

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Frühgeburten in Wien - Einfluss von klimawandelbedingten
Hitzetagen und Hitzewellen auf die Geburtsausgänge
schwangerer Frauen

verfasst von | submitted by
Josef Fellner BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2024

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree
programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 502 520 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach
Mathematik

Betreut von | Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Mag. Mag. Dr. Sylvia Kirchengast

Danksagung

Ein großer Dank gilt zu Beginn meiner Betreuerin ao. Univ-Prof. Mag. Mag. Dr. Sylvia Kirchengast, die mich von der ersten Idee zu dieser Masterarbeit bis zur Vollendung im Arbeitsprozess tatkräftig unterstützte. Ich möchte mich insbesondere recht herzlich für die gute Zusammenarbeit und die raschen Feedbacks und Meetings bedanken.

Für die Unterstützung während meiner gesamten Ausbildungszeit, begonnen in der Volksschule, über das Gymnasium bis hin zum Lehramtsstudium an der Universität Wien, gilt meinen Eltern und meinen drei Geschwistern ein liebevolles und herzliches DANKESCHÖN. Danke für den seelischen Beistand, für die eine oder andere Verköstigung, die mir vor allem in den Prüfungsphasen das Leben erheblich erleichterte, aber auch für die finanziellen Mittel, die aufgebracht wurden, sodass ich mein Studium erfolgreich absolvieren konnte. Danke, dass ihr mir immer mit Rat und Tat zur Seite steht.

Bedanken möchte ich mich aber vor allem bei meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen Magdi, Teresa, Julia H., Julia U., Antonia und Christoph. Ob von der tatsächlich ersten Sekunde an, ab dem zweiten Semester oder im Laufe des Studiums, ich bin sehr dankbar, dass sich unsere Wege während des Studiums gekreuzt haben und ich euch zu meinen Freundinnen und Freunden zählen darf. Vielen herzlichen Dank für die grandiose Zusammenarbeit, für den Austausch, für die gegenseitige Unterstützung, für die zahlreichen Ratschläge und für die Motivation, wenn die Luft eigentlich schon draußen war. Ohne euch hätte ich das Studium bestimmt nicht so schnell abschließen können. Danke für all die Momente, die wir in den letzten sechs Jahren miteinander erleben durften und ich hoffe, dass noch einige dazukommen werden.

Von ganzem Herzen, DANKE für alles.

Zusammenfassung

Theoretischer Hintergrund: Durch den anthropogenen Klimawandel treten nachweislich immer mehr Extremwetterereignisse wie Hitzetage oder Hitzewellen sowohl weltweit als auch in Österreich auf. Die Häufigkeit und Intensität nimmt dabei stetig zu. Hitze hat enorme Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Vor allem Schwangere, die zu dieser Zeit eine herausfordernde Phase durchleben, sind besonders betroffen. Studien weisen darauf hin, dass Hitzeeinwirkung die Gestationszeit beeinflusst. Welchen Einfluss klimawandelbedingte Hitzetage und Hitzewellen auf Frühgeburten in Österreich haben, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Methode und Materialien: Um den Einfluss von Hitze auf Geburtsausgänge zu beschreiben, wurden 11.156 Einzelgeburten von 2011 bis 2019 aus der Klinik Donaustadt mit dem Klimadatensatz SPARTACUS der österreichischen Bundesanstalt GeoSphere Austria von 2010 bis 2019 verglichen und analysiert. Hierzu wurden unterschiedliche Berechnungen (Kreuztabellen mit Fisher-Exact-Test, student t-test, binäre logistische Regression, partielle Korrelation) mit IBM SPSS Statistics 25 vorgenommen.

Ergebnisse: Hitzewellen scheinen vor allem im zweiten Trimester der Schwangerschaft einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von Frühgeburten zu nehmen. Dieser Trend ist auch für das dritte Trimester zu sehen. Die Ergebnisse weisen jedoch keine Signifikanz auf. Signifikant ($p=0,018$) sind hingegen die Anzahl der Hitzetage im zweiten Trimester, die bei Frühgeburten ($x=6,20$) häufiger auftreten als bei Termingeburten ($x=5,19$). Zudem konnte eine signifikant negative Korrelation zwischen Hitzetagen während der Schwangerschaft und der Gestationsdauer im zweiten Trimester ($r=-0,020$; $p=0,016$) festgestellt werden. Auch für das dritte Trimester konnte dies berechnet werden ($r=-0,002$), jedoch ohne Signifikanz. Außerdem konnte wiederum für das zweite Trimester eine Assoziation zwischen Hitzetagen und Frühgeburten ($r=0,009$; $p=0,023$) ermittelt werden.

Conclusio: Treten Hitzewellen und Hitzetage vor allem im zweiten Trimester der Schwangerschaft auf, so ist eine Tendenz für Frühgeburten zu sehen. Weitere und vergleichbare Untersuchungen sind in diesem Zusammenhang erforderlich.

Abstract

Theoretical background: Due to climate change, days of extreme heat and heat waves are becoming more frequent and intense in Austria and worldwide. Heat has an enormous impact on human health. Especially pregnant women are at risk of heat during this challenging period of life. According to some studies, heat exposure may influence the gestational age. Nevertheless the impact of heat waves and heat days caused by climate change on preterm births hasn't been investigated in Austria yet.

Method and materials: To evaluate the effects of heat on preterm births, 11.156 singleton births at Donaustadt hospital between 2011 and 2019 were compared and analysed with the climate dataset SPARATACUS from the Federal Institute GeoSphere Austria for the period from 2010 to 2019. IMB SPSS Statistics 25 was used for various calculations (cross table with fisher-exact-test, student t-test, binary logistic regression, partial correlation).

Results: Heatwaves may influence the likelihood of preterm births when they appear in the second trimester of pregnancy. This trend was also observed for the third trimester. However, the results were not significant. With a significance of $p=0,018$ the number of extreme hot days in the second trimester was higher for preterm births ($x=6,20$) than for term births ($x=5,19$). A significant negative correlation was found between days of extreme heat during the pregnancy and gestation period in the second trimester ($r=-0,020$; $p=0,016$). The same result was given for the third trimester but without significance. Moreover an association between days of extreme heat and preterm births ($r=0,009$; $p=0,023$) in the second trimester was determined.

Conclusion: If heatwaves and days of extreme heat occur especially during the second trimester of pregnancy, there is a trend towards an increased likelihood of preterm births. Further and comparable studies are needed to investigate this relation.

Inhaltsverzeichnis

Theoretischer Hintergrund	7
Klimawandel im Überblick	7
Klimawandel in Österreich/Wien – aktueller Stand.....	10
Auswirkungen von Hitzeereignissen auf die menschliche Gesundheit.....	12
Schwangerschaft im Überblick	13
Schwangerschaftskomplikation Frühgeburt.....	14
Hitze und Schwangerschaft.....	16
Fragestellung und Hypothese.....	19
Methode und Materialien.....	20
Klinischer Datensatz.....	20
Klimadatensatz – SPARTACUS	22
Statistische Auswertung	23
Ergebnisse	24
Stichprobenbeschreibung – Datensatz Klinik Donaustadt.....	24
Stichprobenbeschreibung – Klimadatensatz SPARTACUS	26
Assoziationen zwischen Hitzeeinwirkung und Geburtsausgängen.....	28
Diskussion	32
Conclusio	38
Literaturverzeichnis.....	40
Abbildungsverzeichnis	48
Tabellenverzeichnis.....	49

Theoretischer Hintergrund

Der Klimawandel stellt eine der größten gesellschaftlichen Herausforderung der heutigen Zeit dar. Vor allem die immer höher steigenden Temperaturen und deren Auswirkungen sind gesellschaftspolitisch nicht zu vernachlässigen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist schon seit längerem belegt, dass es global bereits zu einer Erderwärmung von 1°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau gekommen ist. Um die Konsequenzen und auch die Geschwindigkeit des Klimawandels einzuschränken, wurde ein Ziel definiert, bei dem die Erderwärmung nicht mehr als 1,5°C zum vorindustriellen Niveau betragen soll (IPCC, 2018). Hitze stellt in diesem Zusammenhang eine besondere Herausforderung dar. Zunehmende Hitzewellen und andere Extremwetterereignisse beeinflussen die Tier- und Pflanzenwelt. Veränderungen betreffen dahingehend die unterschiedlichen Lebensräume, die Landwirtschaft und allgemein wichtige Ökosysteme. Aber auch der Mensch ist von den Auswirkungen der Hitze betroffen. Extrem heiße Tage stellen für die Gesundheit eine große Herausforderung dar, wodurch es zu zahlreichen Folgen wie einer höheren Sterblichkeit kommen kann. Besonders betroffen davon sind sehr junge als auch ältere Menschen unserer Gesellschaft. Frauen allgemein scheinen durch den Klimawandel besonders gefährdet zu sein (Europäische Union, 2024). Eine mögliche Schwangerschaft bringt zusätzliche Herausforderungen mit sich, wodurch dieser Bevölkerungsgruppe in Blick auf den Klimawandel besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss (Ha, 2022). Um den Einfluss von extremen Hitzeereignissen auf diese sensible Lebensphase besser verstehen zu können, sind Studien zu diesem Sachverhalt notwendig.

Klimawandel im Überblick

Bis 2100 wird sich die Durchschnittstemperatur auf der Erde um 3,5°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau erhöhen, wenn man sämtliche Modellrechnungen genauer betrachtet (Bartsch, 2016). Dies würde bedeuten, dass die Erderwärmung 2°C über dem Ziel von 1,5°C liegen würde, auf das sich die Weltpolitik im Rahmen des Pariser Klimaabkommens verständigt hat (Neukirchen, 2019). Jedoch wird berichtet, dass die

Grenze von 1,5°C Erwärmung bereits zwischen den Jahren 2030 und 2052 erreicht werden wird, wenn keine Gegenmaßnahmen gesetzt werden (IPCC, 2018).

Generell ist festzuhalten, dass Schwankungen im Klima immer schon bekannt und über die Erdgeschichte hinweg verteilt sind (Hauck et al., 2019; Neukirchen, 2019). Somit sind Warm- aber auch Kaltphasen keineswegs etwas Außergewöhnliches (Bartsch, 2016). Der so zu sagen natürliche Klimawandel wird unter anderem durch folgende Faktoren beeinflusst. Dazu zählt in erster Linie die Veränderung der Sonneneinstrahlung, die sowohl von der Schwankung der Rotationsachse der Erde, aber auch von der Umlaufbahn der Erde um die Sonne abhängig ist. Ein weiterer natürlicher und biologischer Faktor ist der Vulkanismus, der nicht nur zur Erwärmung beiträgt, sondern auch zu einer eventuellen Abkühlung der Erde führen kann. Ebenso ist die Verteilung von Kontinenten und Ozeanen zu erwähnen, die sich im Laufe der Erdgeschichte stark verändert hat. Diese Verteilung beeinflusst Meeres- und Windströmungen, die wiederum mit der Wärmeregulation in Zusammenhang stehen (Hauck et al., 2019; Neukirchen, 2019). Die aller wichtigste Komponente sowohl beim natürlichen Klimawandel als auch bei der heutzutage so viel debattierten Erderwärmung stellt die Zusammensetzung der Atmosphäre durch die Treibhausgase (Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan, etc.) und dem damit verbundenen Treibhauseffekt dar (Hauck et al., 2019).

Der Klimaveränderung liegt eine Änderung der Energiebilanz der Erde zu Grunde, welche wiederum an den Treibhauseffekt gekoppelt ist. Das Grundprinzip des Treibhauseffekts ist das Gleichgewicht zwischen einstrahlender und reflektierender Sonnenwärme in Form von Infrarotstrahlung. Einfallende Sonnenstrahlen werden grundsätzlich von der Erdoberfläche reflektiert und ins All zurückgeworfen. Teile dieser reflektierten Wärme werden aber durch die erwähnten Treibhausgase zurückgehalten, wodurch es in Kombination mit den vorhin angeführten Faktoren zu einer natürlichen Erwärmung der Erdoberfläche kommen kann. Dieser Vorgang ist prinzipiell natürlich und auch für das Leben auf der Erde notwendig (Bartsch, 2016; Hauck et al., 2019; Neukirchen, 2019).

Besorgniserregend ist jedoch der anthropogene Faktor. Die heute viel diskutierte Erderwärmung ist von einer extrem schnellen Temperaturveränderung gekennzeichnet. Der menschliche Einfluss treibt diese Veränderungen voran, wobei die Konzentration der Treibhausgase im 20. und 21. Jahrhundert auf anthropogene Verhaltensweisen

zurückzuführen ist (Hauck et al., 2019). Es besteht somit eine Korrelation zwischen den steigenden Treibhausgasen in der Atmosphäre und den steigenden Durchschnittstemperaturen (Bartsch, 2016). Zudem bestätigt das International Panel on Climate Change (IPCC), dass durch den Menschen eine Zunahme der Treibhausgase seit 1750 stattgefunden hat und der menschliche Einfluss zu einer Erwärmung der Atmosphäre und Landflächen geführt hat (IPCC, 2021). Das wichtigste Treibhausgas stellt dabei Kohlenstoffdioxid (CO_2) dar. Seit der industriellen Revolution nimmt die Konzentration immer mehr zu, hauptsächlich durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Ein weiteres bedeutendes Treibhausgas ist Methan. Die Quellen der Treibhausgase sind vor allem auf der Nordhalbkugel zu finden, wobei es anschließend zu einer weltweiten Ausbreitung kommt. Dadurch wird die Erderwärmung zu einem globalen Phänomen, wobei regionale Unterschiede trotzdem erkennbar sind (Hauck et al., 2019). Die Klimaerwärmung wird dahingehend sichtbar, da die letzten vier Jahrzehnte wärmer waren, als alle davor liegenden Jahrzehnte seit 1850 (IPCC, 2021). Laut dem Bericht der IPCC aus dem Jahre 2018 ist es durch menschliche Handlungen bereits zu einer Erderwärmung um 1°C im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter gekommen (IPCC, 2018).

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel und der Erderwärmung sind die daraus resultierenden Folgen und Auswirkungen wichtig zu erwähnen, wovon einige besser bekannt sind als andere. Mit dem heutigen Kenntnisstand kann mit Sicherheit gesagt werden, dass vor allem Wetter- und Klimaextreme weltweit zunehmen werden. Dies wird nicht nur an ihrer Häufigkeit des Auftretens erkennbar sein, sondern auch in ihrer Intensität. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass Starkregenereignisse zunehmen, Gletscher und Eisflächen abschmelzen oder es zur Verschiebung von Klimazonen in Richtung der Pole kommen wird (IPCC, 2018, 2021). Besonders erwähnenswert für diese Arbeit ist die Zunahme von Hitzeextreme in Folge der Erderwärmung. Durch die steigenden Temperaturen wird die Anzahl und die Intensität von Hitzetagen oder auch Hitzewellen merklich zunehmen (IPCC, 2018, 2021; Neukirchen, 2019). Eine Zunahme der Hitzetage und Hitzewellen birgt jedoch ein großes gesundheitliches Risiko für den Menschen, das mit zahlreichen negativen Folgen verbunden ist (AGES, 2023; IPCC, 2018).

Klimawandel in Österreich/Wien – aktueller Stand

Der Klimawandel ist auch in Österreich bereits angekommen, wie anhand des Februars 2024 zu sehen ist. Obwohl überdurchschnittlich warme Monate in den letzten Jahren keine Seltenheit waren, erreichte der Februar 2024 im Tiefland mit 5,5°C über dem Mittel im Vergleich zu 1991 bis 2020 einen neuen Temperaturrekord seit Beginn der Aufzeichnungen. Vergleicht man den Februar 2024 mit der Klimaperiode von 1961 bis 1990, liegt die Temperaturabweichung sogar bei +6,4°C (GeoSphere Austria, 2024).

Der letzte österreichische Klimastatusbericht für das Jahr 2022 ordnete das Jahr 2022 als das zweitwärmste Jahr seit 1767 ein. Generell ist der Temperaturanstieg in den letzten vier Jahrzehnten im globalen Vergleich in Österreich doppelt so schnell verlaufen (siehe Abbildung 1) (Bauer et al., 2023). So lag der Temperaturanstieg 2022 österreichweit im Vergleich zu 1961 bis 1990 bei 2,3°C (Anderl et al., 2023; Bauer et al., 2023). Die im vorherigen Kapitel angeführten Auswirkungen des Klimawandels sind daher auch in Österreich deutlich spürbar. Vergleicht man die Klimaperiode 1991 bis 2020 mit jener zwischen 1961 und 1990, so hat sich die Anzahl der Hitzetage verdoppelt bis vervierfacht. Hitzeperioden dauerten auch im Vergleich in der jüngsten Periode länger an, wobei der Osten des Landes, wo auch Wien mitinbegriffen ist, besonders stark davon betroffen war. Hitzewellen dauerten grundsätzlich ein bis zwei Wochen länger an als noch von 1961 bis 1990 (Formayer et al., 2021). Ebenso wurde für das Jahr 2022 eine Zunahme der Sommertage (von 45 auf 81 Tage), der Hitzetage (von 6 auf 23 Tage) sowie der Tage, die einer Hitzeperiode zugeordnet wurden (von 4 auf 22 Tage), festgestellt (Bauer et al., 2023).

Für Wien, dessen Daten für diese Arbeit besonders von Bedeutung sind, stellte das Jahr 2022 das drittwärmste Jahr seit Aufzeichnungsbeginn dar. Durchschnittlich lag die Temperatur in der Bundeshauptstadt um 2,4°C über den Temperaturen der Vergleichsperiode 1961 bis 1990. Im Gegensatz zur gleichen Klimaperiode bedeutet dies im Jahr 2022 eine Zunahme der Sommertage von 52 auf 93 Tage, der Hitzetage von 10 auf 31 Tage sowie der Tage, die einer Hitzeperiode zugeteilt werden, nämlich von 6 auf 33 Tage (Hiebl & Orlik, 2022). Daten der GeoSphere Austria, die im Zusammenarbeit mit der österreichischen Tageszeitung „Der Standard“ aufgearbeitet wurden, zeigen, dass es

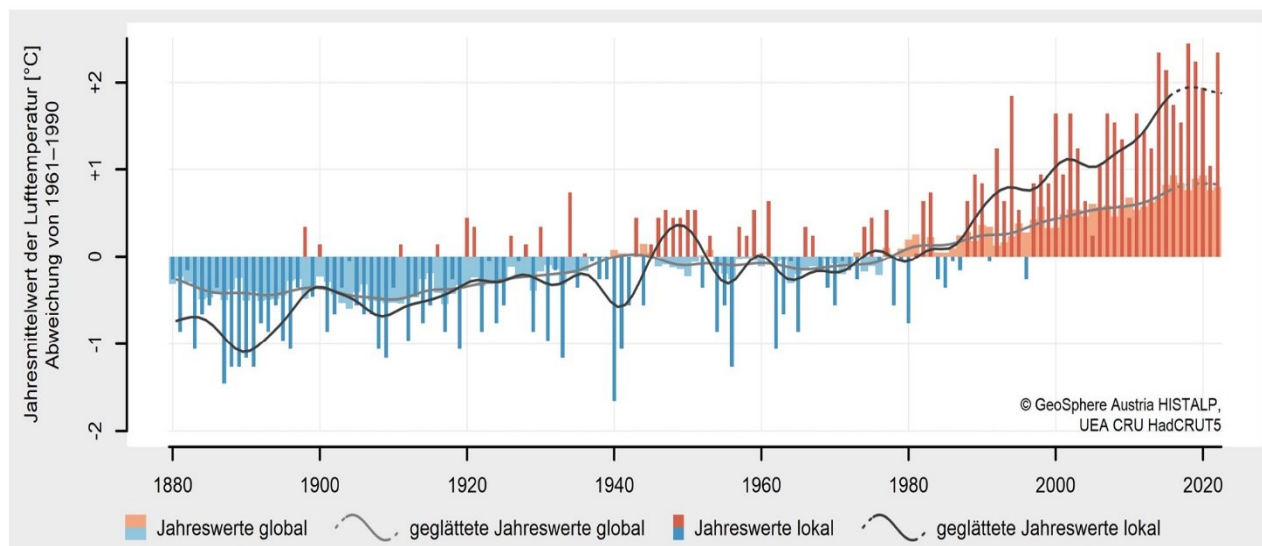


Abbildung 1: Entwicklungen der durchschnittlichen Jahreslufttemperatur global und in Österreich zwischen den Jahren 1880 und 2020, dargestellt durch die Abweichungen zum Mittelwert der Vergleichsperiode 1961–1990 (Bauer et al., 2023, S.17). Grafik aus (Bauer et al., 2023, S.17).

seit 1961 in Wien 134 Hitzewellen gab, genauer berechnet für den Stephansplatz im ersten Wiener Gemeindebezirk. Während zwischen 1961 und 2000 pro Jahr durchschnittlich 1,6 Hitzewellen auftraten, die im Mittel 7,5 Tage andauerten, waren es im Zeitraum von 2001 bis 2021 bereits 3,2 Hitzewellen pro Jahr, die sich im Schnitt über 8,6 Tage erstreckten (Kienzl et al., 2022).

Wird in vorliegender Arbeit von Sommertagen, Hitzetagen oder Hitzeperioden insbesondere in Bezug auf Österreich gesprochen, so versteht man darunter wie folgt (Höfler et al., 2021, S.40):

„**Sommertage:** Jährliche Anzahl an Tagen, an denen das Maximum der Lufttemperatur 25°C erreicht oder überschreitet.

Hitzetage: Teilmenge der Sommertage, an denen das Maximum der Lufttemperatur 30°C erreicht oder überschreitet.

Hitzeperiode (Kysely-Tage): Jährliche Anzahl an Tagen, die innerhalb einer Hitzeperiode liegen. Nach der Definition des tschechischen Meteorologen Jan Kysely liegt eine Hitzeperiode vor, sobald das Maximum der Lufttemperatur an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen 30°C überschreitet, und dauert an, solange das

Tagesmaximum der Lufttemperatur gemittelt über die gesamte Periode über 30°C bleibt und an keinem Tag 25°C unterschreitet.“

Auswirkungen von Hitzeereignissen auf die menschliche Gesundheit

Hitzeereignisse aller Art stellen für den menschlichen Organismus eine besondere Belastung dar (Nikendei et al., 2020). Durch häufigere und längere Hitzewellen nimmt die Anzahl der Todesfälle und Erkrankungen, die mit Hitze in Zusammenhang gebracht werden können, immer weiter zu (Campbell et al., 2018; Ebi et al., 2021). Die Auswirkungen betreffen dabei grundsätzlich alle Altersgruppen (Campbell et al., 2018; Kovats & Kristie, 2006). Jedoch bilden ältere Menschen sowie Säuglinge und Kleinkinder eine besonders vulnerable Gruppe (Ebi et al., 2021; Kovats & Kristie, 2006; Winklmayer et al., 2023). Säuglinge und Kleinkinder sind beispielsweise besonders vor Hitzeereignissen zu schützen, da bei ihnen die eigenständige Wärmeregulation des Körpers wie bei erwachsenen Menschen noch nicht vollständig ausgeprägt ist (Ebi et al., 2021). Für ältere Menschen erhöht sich durch steigende Temperaturen unter anderem das Thromboserisiko (Kovats & Kristie, 2006). Auch schwangere Personen müssen hinsichtlich Hitze besonders beachtet werden (Winklmayer et al., 2023), worauf später noch näher eingegangen wird.

Die Auswirkungen von physikalischen Umweltfaktoren auf den menschlichen Körper, wozu auch Hitze zählt, hängen vor allem von der Art sowie der auftretenden Intensität des Ereignisses ab. Wichtige Parameter dabei sind neben dem Alter auch das Geschlecht, der Gesundheitszustand und mögliche Vorerkrankungen der jeweiligen Person sowie eine mögliche Anpassungsfähigkeit an gegebene Bedingungen (Bunz & Mücke, 2017). Speziell für Hitzeereignisse sind auch geografische und soziale Faktoren von Bedeutung (Campbell et al., 2018). Bekannte physiologische Phänomene, die durch Hitzeeinwirkung auftreten können, sind unter anderem Sonnenstiche oder Hitzeschläge (Bunz & Mücke, 2017). Besonders zu beachten sind jedoch Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die zunehmend mit Hitzeereignissen in Verbindung gebracht werden (Arsad et al., 2022; Liu et al., 2022). Vor allem Personen, die bereits an einer Herz-Kreislauf-Erkrankung leiden, sind hierbei besonders gefährdet (Desai et al., 2023). Dies liegt daran, dass der Körper bei Hitzeeinwirkung natürliche Abwehrreaktionen startet. Einerseits wird die Haut stärker

durchblutet, um die zusätzliche Wärme im Körper an die Umgebung abzugeben. Andererseits soll durch Schwitzen und die damit verbundene Verdunstung der Körper abgekühlt werden. Diese Reaktionen dienen dazu, die Körperkerntemperatur konstant zu halten. Jedoch können diese Mechanismen das Herz belasten, das daraufhin schneller und vor allem stärker schlagen muss, um unter anderem die Blutumverteilung zu gewährleisten. Eine Überanstrengung des Herzens mit oder ohne Vorerkrankung des Herz-Kreislauf-Systems kann beispielsweise zu Infarkten oder zum Kreislaufkollaps führen (Desai et al., 2023; Ebi et al., 2021). Durch den Flüssigkeitsverlust beim Schwitzen und einer möglichen Dehydration können wiederum Nierenfunktionen eingeschränkt werden (Kovats & Kristie, 2006; Winklmayer et al., 2023). Eine Überhitzung des Körpers würde somit auch zur Zell- und Gewebszerstörung und im schlimmsten Fall zum Organversagen führen (Ebi et al., 2021). Durch den Klimawandel könnten zudem Infektionserkrankungen, aber auch allergische Reaktionen sowie psychische Belastungen zunehmen, was ebenso negative Auswirkungen für den menschlichen Körper hätte (Bunz & Mücke, 2017; Nikendei et al., 2020).

Schwangerschaft im Überblick

Der Zeitraum zwischen der Befruchtung einer Eizelle durch Spermien und der Geburt wird allgemein als Schwangerschaft bezeichnet (Niemeyer, 2022). Aus medizinischer Sicht dauert eine Schwangerschaft 38 Wochen und beginnt mit dem Zeitpunkt der Konzeption. Allgemein wird jedoch für die Berechnung des Geburtstermines von einer Schwangerschaftsdauer von 40 Wochen ausgegangen. Die Berechnungsgrundlage hierfür stellt der erste Tag der letzten Menstruationsblutung der Schwangeren dar (Brenner et al., 2019; Niemeyer, 2022).

Eine Schwangerschaft bedeutet eine enorme Umstellung für den Körper und stellt diesen vor viele Herausforderungen. Vor allem die verschiedenen Organsysteme müssen sich auf die Schwangerschaft und die bevorstehende Geburt einstellen. Veränderungen betreffen dabei vor allem folgende Organfunktionen: Während der Schwangerschaft wird die Uterusmuskulatur aufgebaut und nimmt an Masse zu (Brenner et al., 2019). Dies ist dahingehend notwendig, da während der Schwangerschaft das ungeborene Kind im Uterus heranwächst. Zudem ist die Uterusmuskulatur während der Geburt für die

Wehentätigkeit verantwortlich (Schulte, 2024). Es kommt auch zur Veränderung der Muskulatur rund um die Brustdrüsen (Brenner et al., 2019), wodurch sich der Körper auf die Laktation nach der Geburt vorbereitet (Behre et al., 2002). Für eine optimale Entwicklung des Fötus muss sich auch der Energiebedarf der Schwangeren umstellen, um eine bestmögliche Versorgung zu gewährleisten. Eine der größten Umstellungen betrifft daher das Herz-Kreislauf-System. Durch die zusätzliche Versorgung des Ungeborenen kommt es bei Schwangeren allgemein zur Erhöhung des Blutvolumens (Brenner et al., 2019). Dabei handelt es sich um die Gesamtmenge des Blutes im ganzen Körper (Faller & Schünke, 2020). Bedingt durch diese Zunahme erhöht sich folglich auch das Herzzeitvolumen sowie die Herzfrequenz (Brenner et al., 2019), also das Blutvolumen, welches pro Zeiteinheit vom Herzen in den Kreislauf gepumpt wird beziehungsweise die Anzahl der Herzschläge pro Zeiteinheit (Faller & Schünke, 2020). Eng damit verbunden ist auch der erhöhte Bedarf an Sauerstoff und die vermehrte Produktion von CO₂ im Körper. Für eine optimale Entwicklung des Ungeborenen erhöht sich die Aufnahme und Abgabe dieser beiden Verbindungen (Brenner et al., 2019).

Die Entwicklung des Fötus ist grundsätzlich in drei Abschnitte unterteilt, den sogenannten Trimestern. Während im ersten Trimester alle Organsysteme angelegt werden, erfolgt im darauffolgendem Trimester die Ausreifung aller Organe. Ist dieser Prozess abgeschlossen, ist ein selbstständiges Leben des Ungeborenen nach einer möglichen Abnabelung grundsätzlich möglich (Brenner et al., 2019). Dies entspricht etwa der 23. Schwangerschaftswoche (Bührer et al., 2020). Im letzten Drittel der Schwangerschaft werden Energiespeicher, unter anderem in Form von Fetten, für die erste Phase nach der Geburt angelegt. Bei optimaler Versorgung und Entwicklung des Fötus wiegt das Neugeborene zwischen 3000g und 4000g und ist etwa 50 cm lang (Brenner et al., 2019).

Schwangerschaftskomplikation Frühgeburt

Die Schwangerschaftszeit ist sowohl für die Mutter als auch für den Fötus eine außergewöhnliche Zeit, die von physiologischen und auch psychologischen Veränderungen begleitet wird (Almeida et al., 2019). Sämtliche physiologische Anpassungen wurden zuvor bereits erwähnt. Viele Faktoren können sowohl die physiologischen Umstellungen als auch die Schwangerschaft selbst erheblich

beeinflussen. Im schlimmsten Fall können Schwangerschaftskomplikationen auftreten, die sowohl für die Mutter als auch den Fötus negative Auswirkungen haben können. Mögliche Komplikationen oder Erkrankungen umfassen beispielsweise Gestationsdiabetes, Schwangerschaftshypertonie/Präeklampsie oder kardiovaskuläre Erkrankungen. Eine direkte Auswirkung auf die Schwangerschaft kann eine Entwicklungsstörung des Ungeborenen darstellen (Fischer et al., 2016).

Frühgeburten stellen eine weitere Herausforderung der Schwangerschaft dar, die durch Erkrankungen und Komplikationen während der Schwangerschaft hervorgerufen werden können (Fischer et al., 2016). Eine Frühgeburt liegt vor, wenn die Geburt des Kindes vor der 37. Schwangerschaftswoche stattfindet (Berger et al., 2023). Die World Health Organization (2023) unterteilt Frühgeburten noch weiter, wie in Tabelle 1 dargestellt wird. Bezogen auf Österreich lag die Frühgeburtenrate im Jahr 2022 bei 6,9% (Klimont, 2023).

Tabelle 1: Einteilung der Frühgeburten nach Gestationsalter (World Health Organization, 2023).

Grad der Frühgeburt	Schwangerschaftswoche (SSW)
extrem frühe Frühgeburt	< 28 SSW
sehr frühe Frühgeburt	28-32 SSW
moderate bis späte Frühgeburt	32-37 SSW

Frühgeburten können alle Schwangere betreffen, auch jene, die eine komplikationsfreie und gesunde Schwangerschaftsphase durchleben. In Deutschland sind beispielsweise 3,6% der schwangeren Personen, deren Schwangerschaft optimal verläuft, von einer Frühgeburt betroffen (Vogel et al., 2018). Grundsätzlich entfallen zwei Drittel aller Frühgeburten auf vorzeitige Wehentätigkeit und ein Drittel auf Ursachen, die entweder mütterlichen oder fetalen Ursprungs sind (Berger et al., 2023).

In der Literatur sind viele Risikofaktoren beschrieben, die insbesondere spontane Frühgeburten begünstigen können. Grundsätzlich scheinen vor allem soziodemografische, medizinische, aber auch geburtshilfliche Faktoren eine wichtige Rolle zu spielen (Vogel et al., 2018). Einer der größten Einflussfaktoren scheint das Alter der schwangeren Person zu sein. Das Risiko für eine Frühgeburt ist bei sogenannten

Teenagerschwangerschaften, also bei Schwangeren unter 18 Jahren sowie bei Personen über 35 höher. Auch Mehrlingsschwangerschaften, Schwangerschaften, die beispielsweise durch eine In-Vitro-Fertilisation (IVF) initiiert wurden und auch Schwangerschaften, bei denen es bereits in einer vorangegangenen Schwangerschaft zu einer Frühgeburt gekommen ist, weisen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Frühgeburt auf (Berger et al., 2020; Di Renzo et al., 2018; Torchin & Ancel, 2016; Vogel et al., 2018). Weitere gesundheitsbedingte Faktoren, die zu einer verkürzten Schwangerschaftsdauer führen können, sind unter anderem Präeklampsie, verschiedenste Infektionen, Rauchen während der Schwangerschaft sowie allgemeine Diabetes oder Schwangerschaftsdiabetes (Berger et al., 2020; Vogel et al., 2018). In Bezug auf mütterliche Komponenten ist vor allem maternaler Stress ein großer Risikofaktor für eine spontane Frühgeburt. Es scheint jedoch auch eine genetische mütterliche Komponente zu geben, die zu einer vorzeitigen Geburt führen kann (Berger et al., 2023; Di Renzo et al., 2018). Ungünstige sozioökonomische Lebensbedingungen werden ebenso als Grund für eine verkürzte Gestationszeit genannt (Berger et al., 2020; Berger et al., 2023; Di Renzo et al., 2018; Vogel et al., 2018).

Frühgeburten können für das neugeborene Kind sowohl kurzfristige als auch langfristige Komplikationen mit sich bringen. Direkt nach der Geburt können zum Beispiel neonatale Atemwegserkrankungen, Sepsen, Fütterungsschwierigkeiten sowie Seh- und Hörprobleme auftreten (Vogel et al., 2018). Im weiteren Verlauf sind Frühgeburten auch mit abweichender neuronaler Entwicklung (Berger et al., 2020; Vogel et al., 2018), respiratorischen Störungen oder Seh- und Hörverlust verbunden (Berger et al., 2020). Vogel et al. (2018) führen zudem auch Verhaltensschwierigkeiten, sozio-emotionale Schwierigkeiten und Lernschwierigkeiten als mögliche Folgen einer Frühgeburt an.

Hitze und Schwangerschaft

Umweltfaktoren spielen eine wichtige Rolle während der Schwangerschaft. Treten in dieser sensiblen Phase des Lebens Störungen durch Umwelteinflüsse auf, so kann dies unmittelbare als auch lebenslange Auswirkungen für die Mutter und das Kind haben (Almeida et al., 2019), wie auch der Abbildung 2 zu entnehmen ist. Aus Sicht des Klimawandels stellt die Hitze, insbesondere durch die Zunahme der Häufigkeit und

Intensität von Hitzetagen, einen beträchtlichen Einflussfaktor für Schwangerschaften dar (Ha, 2022). Obwohl schon lange bekannt ist, dass eine Schwangerschaft eine besonders herausfordernde Zeit darstellt, wurden Schwangere erst vor einigen Jahren als besonders schutzbedürftige Gruppe vor Umweltbelastungen, insbesondere Hitze, anerkannt (UNFCCC, 2017). Schwangere sind somit nicht nur den erwähnten allgemeinen gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze auf den menschlichen Körper ausgesetzt, sondern müssen sich auch mit zusätzlichen Herausforderungen durch die physiologischen Umstellungen auseinandersetzen, die durch Hitze beeinflusst werden können (Ha, 2022). Die Aufrechterhaltung einer konstanten Körperkerntemperatur ist während eines Hitzeereignisses besonders wichtig, insbesondere für den Fötus. Hitze kann aber zu einer Erhöhung der mütterlichen Körperkerntemperatur führen, das wiederum einen Anstieg des Pulses bedeutet. Dies kann wiederum zu einer erhöhten Herzfrequenz beim Fötus führen, wodurch Schwangerschaftskomplikationen ausgelöst

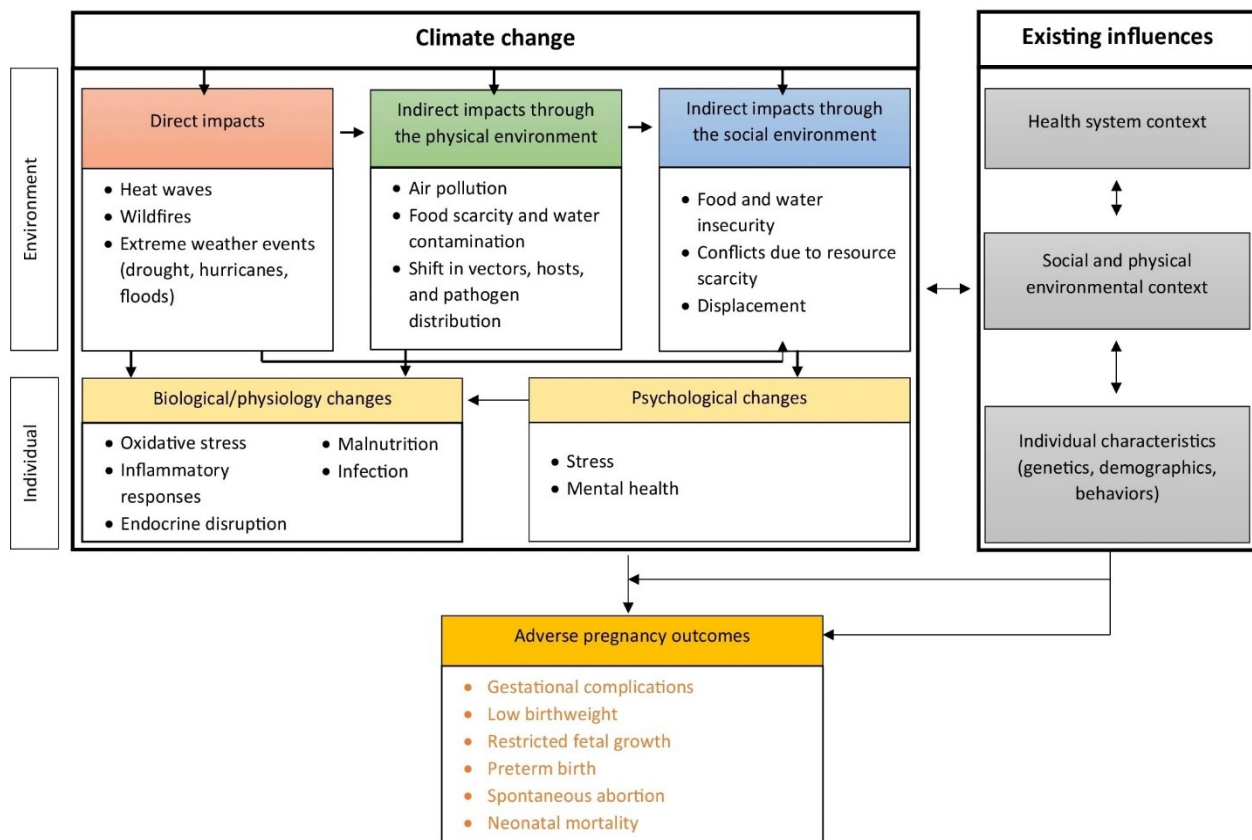


Abbildung 2: Klimawandelbedingte und individuelle Einflussfaktoren auf die Schwangerschaft und deren Auswirkungen auf den Schwangerschaftsverlauf und Schwangerschaftsausgang (Ha, 2022, S. 264). Grafik aus (Ha, 2022, S.264).

werden können. Ebenso ist der Flüssigkeitsbedarf während heißer Tage enorm wichtig, um eine Dehydration durch starkes Schwitzen zu vermeiden. Dehydration bei Schwangeren ist dahingehend problematisch, da beispielsweise die Blutversorgung zum Fötus über die Plazenta beeinträchtigt wird. Dies würde wiederum negative Auswirkungen für den weiteren Schwangerschaftsverlauf bedeuten (Baharav et al., 2023). Komplikationen betreffen dahingehend insbesondere Frühgeburten (Ha, 2022).

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Wissenschaft intensiv mit den Auswirkungen von Hitze auf Schwangerschaften und insbesondere den Geburtsausgängen beschäftigt. Zahlreiche Studien wurden dazu durchgeführt und in sämtlichen Review-Papers zusammengefasst (Carolan-Olah & Frankowska, 2014; Chersich et al., 2020; Shanmugam et al., 2023; Syed et al., 2022; Zhang et al., 2017).

Carolan-Olah & Frankowska (2014) untersuchten bereits Studien, von denen fünf der sieben eingebundenen Studien einen Zusammenhang zwischen hohen Umgebungstemperaturen und einer zunehmenden Frühgeburtenrate feststellten. Obwohl die Ergebnisse dabei eine ähnliche Tendenz aufwiesen, konnte nicht überall ein signifikantes Ergebnis beschrieben werden. Die einbezogenen Studien unterschieden sich in der Dauer der Hitzeeinwirkung. Es wurde unter anderem untersucht, wie sich ein einziger Hitzetag oder Hitze im letzten Geburtsmonat auf das Frühgeburtenrisiko auswirkte (Carolan-Olah & Frankowska, 2014).

Eine weitere Analyse von 24 Studien mit Daten aus Europa, den USA, Kanada, Israel, China und Australien unterstützt die Annahme, dass hohe Temperaturen während der Schwangerschaft zu Frühgeburten führen können. Der Großteil dieser Studien zeigten diesen Trend, während vier Studien keinen beziehungsweise einen insignifikanten Zusammenhang zwischen Hitze und Frühgeburten feststellten (Zhang et al., 2017).

Die bei Chersich et al. (2020) enthaltenen Studien des Reviews zeigten bezüglich dem Einfluss von Hitze auf Frühgeburten eine positive Assoziation. Zusätzlich durchgeführte Meta-Analysen verschiedener Studien zeigten, dass das Frühgeburtenrisiko während einer Hitzewelle um 1,16% höher war als an Tagen ohne Hitzewelle. Die Wahrscheinlichkeit für Frühgeburten war auch um 1,14% höher, wenn eine Hitzeeinwirkung über ein Trimester oder sogar über die gesamte Schwangerschaft

stattfind. Es wurden auch kürzere Zeiträume (weniger als vier Wochen) der Hitzeeinwirkung auf Schwangerschaften untersucht (Chersich et al., 2020).

44 Studien, die im Rahmen des Reviews von Syed et al. (2022) den Zusammenhang zwischen Hitze und Frühgeburten untersuchten, deuten auch auf eine Erhöhung der Frühgeburtenrate hin, wobei hier insbesondere die Hitzeeinwirkung auf die Tage und Monate vor der Geburt beschränkt wurde.

Einer der neuesten Reviews mit 23 Studien, der von Shanmugam et al. (2023) publiziert wurde, stellte einen Zusammenhang zwischen Hitze und ungünstigen Schwangerschaften und Geburtsausgängen fest. Die zeitliche Hitzeeinwirkung auf die Schwangerschaft variierte zwischen den einzelnen Studien stark. Die Spanne reichte von bestimmten Wochen in der frühen Schwangerschaft über drei bis vier Wochen vor der Geburt sowie dem ersten und dem dritten Trimester bis hin zur gesamten Schwangerschaft (Shanmugam et al., 2023).

Die Auswirkungen von Hitze auf Frühgeburten im ersten und zweiten Trimester der Schwangerschaft, untersuchten in einer der jüngsten Studien Kwag et al. (2021). Es konnte dabei ein signifikanter Zusammenhang zwischen Hitze und dem Risiko für Frühgeburten im Bezugszeitraum festgestellt werden.

Fragestellung und Hypothese

„Der Klimawandel ist die größte Herausforderung für die Menschheit, er bedroht unsere Lebensgrundlage und somit unsere sichere Zukunft“ (Adrian et al., 2023, S.3). Die Häufigkeit und Intensität von Hitzetagen und Hitzewellen nehmen weltweit zu und haben zunehmend Einfluss auf die Gesundheit von uns Menschen (Hauck et al., 2019). Besondere Aufmerksamkeit verdienen dabei Menschen der vulnerablen Gruppen, zu denen zweifellos auch Schwangere aufgrund ihrer besonderen Umstände gehören (Winklmayer et al., 2023). In den letzten drei Jahrzehnten ist die Datenlage zur Auswirkung von Hitze auf den Schwangerschaftsverlauf und insbesondere auf die Schwangerschaftsausgänge stark gestiegen. Wie aus den oben angeführten Studien hervorgeht, gibt es eine Tendenz, dass Hitze vor allem auf Frühgeburten einen Einfluss haben kann. Obwohl die Studien im Allgemeinen weltweit durchgeführt wurden und die

darin enthaltenen Untersuchungen auch in europäischen Ländern stattfanden, gibt es im Speziellen für Österreich noch keine Auswertungen. Der Zusammenhang zwischen Hitzeexposition, besonders durch die vom Klimawandel induzierten Hitzewellen und Frühgeburten wurde in Österreich noch nicht ausführlich erforscht. Daher ist das Ziel dieser Arbeit, herauszufinden, wie sich durch den anthropogenen Klimawandel verursachte Hitzewellen auf die Geburtsausgänge von schwangeren Personen in Österreich, im Speziellen in Wien, auswirken.

In dieser Arbeit soll daher folgende Hypothese untersucht werden, um die Auswirkungen von Hitze auf Schwangere in Österreich zu beschreiben:

„Schwangere Personen, die im Laufe ihrer Schwangerschaft zumindest in einem Trimester einer Hitzewelle ausgesetzt waren, haben ein höheres Risiko für eine Frühgeburt.“

Um diese Hypothese näher zu untersuchen, werden die verfügbaren Schwangerschaftsdaten und Klimadaten abgeglichen, um festzustellen, welche Schwangerschaften in Zeiträume von Hitzewellen fielen und welche nicht. Anschließend werden die einzelnen Trimester von Schwangerschaften, die sich mit Hitzewellen überschneiden haben, untersucht, um herauszufinden, wie sich Hitzewellen auf den Geburtsausgang in den jeweiligen Trimestern ausgewirkt haben. Es wird vermutet, dass Schwangerschaften, die mindestens in einem der drei Trimester Hitzewellen ausgesetzt waren, mit einer höheren Frühgeburtenrate assoziiert sind. Ebenso wird erwartet, dass die Frühgeburtenrate umso höher ist, je früher Hitzewellen während der Schwangerschaft aufgetreten sind.

Methode und Materialien

Klinischer Datensatz

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Single-Center-Studie von Geburtsdaten, die von der Klinik Donaustadt in Wien zur Verfügung gestellt wurden. Inbegriffen sind dabei 11.156 Einzelgeburten von Müttern, die bei der Geburt zwischen

18 und 51 Jahre alt waren. Durchschnittlich lag das Alter der Mütter bei 29,8 Jahren. Allgemein bezogen auf die Einzelgeburten kamen zwischen 1. Jänner 2011 und 31. Dezember 2019 insgesamt 12.718 Neugeborene in der Klinik Donaustadt zur Welt. Um den Einfluss des Klimawandels, insbesondere von Hitzetagen und Hitzeperioden, auf die Geburtsausgänge von Schwangerschaften zu untersuchen, wurden im Vorfeld Kriterien definiert, die unter anderem eine höhere Wahrscheinlichkeit für Frühgeburten aufweisen. Diese Kriterien wurden anschließend aus dem Datensatz ausgeschlossen, um diesen zu homogenisieren. Dies betrifft beispielsweise Schwangerschaften, deren Befruchtung mittels In-Vitro-Fertilisation (IVF) eingeleitet wurde. Hierbei ist die Wahrscheinlichkeit, dass das gezeugte Kind vor der 37. Schwangerschaftswoche zur Welt kommt, grundsätzlich höher als bei einer natürlichen Konzeption (Sanders et al., 2022; R. Wang et al., 2022). Darauf entfielen 676 Schwangerschaften. Weitere 829 Schwangerschaften wurden aus dem Datensatz ausgeschlossen, da bei diesen ein geplanter Kaiserschnitt stattfand. Diese Arbeit fokussiert sich jedoch auf spontane Geburten. Somit wurden auch Schwangerschaften mit der Kombination aus IVF und geplanten Kaiserschnitten exkludiert. Dieses Kriterium umfasste 57 Schwangerschaften. Obwohl bekannt ist, dass Nikotinkonsum während der Schwangerschaft zu Frühgeburten führt (Salihu & Wilson, 2007), wurde dieser Parameter aus dieser Untersuchung nicht ausgeschlossen. Der Grund dafür ist, dass es im Datensatz sonst kaum noch Frühgeburten gegeben hätte. Bei den anschließenden Berechnungen wurde jedoch gegebenenfalls nach diesem Kriterium korrigiert. Dies betrifft 1.469 Schwangerschaften. Schlussendlich wurden somit 11.156 Schwangerschaften in die Untersuchung einbezogen.

Da sich diese Arbeit vor allem mit Frühgeburten beschäftigt, wurde die Einteilung zwischen Frühgeburten und Termingeburten (Geburten ab der 37. Schwangerschaftswoche) nach der Definition der World Health Organization vorgenommen, wie auch der Tabelle 1 zu entnehmen ist. Prinzipiell wurden auch keine Geburten vor der 24. Schwangerschaftswoche miteinbezogen, da diese nicht mehr als Frühgeburten deklariert werden. Die früheste Geburt in diesem Datensatz fand in der 26. Schwangerschaftswoche statt. Bei allen miteinbezogenen Geburten handelt es sich um Lebendgeburten.

Um die Assoziation zwischen Hitzeeinwirkung und Frühgeburten, insbesondere in den einzelnen Trimestern, zu untersuchen, wurden die Zeiträume für die Trimester folgendermaßen festgelegt: das erste Trimester umfasst die 1. bis 12. Schwangerschaftswoche, das zweite Trimester die 13. bis 28. Schwangerschaftswoche und das dritte Trimester die 29. bis 40. Schwangerschaftswoche (URMC Rochester, 2024). Von den insgesamt 576 Frühgeburten in den Geburtsjahren 2011 bis 2019 können daher für die Berechnung der Frühgeburtenraten für das erste, zweite und dritte Trimester jeweils 178, 193 und 238 Schwangerschaften miteinbezogen werden.

Die Studie wurde entsprechend den Richtlinien der Helsinki Deklaration im Rahmen des Projekts „Zur Bedeutung des maternalen Alters für den fötalen Wachstumsprozess, den Gestationsverlauf sowie die Geburt“ durchgeführt. Es liegt ein Votum der zuständigen Ethikkommission vor (EK 19-274).

Klimadatensatz – SPARTACUS

Die klimatologischen Daten entstammen dem Datensatz SPARTACUS, bereitgestellt von der österreichischen Bundesanstalt GeoSphere Austria. Dieser Datensatz listet die täglichen Lufttemperaturen und Niederschlagssummen seit 1961 bis heute auf und wird täglich ergänzt. Für das gesamte Staatsgebiet Österreich wurde ein Gitternetz mit einer Auflösung von 1x1 km erstellt. SPARTACUS enthält Messdaten von 150 Messstationen in und rund um Österreich. Aufgrund von Lücken in der Verteilung der Messstationen wurde eine Interpolationsmethode herangezogen, um fehlende Lufttemperaturen und Niederschlagssummen zu berechnen. Diese Methode berücksichtigt auch die topografischen und räumlichen Gegebenheiten Österreichs. Der Interpolationsfehler bei den berechneten Messdaten beträgt bei den täglichen Höchsttemperaturen 1,0°C. Der Datensatz SPARTACUS umfasst schlussendlich 61.000 Rasterfelder (Hiebl & Frei, 2016, 2018).

Für diese Arbeit wurden aus dem genannten Datensatz die täglichen Höchsttemperaturen von April bis September der Jahre 2010 bis 2019 herangezogen. Explizit wurden für die weiteren Berechnungen die Daten aus dem Gitternetz für den Stephansplatz in Wien im ersten Wiener Gemeindebezirk mit den Koordinaten 48,211586° nördlicher Breite und

16,369102° östlicher Länge verwendet (GeoSphere Austria, 2024). Die ausgewählten Daten wurden anschließend auf Hitzetage und Hitzeperioden untersucht. Die Einteilung erfolgte nach den bereits erwähnten Definitionen von Hitzetagen und Hitzeperioden nach dem Meteorologen Jan Kysely (Höfler et al., 2021). Die Monate Oktober bis März wurden nicht berücksichtigt, da in diesen Monaten generell keine Hitzetage und somit auch keine Hitzeperioden auftraten.

Statistische Auswertung

Das Statistikprogramm IBM SPSS Statistics 25 wurde für die deskriptive Statistik der Daten aus der Klinik Donaustadt und die Auswertungen für den Einfluss von Hitze auf Schwangerschaftsausgänge verwendet. Die Klimadaten wurden im Vorfeld in Microsoft Excel tabellarisch aufgelistet. Auf dieser Grundlage wurden im selben Programm Berechnungen (Mittelwerte und Standardabweichungen) zur Anzahl der Hitzetage und Hitzeperioden pro Monat beziehungsweise Jahr durchgeführt. Für die anschließenden Auswertungen wurden die Klimadaten in IBM SPSS Statistics 25 eingebettet. Die deskriptive Statistik umfasste die wichtigsten Parameter zur Beschreibung der Stichprobe der Daten aus der Klinik Donaustadt sowie die Anzahl der Geburten pro Jahr. Das Signifikanzniveau für die verwendeten statistischen Tests lag bei $p < 0,05$. Für hochsignifikante Ergebnisse wurde das Niveau auf $p < 0,001$ gesetzt.

Die statistischen Tests umfassen unter anderem Kreuztabellen mit Fisher-Exact-Test, um folgende Gruppenunterschiede festzustellen:

- Gruppenunterschiede zwischen Frühgeburten und Hitzewellen in den einzelnen Trimestern über den gesamten Untersuchungszeitraum
- Gruppenunterschiede zwischen Frühgeburten und Hitzewellen in den einzelnen Trimestern und in den einzelnen Jahren des Untersuchungszeitraums
- Gruppenunterschiede zwischen der Geburt während einer Hitzewelle und einer Frühgeburt.

Für den Vergleich von der Anzahl der Hitzetage zwischen Termingeburten und Frühgeburten wurde ein student t-test als Mittelwertsvergleich angewendet.

Um zu erkennen, welche Faktoren die Frühgeburten beeinflussen und welche Bedeutung diese haben, wurde eine binäre logistische Regression berechnet.

Die Berechnung einer partiellen Korrelation soll den Zusammenhang zwischen Hitzetagen während der Schwangerschaft und der Schwangerschaftsdauer, korrigiert für das Alter und dem Nikotinkonsum der Mutter während der Schwangerschaft, aufzeigen.

Ergebnisse

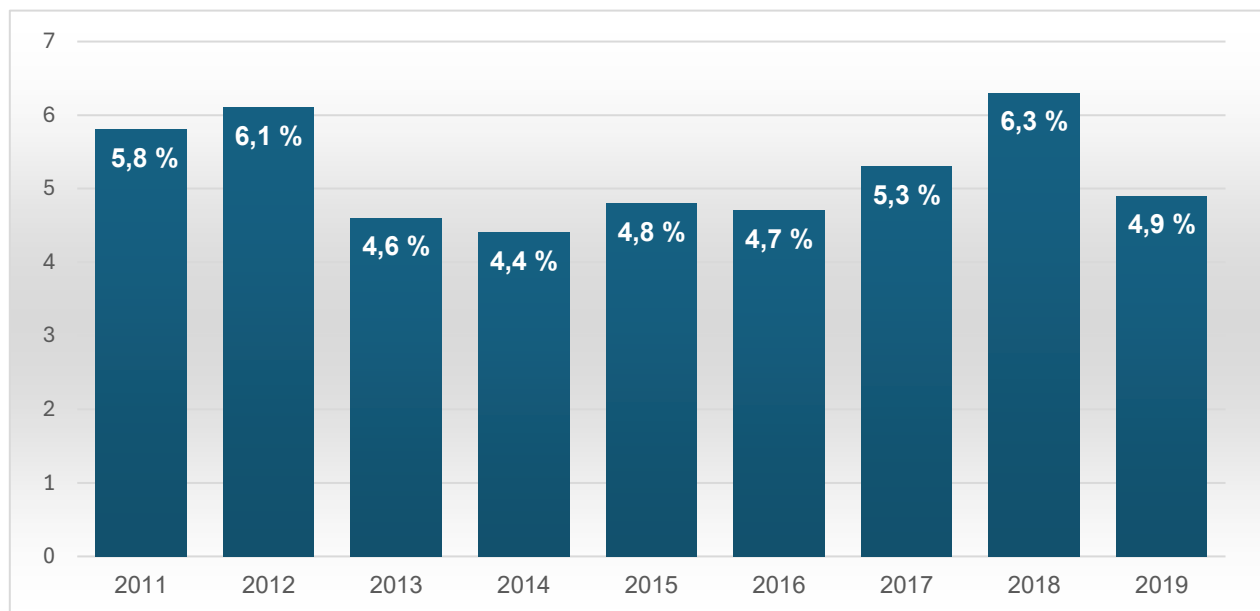
Stichprobenbeschreibung – Datensatz Klinik Donaustadt

Eine genaue Stichprobenbeschreibung der einbezogenen Schwangerschaften aus der Klinik Donaustadt kann der Tabelle **2** entnommen werden. Im Durchschnitt waren die Mütter der Stichprobe 29,8 Jahre alt, wobei die Jüngste 18 Jahre und die Älteste 51 Jahre alt war. Obwohl eine große Spannweite bei der Anzahl der durchlaufenen Schwangerschaften, von zumindest der ersten Schwangerschaft bis hin zur bereits 13. Schwangerschaft, vorliegt, bekamen die Mütter in dieser Stichprobe im Schnitt das zweite Kind. Bezüglich der Schwangerschaftsdauer fanden die Geburten im Durchschnitt nach der 39. Schwangerschaftswoche statt. Mindestens ein Kind kam bereits in der 26. Schwangerschaftswoche zur Welt sowie mindestens ein Kind in der 42. Schwangerschaftswoche. Von den 11.156 untersuchten Schwangerschaften endeten 576 (5,2%) vor der 37. Schwangerschaftswoche und sind somit nach der Definition als Frühgeburten zu deklarieren. Somit waren 10.580 Neugeborene Termingeburten. Laut Angaben der Mütter rauchten während der Schwangerschaft 1.467 (13,2%) Personen. Bezüglich dem Geschlecht der Neugeborenen wurden 5.783 (51,8%) männliche und 5.372 (48,2%) weibliche Kinder geboren. Diese kamen hauptsächlich durch spontane Entbindungen zur Welt ($n=10.131$; 90,8%). Bei 1.025 (9,2%) der Kinder war ein Notfallkaiserschnitt erforderlich.

Tabelle 2: Deskriptive Statistik des Datensatzes der Klinik Donaustadt

	x	SD	min-max	n	%
Alter der Mutter (Jahre)	29,8	5,4	18-51		
Anzahl Schwangerschaften	2,25	1,3	1-13		
Schwangerschaftswoche bei Geburt	39,3	1,6	26-42		
Frühgeburt < 37. Woche				576	5,2%
Nikotinkonsum				1469	13,2%
Geschlecht					
männlich				5783	51,8%
weiblich				5372	48,2%
Geburtsmodus					
spontane Geburt				10131	90,8%
Notfallkaiserschnitt				1025	9,2%

Betrachtet man die Frühgeburtenraten der einzelnen Jahre des Beobachtungszeitraums, so schwanken diese zwischen 4,4% und 6,3%. Die genauen Daten für jedes Jahr können der Abbildung 3 entnommen werden.

**Abbildung 3:** Frühgeburtenraten (< Schwangerschaftswoche 37) nach Geburtsjahr (IVF und geplante Kaiserschnitte ausgeschlossen)

Die jährliche Anzahl der Geburten in den einzelnen Jahren zwischen 2011 und 2019 sind in Tabelle 3 ersichtlich. Von 2011 bis 2016 wurden jährlich durchschnittlich etwa 1.474 Kinder geboren, wobei sich diese Anzahl ab 2017 nahezu halbierte. Dieser Trend setzte sich in den drauffolgenden beiden Jahren fort.

Tabelle 3: Geburten pro Geburtsjahr von 2011 bis 2019

Geburtsjahr	n	%
2011	1514	13,6%
2012	1503	13,5%
2013	1551	13,9%
2014	1320	11,8%
2015	1587	14,2%
2016	1374	12,3%
2017	721	6,6%
2018	804	7,2%
2019	782	7,0%
	11156	100%

Stichprobenbeschreibung – Klimadatensatz SPARTACUS

Tabelle 4 listet die Anzahl der Hitzetage in den Monaten April bis September der Jahre 2010 bis 2019 auf. Pro Jahr gab es durchschnittlich 32,7 Hitzetage. Mit 19 Hitzetagen wurden 2014 die wenigsten Tage mit Temperaturen über 30°C festgestellt, wohingegen ein Jahr später mit 46 Tagen die meisten Hitzetage im Untersuchungszeitraum gemessen wurden. Während im April, Mai und September höchstens 4 Hitzetage auftraten, waren es im Juni bereits im Mittel 6,7 Tage. Die meisten Hitzetage entfielen in jedem Jahr hauptsächlich auf die Monate Juli und August. Der Juni 2019 stellte dahingehend eine Ausnahme dar, da hier bereits 14 Hitzetage zu verzeichnen waren.

Tabelle 4: Anzahl der Hitzetage in den jeweiligen Monaten der Jahre 2010 bis 2019

Monat	Jahr										x	SD
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
April	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0,2	0,4
Mai	0	1	2	1	0	0	0	1	2	0	0,7	0,8
Juni	6	2	8	5	5	6	6	8	7	14	6,7	3,1
Juli	16	6	12	10	10	19	11	15	12	13	12,4	3,6
August	3	8	14	12	4	18	5	17	19	13	11,3	6,0
September	0	4	2	0	0	3	3	0	1	1	1,4	1,5
	25	21	39	28	19	46	25	41	42	41	32,7	10,0

Von 2010 bis 2019 gab es pro Jahr durchschnittlich 3,8 Hitzeperioden (SD=1,6). Diese dauerten zwischen 3 und 29 Tage ($x=8,2$; $SD=5,4$) an. Die genaue Anzahl an Hitzeperioden in den einzelnen Jahren des Untersuchungszeitraums und deren mittlere Dauer kann der Tabelle 5 entnommen werden. Besonders auffällig sind dabei die Jahre 2011 und 2018. Während es 2011 nur eine einzige Hitzewelle gab, wurden 2018 zwei Hitzeperioden verzeichnet. Unter diesen beiden befindet sich mit 29 Tagen die längste durchgehende Hitzewelle innerhalb der einbezogenen Jahre. Die durchschnittliche Temperatur lag somit beinahe einen ganzen Monat lang nicht unter 30°C.

Tabelle 5: Anzahl der Hitzeperioden pro Jahr und ihre durchschnittliche Dauer

Jahr	n	x	SD	min-max
2010	4	6,5	2,5	4-10
2011	1	6,0	0	6
2012	5	7,8	3,3	4-13
2013	3	10,0	8,2	3-19
2014	4	5,5	1,7	4-7
2015	5	8,8	4,3	3-17
2016	3	3,7	0,6	3-4
2017	6	8,0	4,4	3-14
2018	2	16,0	18,4	3-29
2019	5	10,6	4,9	4-16

Assoziationen zwischen Hitzeeinwirkung und Geburtsausgängen

Die Verteilung der Frühgeburten auf die einzelnen Geburtsjahre und Trimester sowie die dazugehörigen Frühgeburtenraten sind in Tabelle 6 dargestellt. Bis auf die Jahre 2014 und 2016 gibt es in jedem Jahr mindestens ein Trimester, wo durch Hitzeeinwirkung in dem jeweiligen Trimester die Frühgeburtenrate über der dazugehörigen jährlichen Frühgeburtenrate liegt. 2012 und 2013 betrifft dies das erste Trimester (7,4% und 5,7%), wobei diese Ergebnisse nicht signifikant sind ($p=0,096$ und $p=0,091$). 2011 lag die Frühgeburtenrate bei 13,7%, wenn im zweiten Trimester eine Hitzewelle auftrat. Dies bedeutet einen Unterschied von 7,9 Prozentpunkten gegenüber der jährlichen Frühgeburtenrate, wobei dies ein hochsignifikantes Ergebnis ($p<0,001$) darstellt. Besonders auffällig sind nach den Berechnungen die Jahre 2015 und 2017 bis 2019. In diesen 4 Jahren sind die Frühgeburtenraten nicht nur dann erhöht, wenn die Schwangere im zweiten Trimester eine Hitzewelle durchlebte (5,5%; 8,7%; 6,5%; 5,0%), sondern auch, wenn dies im dritten Trimester (5,2%; 6,8%; 6,4%; 5,7%) der Fall war. Festzuhalten ist jedoch, dass sowohl die Ergebnisse für das zweite als auch für das dritte Trimester in diesen Jahren nicht signifikant sind (siehe Tabelle 6). Zu sehen ist somit, dass bei mehr als der Hälfte der untersuchten Jahre, eine erhöhte Frühgeburtenrate erkennbar ist, wenn vor allem im zweiten Trimester eine Hitzeeinwirkung stattfand.

Tabelle 6: Frühgeburtenraten in den einzelnen Trimestern nach Geburtsjahren, wenn während der Schwangerschaft in dem jeweiligen Trimester zumindest eine Hitzewelle bzw. keine Hitzewelle durchlebt wurde (Kreuztabelle Fisher-Exact-Test)

Geburtsjahr	Frühgeburtenrate				p-Wert
	Hitzewelle		keine Hitzewelle		
2011	n	%	n	%	
1.Trimester	16	5,3%	72	5,9%	0,395
2.Trimester	18	13,7%	70	5,1%	<0,001
3.Trimester	24	6,1%	64	5,7%	0,434
2012					
1.Trimester	35	7,4%	57	5,5%	0,096
2.Trimester	43	5,9%	49	6,3%	0,400
3.Trimester	46	5,3%	46	7,3%	0,066

2013					
1.Trimester	30	5,7%	41	4,0%	0,091
2.Trimester	24	3,6%	47	5,3%	0,070
3.Trimester	25	3,8%	46	5,2%	0,125
2014					
1.Trimester	18	3,5%	40	5,0%	0,132
2.Trimester	16	3,3%	42	5,0%	0,103
3.Trimester	20	4,0%	38	4,7%	0,319
2015					
1.Trimester	25	4,5%	51	4,9%	0,408
2.Trimester	36	5,5%	40	4,3%	0,151
3.Trimester	39	5,2%	37	4,4%	0,257
2016					
1.Trimester	26	4,8%	38	4,6%	0,470
2.Trimester	12	4,0%	52	4,9%	0,316
3.Trimester	18	4,3%	46	4,8%	0,405
2017					
1.Trimester	5	3,3%	33	5,8%	0,152
2.Trimester	8	8,7%	30	4,8%	0,098
3.Trimester	21	6,8%	17	4,1%	0,081
2018					
1.Trimester	18	6,3%	35	6,4%	0,539
2.Trimester	24	6,5%	27	6,2%	0,495
3.Trimester	24	6,4%	27	6,3%	0,547
2019					
1.Trimester	7	2,2%	31	6,7%	0,002
2.Trimester	12	5,0%	26	4,8%	0,501
3.Trimester	21	5,7%	17	4,1%	0,183

Betrachtet man alle Geburtsjahre zusammen, so ist auch hier der beschriebene Sachverhalt zu erkennen. Die Frühgeburtenrate ist zumindest geringfügig höher (5,3%) als die allgemeine Frühgeburtenrate von 5,2% in diesem Zeitraum, wenn im zweiten Trimester Hitzeperioden durchlebt wurden (siehe Tabelle 7). Auch wenn dieses Ergebnis nicht signifikant ausfiel, so ist auch hier ein Trend zu sehen, dass Hitzeeinwirkung im zweiten Trimester mit einer erhöhten Frühgeburtenrate einhergeht.

Tabelle 7: Frühgeburtenraten in den einzelnen Trimestern für alle Geburtsjahre zusammen, wenn während der Schwangerschaft in dem jeweiligen Trimester eine Hitzewelle bzw. keine Hitzewelle durchlebt wurde (Kreuztabelle Fisher-Exact-Test)

	Frühgeburtenrate				p-Wert
	Hitzewelle		keine Hitzewelle		
	n	%	n	%	
1.Trimester	178	4,9%	398	5,3%	0,197
2.Trimester	193	5,3%	383	5,1%	0,372
3.Trimester	238	5,1%	338	5,2%	0,443

Vergleicht man bei Frühgeburten und Termingeburten die Anzahl der durchlebten Hitzetage, so zeigt Tabelle 8, dass im Durchschnitt bei Frühgeburten im zweiten ($x=6,20$) und dritten Trimester ($x=7,97$) mehr Hitzetage durchlebt werden als bei Termingeburten ($x=5,19$; $x=7,85$). Mit $p=0,018$ ist dies für das zweite Trimester ein signifikantes Ergebnis, während es für das dritte Trimester nicht der Fall ist ($p=0,430$). Der Trend geht jedoch in dieselbe Richtung.

Tabelle 8: Vergleich Anzahl der Hitzetage zwischen Termingeburten und Frühgeburten (student t-test)

n	Frühgeburt		Termingeburt		p-Wert
	576		10580		
	x	SD	x	SD	
1.Trimester	5,32	10,54	6,41	11,16	0,008
2.Trimester	6,20	11,28	5,19	9,70	0,018
3.Trimester	7,97	12,64	7,85	12,27	0,430

Wie Hitzetage während der Schwangerschaft in den jeweiligen Trimestern und die Schwangerschaftsdauer zueinander in Beziehung stehen, ist der Tabelle 9 zu entnehmen. Zu beachten ist, dass für die Berechnungen der partiellen Korrelation für das Alter und den Nikotinkonsum der Mutter korrigiert wurde, da diese beiden Faktoren, wie bereits erwähnt, mit Frühgeburten in Verbindung gebracht werden können. Zu erkennen ist eine negative Korrelation mit $r=-0,020$ beziehungsweise $r=-0,002$ für das zweite beziehungsweise dritte Trimester. Dies bedeutet, dass die Schwangerschaftsdauer kürzer ist, je mehr Hitzetage in dem jeweiligen Trimester durchlebt wurden. Für das zweite Trimester ist dies signifikant ($p=0,016$), jedoch nicht für das dritte Trimester ($p=0,407$).

Tabelle 9: Korrelation zwischen Hitzetagen während der Schwangerschaft und Schwangerschaftsdauer (Partielle Korrelation korrigiert für das Alter und den Nikotinkonsum der Mutter)

	Gestationswochen	
	r	p-Wert
Hitzetage im 1.Trimester	0,028	0,028
Hitzetage im 2.Trimester	-0,020	0,016
Hitzetage im 3.Trimester	-0,002	0,407

Tabelle 10 stellt abschließend die Assoziationen zwischen Hitzetagen und Frühgeburten durch eine binäre logistische Regression dar. Das Alter und der Nikotinkonsum der Mutter während der Schwangerschaft sind zwei hochsignifikante Faktoren ($p<0.001$), die zu Frühgeburten führen. Für die Assoziation zwischen Hitzetagen und Frühgeburten ergibt sich für die Hitzeeinwirkung im zweiten Trimester wieder ein signifikantes Ergebnis ($p=0,023$) mit $r=0,009$. Somit ist zu sehen, dass Hitzetage, die im zweiten Trimester durchlebt wurden, einen signifikant positiven Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer Frühgeburt haben, unabhängig vom Alter und dem Nikotinkonsum der Mutter während der Schwangerschaft. Das dritte Trimester weist einen ähnlichen Trend auf, jedoch ist das Ergebnis mit $p=0,816$ nicht signifikant.

Tabelle 10: Assoziationen zwischen Hitzetagen und Frühgeburten (binäre logistische Regression, Frühgeburten=1, Termingeburt=0)

	Regressionskoeffizient	Signifikanz	Exp.(B)
	r	p-Wert	
Hitzetage im 1.Trimester	-0,010	0,018	0,990
Hitzetage im 2.Trimester	0,009	0,023	1,009
Hitzetage im 3.Trimester	0,001	0,816	1,001
Alter der Mutter	0,030	<0,001	1,030
Nikotinkonsum	-0,566	<0,001	0,568

Diskussion

Durch den menschengemachten Klimawandel nehmen die Hitzetage und Hitzewellen nachweislich auch in Österreich immer mehr zu (Formayer et al., 2021). Dies beeinflusst das menschliche Leben und somit auch den Beginn des Lebens, die Schwangerschaft (Ha, 2022). Unter diesem Gesichtspunkt untersuchte diese Studie den Einfluss von klimawandelbedingten Hitzetagen und Hitzewellen auf den Geburtsausgang von schwangeren Frauen in Wien. Ein besonderer Augenmerk lag dabei auf den Frühgeburten. Es wurde vermutet, dass eine höhere Wahrscheinlichkeit für Frühgeburten besteht, wenn während der Schwangerschaft in mindestens einem der drei Trimester der Schwangerschaft eine Hitzewelle durchlebt wurde. Außerdem wurde angenommen, dass Frühgeburtenraten umso höher sind, je früher in der Schwangerschaft Hitzewellen auftreten. Um diese Annahmen zu überprüfen, wurden im Rahmen dieser Single-Center-Studie 11.156 Einzelgeburten aus der Klinik Donaustadt im Zeitraum von 2011 bis 2019 auf den Einfluss von Hitzetagen und Hitzewellen untersucht.

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen darauf schließen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Frühgeburt höher ist, wenn während des zweiten Trimesters der Schwangerschaft eine Hitzewelle durchlebt wurde. Dies zeigt sich sowohl bei der separaten Betrachtung der einzelnen Jahre des Untersuchungszeitraums als auch jahresübergreifend. Obwohl die Frühgeburtenraten in Bezug auf Hitzewellen oftmals nur wenige Prozentpunkte über

dem Vergleichswert liegen und keine Signifikanzen aufweisen, so ist eine Tendenz für Frühgeburten zu erkennen, die die Hypothese stützt. Dieser Trend ist auch bei Hitzewellen im dritten Trimester zu beobachten, jedoch in einem geringeren Ausmaß. Unterstützt wird dieses Ergebnis dadurch, dass bei Frühgeburten mit Hitzeeinwirkung im zweiten und dritten Trimester mehr Hitzetage durchlebt wurden als bei Termingeburten. Es konnte gezeigt werden, dass die Einwirkung von Hitzetagen im zweiten Trimester signifikant negativ mit der Schwangerschaftsdauer zusammenhängt. Dies bedeutet also, dass das Risiko für Frühgeburten steigt, wenn es im zweiten Trimester sehr heiß ist und die Hitze über längere Zeit anhält. Ein ähnlicher Trend gilt für die Einwirkung von Hitzetagen während des dritten Trimesters, jedoch ohne statistische Signifikanz. Durch weitere Berechnungen konnte die Assoziation von Hitzetagen im zweiten und dritten Trimester mit Frühgeburten festgestellt werden, wobei wiederum nur für das zweite Trimester signifikante Ergebnisse vorliegen. Die Annahme, dass Frühgeburtenraten umso höher sind, desto früher in der Schwangerschaft Hitzewellen auftreten, konnte nicht bestätigt werden. Die Frühgeburtenraten in den einzelnen Jahren als auch in der Gesamtbetrachtung zusammengefasst liegen unter den Vergleichswerten, wenn im ersten Trimester Hitzewellen durchlebt wurden. Eine Ausnahme bilden die Jahre 2012 und 2013, wobei die Ergebnisse keine Signifikanz aufweisen. Das zweite Trimester scheint somit auch hier eine Rolle für den Geburtsausgang in Bezug auf die Hitzeeinwirkung zu spielen.

Studien, die sich bereits in der Vergangenheit mit dem Einfluss von Hitzetagen und Hitzewellen auf den Geburtsausgang beschäftigten, zeigen ähnliche Ergebnisse. Obwohl die Datenlage für einzelne Trimester, insbesondere für das erste und zweite Trimester nicht umfangreich ist, so konnten Kwag et al. (2021) in Südkorea und Y.-Y. Wang et al. (2020) am Festland China auch eine höhere Frühgeburtenrate feststellen, wenn im zweiten Trimester der Schwangerschaft eine Hitzeeinwirkung stattgefunden hat. Kwag et al. (2021) untersuchten dabei den Einfluss von Hitzewellen auf den Schwangerschaftsausgang, wie es auch in der vorliegenden Studie der Fall ist, während sich Y.-Y. Wang et al. (2020) generell mit höheren Umgebungstemperaturen befassten. Zusätzlich wurde in der Studie aus Südkorea eine höhere Frühgeburtenrate ermittelt, wenn während des ersten Trimesters eine Hitzewelle durchlebt wurde (Kwag et al., 2021).

Ein ähnliches Ergebnis konnte für das erste Trimester auch Ha et al. (2017) bei Daten aus den USA dokumentieren. Dies stellt einen Unterschied zur durchgeführten Studie dar, in der nur in zwei Jahren des Untersuchungszeitraums bei Hitzeeinwirkung im ersten Trimester höhere Frühgeburtenraten festzustellen waren, jedoch ohne signifikantes Ergebnis. Bei Untersuchungen in Rom und Barcelona konnte festgestellt werden, dass Hitze vor allem im späten zweiten Trimester einen Faktor für Frühgeburten darstellt. Hitze, die in den Monaten von April bis Oktober auftraten, konnte mit einer höheren Frühgeburtenrate assoziiert werden (Schifano et al., 2016). Bis auf einen Monat deckt sich der Zeitraum der Hitzeeinwirkung bei dieser Studie mit jenem der durchgeführten Studie. Im Gegensatz dazu stellten Li et al. (2018) in ihrer Studie in Australien fest, dass hohe Temperaturen im ersten und zweiten Trimester mit keinem höheren Frühgeburtenrisiko einhergehen.

Bezogen auf das dritte Trimester untersuchten Studien oftmals nur die Auswirkung von Hitzetagen und Hitzewellen auf den Geburtsausgang in den letzten Wochen und Tagen vor der Geburt. Dadurch ist ein Vergleich der Ergebnisse für die Hitzeeinwirkung speziell für das gesamte dritte Trimester schwer möglich. Sämtliche Studien fanden heraus, dass Hitzetage und Hitzewellen in den letzten Wochen und Tagen vor der Geburt das Frühgeburtenrisiko beeinflussen. Mathew et al. (2017) berichten, dass Hitze in den letzten drei Wochen vor der Geburt mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Frühgeburten in Verbindung gebracht werden kann. Für die letzte Schwangerschaftswoche vor der Geburt stellen Q. Wang et al. (2020) einen Zusammenhang zwischen Hitzewellen und Frühgeburten fest. Dies ist auch bei Son et al. (2019) der Fall, wobei hier eine höhere Frühgeburtenrate mit Hitzeeinwirkung eine beziehungsweise vier Wochen vor der Geburt assoziiert wurde. Für die letzten drei Monate der Schwangerschaft, die grundsätzlich mit dem dritten Trimester übereinstimmen, konnte in einer Studie aus China ein erhöhtes Risiko für Frühgeburten bei Hitzeeinwirkung ermittelt werden (Guo et al., 2018). Die bereits zuvor erwähnte Studie von Y.-Y. Wang et al. (2020) stellt zusätzlich fest, dass hohe Temperaturen im dritten Trimester den Geburtsausgang beeinflussen.

In Bezug auf Frühgeburten kann Hitze einen einflussreichen Faktor darstellen. Aufgrund der enormen physiologischen Umstellungen, die eine Schwangerschaft mit sich bringt, gibt es einige Erklärungen, wie es durch Hitzeeinwirkung zu Frühgeburten kommen kann.

Die Regelung der Körperkerntemperatur der Mutter und des Ungeborenen spielt hier beispielsweise eine wichtige Rolle. Bei Hitzeeinwirkung ist diese Regulation beeinträchtigt. Erhöht sich die Körperkerntemperatur der Mutter, so erhöht sich auch ihr Puls, wodurch es zu einer Tachykardie beim Fötus kommen kann. Zusätzlich kann durch Umlenkung von Blut zur Kühlung des Körpers der Blutfluss zur Plazenta beeinträchtigt werden. All dies kann schlussendlich dazu führen, dass Kontraktionen in der Gebärmutter ausgelöst werden und so eine vorzeitige Geburt stattfindet. Kommt es durch Schwitzen zur Dehydration des mütterlichen Körpers kann dies auch Einfluss auf den Blutfluss zur Plazenta nehmen, wobei generell eine Reduktion des Blutvolumens stattfindet. Durch den Wasserverlust werden unter anderem antidiuretische Hormone, die für die Regelung des Wasserhaushaltes verantwortlich sind, aber auch Oxytocin ausgeschüttet, die ebenso zur frühzeitigen Wehentätigkeit beitragen können. Hitzestress allgemein kann ein treibender Faktor für Frühgeburten darstellen. Durch Hormone wie Oxytocin und Prostaglandin, welche für die Einleitung des Geburtsvorganges verantwortlich sind, können bei Hitzeeinwirkung Wehen ausgelöst werden. Durch den Stress kommt es zur vermehrten Ausschüttung von Cortisol, wodurch auch die Produktion der beiden zuvor erwähnten Hormone gefördert wird und folglich Wehen entstehen können. Diese können schlussendlich zu Frühgeburten führen (Baharav et al., 2023; Samuels et al., 2022; Wyrwoll, 2023).

Warum besonders das zweite Trimester für Hitzetage und Hitzewellen in Zusammenhang mit einer verkürzten Gestationszeit stehen soll, lässt sich aus der Literatur selbst nicht erschließen. Eine mögliche Erklärung für diesen Sachverhalt könnte sein, dass Hitze im ersten Trimester der Schwangerschaft wenig Einfluss auf Frühgeburten hat. Wie erwähnt, werden in den ersten Wochen der Schwangerschaft alle lebenswichtigen Organsysteme angelegt (Brenner et al., 2019). Findet dies beispielsweise im Sommer statt, wenn die meisten Hitzetage und Hitzewellen auftreten, so wird der Großteil der Schwangerschaft dennoch in Monaten verbracht, in denen es keine Hitzeeinwirkung gibt. Somit wäre es vorstellbar, dass frühe Hitzetage und Hitzewellen in der Schwangerschaft durch die darauffolgenden kühleren Temperaturen kompensiert werden können, wodurch das Risiko für Frühgeburten gering bleibt. Es scheint jedoch der Fall zu sein, dass auftretende Hitze im ersten Trimester zu angeborenen Anomalien führen kann (Samuels et al., 2022).

In der zweiten großen Phase der Schwangerschaft kommt es zu einer enormen Entwicklung des Fötus, wobei die angelegten Organsysteme ausreifen und das Wachstum des Ungeborenen stattfindet (Brenner et al., 2019). Dies ist eine Phase, in der sich enorm viel im Körper der Mutter als auch des Fötus umstellt. Werden dabei Regelkreise durch Hitzeeinwirkung gestört, kann es zu den beschriebenen Komplikationen kommen, die anschließend eine verkürzte Schwangerschaft bewirken können. Wird hingegen erst im dritten Trimester eine Hitzewelle durchlebt, so wäre es denkbar, dass die Einwirkung zu spät stattfindet, um größeren Einfluss auf die Gestationszeit zu nehmen. Aus diesen Gründen könnte daher abgeleitet werden, dass vor allem das zweite Trimester für Hitzeeinwirkung in Bezug auf Frühgeburten anfällig ist.

Obwohl die Ergebnisse dieser Arbeit auf den ersten Blick mit anderen Studien grundsätzlich übereinstimmen, stellt sich die Frage, ob der Vergleich all dieser Studien sinnvoll ist. Allgemein lässt sich festhalten, dass Hitzetage und Hitzewellen mit hoher Wahrscheinlichkeit einen Einfluss auf die Geburtsausgänge und somit auf Frühgeburten haben. Jedoch ist zu sehen, dass bei allen eingebundenen Studien, die Begriffe „Hitzetage“ und „Hitzewelle“ unterschiedlich definiert wurden. Während sich die durchgeführte Studie auf die Definition des tschechischen Meteorologen Jan Kyselý bezieht, so definieren viele Studien Hitze durch beispielsweise das 90. oder 95. Perzentil der örtlichen Temperaturverteilung oder der Maximaltemperaturen, wie es beispielsweise bei Sun et al. (2019) oder Y.-Y. Wang et al. (2020) der Fall ist. Andere Studien definieren Hitzewellen und Hitzetage anhand der Dauer und Temperaturangaben, die jedoch ebenso voneinander stark abweichen. Aus diesem Grund ist die Vergleichbarkeit dieser Studien eigentlich nur bedingt möglich. Zusätzlich ist wichtig zu erwähnen, dass der Begriff Hitze generell weltweit anders verstanden werden kann. Befindet man sich beispielsweise im gemäßigten Klima, so werden hier Hitzetage anders wahrgenommen und definiert, als in den Tropen, wo das Temperaturniveau von Natur aus einen erheblichen Unterschied aufweist. Wenn Hitzewellen ganzjährig auftreten und nicht nur zu einer bestimmten Zeit im Jahr, so lassen sich auch hier die Ergebnisse nicht direkt in Beziehung setzen. Für die Vergleichbarkeit wäre es somit wichtig, auf eine einheitliche Definition von Hitzetagen beziehungsweise Hitzewellen zu achten, um den genauen Einfluss von Hitzeeinwirkung auf die Geburtsausgänge erfassen zu können. Zumindest wäre in diesem

Zusammenhang eine einheitliche Definition für die einzelnen Klimazonen sinnvoll, um auf eine genaue Richtlinie für bereits definierte Gebiete zurückgreifen zu können.

Ein weiterer Aspekt, der die Vergleichbarkeit einschränkt, sind die unterschiedlichen Gesundheitssysteme in den Ländern der eingebundenen Studien und auch die damit verbundene Schwangerenbetreuung. Das Gesundheitswesen wird im asiatischen Raum anders organisiert sein als beispielsweise jenes in europäischen Ländern, aber auch jenes in den USA. Mutterschutz und andere Maßnahmen, welche beispielsweise in Österreich Standard sind, müssen in anderen Ländern nicht unbedingt gleich gehandhabt sein. Dies bildet daher wiederum einen Faktor der nicht beeinflussbar ist und trotzdem in Bezug auf Schwangerschaftsausgängen eine wichtige Rolle spielen kann.

Diese Studie ist die erste ihrer Art, die den Einfluss von klimawandelbedingten Hitzetagen und Hitzewellen auf den Geburtsausgang von schwangeren Frauen in Österreich, speziell in Wien, untersucht. Jedoch gibt es auch Limitationen, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Da es sich um eine retrospektive Single-Center-Studie handelt, wurden Geburtsdaten aus einem einzigen Krankenhaus herangezogen. Um exaktere Aussagen über den Sachverhalt treffen zu können, wäre es sinnvoll, auch Daten aus anderen Spitälern in Wien in weitere Untersuchungen einzubinden.

Eine genauere Betrachtung wäre auch für die Klimadaten notwendig. Für diese Studie wurden die Maximaltemperaturen des Gitterrasters für den Stephansplatz im ersten Wiener Gemeindebezirk verwendet. Die Wohnorte der Schwangeren beziehen sich jedoch nicht nur auf diesen spezifischen Ort in Wien, sondern sind natürlich auf ganz Wien verteilt. Anstatt mit einer punktuell wirkenden Temperaturangabe zu rechnen, würden sich daher Durchschnittstemperaturen für die gesamte Fläche von Wien anbieten. Da dies jedoch einen enormen Aufwand dargestellt hätte, wäre der Rahmen dieser Arbeit gesprengt worden.

Eine weitere Limitation dieser Studie besteht darin, dass nicht alle Aspekte, die einen Einfluss auf die Schwangerschaft nehmen können, berücksichtigt wurden. Dies umfasst beispielsweise den sozioökonomischen Status der Schwangeren. Bekannt ist jedoch, dass vor allem Personen aus dem breiten Spektrum der Mittelschicht in diesem auf Geburten spezialisierte Krankenhaus entbinden. Weiterhin ist unbekannt, ob die gesamte

Schwangerschaft in Wien verbracht wurde. Möglicherweise waren Schwangere für eine gewisse Zeit in einer kälteren Klimazone, während in Wien Hitzetage oder Hitzewellen auftraten. In diesem Fall wären Schwangere keiner extremen Hitzeeinwirkung ausgesetzt gewesen, wodurch das Ergebnis verfälscht werden würde. Auch persönliche Stressfaktoren können den Schwangerschaftsausgang beeinflussen. Diese sind jedoch nicht erfasst, wodurch diese nicht berücksichtigt werden konnten.

Schlussendlich ist festzuhalten, dass wichtige Parameter, die Einfluss auf den Schwangerschaftsverlauf und somit eventuell auch auf Frühgeburten haben können, nicht eingebunden wurden. Weitere Studien wären daher notwendig und sinnvoll, um einen umfassenden Blick auf den Einfluss von Hitze auf Schwangerschaften in ihrer Gesamtheit zu erhalten.

Conclusio

Diese Studie untersuchte den Einfluss von Hitzetagen und Hitzewellen auf den Geburtsausgang bei schwangeren Frauen in Wien. Weltweit befassten sich bereits sämtliche Studien mit den Auswirkungen von immer mehr werdenden Hitzewellen durch den Klimawandel auf den Schwangerschaftsverlauf. Die vorliegende Arbeit konnte dabei einen Trend feststellen, dass Frühgeburten häufiger auftreten, wenn während des zweiten Trimester der Schwangerschaft Hitzewellen beziehungsweise Hitzetage durchlebt wurden. Die Anzahl der Hitzetage war diesbezüglich bei Frühgeburten höher als bei Termingeburten. Es konnte auch eine Tendenz für die Assoziation zwischen Hitzetagen und Frühgeburten im zweiten und dritten Trimester ermittelt werden. Aufgrund unterschiedlicher Definitionen von Hitzetagen und Hitzewellen ist die Vergleichbarkeit mit ähnlichen Studien nur bedingt möglich. Weltweit wird Hitze anders wahrgenommen und tritt auch zu verschiedenen Zeitpunkten des Jahres auf. Deshalb sollten weitere Studien durchgeführt werden, die sich an einer einheitlichen Definition von Hitzetagen und Hitzewellen orientieren.

Durch die allgemeine Datenlage sind Mechanismen bekannt, die erklären, wie Hitze die Schwangerschaft beeinflussen und somit die Gestationszeit verkürzen können. Hitze

alleine stellt jedoch nicht den einzigen Stressfaktor in dieser Phase dar. Besonders zu beachten sind Kombinationen aus mehreren ungünstigen Faktoren. Um genauere Aussagen über den Einfluss von Hitze auf Frühgeburten treffen zu können, wären weitere Studien zu diesem Sachverhalt sinnvoll. Diese könnten auch dazu beitragen, mögliche Schutzmaßnahmen für Schwangere in dieser vulnerablen Zeit zu entwickeln. Dies betrifft vor allem die einzelnen Trimester, die möglicherweise unterschiedlich anfällig für Hitzeeinwirkung sind.

Literaturverzeichnis

- Adrian, G., Dietrich, M., Esser, B., Hensel, A., Isermeyer, F., Messner, D., Mettenleiter, T. C., Paulini, I., Riewenherm, S., Schaade, L., Tiesler, R., & Wieler, L. H. (2023). *Gemeinsam können wir den Auswirkungen des Klimawandels begegnen*. <https://doi.org/10.25646/11390>
- AGES. (2023, Dezember 18). *Informationen zu Hitze*. <https://www.ages.at/umwelt/klima/klimawandelanpassung/hitze#:~:text=Hohe%20Umgebungstemperaturen%2C%20insbesondere%20in%20Verbindung,sowie%20Personen%20mit%20eingeschr%C3%A4nkt%20Mobilit%C3%A4t>
- Almeida, D. L., Pavanello, A., Saavedra, L. P., Pereira, T. S., De Castro-Prado, M. A. A., & De Freitas Mathias, P. C. (2019). Environmental monitoring and the developmental origins of health and disease. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 10(6), 608–615. <https://doi.org/10.1017/S2040174419000151>
- Anderl, M., Bartel, A., Bürger, J., Gössl, M., Haydn, M., Heinfellner, H., Heller, C., Heuber, A., Köther, T., Krutzler, T., Kuschel, V., Makoschitz, L., Mayer, M., Mayer, S., Moldaschl, E., Pazdernik, K., Poupa, S., Purzner, M., Rigler, E., ... Zechmeister, A. (2023). *Klimaschutzbericht 2023*. 265.
- Arsad, F. S., Hod, R., Ahmad, N., Ismail, R., Mohamed, N., Baharom, M., Osman, Y., Radi, M. F. M., & Tangang, F. (2022). The Impact of Heatwaves on Mortality and Morbidity and the Associated Vulnerability Factors: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16356. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316356>
- Baharav, Y., Nichols, L., Wahal, A., Gow, O., Shickman, K., Edwards, M., & Huffling, K. (2023). The Impact of Extreme Heat Exposure on Pregnant People and Neonates: A State of the Science Review. *Journal of Midwifery & Women's Health*, 68(3), 324–332. <https://doi.org/10.1111/jmwh.13502>
- Bartsch, G. M. (2016). *Klimawandel und Sicherheit in der Arktis: Hintergründe, Perspektiven, Strategien*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11148-9>

- Bauer, C., Stangl, M., Wilfinger, P., Wolf, A., Formayer, H., Hiebl, J., Orlik, A., & Hinger, D. (2023). *Klimastatusbericht Österreich 2022*.
- Behre, H. M., Breckwoldt, M., Hadji, P., Karck, U., Keck, Ch., Neulen, J., Schuth, W., & Stickeler, E. (2002). *Endokrinologie, Reproduktionsmedizin, Andrologie*. Georg Thieme Verlag KG.
- Berger, R., Abele, H., Bahlmann, F., Doubek, K., Felderhoff-Müser, U., Fluhr, H., Garnier, Y., Grylka-Baeschlin, S., Hayward, A., Helmer, H., Herting, E., Hoopmann, M., Hösli, I., Hoyme, U., Kunze, M., Kuon, R.-J., Kyvernitakis, I., Lütje, W., Mader, S., ... Surbek, D. (2023). *Prevention and Therapy of Preterm Birth. Guideline of the DGGG, OEGGG and SGGG (S2k-Level, AWMF Registry Number 015/025, September 2022)—Part 1 with Recommendations on the Epidemiology, Etiology, Prediction, Primary and Secondary Prevention of Preterm Birth*. (S. 547–568). <https://doi.org/10.1055/a-2044-0203>
- Berger, R., Abele, H., Garnier, Y., Kuon, R., Rath, W., & Maul, H. (2020). Frühgeburt: Epidemiologie, Prädiktion und Prävention. *Der Gynäkologe*, 53(5), 331–337. <https://doi.org/10.1007/s00129-020-04584-5>
- Brenner, B., Burckhardt, G., Draguhn, A., Ehmke, H., Eysel, U., Fandrey, J., Garnier, Y., Geiger, J., Gekle, M., Göbel, K., & Singer, D. (2019). *Physiologie* (H.-C. Pape, A. Kurtz, S. Silbernagl, R. Klinke, R. Gay, & A. Rothenburger, Hrsg.; 9., vollständig überarbeitete Auflage). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-006-163285>
- Bührer, C., Felderhoff-Müser, U., Gembruch, U., Hecher, K., Kainer, F., Kehl, S., Kidszun, A., Kribs, A., Krones, T., Lipp, V., Maier, R. F., Mitschdörfer, B., Nicin, T., Roll, C., & Schindler, M. (2020). *Frühgeborene an der Grenze der Lebensfähigkeit*. https://register.awmf.org/assets/guidelines/024-019I_S2k_Fr%C3%BChgeburt_Grenze_Lebensf%C3%A4higkeit_2021-01.pdf
- Bunz, M., & Mücke, H.-G. (2017). Klimawandel – physische und psychische Folgen. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 60(6), 632–639. <https://doi.org/10.1007/s00103-017-2548-3>
- Campbell, S., Remenyi, T. A., White, C. J., & Johnston, F. H. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place*, 53, 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017>

- Carolan-Olah, M., & Frankowska, D. (2014). High environmental temperature and preterm birth: A review of the evidence. *Midwifery*, 30(1), 50–59.
<https://doi.org/10.1016/j.midw.2013.01.011>
- Chersich, M. F., Pham, M. D., Areal, A., Haghighi, M. M., Manyuchi, A., Swift, C. P., Wernecke, B., Robinson, M., Hetem, R., Boeckmann, M., & Hajat, S. (2020). Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and stillbirths: Systematic review and meta-analysis. *BMJ*, m3811. <https://doi.org/10.1136/bmj.m3811>
- Desai, Y., Khraishah, H., & Alahmad, B. (2023). Heat and the Heart. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 96(2), 197–203. <https://doi.org/10.59249/HGAL4894>
- Di Renzo, G. C., Tosto, V., & Giardina, I. (2018). The biological basis and prevention of preterm birth. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 52, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2018.01.022>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., De Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: Health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Europäische Union. (2024, Juni 10). *Folgen des Klimawandels*.
https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_de#nat%C3%BCrliche-folgen
- Faller, A., & Schünke, M. (2020). *Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion* (18., unveränderte Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Fischer, T., Grab, D., Grubert, T., Hantschmann, P., Kainer, F., Kästner, R., Kentenich, C., Lammert, F., Louwen, F., & Mylonas, I. (2016). *Maternale Erkrankungen in der Schwangerschaft*. <https://doi.org/10.1016/B978-3-437-23752-2.00017-1>
- Formayer, H., Michl, C., Stangl, M., Höfler, A., & Kalcher, M. (2021). *Klimastatusbericht_OEsterreich_2020.pdf*.
- GeoSphere Austria. (2024, Februar 15). *SPARTACUS - Spatial Dataset for Climate in Austria*.
<https://dataset.api.hub.geosphere.at/app/frontend/raster/historical/spartacus-v2-1d-1km>

- GeoSphere Austria. (2024). *Wärmster Februar der Messgeschichte*.
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/waermster-februar-der-messgeschichte>
- Guo, T., Wang, Y., Zhang, H., Zhang, Y., Zhao, J., Wang, Y., Xie, X., Wang, L., Zhang, Q., Liu, D., He, Y., Yang, Y., Xu, J., Peng, Z., & Ma, X. (2018). The association between ambient temperature and the risk of preterm birth in China. *Science of The Total Environment*, 613–614, 439–446.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.104>
- Ha, S. (2022). The Changing Climate and Pregnancy Health. *Current Environmental Health Reports*, 9(2), 263–275. <https://doi.org/10.1007/s40572-022-00345-9>
- Ha, S., Liu, D., Zhu, Y., Kim, S. S., Sherman, S., & Mendola, P. (2017). Ambient Temperature and Early Delivery of Singleton Pregnancies. *Environmental Health Perspectives*, 125(3), 453–459. <https://doi.org/10.1289/EHP97>
- Hauck, M., Leuschner, C., & Homeier, J. (2019). *Klimawandel und Vegetation—Eine globale Übersicht*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59791-0>
- Hiebl, J., & Frei, C. (2016). Daily temperature grids for Austria since 1961—Concept, creation and applicability. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(1–2), 161–178. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1411-4>
- Hiebl, J., & Frei, C. (2018). Daily precipitation grids for Austria since 1961—Development and evaluation of a spatial dataset for hydroclimatic monitoring and modelling. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(1–2), 327–345.
<https://doi.org/10.1007/s00704-017-2093-x>
- Hiebl, J., & Orlik, A. (2022). *Klimarückblick Wien 2022*. CCCA.
- Höfler, A., Hiebl, J., & Orlik, A. (2021). *Klimarueckblick_Wien_2020.pdf*. CCCA.
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty* (1. Aufl.). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change* (1. Aufl.). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Kienzl, S., Kohrs, R., & Matzenberger, M. (2022, Juli 19). So viele Hitzewellen gab es bei Ihnen in den vergangenen 60 Jahren. *Der Standard*.
<https://www.derstandard.at/story/2000137388359/so-viele-hitzewellen-gab-es-bei-ihnen-in-den-vergangenen>
- Klimont, J. (2023). *Nahezu jedes dritte Neugeborene kam 2022 per Kaiserschnitt zur Welt*. 4.
- Kovats, R. S., & Kristie, L. E. (2006). Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, 16(6), 592–599. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckl049>
- Kwag, Y., Kim, M., Oh, J., Shah, S., Ye, S., & Ha, E.-H. (2021). Effect of heat waves and fine particulate matter on preterm births in Korea from 2010 to 2016. *Environment International*, 147, 106239. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106239>
- Li, S., Chen, G., Jaakkola, J. J. K., Williams, G., & Guo, Y. (2018). Temporal change in the impacts of ambient temperature on preterm birth and stillbirth: Brisbane, 1994–2013. *Science of The Total Environment*, 634, 579–585.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.385>
- Liu, J., Varghese, B. M., Hansen, A., Zhang, Y., Driscoll, T., Morgan, G., Dear, K., Gourley, M., Capon, A., & Bi, P. (2022). Heat exposure and cardiovascular health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 6(6), e484–e495. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00117-6)
- Mathew, S., Mathur, D., Chang, A. B., McDonald, E., Singh, G. R., Nur, D., & Gerritsen, R. (2017). Examining the Effects of Ambient Temperature on Pre-Term Birth in Central Australia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.
- Neukirchen, F. (Hrsg.). (2019). *Die Folgen des Klimawandels*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59581-7>
- Niemeyer, M. (2022). *Schwangerschaft und Geburt*. Karl F. Haug Verlag.
- Nikendei, C., Bugaj, T. J., Nikendei, F., Kühl, S. J., & Kühl, M. (2020). Klimawandel: Ursachen, Folgen, Lösungsansätze und Implikationen für das Gesundheitswesen. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 156–157, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.zefq.2020.07.008>

- Salihu, H. M., & Wilson, R. E. (2007). Epidemiology of prenatal smoking and perinatal outcomes. *Early Human Development*, 83(11), 713–720.
<https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2007.08.002>
- Samuels, L., Nakstad, B., Roos, N., Bonell, A., Chersich, M., Havenith, G., Luchters, S., Day, L.-T., Hirst, J. E., Singh, T., Elliott-Sale, K., Hetem, R., Part, C., Sawry, S., Le Roux, J., & Kovats, S. (2022). Physiological mechanisms of the impact of heat during pregnancy and the clinical implications: Review of the evidence from an expert group meeting. *International Journal of Biometeorology*, 66(8), 1505–1513.
<https://doi.org/10.1007/s00484-022-02301-6>
- Sanders, J. N., Simonsen, S. E., Porucznik, C. A., Hammoud, A. O., Smith, K. R., & Stanford, J. B. (2022). Fertility treatments and the risk of preterm birth among women with subfertility: A linked-data retrospective cohort study. *Reproductive Health*, 19(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s12978-022-01363-4>
- Schifano, P., Asta, F., Dadvand, P., Davoli, M., Basagana, X., & Michelozzi, P. (2016). Heat and air pollution exposure as triggers of delivery: A survival analysis of population-based pregnancy cohorts in Rome and Barcelona. *Environment International*, 88, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.013>
- Schulte, E. (2024, Mai 28). *Gebärmutter (Uterus)*.
<https://viamedici.thieme.de/lernmodul/557559/529683/geb%C3%A4rmutter+uterus#steckbrief>
- Shanmugam, R., Sirala Jagadeesh, N., srinivasan, bhuvana, S, K., & Venugopal, V. (2023). A Comprehensive Review on Hot Ambient Temperature and Its Impacts on Adverse Pregnancy Outcomes. *Journal of Mother and Child. Medycyna Wieku Rozwojowego*. 2023;27(1):10-20. 11 pages.
<https://doi.org/10.34763/JMOTHERANDCHILD.20232701.D-22-00051>
- Son, J.-Y., Lee, J.-T., Lane, K. J., & Bell, M. L. (2019). Impacts of high temperature on adverse birth outcomes in Seoul, Korea: Disparities by individual- and community-level characteristics. *Environmental Research*, 168, 460–466.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.032>
- Sun, S., Weinberger, K. R., Spangler, K. R., Eliot, M. N., Braun, J. M., & Wellenius, G. A. (2019). Ambient temperature and preterm birth: A retrospective study of 32 million

- US singleton births. *Environment International*, 126, 7–13.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.023>
- Syed, S., O'Sullivan, T. L., & Phillips, K. P. (2022). Extreme Heat and Pregnancy Outcomes: A Scoping Review of the Epidemiological Evidence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2412.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19042412>
- Torchin, H., & Ancel, P.-Y. (2016). Épidémiologie et facteurs de risque de la prématurité. *Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction*, 45(10), 1213–1230. <https://doi.org/10.1016/j.jgyn.2016.09.013>
- UNFCCC. (2017). *Human health and adaptation: Understanding climate impacts on health and opportunities for action. Synthesis paper by the secretariat.*
- URMC Rochester. (2024, Mai 17). *Pregnancy Overview.*
<https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia/content.aspx?ContentTypeID=85&ContentID=P09511>
- Vogel, J. P., Chawanpaiboon, S., Moller, A.-B., Watananirun, K., Bonet, M., & Lumbiganon, P. (2018). The global epidemiology of preterm birth. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 52, 3–12.
<https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2018.04.003>
- Wang, Q., Li, B., Benmarhnia, T., Hajat, S., Ren, M., Liu, T., Knibbs, L. D., Zhang, H., Bao, J., Zhang, Y., Zhao, Q., & Huang, C. (2020). Independent and Combined Effects of Heatwaves and PM2.5 on Preterm Birth in Guangzhou, China: A Survival Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 128(1), 017006.
<https://doi.org/10.1289/EHP5117>
- Wang, R., Shi, Q., Jia, B., Zhang, W., Zhang, H., Shan, Y., Qiao, L., Chen, G., & Chen, C. (2022). Association of Preterm Singleton Birth With Fertility Treatment in the US. *JAMA Network Open*, 5(2), e2147782.
<https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.47782>
- Wang, Y.-Y., Li, Q., Guo, Y., Zhou, H., Wang, Q.-M., Shen, H.-P., Zhang, Y.-P., Yan, D.-H., Li, S., Chen, G., Zhou, S., He, Y., Yang, Y., Peng, Z.-Q., Wang, H.-J., & Ma, X. (2020). Ambient temperature and the risk of preterm birth: A national birth cohort study in the mainland China. *Environment International*, 142, 105851.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105851>

- Winklmayer, C., Matthies-Wiesler, F., Muthers, S., Buchien, S., Kuch, B., An Der Heiden, M., & Mücke, H.-G. (2023). *Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention*. <https://doi.org/10.25646/11645>
- World Health Organization. (2023, Mai 10). *Preterm birth*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/preterm-birth>
- Wyrwoll, C. S. (2023). RISING STARS: The heat is on: how does heat exposure cause pregnancy complications? *Journal of Endocrinology*, 259(1), e230030. <https://doi.org/10.1530/JOE-23-0030>
- Zhang, Y., Yu, C., & Wang, L. (2017). Temperature exposure during pregnancy and birth outcomes: An updated systematic review of epidemiological evidence. *Environmental Pollution*, 225, 700–712. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.066>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungen der durchschnittlichen Jahreslufttemperatur global und in Österreich zwischen den Jahren 2018 und 2020, dargestellt durch die Abweichungen zum Mittelwert der Vergleichsperiode 1961-1990 (Bauer et al., 2023, S.17). Grafik aus (Bauer et al., 2023, S.17).....	11
Abbildung 2: Klimawandelbedingte und individuelle Einflussfaktoren auf die Schwangerschaft und deren Auswirkungen auf den Schwangerschaftsverlauf und Schwangerschaftsausgang (Ha, 2022, S. 264). Grafik aus (Ha, 2022, S.264).....	17
Abbildung 3: Frühgeburtenraten (< Schwangerschaftswoche 37) nach Geburtsjahr (IVF und geplante Kaiserschnitte ausgeschlossen).....	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Frühgeburten nach Gestationsalter (World Health Organization, 2023).	15
Tabelle 2: Deskriptive Statistik des Datensatzes der Klinik Donaustadt	25
Tabelle 3: Geburten pro Geburtsjahr von 2011 bis 2019	26
Tabelle 4: Anzahl der Hitzetage in den jeweiligen Monaten der Jahre 2010 bis 2019 ..	27
Tabelle 5: Anzahl der Hitzeperioden pro Jahr und ihre durchschnittliche Dauer.....	27
Tabelle 6: Frühgeburtenraten in den einzelnen Trimestern nach Geburtsjahren, wenn während der Schwangerschaft in dem jeweiligen Trimester zumindest eine Hitzewelle bzw. keine Hitzewelle durchlebt wurde (Kreuztabelle Fisher-Exact-Test)	28
Tabelle 7: Frühgeburtenraten in den einzelnen Trimestern für alle Geburtsjahre zusammen, wenn während der Schwangerschaft in dem jeweiligen Trimester eine Hitzewelle bzw. keine Hitzewelle durchlebt wurde (Kreuztabelle Fisher-Exact-Test)	30
Tabelle 8: Vergleich Anzahl der Hitzetage zwischen Termingeburten und Frühgeburten (student t-test)	30
Tabelle 9: Korrelation zwischen Hitzetagen während der Schwangerschaft und Schwangerschaftsdauer (Partielle Korrelation korrigiert für das Alter und den Nikotinkonsum der Mutter).....	31
Tabelle 10: Assoziationen zwischen Hitzetagen und Frühgeburten (binäre logistische Regression, Frühgeburten=1, Termingeburt=0)	32