesunkenen Ertrag durch Zukauf über den Markt besser ausgleichen. Dieser Effekt auf die Sterblichkeit scheint größer zu werden, je länger die Temperatur niedrig bleibt. In den verwendeten Daten wirkt sich die Temperatursenkung nur indirekt, durch ihren Effekt auf landwirtschaftlichen Output, auf die Bevölkerungssterblichkeit aus. Dies ist daran zu erkennen, dass niedrige Temperaturen in der Wachstumsperiode die Sterblichkeit erhöhen, nicht aber niedrige Temperaturen außerhalb der Wachstumsphasen. Es findet sich kein direkter Effekt der niedrigeren Temperaturen auf die Gesundheit der Bevölkerung. Somit wird unterstrichen, dass die Auswirkung der gesunkenen Temperaturen auf die landwirtschaftliche Produktivität der Grund für die steigende Sterblichkeit der Bevölkerung ist.

Ein weiterer Faktor, über den die Temperaturveränderungen der Kleinen Eiszeit das Städtewachstum beeinflusst haben könnten, ist die Migration. Zwar wurden im Europa der Frühen Neuzeit stärkere Migrationsbewegungen in Folge von landwirtschaftlichen Krisen beobachtet (zum Irischen Hunger: Gráda und O'Rourke 1997, zu Schweden: Martenis 2014), doch der Zusammenhang ist nicht immer eindeutig. Besonders die arme Bevölkerung wurde durch die hohen Kosten an der Migration gehindert, während sich reichere Bürger das Auswandern leisten konnten (Hatton und Williamson 1994; Gráda und O'Rourke 1997; Dribe 2003). Eine Auswertung der Daten von sieben englischen Gemeinden (Wrigley et al. 2018) zeigt auch hier, dass Gemeinden mit ungünstigeren klimatischen Bedingungen weniger Migranten anzogen als solche, die ein durchschnittliches Klima beobachteten. Hier wären Daten, die eine größere Region umfassen wünschenswert, um aussagekräftigere und robustere Ergebnisse zu erzielen.

## WIE SICH STÄDTE IN DER KLEINEN EISZEIT AN DIE TEMPERATURVERÄNDERUNGEN ANPASSTEN

Nachdem gezeigt wurde, wie die Kleine Eiszeit die Stadtgröße durch ihren Effekt auf landwirtschaftliche Produktivität verringert hat, stellt sich die Frage, welche der beiden Anpassungsstrategien, die, Costinot et al. (2016) folgend, Handel und Änderung der Flächennutzung beinhalten, den Städten in unterschiedlichem Ausmaß zur Verfügung standen.

### Anpassung durch Seehandel

Haben Städte mehr gehandelt um die negativen Effekte des Temperaturabfalls abzuschwächen? Um dies zu untersuchen, werden Informationen über 900 000 Schiffsfahrten zu über 750 Zielhäfen in Europa und somit 3 700 Handelsbeziehungen zwischen 1591 und 1857 ausgewertet. Diese Daten stammen aus dem Sound Toll Register (STR 2018) und enthalten das genaue Datum der Passage und die Höhe der Steuer, die auf die Ladung erhoben wurde. Die Steuer war eine Abgabe, die der dänische Staat verlangte, wenn Schiffe den Öresund (englisch: Sound) passierten. Diese Meerenge zwischen Dänemark und Schweden war die wichtigste Verbindung für Handelsschiffe zwischen dem Baltikum, dem größten Getreideversorger Europas in der Frühen Neuzeit, und Westeuropa.

Auf Grundlage dieser Daten konnte ein Paneldatensatz auf dem Zielhafen-Jahr-Level erstellt und zwei Maße für das Handelsvolumen definiert werden: die Höhe der Steuer pro Zielhafen und Jahr und die Anzahl der Schiffe, die pro Jahr in einem Hafen landeten. Dieser Datensatz enthält auch die Temperaturen der letzten fünf, 25, 50 und 100 Jahre (Luterbacher et al. 2004) sowie die geografischen und historischen Kontrollvariablen. Das finale Panel enthält Informationen für 760 Zielhäfen von 1591 bis 1857. Die Anzahl der Schiffe oder die Höhe der Steuer wird, ähnlich wie die zentralen Ergebnisse, als Funktion aus Temperatur, Marktzugang und fixen Effekten auf der Jahr- und Zielhafenebene, unter Berücksichtigung der Kontrollvariablen modelliert.

Die Temperaturen der letzten fünf Wachstumsphasen zeigen keinen signifikanten Effekt auf das Handelsvolumen. Es besteht allerdings ein signifikanter, negativer Zusammenhang mit der Temperatur der letzten 25, 50 und 100 Jahre. Städte, die eine Abkühlung erfuhren, wurden von mehr Schiffen angefahren, und die Ladung hatte einen höheren Wert. Die Koeffizienten deuten dabei an, dass eine Temperatursenkung um eine Standardabweichung eine Erhöhung der Anzahl der einlaufenden Schiffe um 3% nach sich zieht.

Falls Städte auf das Eintreten der Kleinen Eiszeit reagierten, indem sie ihre Handelstätigkeit erhöhten, könnte der negative Effekt auf die Stadtgröße für Städte mit besserem Handelszugang geringer gewe-



sen sein. Um dies zu überprüfen, werden die Städte, die im Öresund-Handel involviert waren, identifiziert. Da die Teilnahme durch die Temperaturen der Kleinen Eiszeit verursacht sein könnte, werden alternativ alle Städte, die im Jahr 1400, also vor dem untersuchten Zeitraum, Teil der Hanse waren, genutzt. Allerdings muss hier erwähnt werden, dass sich Hansemitglieder auch schon 1400 deutlich von anderen Städten unterschieden. Die Ergebnisse zeigen, dass Städte, die am Öresund-Handel teilnahmen, signifikant weniger von Temperaturveränderungen betroffen waren als die, die nicht über den Öresund handelten. Die Ergebnisse für Hansestädte sind ähnlich. Dieser abmildernde Effekt war größer für Städte mit relativ mehr Handelspartnern.

Der Seehandel war also eine effektive Methode, um eine Stadt gegen die negativen Folgen der Kleinen Eiszeit zu wappnen. Berechnet man die Kosten (in Einwohnerzahlen) der Kleinen Eiszeit, hätten sich die Städte nicht am Öresund-Handel beteiligt, hätten sie 3% ihrer Gesamtbevölkerung über den Studienzeitraum, oder 1 186 000 Einwohner, verloren. Das ist das Vierfache des tatsächlich beobachteten Temperatureffekts in diesen Städten.

### Anpassung durch Landhandel

Für alle Städte, nicht nur diejenigen, die am Meer lagen, könnte Binnenhandel eine wichtige Anpassungsmöglichkeit geboten haben. Deshalb wird untersucht, ob eine Temperaturveränderung Städte mit mehr oder Städte mit weniger Binnenhandelsoptionen unterschiedlich beeinflusst hat. Grundlage eines Maßes für Handlungsoptionen nach Isard (1954) sind die Anzahl und die Größe der Städte in einem Umkreis von 50 Kilometern einer Stadt. Unterteilt man diese in Städte mit einer Anzahl an Handlungsoptionen über dem Durchschnitt und in Städte mit einer Anzahl an Handlungsmöglichkeiten unter dem Durchschnitt und schätzt das Modell, zeigt sich, dass der Effekt einer Temperaturveränderung für Städte mit besonders vielen Handlungsmöglichkeiten fast null ist. Für Städte mit besonders wenigen potenziellen Handelspartnern ist der Effekt dagegen negativ und signifikant. Für beide Gruppen wird zudem überprüft, ob die Beschaffenheit des Umlandes (Nunn und Puga 2012) einen Einfluss auf die Größe des Effektes hat. Stärkere Zerklüftung in einer Region geht mit höheren Reise- und somit Handelskosten einher. Auch die Konstruktion einer Straße oder eines Kanals ist anspruchsvoller als in flachem Terrain. Städte mit flacherem Umland waren in beiden Subgruppen weniger stark betroffen als Städte in hügeligem Terrain.

### Anpassung durch Änderung der Flächennutzung

Eine Strategie, um landwirtschaftliche Erträge in der Frühen Neuzeit zu erhöhen, war die Ausweitung von Weide- und Anbauflächen (Merriman 2009; Tol und

Langen 2000). Diese könnte auch als Reaktion auf die Kleine Eiszeit genutzt worden sein.

Allerdings kann es nicht nur sein, dass Länder als Reaktion auf gesunkene Temperaturen ihre Flächennutzung erhöhten. Auch Länder, die kaum Temperaturveränderungen wahrnahmen, könnten ihre Nutzfläche erhöht haben und in Handel mit den Ländern getreten sein, deren Ertrag durch die Kleine Eiszeit verringert wurde. Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Nutzfläche für Landbau und Weide eines Landes und der Temperatursenkung durch die Kleine Eiszeit, werden die Daten dem historischen Datenkatalog des Global Environment (Goldewijk 2010; Klein Goldewijk et al. 2010; 2011) entnommen. Diese sind Schätzungen, basierend auf heutigen und historischen Bevölkerungs- und Landnutzungszahlen, denen schwer zu verifizierende Annahmen zugrunde liegen. Allerdings liefert dieser Datenkatalog konsistente Informationen über die historische Flächennutzung in 42 europäischen Ländern (definiert 2012) in Dekaden-Intervallen seit 1500.

Wie bereits in vorherigen Schätzungen werden Temperaturvariablen für die letzten zehn, 25, 50 und 100 Jahre definiert. Es zeigt sich ein positiver Zusammenhang zwischen Temperatur und Landnutzung, was darauf hindeutet, dass Länder, die von den Veränderungen der Kleinen Eiszeit weniger stark betroffen waren, ihre Landnutzung ausweiteten, um ihren relativen Produktivitätsvorteil auszunutzen. Von dieser Ausweitung könnten stärker betroffene Länder durch intensivierten Handel profitiert haben. Dieser Effekt ist aber erst nach 50 Jahren signifikant, was auf die hohen Kosten zurückzuführen ist, mit denen der Prozess der Nutzflächenausweitung einhergeht.

## BEDEUTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DEN AKTUELLEN KLIMAWANDEL

Die bisherige Forschung zeigt vor allem, dass kurzfristige Wetterschocks wirtschaftliche Effekte haben. Aber auch langfristige Temperaturveränderungen, auf die sich die Akteure einstellen können, haben wirtschaftliche Konsequenzen (Waldinger 2022). Die Stärke des Effekts variiert basierend auf den spezifischen Charakteristika einer Wirtschaft. Der Zugang zu Handlungsmöglichkeiten ist eine Schlüsselstrategie zur Bewältigung der negativen Folgen von klimatischen Veränderungen. Dies wurde am abfedernden Effekt des Zugangs zu Märkten und dem Seehandel während der Kleinen Eiszeit gezeigt.

Die Ergebnisse) betonen auch die Bedeutung des landwirtschaftlichen Sektors sowohl für die Wirkung der klimatischen Veränderungen auf Volkswirtschaften als auch für deren Anpassung an die Folgen.

Dies ist besonders relevant mit Blick auf den heutigen, menschengemachten, Klimawandel. Während sich die Rolle der Landwirtschaft für Volkswirtschaften in Europa seit der Frühen Neuzeit grundlegend verändert hat, sind viele Länder des Globalen Südens

noch immer abhängig von (Subsistenz-)Landwirtschaft. Die Mehrheit der Bevölkerung dort lebt von und arbeitet in der Landwirtschaft, verglichen mit einem deutlich geringeren Anteil der europäischen Bevölkerung. Ein Abfedern der negativen Folgen des Klimawandels durch Handelsbeziehungen ist für die betroffenen Staaten ebenfalls schwieriger. Beides unterstreicht die besondere Verletzlichkeit dieser Volkswirtschaften durch den aktuellen und zukünftigen Temperaturanstieg.

## LITERATUR

- Aguado, E. und J. Burt (2007), *Understanding Weather and Climate*, Pearson, London.
- Allen, R. C. (2001), »The Great Divergence in European Wages and Prices from the Middle Ages to the First World War«, *Explorations in Economic History* 38, 411–447.
- Bairoch, P. (1988), »The Population of European Cities, 800–1850: Data Bank and Short Summary of Results«, Droz, Genf.
- Barreca, A., K. Clay, O. Deschênes, M. Greenstone und J. S. Shapiro (2015), »Convergence in Adaptation to Climate Change: Evidence from High Temperatures and Mortality, 1900–2004«, *American Economic Review* 105(5), 247–251.
- Barreca, A., K. Clay, O. Deschenes, M. Greenstone und J. S. Shapiro (2016), »Adapting to Climate Change: The Remarkable Decline in the US Temperature-Mortality Relationship over the Twentieth Century«, *Journal of Political Economy* 124(1), 105–159.
- Behringer, W. (1999), »Climatic Change and Witch-Hunting: The Impact of the Little Ice Age on Mentalities«, *Climatic Change* 43(1), 335–351.
- Behringer, W., H. Lehmann und C. Pfister (2005), *Kulturelle Konsequenzen der »kleinen Eiszeit«*, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.
- Burgess, R., O. Deschenes, D. Donaldson und M. Grenstone (2013), »The Unequal Effects of Weather and Climate Change: Evidence from Mortality in India«, unpublished Working Paper.
- Burke, M., S. M. Hsiang und E. Miguel (2015), »Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production«, *Nature* 527(7577), 235–239.
- Carleton, T., M. Delgado, M. Greenstone, T. Houser, S. Hsiang, A. Hultgren, A. Jina, R. E. Kopp, K. McCusker, I. Nath et al. (2018), »Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits«, Becker Friedman Institute for Economics, Working Paper, 2018-51.
- Cheng, L., J. Abraham, Z. Hausfather und K. E. Trenberth (2019), »How Fast Are the Oceans Warming?«, *Science* 363(6423), 128–129.
- Conley, T. (2008), *Spatial Econometrics*, Palgrave Macmillan, London.
- Costinot, A., D. Donaldson und C. Smith (2016), »Evolving Comparative Advantage and the Impact of Climate Change in Agricultural Markets: Evidence from 1.7 Million Fields Around the World«, *Journal of Political Economy* 124(1), 205–248.
- Cronin, T. M. (2009), *Paleoclimates Understanding Climate Past and Present*, Columbia University Press, New York.
- Dell, M., B. F. Jones und B. A. Olken (2012), »Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century«, *American Economic Journal: Macroeconomics* 4(3), 66–95.
- Deschenes, O. und M. Greenstone (2007), »The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather«, *American Economic Review* 97(1), 354–385.
- Deschenes, O. und M. Greenstone (2012), »The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Reply«, *American Economic Review*, 102(7), 3761–3773.
- Dribe, M. (2003), »Dealing with Economic Stress Through Migration: Lessons from Nineteenth Century Rural Sweden«, *European Review of Economic History* 7(3), 271–299.
- EASAC (2018), *Extreme Weather Events in Europe*, EASAC Statement, European Academies' Science Advisory Council, verfügbar unter: [https://easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Extreme\\_Weather/EASAC\\_Extreme\\_Weather\\_2018\\_web.pdf](https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/EASAC_Extreme_Weather_2018_web.pdf).
- EEA (2012), *Climate Change Impacts and Vulnerability in Europe*, EEA Report 12, European Environmental Agency, verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012>.
- FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC (2012), *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*, verfügbar unter: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/Soil\\_Data/Docs\\_GlobalData/Harmonized\\_World\\_Soi\\_Database\\_v1.2.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/Soil_Data/Docs_GlobalData/Harmonized_World_Soi_Database_v1.2.pdf).
- Glaeser, E. L. (1993), »Cities, information, and Economic Growth«, *Cityscape Proceedings of the Regional Growth and Community Development Conference* 1, 9–47.
- Goldewijk, K. K. (2010), *History database of the global environment*.
- Gráda, C. Ó. and O'Rourke, K. H. (1997), Migration as disaster relief: Lessons from the great Irish famine, *European Review of Economic History*, 1(1):3–25.
- Grove, J. M. (2004). *Little Ice Ages: Ancient and Modern*, Routledge, London.
- Hatton, T. J. und J. G. Williamson (1994), »International Migration and World Development: A Historical Perspective«, in: H. Giersch (Hrsg.), *Economic Aspects of International Migration*, Springer, Berlin, Heidelberg, 3–56.
- Haywood, J., S. Hall, A. Jotischky, S. McGlynn und J. Swift (2000), *The Cassell Atlas of World History: The Medieval and Early Modern Worlds*, Andromeda and Cassell and Co.
- Isard, W. (1954), »Location Theory and Trade Theory: Short-Run Analysis«, *The Quarterly Journal of Economics* 68(2), 305–320.
- Klein Goldewijk, K. (2015a), »Total Cropland«.
- Klein Goldewijk, K. (2015b), »Total Pasture«.
- Klein Goldewijk, K., A. Beusen und P. Janssen (2010), »Long-Term Dynamic Modeling of Global Population and Built-up Area in a Spatially Explicit Way: Hyde 3.1«, *The Holocene* 20(4), 565–573.
- Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean und H. Wanner (2004), »European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes since 1500«, *Science* 303(5663), 1499–1503.
- Martenius, I. (2014), »The Swedish Emigration to America«.
- McCormick, M., B. Downing, L. Grigoli und G. Zambotti (2014), *Digital Atlas of Roman and Medieval Civilizations*, President and Fellows Harvard University, verfügbar unter: [https://cga-download.hmdc.harvard.edu/publish\\_web/Annual\\_Spring\\_Workshops/2010\\_Religion/1\\_McCormick\\_Huang.pdf](https://cga-download.hmdc.harvard.edu/publish_web/Annual_Spring_Workshops/2010_Religion/1_McCormick_Huang.pdf).
- Merriman, J. (2009), *A History of Modern Europe: From the Renaissance to the Present*, volume 1, WW Norton & Company, New York.
- Nunn, N. und D. Puga (2012), »Ruggedness: The Blessing of Bad Geography in Africa«, *Review of Economics and Statistics* 94(1), 20–36.
- Nüssli, C. (2016), »EurAtlas Periodis Historical Atlas of Europe«, verfügbar unter: <https://www.euratlas.net/>.
- Oster, E. (2004), »Witchcraft, Weather, and Economic Growth in Renaissance Europe«, *The Journal of Economic Perspectives* 18(1), 215–228.
- Parker, G. (2013), *Global Crisis: War, Climate Change and Catastrophe in the Seventeenth Century*, Yale University Press, New Haven.
- Pfister, C. und R. Brázdil (2006), Social Vulnerability to Climate in the 'Little Ice Age': An Example from Central Europe in the Early 1770s, *Climate of the Past* 2(2), 115–129.
- Slicher, v. B. et al. (1963), *The Agrarian History of Western Europe, AD 500–1850*, Arnold, London.
- STR (2018), »Sound Toll Registers Online«, verfügbar unter: <http://www.soundtoll.nl/index.php/en/welkom>.
- Tol, R. S. und A. Langen (2000), »A Concise History of Dutch River Floods«, *Climatic Change* 46(3), 357–369.
- Waldinger, M. (2022), »The Economic Effects of Long-Term Climate Change: Evidence from the Little Ice Age«, *Journal of Political Economy*, im Erscheinen.
- Wrigley, E., R. Davies, J. Oeppen, und R. Schofield (2018), »26 English Parish Family Reconstitutions« [Data Collection], verfügbar unter: <http://doi.org/10.5255/UKDA-SN-853082>.
- Wrigley, E. und R. Schofield (1989), *The Population History of England 1541–1871*, Cambridge Studies in Population, Cambridge University Press, Cambridge.
- Zhang, D. D., J. Zhang, H. F. Lee und Y. Q. He (2007), »Climate Change and War Frequency in Eastern China over the Last Millennium«, *Human Ecology* 35(4), 403–414.