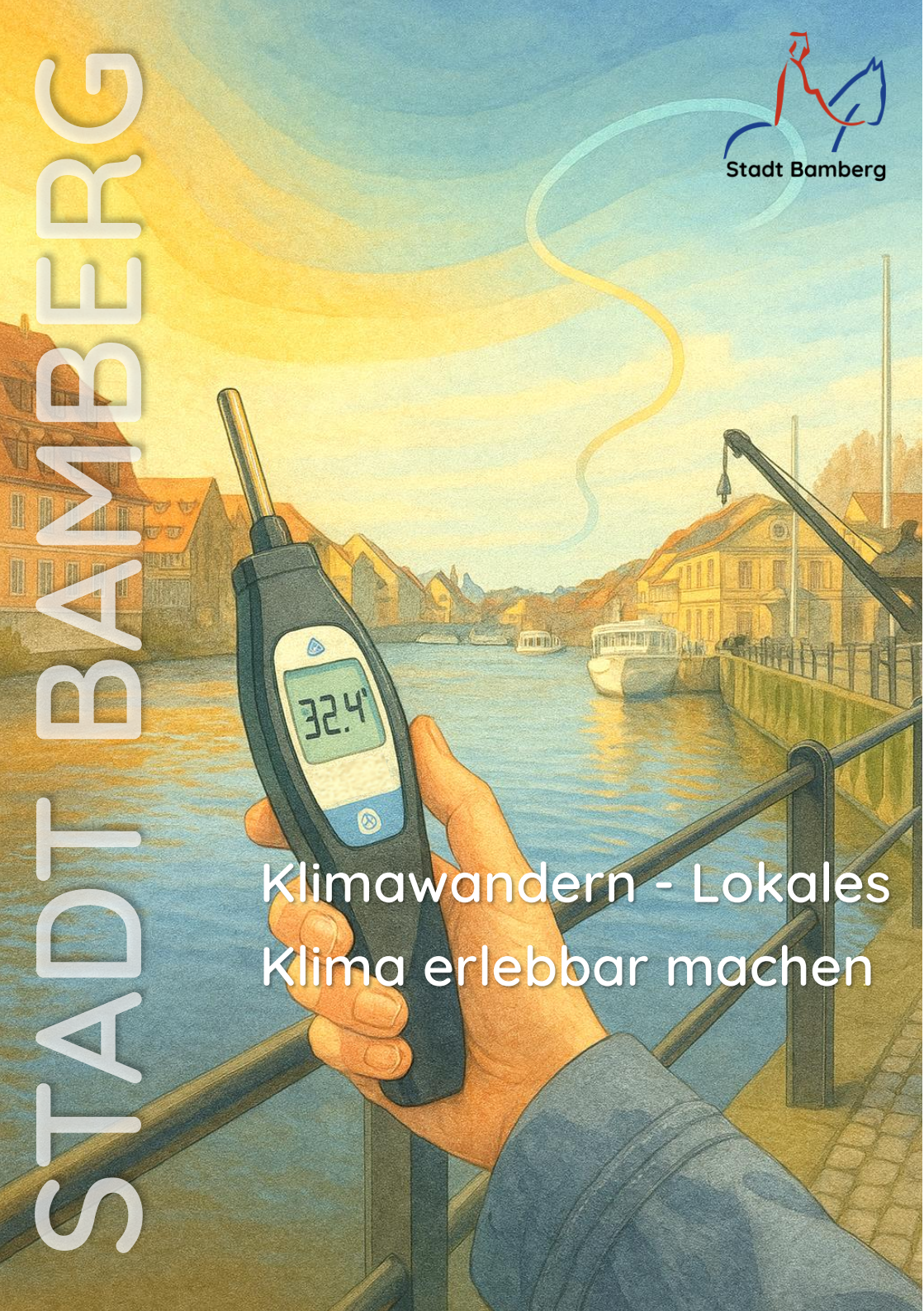
STADT BAMBERG

Stadt Bamberg



Klimawandern - Lokales Klima erlebbar machen

Impressum

Stadt Bamberg
Klima- und Umweltamt
MitMachKlima
Luitpoldstraße 51
96052 Bamberg

mitmachklima@stadt.bamberg.de
www.mitmachklima.de

Inhalt: Prof. Thomas Foken
Layout: Stadt Bamberg, Annika Hoffmann

Titelbild: KI-generiertes Bild, erstellt mit ChatGPT (OpenAI), Stand: Juli 2025.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Vorwort

Liebe Mitbürgerinnen und Mitbürger,

das Thema Klimawandel ist heute nicht mehr nur ein abstraktes Konzept aus wissenschaftlichen Berichten – es betrifft uns alle, hier und jetzt. Wir erleben es in den steigenden Temperaturen, in den Veränderungen unserer Umwelt und in den Auswirkungen, die unser Leben beeinflussen. Besonders in Städten wie Bamberg spüren wir die Veränderungen, sei es durch heißere Sommer oder durch extreme Wetterereignisse, die immer häufiger auftreten.

Doch anstatt uns nur mit den negativen Aspekten des Klimawandels auseinanderzusetzen, bietet das Projekt „Lokales Klima erlebbar machen“ eine einzigartige Gelegenheit, aktiv und kreativ zu lernen, wie wir unser Umfeld und unsere Rolle im Klimageschehen besser verstehen können. Unter der Leitung von Prof. Dr. Foken geht es darum, Klimaforschung greifbar und zugänglich zu machen.

Mit den entwickelten Klima- und Temperaturmessgeräten erhalten Schülerinnen und Schüler, Studierende sowie alle Interessierten die Möglichkeit, das Klima vor Ort hautnah zu erleben und eigene Messungen vorzunehmen. Was früher vielleicht nur in einem Labor oder auf entfernten Wetterstationen erlebbar war, wird nun in den Händen von Schülerinnen und Schülern sowie interessierten Bürgerinnen und Bürgern zu einem spannenden Lernabenteuer.

Die begleitende Broschüre von Prof. Dr. Foken wird nicht nur wertvolle lokale Klimadaten bieten, sondern auch einen tiefen Einblick in die Bedeutung dieser Daten und deren Anwendung. Sie wird zu einem praktischen Begleiter, die dabei hilft, die messbaren Werte zu verstehen und richtig zu interpretieren. Damit möchten wir nicht nur Wissen vermitteln, sondern vor allem ein Bewusstsein dafür schaffen, wie sehr wir alle mit unserem Klima verbunden sind und wie wichtig es ist, dieses Wissen für nachhaltige Entscheidungen zu nutzen.

Als Stadt Bamberg setzen wir uns dafür ein, dass Klimawandel nicht nur ein Thema auf Konferenzen bleibt, sondern Teil unserer alltäglichen Diskussionen und Handlungen wird. Dieses Projekt ist ein Schritt in diese Richtung – ein Schritt hin zu mehr Wissen, mehr Verantwortung und vor allem mehr Handlungskompetenz. Denn nur wer versteht, wie das Klima um uns herum funktioniert, kann wirklich einen Unterschied machen.

Ich lade Sie ein, sich mit uns auf diese Reise zu begeben – zu entdecken, wie unser lokales Klima funktioniert, wie es sich verändert und was wir als Gemeinschaft dazu beitragen können, unsere Umwelt für die Zukunft zu bewahren. Lassen Sie uns gemeinsam lernen, forschen und handeln.

Mit freundlichen Grüßen

Jonas Glüsenkamp
Klimareferent und Zweiter Bürgermeister

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 6
Klimawandel in Bamberg 8
Wie empfinde ich Hitze in der Stadt? 13
Wie kann man die Überhitzung der Städte reduzieren? 16
Welche lokalen Klimate bilden sich in und um Bamberg aus? 18
Stadtklima 18
Waldklima 20
Klima offener Landschaften 21
Parkklima 22
Biergarten- oder „Kellerklima“ 23
Strahlungsklima 24
Seenklima 26
Spielplatzklima 28
Gartenklima 29
Wie misst man die Lufttemperatur? 30
Wo misst man die Lufttemperatur? 32
Was ist Klimawandern? 34
Empfehlungen für das Klimawandern 36
Untersuchung von Kaltluftflüssen 37
Untersuchung der städtischen Wärmeinsel 40
Untersuchung der städtischen Transekte 41
Untersuchung von Tagesgängen 45
Empfehlungen für Pädagogen 46
Durchführung der Messung 47
Anlagen 49
Anlage 1 Messprotokoll 49
Anlage 2 Technische Daten und Bedienungsanleitung 50
Anlage 3 Lineare Trendkorrektur 53
Anlage 4 Zeitkonstante 56
Anlage 5 Wichtige Anschriften 59
Literaturverzeichnis 61

Einleitung

Der Klimawandel ist in aller Munde, aber ist er wirklich so schlimm? An den fehlenden Schnee in unserer Region haben wir uns schon gewöhnt. Auch hört man, dass es in sommerlichen Hitzeperioden immer wieder viele Tote in Deutschland gibt und man die Städte an diese Situation anpassen muss[1]. Besser ist es, man kann so etwas selbst überprüfen. Und hier hilft „Citizen Science" – Bürgerinnen und Bürger führen selbst teilweise unter fachlicher Anleitung wissenschaftliche Untersuchungen durch, auch wenn sie nicht vom Fach sind. Die Ergebnisse können dann mit Expertinnen und Experten beraten werden und interessierten Kreisen vorgestellt werden bzw. man kann Politikerinnen und Politiker zum aktiven Handeln mit stichhaltigen Argumenten auffordern.

In Bamberg hat der Bürgerverein Bamberg-Mitte zehn einfache Messstationen bei ihren Mitgliedern aufgestellt, um die Überhitzung der Stadt nachzuweisen. Die Standorte waren sicher nicht alle optimal. Doch mit einem sogenannten Crowdsourcing-Verfahren hat die Universität Bamberg eine Qualitätsanalyse der Daten durchgeführt, die für bestimmte Zonen der Stadt (lokale Klimazonen) verlässliche und belastbare Daten lieferte[2].

Mit vorliegendem Heft können die Bürgerinnen und Bürger der Stadt wiederum Messungen durchführen. Diesmal aber nicht mit kontinuierlichen Messungen, sondern während Spaziergängen, Wanderungen oder Schulstunden. Dabei kann man erkunden, wo es in der Stadt am wärmsten ist, wo die Nächte besonders mild sind und ob die Kaltluft von den Höhen rund um Bamberg wirklich bis in die Stadtmitte kommt. In Kooperation mit der Stadt Bamberg im Projekt Fördermittelprojekt „MitMachKlima" konnte dafür ein geeignetes Temperaturmessgerät entwickelt werden, welches Bürgervereinen, Schulklassen und interessierten Bürgerinnen und Bürgern zur Verfügung steht und ausgeliehen werden kann.

Die vorliegende Broschüre gibt einen kurzen Einblick in die Grundlagen, wie den bereits erfolgten Klimawandel in Bamberg, die Ursachen der Überhitzung der Städte, notwendige Maßnahmen, um die Effekte zu

---

[1] (Winklmayr, Muthers, Niemann, & Mücke, Hitzebedingte Mortalität in Deutschland zwischen 1992 und 2021, 2022)
[2] (Benabbas, Ackermann, Kkhalil, Nicklas, & Foken, Identifikation kleinräumiger lokaler Klimate in einem Crowdsourcing-Netzwerk, 2024)

reduzieren. Sie gibt abschließend Empfehlungen für mögliche eigene Messungen und Untersuchungen.

Bischberg, Juli 2025

Thomas Foken

Klimawandel in Bamberg[3]

Durch den markanten Temperaturanstieg der letzten 40 Jahre ist der Klimawandel nicht mehr nur ein Phänomen, welches nur durch die wissenschaftliche Datenanalyse erkannt werden kann. Es gibt heute kaum jemand, der deutliche Veränderungen in unserem Klima nicht schon selbst festgestellt hat. Da wir in einer Zeit leben, in der natürliche Klimaänderungen in unserer Region einen eher unbedeutenden Effekt zeigen, lassen sich diese Veränderungen nahezu vollständig den erhöhten Treibhausgaskonzentrationen – vor allem dem Kohlendioxid zuordnen, welches durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe durch den Menschen in die Atmosphäre gelangt ist[4].

Die Temperaturentwicklung in Bamberg seit 1879 zeigt Abbildung 1. Die Jahresmitteltemperatur im Durchschnitt der letzten 10 Jahre (2015-2024) betrug danach in Bamberg 10,2 °C (die wärmsten Jahre in Bamberg waren 2024, 2023, 2018, 2022, 2014, 2019 seit Messbeginn Anfang des 19. Jahrhunderts). Dieser Wert ist + 3,0 Grad höher als der vorindustrielle Wert (1881–1910)[5]. Der Mittelwert der internationalen Referenzperiode 1961–1990, auf die die Abweichungen bezogen werden, betrug 8,0 °C, d.h. die letzten 10 Jahre waren 2,2 Grad wärmer als die Referenzperiode. Dabei war das wärmste Jahr 2024 mit 11,1 °C bereits + 3,1 °C wärmer als die Referenzperiode.

[3] (Foken, Bamberg im Klimawandel, 2. Auflage, 2025)
[4] (Schönwiese, Klimawandel kompakt, Ein globales Problem wissenschaftlich erklärt, 2019)
[5] Als vorindustrielle Periode wird international der Zeitraum 1850–1900 angegeben. Untersuchungen mit der längeren Bayreuther Messreihe zeigten, dass sich in unserer Region dieser Wert von der Periode 1881–1910 nur um weniger als 0,1 Grad unterscheidet.

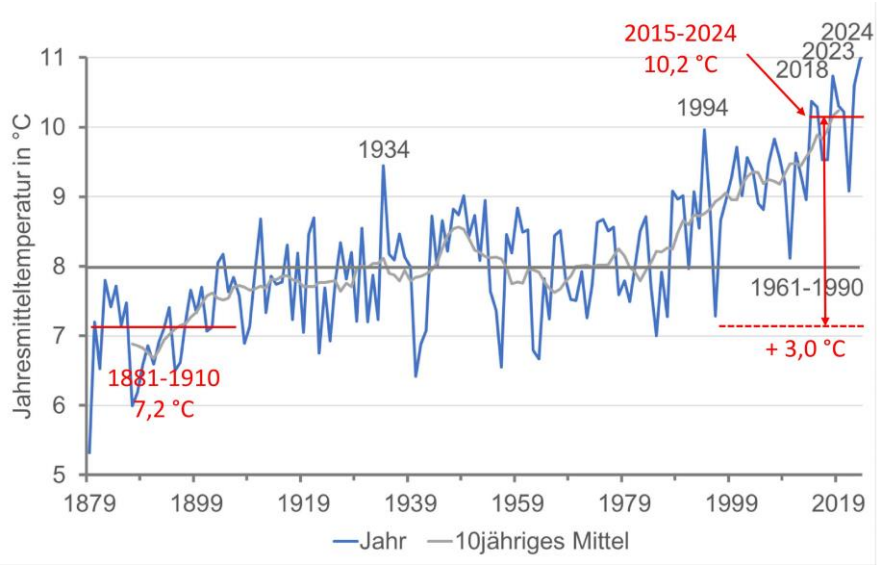


Abbildung 1:Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Bamberg 1879–2024 für die homogenisierte Messreihe aus den verschiedenen Bamberger Stationen[6] zuletzt die des Deutschen Wetterdienstes, aus Foken (2025)[7]

Will man in die Zukunft blicken, so kann man den linearen Trend der Erwärmung seit 1980 mit + 0,5 Grad pro 10 Jahre einfach bis 2050 fortsetzen. Dies gilt auch für ganz Bayern. Damit sind um das Jahr 2050 mittlere Jahrestemperaturen um 11,5 °C in Bamberg zu erwarten, d.h. aber auch, dass das wärmste Jahr 2024 spätestens in 10 Jahren ein normales Jahr wird und Extremjahre schon im nächsten Jahrzehnt über 12,0 °C Jahresmitteltemperatur liegen werden. Die Auswirkungen auf das Sommerhalbjahr sind dabei stärker als auf das Winterhalbjahr. Dieser Trend ist weitgehend unabhängig vom Emissionsszenarium. Die zu erhoffende Einhaltung des Pariser Abkommens wird wegen der noch hohen Emissionen und der Trägheit des Erdsystems erst nach 2050 spürbar und das dann vorhandene Niveau wird weitgehend gehalten[8].

Jahresmitteltemperaturen sind für das eigene Klimaempfinden äußerst abstrakt. Da sind Extremwerte und klimatologische Schwellwerte schon besser geeignet. Letztere sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Vor allem

[6] (Foken, Bearbeitung der Bamberger Klimareihe 1879–2020, 2021)
[7] (Foken, Bamberg im Klimawandel, 2. Auflage, 2025)
[8] (IPCC, Climate Change 2021 – The Physical Science Basis, 2021)

die Tage mit sehr hohen Lufttemperaturen sind von Interesse (Abbildung 2).

Da gerade diese für unser Hitzeempfinden wichtig sind, ist oft die Frage, ob die im ländlichen Raum im Süden vor den Toren der Stadt Bamberg (nahe Kleingartenanlage Am Sendelbach) gemessenen Werte, auch für die Innenstadt gelten. Die Unterschiede in den Maxima sind allerdings gering und betragen nur 1–3 Grad. Allerdings sind die Nachttemperaturen in der Stadt oft 5 Grad und mehr höher als im ländlichen Raum. Somit sind die sogenannten Tropennächte in der Stadt mit 10–15 Tagen doch beachtlich, während außerhalb des dicht bebauten Stadtzentrums diese gar nicht auftreten. Unter Hitzewellen versteht man eine Periode mit mindestens 5 Tagen mit Maxima der Lufttemperatur ≥ 30 °C (an einem Tag kann das Maximum auch nur ≥ 25 °C sein) und eine Hitzeepisode ist ein 14tägiger Zeitraum mit einem mittleren Temperaturmaximum von ≥ 30 °C.

Tabelle 1: Tage mit definierten Werten der Lufttemperatur gemessen in 2 m Höhe[9]

Bezeichnung	Bedingung
Eistag	Maximum < 0 °C
Frosttag	Minimum < 0 °C
Bodenfrosttag	Minimum < 0 °C in 5 cm Höhe
Sommertag	Maximum ≥ 25 °C
Heißer Tag	Maximum ≥ 30 °C
Sehr heißer Tag	Maximum ≥ 35 °C
Tropennacht	Minimum ≥ 20 °C
Biergartentag	Lufttemperatur ≥ 20 °C um 20:00 Uhr MESZ
Sommerabend	Lufttemperatur ≥ 20 °C um 22:00 Uhr MESZ

[9] (VDI, Umweltmeteorologie; Klimaindikatoren (Environmental Meteorolgy; Climate indicators), 2024)

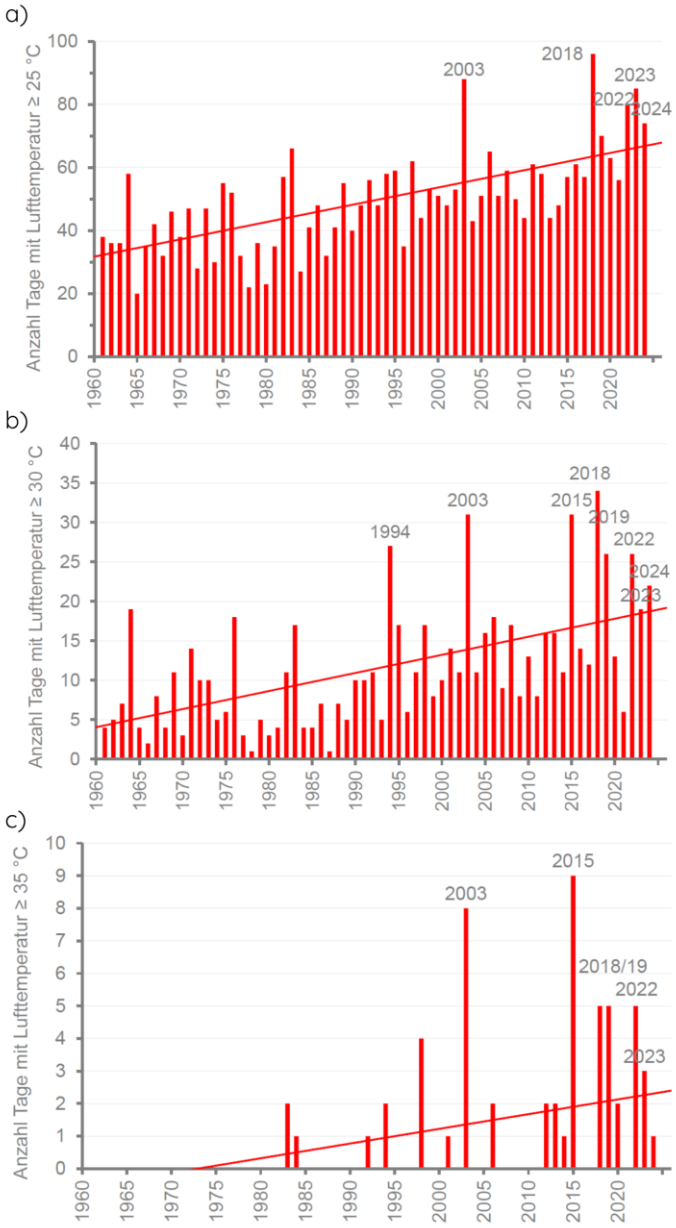


Abbildung 2: Anzahl der a) Sommertage, b) heißen Tage und c) sehr heißen Tage in Bamberg 1960–2024, aus Foken (2025)[10]

[10] (Foken, Bamberg im Klimawandel, 2. Auflage, 2025)

Das Hitzeempfinden des Menschen hängt nicht so stark von der Lufttemperatur ab. Nähere Ausführungen folgen im nächsten Abschnitt. Daraus lässt sich in komplizierter Weise die sogenannte gefühlte Temperatur ableiten bzw. biometeorologische Belastungsindizes[11]. Wichtig ist hierbei auch der Feuchtegehalt der Luft, denn trockene Luft ist durchaus auch bei hohen Temperaturen noch angenehm, während wir feuchte Luft z.B. aus dem Mittelmehrraum als unangenehm schwül empfinden. Dazu trägt aber auch die Verdunstung bei.

Luft kann in Abhängigkeit von der Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen, was durch die Clausius-Clapeyron'sche Gleichung beschrieben wird[12]. Danach kann mit 1 Grad Temperaturerhöhung die Luft 7 % mehr Wasserdampf aufnehmen (exponentielle Abhängigkeit), vorausgesetzt Wasser ist vorhanden und es gibt Pflanzen, die transpirieren. Demnach hat sich seit der vorindustriellen Zeit die Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Luft um 20 % erhöht, 2050 werden es 30 % sein. Bei gleichbleibenden Niederschlägen steht also immer weniger Wasser zur Verfügung. Wird die verfügbare Energie aus der Sonneneinstrahlung nicht zumindest teilweise für die Verdunstung benötigt, erhöht sich durch diese die Lufttemperatur. Somit wird es in feuchteren Jahren wie 2024 weniger warm als in trockenen Jahren wie 2022, was man besonders auch an den Extremtemperaturen merkt.

[11] (VDI, Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas, 2022)
[12] (Wikipedia, 2024)

Wie empfinde ich Hitze in der Stadt?

Wir empfinden die sommerliche Hitze in der Stadt in ganz unterschiedlicher Weise. Die Lufttemperatur ist dabei nur ein Faktor. Den wohl dramatischsten Effekt erlebt man in einer sonnenüberfluteten Straße oder einem Platz, wobei der Bamberger Maxplatz das absolute Negativbeispiel ist. Wenn unser Körper direkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, absorbiert die Haut die energiereiche Strahlung, die man als kurzwellige solare Strahlung bezeichnet (Wellenlängen 0,3 bis 3 µm), und erwärmt sich stark. Im Frühjahr und Herbst ist das noch ganz angenehm, doch im Sommer sucht man lieber schattige Stellen auf. Dieser Effekt kann bei fehlendem Wind besonders stark sein. So kann man bei Windstille im Winter auch noch bei Minustemperaturen im Gebirge, wo die Sonnenstrahlung besonders energiereich ist, leichtbekleidet bis zum Einsetzen des Sonnenbrandes im Liegestuhl liegen. In Städten schützen Schatten spendende Bäume aber auch diverse Formen von Sonnensegeln vor der Sonnenstrahlung. In der Wüste bekleiden sich die Bewohner durch luftige aber den ganzen Körper bedeckende Bekleidung, bei uns nutzen oft Frauen mit langen und weiten Sommerkleidern diese effektive Anpassung. Dabei ist die Lufttemperatur im Schatten und in der Sonne (wenn man das Thermometer nicht direkt der Sonne aussetzt, siehe Seite 30), weitgehend identisch. Allerdings spielt hier die Unterlage noch eine entscheidende Rolle. Trockene Flächen und Pflaster können sich stark aufheizen und erwärmen die Luft darüber, so dass bei Windstille auch über sonnenbeschienenen Flächen höhere Lufttemperaturen gemessen werden. Dazu gibt das heiße Pflaster wie ein Ofen noch Wärmestrahlung ab (siehe nächsten Absatz). Ist die Unterlage eher feucht oder bewachsen wird viel Energie für das Verdunsten von Wasser benötigt und die Luft erwärmt sich darüber weniger stark. Wenn wir die Überhitzung der Stadt untersuchen wollen, so sollten wir nicht nur die Lufttemperatur notieren, sondern auch Schatten oder direkte Sonneneinstrahlung vermerken und natürlich, wie wir uns am jeweiligen Standort fühlen – erhitzt und schwitzend oder angenehm warm oder sogar kühl.

Ein weiterer Effekt tritt in dicht bebauten insbesondere städtischen Gebieten auf. Wenn sich das Mauerwerk so stark durch die Sonneneinstrahlung aufgewärmt hat, dass es wärmer als die eigene Hauttemperatur (typischerweise etwa 32 °C) ist, so können wir uns durch Wärmeabstrahlung, die man als langwellige terrestrische Strahlung bezeichnet (Wellenlänge 5

bis 100 µm), nicht mehr abkühlen, weil wir mehr Wärmestrahlung aus der Umgebung erhalten. Dies ist vergleichbar mit einem Ofen oder Heizkörper, wenn man sich in unmittelbarer Nähe aufhält. Oft ist die Wärmespeicherung des Mauerwerks so groß, dass man die Stadt auch in der Nacht als besonders warm empfindet und auch die Luft kann sich nur wenig abkühlen. Am Tage sind dagegen die Temperaturunterschiede zwischen dicht bebauten Straßen und offenen Flächen meist nur gering.

Diese Wärmestrahlung hat aber auch einen positiven Effekt am Abend: Unter den Bäumen im Biergarten oder wenn der Wirt den Sonnenschirm noch aufgespannt hat, kommt die Wärmestrahlung von den Baumkronen und Sonnenschirmen, die etwa die Lufttemperatur haben. Der Effekt ist nachhaltiger als von jedem Wärmepilz. Fehlt dieser Schutz, ist man dem freien Himmel ausgesetzt, von dem man nur wenig Wärmestrahlung erhält und somit selbst Strahlung abgibt und es kühl empfindet. Man kann sich dann nur ganz dicht an die noch warme Hauswand setzen. Die Lufttemperatur ist aber unter dem Sonnenschirm und außerhalb dieses weitgehend identisch. Auch hier müssen wir bei unseren Beobachtungen das persönliche Wärmeempfinden vermerken.

Sobald Luftbewegung herrscht, findet auch eine Wärmeleitung von der sich an der Haut erwärmten Luft an die Umgebung statt. Unterhalb von 32 °C empfindet man eine Abkühlung, darüber überwiegt das Wärmeempfinden. Im Winter ist der Effekt besonders unangenehm und die gefühlte Temperatur kann deutlich unter der wahren Temperatur liegen. Diese Temperatur wird auch als Windchill-Temperatur bezeichnet. Die Abkühlung wird dadurch unterstützt, dass Feuchtigkeit unserer Haut (Schweiß) verdunsten kann, wozu Energie benötigt wird, die unsere Haut zusätzlich abkühlt. Ist die Luft besonders trocken, zum Beispiel heiße Luft im Sommer aus Mittelasien oder der Sahara, dann ist der Effekt besonders groß. Haben wir jedoch feucht-warme Luft aus dem Mittelmeerraum, gibt es ein Schwüleempfinden, und auch Schwitzen bringt nicht mehr eine Abkühlung. Luft kann man in einer Stadt lokal abkühlen durch großflächige Springbrunnen oder das Zerstäuben von Wasser, für dessen Verdunstung (Umwandlung in Wasserdampf) Energie benötigt wird. Kleine Wasserflächen haben meist nur einen geringen Effekt. Ist die Luft aber ohnehin schon feucht, sollte man die Schwüle nicht verstärken. Erwärmt sich die Luft über 37-38 °C, dann fühlen wir uns in ein künstliches Fieber

versetzt und es wird besonders unangenehm, wenn der Wind auch keine Abkühlung mehr schafft.

Somit beeinflussen drei Effekte unser Wärmeempfinden: die Wärmebilanz zwischen Körper und der Umgebung durch langwellige Wärmestrahlung, die Wärmeleitung bei vorhandener Luftströmung an die Umgebung ggf. mit zusätzlicher Verdunstungsabkühlung und die Erwärmung der Körperoberfläche durch direkte Sonneneinstrahlung. Die Effekte können sich gegenseitig verstärken, manchmal auch kompensieren. Alles kann durch stadtplanerische Maßnahmen verstärkt oder gemindert werden, wobei in Zeiten der stärkeren Erwärmung durch den Klimawandel vor allem eine Abkühlung gefragt ist. Dazu gibt es Richtlinien, die hierbei eine gute Hilfe sind. Außer dem Effekt der direkten Sonneneinstrahlung können wir diese Probleme durch Temperaturmessungen beobachten und lokalisieren.

Wie kann man die Überhitzung der Städte reduzieren?[13]

Gegen die direkte Sonnenstrahlung helfen nur schattenbildende Maßnahmen. Am effektivsten sind Bäume auf Straßen und Plätzen. Das ist eine Investition in die Zukunft, denn es dauert 10-20 Jahre, bis die Bäume ausreichend Schatten spenden. Oft gibt es dabei Konfliktpotenzial, weil Parkplätze weichen müssen und weil im Herbst Laub auf den Straßen liegt. Letztlich ist es aber die einzig nachhaltige Maßnahme, denn der Klimawandel setzt sich im Moment noch ungehindert fort und selbst drastische Maßnahmen wirken wegen der Komplexität des Erdsystems nur langsam. Zwischenzeitlichen Ersatz können Sonnenschirme und Sonnensegel bringen, wenn man sie bei Gewittern und starkem Wind entsprechend schützt.

Dachbegrünungen haben nur wenig Effekt auf das lokale Klima in Städten. Nur wenn die Flächen feucht sind, gibt es über den Dächern eine leichte Abkühlung. Das gilt besonders bei Garagen- und Werkstattdächern in Innenhöfen. Sie sind aber sinnvoll im Rahmen des sogenannten Schwammstadtkonzeptes, um Wasser insbesondere auch bei Starkniederschlägen, erst einmal zurückzuhalten und nicht sofort der Kanalisation zuzuführen, die möglicherweise überlastet ist.

Gegen das starke Aufheizen von Fassaden hilft deren Begrünung. Hierdurch findet höchstens eine geringe Erwärmung des Mauerwerkes statt und die Transpiration der Pflanzen gibt noch einen zusätzlichen Abkühlungseffekt. Die Maßnahme ist aber nur nachhaltig, wenn ganze Straßenzüge auf der überwiegend sonnenbeschienenen Seite begrünt werden. Wenn nur einzelne Gebäude begrünt werden, so kann dies angenehm unmittelbar an der begrünten Fassade sein, nachhaltig wirkt sich das aber nicht für einen ganzen Straßenzug aus. In Bamberg gibt es zurzeit noch keine derartigen Gebäude, um den Effekt näher zu untersuchen. Abhilfe können Baumaterialien bringen, die wenig Wärme speichern. Beides ist in einer historischen Stadt nur bedingt anwendbar. Die Fassadenbegrünung kann aber nachhaltig das Klima von Innenhöfen beeinflussen, insbesondere, wenn zusätzlich sich noch Bäume in den Innenhöfen befinden.

Alle Maßnahmen sind sowohl durch Modellierung als auch Modellprojekte gut untersucht, sodass man eine gute planerische Sicherheit hat. Mit

---

[13] (VDI, Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel (Environmental meteorology - Urban development in view of climate change), 2020)

eigenen Messungen vor und nach der Maßnahme unter vergleichbaren Bedingungen lässt sich das auch kontrollieren. Dazu ist es notwendig, dass man unveränderte Bezugspunkte wie amtliche Wetterstationen wählt, um das Ergebnis gut vergleichen zu können.

Um die überhitzte Stadt am Abend abzukühlen, ist ein Einströmen von kühler Luft aus der ländlichen Umgebung besonders wichtig. Kaltluftquellgebiete sind offene Flächen – vorwiegend Wiesen –, die sich ab dem frühen Abend ungehindert abkühlen können. Aber auch Wälder können sich im Kronenraum abkühlen. Die kalte Luft tritt dann an den Waldrändern aus. Die typischen Kaltluftquellgebiete für Bamberg sind die Waldwiese bei Gaustadt, der Michelsberger Wald, die Wiesen an der Altenburg und der Bruderwald. Von Süden kommt der größte Kaltluftstrom aus den Tälern der Ebrach und Aurach und letztlich der Regnitz. Der Zufluss aus dem Hauptsmoorwald ist eher gering und das Maintal im Norden hat keinen Einfluss, da bei den relevanten Wetterlagen eine leichte Südströmung vorherrscht. Es ist aber wichtig für die dort liegenden Orte wie Hallstadt, Gundelsheim und Bischberg.

Welche lokalen Klimate bilden sich in und um Bamberg aus?

Die Eigenschaften der Unterlage – ob Versiegelung oder Bewuchs mit unterschiedlicher Höhe – sowie die damit verbundenen physikalischen Eigenschaften wie Wärmespeicherung und Wärmeleitung sind maßgeblich für die Herausbildung von Klimatypen mit nur lokaler Ausprägung. Es geht vor allem darum, wie die einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung die Bodenoberfläche und andere Oberflächen aufheizt, was zur Emission langwelliger terrestrischer Strahlung führt aber auch zur turbulenten Wärmeleitung und damit Erwärmung der Luft und zur Wärmeleitung in die Unterlage[14].

Stadtklima

Das Stadtklima wird durch den Klimawandel am ehesten ungünstig beeinflusst. Die hohe Verbauungsdichte und die Vielzahl versiegelter Flächen führen zu einer erheblichen Wärmespeicherung am Tag. Dazu fehlen offene, bewachsene Flächen, die durch Verdunstung die für diesen Prozess nötige Energie wieder in die Atmosphäre abgeben. Diese Flächen inklusive bewachsene Dächer würden auch den sogenannten Schwammstadteffekt unterstützen, dass sie bei Starkniederschlägen einen Teil des Wassers zurückhalten können, um die Kanalisation nicht zu überlasten.

An heißen Sommertagen – insbesondere, wenn kein ausreichender Schatten vorhanden ist – ist dies für die Bevölkerung sehr belastend. Auch wenn die Abendstunden in einer Stadt noch angenehm warm sein können, so sind es gerade diese hohen Nachtemperaturen, bei denen die Bewohner der Innenstädte kaum Schlaf finden. Nächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 °C fällt, werden als Tropennächte bezeichnet (Tabelle 1). So beginnt auch schon morgens die tägliche Erwärmung von einem höheren Niveau als im Umland. Eine Linderung kann dann erfolgen, wenn Kaltluft aus der ländlichen Umgebung in das Stadtgebiet einfließen kann.

[14] (Foken, EAGLE-Starthilfe - Energieaustausch an der Erdoberfläche : Lokalklima - Landnutzung - KLimawandel., 2013)

Da Städte und auch Landschaften sehr unterschiedlich sein können, hat man für klimatische Untersuchungen sogenannte lokale Klimazonen (Local Climate Zone: LCZ) definiert. Die für Bamberg und Umgebung relevanten LCZ aus dem Katalog von 17 Zonen sind in Tabelle 2 angegeben. Danach ist der Innenstadtbereich und weite Teile der Ostvorstadt LCZ 2 oder LCZ 3. Die umliegenden Gebiete sind LCZ 6 und die Randgebiete LCZ 9. Die Industriegebiete vorwiegend im Norden der Stadt sind LCZ 10. Die Wälder in und um Bamberg und Teile des Hains sind LCZ A, während die Erba-Insel LCZ B ist. Die Einteilung ist zwar sehr schematisch, hilft aber Klimamessungen einzuordnen und auch mit anderen Städten zu vergleichen.

Tabelle 2: Einteilung der Lokalen Klimazonen[15] , dabei müssen noch die jahreszeitlichen Veränderungen wie Belaubung, Schneebedeckung, nasser oder trockener Boden, berücksichtigt werden.

Code	Bezeichnung	Beschreibung
LCZ 2	Kompakte niedrige Gebäude	Dichter Mix aus Gebäuden mittlerer Höhe (3–9 Stockwerke), Wenige oder keine Bäume. Bodenbedeckung meist gepflastert. Beton, Stahl, Stein, und Glas als Baumaterialien.
LCZ 3	Kompakte niedrige Gebäude	Dichter Mix aus niedrigen Gebäuden (1–3 Stockwerke), Wenige oder keine Bäume. Bodenbedeckung meist gepflastert. Beton, Stahl, Stein, und Glas als Baumaterialien.
LCZ 6	Offene niedrige Gebäude	Offene Anordnung von mittleren Gebäuden (1–3 Stockwerke), Flächen zwischen den Gebäuden mit durchlässiger Bodenbedeckung (niedrige Pflanzen, verstreute Bäume). Beton, Stahl, Stein und Glas Glasbaustoffe als Baumaterialien
Code	**Bezeichnung**	**Beschreibung**
LCZ 9	Spärlich bebaut	Spärliche Anordnung von kleinen oder mittelgroßen Gebäuden in einer

[15] (Stewart & Oke, Local Climate Zones for Urban Temperature Studies, 2012)

		natürlichen Umgebung. Reichlich durchlässiger Boden, Bodenbedeckung durch niedrige Pflanzen, vereinzelte Bäume.
LCZ 10	Industrie	Niedrige und mittelhohe Industriebauten (Türme, Tanks, Schornsteine). Wenige oder keine Bäume. Bodenbedeckung meist gepflastert oder geteert. Metall, Stahl und Baumaterialien aus Beton.
LCZ A	Dichte Bäume	Stark bewaldete Landschaft mit laubabwerfenden und/oder immergrünen Bäumen. Bodenbedeckung meist durchlässig (niedrige Pflanzen). Funktion der Zone ist natürlicher Wald, Baumzucht oder Stadtpark.
LCZ B	Vereinzelte Bäume	Leicht bewaldete Landschaft, sonst wie LCZ A.

Waldklima

Wald hat nicht nur durch sein Wasserspeichervermögen und die hohe Aufnahme von Kohlendioxid eine wichtige Rolle im Klimasystem. Gerade das Waldklima empfinden wir als besonders angenehm an heißen Sommertagen (LCZ A). Am Tag erwärmt sich vor allem der obere Kronenraum. Diese warme und leichte Luft kann nur in sehr geringem Maße in den Stammraum absinken, meist nur im Zusammenhang mit kleinen Windböen, da unter den Bäumen die kühlere und schwerere Luft aus den Morgenstunden nicht verdrängt wird und ein angenehmes Temperaturniveau schafft. Somit bleibt es im Stammraum und auf Waldwegen angenehm kühl, meist einige Grad weniger gegenüber dem Waldrand, also ideale Bedingungen an heißen Sommertagen (Abbildung 3). In der Nacht findet die Abkühlung durch langwellige Ausstrahlung zuerst im oberen Kronenraum statt. Diese kühle und schwerere Luft sinkt nun aber in den Stammraum und mit nur geringer Verzögerung gleichen sich die Temperaturen an, sodass weitgehende eine einheitliche Temperatur (Isothermie) im Wald herrscht. Dennoch empfinden wir in der Nacht den Wald gegenüber dem Waldrand als angenehm warm. Ursache ist die langwellige

Strahlungsbilanz im Wald. Da Waldboden und Kronenraum nahezu die gleiche Temperatur haben, ist die langwellige Strahlung von oben und unten nahezu identisch und es findet keine weitere Abkühlung statt. Auch die langwellige Strahlungsbilanz gegenüber der Körperoberflächentemperatur ist gering, sodass man keinen Abkühlungseffekt verspürt. Windstille unterstützt dieses Empfinden.

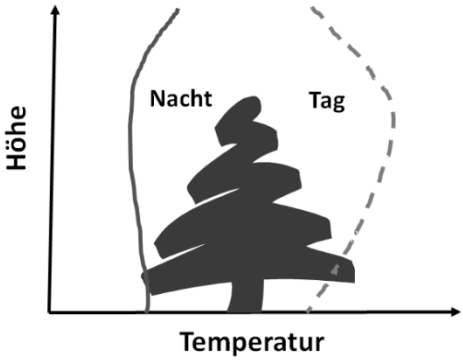


Abbildung 3: Temperaturverlauf in und über dem Wald am Tag und in der Nacht, aus Foken (2025)[16]

Klima offener Landschaften

Offene Landschaften sind meist nur mit wenigen Bäumen und Sträuchern besetzt. Wiesen und Felder prägen diese Landschaften. Sie sind meist der LCZ B zuzuordnen. Sind keine Windschutzstreifen vorhanden, kann der Wind nahezu ungehindert wehen. Zusammen mit der hohen Sonneneinstrahlung kann die Verdunstung besonders groß werden, den Boden austrocknen und bei fehlender Pflanzendecke kann die Winderosion ihn wegtragen. In tieferen Lagen sind die Frostgefährdung und Nebelbildung besonders hoch. Derartige Landschaften erlangen eine große Bedeutung als Quellgebiet von Kaltluft, werden aber auch zur Erzeugung regenerativer Energien: höhere Hochebenen und Erhöhungen für Windenergie und landwirtschaftlich wenig nutzbare Lagen für Solarparks.

In offenen Landschaften erleben wir die volle Dynamik von kurzwelliger Einstrahlung und langwelliger Ausstrahlung. Sie sind daher eher kühler

[16] (Foken, Bamberg im Klimawandel, 2. Auflage, 2025)

am Tag und in der Nacht als geschützte Stellen in der Nähe von Bäumen und Büschen. Hinzu kommt, dass der Wind nahezu ungehindert über diese Landschaften wehen kann. Man empfindet dadurch noch eine zusätzliche Abkühlung (Windchill).

Parkklima

Ein Park soll zwei Funktionen haben, er soll kühle Luft an die umgebenden Stadtgebiete abgeben und an heißen Tagen angenehme Temperaturen aufweisen. Dazu müssen Parks relativ groß sein (Ausdehnung in alle Richtungen mindestens 200–500 m und keine Bebauungen) und viele offene Flächen besitzen, die sich in der Nacht abkühlen und dann Kaltluftspenden an die angrenzenden Stadtgebiete abgeben können. Wichtig ist es aber, dass Parks immer feucht sind, d.h. in trockenen Perioden muss gewährleistet sein, dass Parks bewässert werden können, denn feuchte Flächen bleiben kühl, während sich trockene stark erhitzen und dann eher unangenehm sind. Daneben sollten Baumgruppen ausreichend Schatten spenden. Der Typ des Englischen Gartens kommt diesem idealen Parkklima am nächsten, ist also eine Mischung aus Waldklima (LCZ A) und dem Klima offener Flächen (LCZ B), wie dies im Bamberger Hain realisiert ist (Abbildung 4). Im Erba-Park wird es noch einige Jahre dauern, bis die Bäume größer sind – auch ist er etwas zu schmal.

Kleine Parks in Häuserlücken und an Straßen- oder Flussrändern sind im Stadtbild sehr beliebt und als Schattenspender an heißen Sommertagen auch willkommen. Allerdings trifft man diese in Bamberg kaum an. Oft ist ihre nächtliche Auskühlung jedoch nicht groß genug, um nachhaltig die Temperaturen der Umgebung zu mindern.

Abbildung 4: Im Bamberger Hain, Blick aus dem Botanischen Garten zum Hainweiher. Foto: Bürgerparkverein Bamberger Hain e.V.

Biergarten- oder „Kellerklima“

Dies ist ein typischer Bamberger Klimatyp, der alle Vorzüge des Parkklimas hat, insbesondere in einem Keller mit hohem Baumbestand. Dann herrscht im Biergarten fast Waldklima und man empfindet es bis in die späten Abendstunden als angenehm warm, während man außerhalb des Biergartens schon die nächtliche Abkühlung merkt. Der Effekt kommt wieder durch die langwellige Strahlungsbilanz unter den Bäumen, während die Lufttemperatur sich kaum unterscheidet. Dies kann man im Wilde-Rose-Keller wahrnehmen (Abbildung 5), da dort ein Teil des ehemaligen Baumbestandes fehlt oder noch besser im angrenzenden Spezial-Keller. Unter den Bäumen im hinteren Teil hält man es bis in die späten Abendstunden gut aus, während es an begehrten vorderen Plätzen mit dem herrlichen Blick über die Stadt schon recht kühl ist. Man muss dann den Wirt überzeugen, dass er die Sonnenschirme aufgespannt lässt.

Biergärten sind ein interessantes Untersuchungsobjekt für Temperaturmessungen. Man kann auch untersuchen, in welchen Biergärten in Bamberg wirklich ein Biergartentag mit einer Lufttemperatur ≥ 20 °C um 20:00 Uhr MESZ (Tabelle 1) erreicht wird.

Abbildung 5: Wilde-Rose-Keller, Foto: Wilde Rose Keller

Strahlungsklima

Auf geneigte und nach Süden ausgerichtete Flächen scheint in unseren Breiten die Sonne zeitweise sogar senkrecht, so dass sehr viel Wärme an Pflanzen und Boden übertragen wird. Abbildung 6 zeigt, dass ein gleiches Strahlenbündel bei senkrechtem Einfall eine deutlich kleinere Fläche bestrahlt als das gleiche Bündel bei schrägem Einfall. Daher werden derartige Standorte für wärmeliebende Pflanzen – wie für den Weinanbau – besonders bevorzugt, zunehmend auch für Solaranlagen. In der Nacht können diese Flächen durch ihre offene Lage bei nicht ausreichender Hangneigung stark auskühlen. Hier ist es wichtig, dass die oberhalb der Anpflanzungen und im Weinberg entstehende Kaltluft gut in die Täler abfließen kann und Standorte im Tal nicht mit frostgefährdeten Pflanzen bestückt werden.

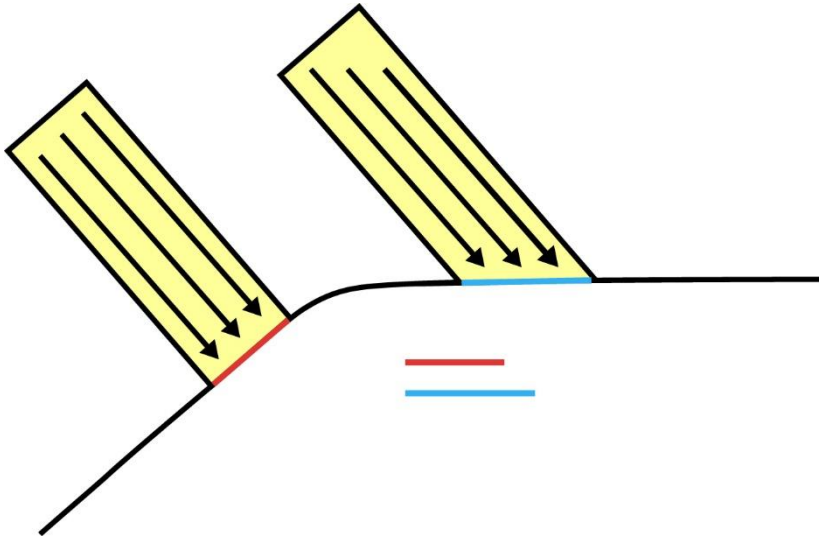


Abbildung 6: Schematische Darstellung von senkrechtem (links) und schrägem (rechts) Einfall der Sonnenstrahlen auf eine Fläche. Bei gleichem Säulenquerschnitt, der einer gleichen Energiemenge entspricht, verteilt sich die Energie bei senkrechtem Einfall auf eine kleinere Fläche als bei schrägem Einfall. © Ökologisch-Botanischer Garten der Universität Bayreuth

Ein anschauliches Beispiel ist der Weinberg am Michaelsberg (Abbildung 7). Er gehört zu den wenigen Stellen im Stadtgebiet von Bamberg mit einer idealen Südausrichtung. Er ist aber auch ein interessantes Objekt für Temperaturmessungen. Am Abend bei schon eintretender Abkühlung und in den Morgenstunden kann man in verschiedenen Stellen am Hang neben dem Weinberg die Temperatur messen und sieht, wie sich die Kaltluft im unteren Teil des Weinbergs ansammelt, während der obere Teil deutlich wärmer ist. Bei Spätfrostereignissen kann dieser Unterschied dramatisch sein. Natürlich eignen sich auch andere Hanglagen wie an der Altenburg für derartige Untersuchungen.

Abbildung 7: Weinberg am Michaelsberg im Jahr 2012, Foto: Förderverein zur Nachhaltigkeit der Landesgartenschau Bamberg 2012 e.V.

Seenklima

Die Wärmekapazität von Wasser ist besonders hoch. Es dauert daher sehr lange bis es sich erwärmt, gibt aber die Wärme z.B. durch langwellige Strahlung auch nur langsam ab. Somit sind Wasserflächen im Frühjahr noch lange Zeit kühl, im Herbst und Frühwinter dagegen noch länger warm. Dieser Effekt ist umso stärker, je größer die Wasserfläche ist. Das hat unmittelbare Wirkung auf das Lokalklima in Nähe der Wasserflächen mit kühleren Temperaturen im Frühjahr und am Tag und höheren Temperaturen im Herbst und in der Nacht. Durch den hohen Wasserdampfgehalt der Luft und das zeitige Einsetzen von Kondensation und Taufall, wodurch Wärme freigesetzt wird, sind Flächen nahe von Gewässern etwas weniger frostgefährdet.

Es ist sowohl im Frühjahr als auch im Herbst interessant zu untersuchen, um wieviel Grad sich die Lufttemperatur in Ufernähe gegenüber dem angrenzenden Stadtgebiet unterschiedet. Dabei ist der Effekt größer am Main-Donau-Kanal als am linken Regnitz-Arm. In Bamberg wird der

Effekt aber überlagert vom generellen Kaltluftzufluss aus Süden. Davon weitgehend unbeeinflusst ist der linke Regnitz-Arm nördlich des Alten Rathauses. Die Bestätigung dieser Einschätzung wäre ein interessantes Temperaturmessprojekt.

Ist im Herbst und im Frühjahr nach einigen sonnenscheinreichen Tagen das Wasser in den Morgenstunden mehr als 10 Grad wärmer als die darüberstreichende kältere Luft, dann lösen sich von der erwärmten Wasseroberfläche warme turbulente Wirbel ab, wobei Wasserdampf in der darüber liegenden kalten Luftschicht rasch kondensiert und sich rauchartiger Nebel (Seerauch) ausbildet (Abbildung 8). Seerauch reicht nur wenige Meter hoch. Das Phänomen kann an kleinen Teichen aber auch an Flüssen, wie an der Regnitz und Main-Donau-Kanal beobachtet werden.

Abbildung 8: Seerauch am Main-Donau-Kanal bei Bischberg, Foto: Foken

Spielplatzklima

Spielplätze sollen für unsere Kinder möglichst angenehm sein, d.h. sie sollen viel Schatten bieten aber auch Sonnenschein um den Ort, wo sie beispielsweise mit Wasser spielen. Ein Spielplatz sollte also ein besonders ausgewogenes Parkklima besitzen. Ein besonders positives Beispiel ist deshalb auch der gut frequentierte Spielplatz auf der Erba-Insel (Abbildung 9). Auch der Spielplatz im Hain bietet ausreichend Schatten.

Abbildung 9: Spielplatz auf der Erba-Insel mit dem Wasserspielplatz im Vordergrund, Foto: Foken

Leider sind die positiven Spielplätze eher eine Seltenheit, da sie stadtplanerisch Lückenbüßer sind für Flächen, auf die nichts anderes passt. Viele Spielplätze bieten keinen Schatten und sind zwangsläufig an heißen Sommertagen verwaist, wie der Spielplatz an der Kanalseite der Tiefgarage Nord. Viele Spielplätze findet man auch in Mulden, wie im Domgrund. Hier herrscht kühles und feuchtes „Muldenklima“. Insbesondere im Winterhalbjahr kommt wenig Sonne in die z.T. tief eingeschnittenen Mulden und Bachtäler. Durch den fehlenden Wind wird zudem die Verdunstung reduziert und es bleibt in der Mulde immer relativ feucht, zumal sich auch von

den Seiten abfließendes Regenwasser noch sammeln kann. Jeder Energieüberschuss aus der Strahlung wird jedoch für die Verdunstung benötigt, bevor sich die Luft erwärmen könnte. Aber an sehr heißen Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung und wenig Luftbewegung ist es in Mulden warm, meist dann sogar unangenehm warm. Eine nähere Untersuchung der Spielplätze im Stadtgebiet von Bamberg und den umgebenden Gemeinden durch Temperaturmessungen ist sicher sinnvoll. Allerdings sollte man sich keine großen Temperaturunterschiede zwischen schattigen und sonnenbeschienenen Spielplätzen erwarten. Die ungehinderte Sonneneinstrahlung ist das Unangenehme an vielen Spielplätzen.

Gartenklima

Der Garten sollte ausreichend kurzwellige Strahlung von der Sonne erhalten, ohne dass schattige Stellen völlig vermieden werden. An den stärker von der Sonne beschienenen Flächen wird man in der Regel wärmeliebende Pflanzen anbauen. Oft sind diese dann aber auch frostgefährdet – da relativ offen. Hecken, Büsche und Sträucher in angemessenem Abstand können in der Nacht die zu große Wärmeabstrahlung durch langwellige Strahlung vermindern und unterstützen eine ausgeglichene langwellige Strahlungsbilanz zwischen ihnen und den Anpflanzungen. Sinnvoll ist es, den Garten durch Hecken oder Büsche vor von außerhalb einfließender Kaltluft, speziell an Hang-Lagen oder bei großen offenen Flächen in der unmittelbaren Nähe, zu schützen. Neben dem Schutz vor Frost und dem Wunsch nach Schatten sollte man auf eine angemessene Durchlüftung achten. Dies ermöglicht nicht nur den Luftaustausch, sondern unterstützt die Verdunstung, denn gerade in Busch- oder Heckennähe ist diese durch die fehlende Luftbewegung gering und es kann z. B bei lehmigen Böden zur Vernässung führen. Der Windschutz ist auf alle Fälle sinnvoll von Nordwest über Nord bis Ost, um vor kalten Winden im Winter zu schützen.

Im Steingarten werden gleich mehrere Klimaphänomene ausgenutzt, um ein besonders warmes und trockenes Klima zu erzeugen und Wärme und Trockenheit liebenden Pflanzen auch in unseren Breiten optimale Lebensbedingungen zu geben. Dabei kommt den Steinen in Form einer kleinen Wand eine besondere Bedeutung zu. Diese sollte möglichst ganztägig

von der Sonne beschienen werden. Die Steine speichern so viel Energie, dass sie tagsüber wie nachts als langwelliger Strahler dienen. Am Tag ist dies vielleicht nur in den Übergangsjahreszeiten von Bedeutung, aber in der Nacht von erheblichem Nutzen.

Hecken stellen nicht nur einen Sicht- und Windschutz her. In windstillen Nächten kann sich die Luft in unmittelbarer Heckennähe nicht so stark abkühlen wie auf freien Flächen. Grund ist die Wärmestrahlung der Hecke, die zumindest von einer Seite eine stärkere Auskühlung verhindert und damit die Frostgefährdung mindert. Durch die geringen Windgeschwindigkeiten in Heckennähe wird auch die Verdunstung reduziert. Damit ist es in Heckennähe in der Regel feuchter, insbesondere an der Schattenseite mit dem Nachteil einer stärkeren Moosbildung.

Da, abgesehen von größeren Gartenanlagen, Gärten relativ klein sind, kommt es selbst bei geringen Windgeschwindigkeiten zu einem vollständigen Luftaustausch. Somit weisen die Lufttemperaturen kaum Unterschiede auf. Die größten lokalklimatischen Effekte werden durch das Vorhandensein oder Fehlen von langwelliger Wärmestrahlung erzielt.

Wie misst man die Lufttemperatur?

Die Messung der „wahren“ Lufttemperatur ist nicht so einfach, wie man vermeintlich glaubt. Wenn man schon einmal ein Thermometer in die Sonne gehalten und die „Temperatur in der Sonne“ gemessen hat, weiß man, dass diese durchaus 10 Grad und mehr von der Lufttemperatur im Schatten abweichen kann. Das Thermometer wirkt hier als Bolometer, es misst die Erwärmung des Gerätes durch die einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung, ähnlich wie sich unsere Haut in der Sonne erwärmen kann. Die Messung der Lufttemperatur ist somit nicht trivial, sie bedarf eines Schutzes vor direkter Sonneneinstrahlung und speziell gebaute Thermometer[17].

Um Thermometer vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen, verwendet man Wetter- oder Thermometerhütten. Diese weisen allerdings weiterhin einen sogenannten Hüttenfehler auf, so dass am Tage ca. 1 Grad

[17] (Foken & Bange, Temperature sensors, 2021)

höhere Temperaturen und in der Nacht teilweise niedrigere Temperaturen gemessen werden. Einfache Hütten, wie bei kleinen privaten Wetterstationen (Abbildung 10), zeigen am Tag sogar bis zu 5 Grad höhere Temperaturen bei direkter Sonneneinstrahlung auf die Hütte. Man kann dies durch eine Abschattung für die relevanten Sonnenwinkel vermeiden. Professionelle Wetterstationen belüften diese Wetterhütten mit einem ständigen Luftstrom, so dass das Luftvolumen im Inneren der Hütte binnen kürzester Zeit ausgetauscht werden kann.

Abbildung 10: Weiße Schutzhütte mit winddurchlässigen Lamellen und dem Temperatur-Fühler geschützt im Inneren einer einfachen privaten Wetterstation an der sonnenabgewandten Seite (Norden) in 2 m Höhe in einem Gartengrundstück, Foto: Foken

Für mobile Messungen ist die Messung mit Thermometerhütten unhandlich. Deswegen wurde für das „Klimawandern“ ein spezielles Messdesign übernommen, wie es *Richard Aßmann* schon vor 150 Jahren entwickelt hat. Das eigentliche Thermometer – ein kleines Platin-Widerstandsthermometer – befindet sich im Inneren von zwei Schutzrohren, wobei dies und der Zwischenraum zwischen den beiden Schutzrohren belüftet wird, d.h. Luft wird am Sensor vorbei angesaugt, damit die Erwärmung durch

den Lüftermotor die Messung nicht verfälschen kann. Dabei sollte die Strömungsgeschwindigkeit etwa 2–3 m/s betragen. Das äußere Schutzrohr kann sich durch Sonnenstrahlung erwärmen, durch die Belüftung des Zwischenraumes zwischen den Rohren erwärmen sich das innere Rohr und der Sensor jedoch nicht. Das speziell entwickelte Thermometer (Abbildung 11) hat einen Messkopf mit den beiden Schutzrohren und dem Sensor. Das Gerät muss aber immer so gehalten werden, dass die Sonne nicht von vorn in das Gerät scheinen kann.

Abbildung 11: Temperaturmessgerät PEAKER® für mobile Messungen der Lufttemperatur der Firma UST Umweltsensortechnik GmbH, Geschwenda, speziell für Klimawandern im Rahmen von MitMachKlima entwickelt. Foto: Foken

Wer mehr über Temperaturmessung von den Anfängen bis zur Gegenwart wissen will, der sollte dem Deutschen Thermometermuseum in Geraberg einen Besuch abstatten. Von Bamberg mit dem Regionalexpress nach Erfurt und weiter mit Regionalbahn in etwas mehr als 2 Stunden zu erreichen (Anlage 5 Wichtige Anschriften).

Wo misst man die Lufttemperatur?

Wer schon einmal die Lufttemperatur gemessen hat, wird festgestellt haben, dass diese nicht nur von dem lokalen Klima abhängt, sondern in hohem Maße von der Messhöhe. Abbildung 12 zeigt unter typischen Bedingungen den Temperaturverlauf am Tag und in der Nacht, wie er beispielsweise über einer Wiese anzutreffen ist. Dabei sind die Temperaturunterschiede nahe der Oberfläche besonders groß, sodass man in diesem Bereich nicht messen sollte.

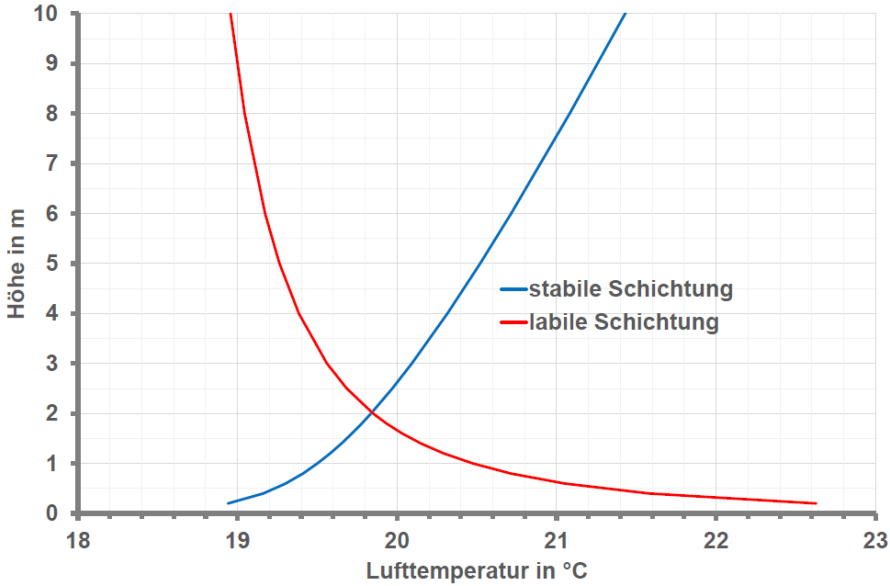


Abbildung 12: Vertikale Temperaturstruktur nahe der Oberfläche bei labiler Schichtung (typisch für den Tag) und bei stabiler Schichtung (typisch für die Nacht) bei schwachem Wind[18] , fiktives Zahlenbeispiel

Die Weltorganisation für Meteorologie empfiehlt daher eine Messhöhe von 2,0 m[19]. Dieser Empfehlung sollte man auch bei den eigenen Messungen folgen. Das Messgerät (Abbildung 11) sollte ausreichend vom Körper entfernt gehalten werden auf der Höhe von etwa 2 m. Alternativ kann man sich bei Kindern auch auf eine einheitliche andere Messhöhe festlegen, jedoch nicht unter 1,5 m. Auf alle Fälle sollten alle Messungen innerhalb eines Messzyklus in der gleichen Höhe ausgeführt werden. Da das Messgerät einen guten Strahlungsschutz und eine Belüftung besitzt, ist auch die Messung in der Sonne möglich, jedoch darf die Sonne nicht in die Rohröffnung scheinen.

[18] (Foken, Beyrich, & Wulfmeyer, Introduction to atmospheric measurements, 2021)
[19] (WMO, Guide to Instruments and Methods of Observation, 2024)

Was ist Klimawandern?

Klimawandern ist sicher kein Fachbegriff. Die Wissenschaft bezeichnet dies als mobile Messungen mit umfassend instrumentierten Fahrzeugen aber auch Fahrrädern und Rucksäcken. Für den Laien ist das zu kostspielig und aufwendig. Doch statt mit einem Rucksack zu laufen und kontinuierlich aufzeichnende Messgeräte, Datenerfassungtechnik und Batterien – meist fast 20 kg – herumzuschleppen, kann man auch mit einem einfachen Temperaturmessgerät sozusagen wandernd ähnliche Ergebnisse erzielen. Es wird nicht stressig, denn man soll nur kurze Wege von 1–2 Stunden zurücklegen, damit sich in dieser Zeit durch den Tagesgang die Lufttemperatur nicht zu stark ändert.

Ein erstes Beispiel für Bamberg fand am 26./27.06.2019 statt. Die Bürgerinnen und Bürgerinitiative „Rettet den Hauptsmoorwald“ wollte zeigen, dass die Stadt deutlich heißer als das Umland ist. Mit zwei auch im wissenschaftlichen Bereich eingesetzten Aspirationspsychrometern nach Aßmann[20], die das Vorbild für das für das Klimawandern entwickelte Temperaturmessgerät waren, wurden mehrere Messpunkte beprobt, wobei mit dem Fahrrad mit jedem Gerät zwei Messpunkte in möglichst kurzem Abstand angefahren wurden. Das Ergebnis wird in Abbildung 13 gezeigt. Am Tag ist die Stadt (Maxplatz, AOK in Ostvorstadt) nur wenig wärmer als die Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes. Der Effekt des Waldes ist sowohl im Hain als auch im Hauptsmoorwald gut zu sehen mit merklich niedrigeren Temperaturen. In der Nacht kühlt sich die Stadt aber deutlich weniger ab und die Temperatur bleibt sogar über 20 °C, so dass sich dort eine Tropennacht einstellte. Am kältesten war die Wetterstation, da sie in einem Kaltluftquellgebiet liegt. Die kleine Erwärmung gegen 3 Uhr ist durch einige hohe Wolken zu erklären.

[20] (Sonntag, Foken, Vömel, & Hellmuth, Humidity sensors, 2021)

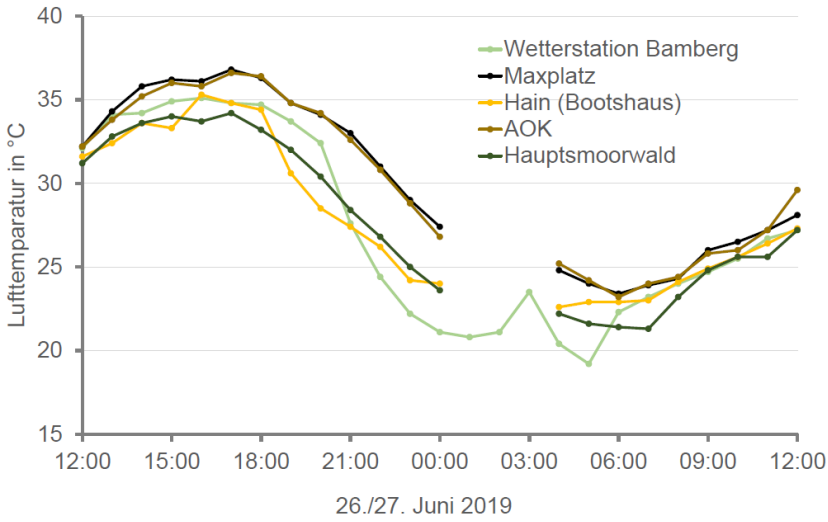


Abbildung 13: Temperaturmessungen am 26./27.06.2019 an mehreren Standorten im Stadtgebiet von Bamberg und an der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes nahe der Kleingartenanlage „Am Sendelbach“, realisiert durch die Bürgerinitiative „Rettet den Hauptsmoorwald“[21]

Das gezeigte Beispiel sind eher vergleichende Messungen. Mit mehreren Messgeräten beprobt man verschiedene Messpunkte über eine längere Zeit. Man kann auch mit mehreren Messgeräten in verschiedenen Messhöhen messen, um beispielsweise die Höhe eines Kaltluftsees und die vertikalen Temperaturunterschiede zu erfassen. Beim eigentlichen Wandern misst man entlang eines vorgegebenen Weges an vielen Messpunkten. Dies kann beispielsweise entlang einer Kaltlufttrasse oder zwischen der erhitzten Stadt und kühleren Randgebieten (Transsekt) sein. Im nachfolgenden Kapitel werden hierzu entsprechende Beispiele gezeigt.

Wichtiges Kriterium für alle Messungen ist es, dass man Wettersituationen nutzt, in denen Unterschiede zwischen Messorten überhaupt möglich sind. Somit kommen Situationen mit stärkerem Wind und bedecktem Himmel oder sogar Regen nicht in Frage. Optimal sind nahezu windstille Situationen mit klarem oder nur leicht bewölktem Himmel. Bei Messungen von Kaltluftabflüssen sollte es möglichst wolkenlos sein, denn selbst hohe

[21] (Foken, Bamberg im Klimawandel, 2. Auflage, 2025)

Wolken sind im Temperaturfeld zumindest nahe der Unterlage nachweisbar. Man sollte somit insbesondere Hochdruckwetterlagen nutzen.

Empfehlungen für das Klimawandern

Nachfolgend werden einige Empfehlungen gegeben. Die Wege können aber auch modifiziert werden und weitere Wege lassen sich in Bamberg, im Bamberger Umland und anderenorts leicht finden. Wichtig ist, dass die in Tabelle 3 bis Tabelle 6 genannten Kriterien für die jeweiligen Typen der Wanderrouten unbedingt eingehalten werden, um auch das erwünschte Ergebnis zu bekommen.

Untersuchung von Kaltluftflüssen

Die Kriterien für die Messung von Kaltluftabflüssen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Für das Stadtgebiet von Bamberg wird in Abbildung 14 ein Weg vom Gaustädter Cherbonhof an der Waldwiese entlang (Bamberger Weg) zum Ottobrunnen und weiter zur Schweinfurter Straße empfohlen. Eine weitere Möglichkeit ist der Weg in Abbildung 15 entlang der Panzerleite bis in den Domgrund. Man kann aber auch Wege an den Hängen der Altenburg, vom Klinikum nach Bug, vom Michelsberger Wald über den Sylvanersee nach Gaustadt usw. wählen.

Tabelle 3: Kriterien für die Messung von Kaltluftabflüssen

Wetterbedingungen	Nahezu windstill, wolkenlos
Zeit	Ab Sonnenuntergang bis 2-4 Stunden nach Sonnenuntergang
	2 Stunden vor Sonnenaufgang bis 1 Stunde nach Sonnenaufgang
Messdauer	1 – 2 Minuten pro Messung
Messhöhe	2 m, evtl. Zusatzmessung in 0,3 – 0,5 m Höhe
Zahl der Messgeräte	1 bei Messdauer entlang des Weges von 30 – 60 Minuten
	2 und mehr bei längeren Messwegen, der dann in kürzere Abschnitte eingeteilt werden sollte
Wahl des Messgebietes	Entlang eines typischen Kaltluftabflusses vom Quellgebiet bis in das Zielgebiet
Wahl der Messpunkte	50 – 100 m Abstand, äquidistant oder nahe charakteristischer Geländeformationen (offene Stellen, nahe von Büschen und Häusern)
Besondere Hinweise	Im hangigen Gelände auch außerhalb der Talsohle Vergleichsmessungen durchführen

Messung von Kaltluftabflüssen zwischen Cherbonhof, Ottobrunnen und Schweinfurter Straße

Abbildung 14: Messung von Kaltluftabflüssen zwischen Cherbonhof, Ottobrunnen und Schweinfurter Straße, © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

Über den QR-Code kann der Weg auf dem Smartphone nachvollzogen wergen

Messung von Kaltluftabflüssen entlang der Panzerleite bis zum Domgrund

Abbildung 15: Messung von Kaltluftabflüssen entlang der Panzerleite bis zum Domgrund, © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

Über den QR-Code kann der Weg auf dem Smartphone nachvollzogen wergen

Untersuchung der städtischen Wärmeinsel

Für die Messung der städtischen Wärmeinsel sind Kriterien in Tabelle 4 angegeben. Die Wahl der Wege kann eigenständig gewählt werden. Jedoch sollten besonders heiße Plätze (Maxplatz), warme Straßenzüge auf der Sonnen- und Schattenseite, Baumgruppen, kleine Parks, ufernahe Wege, Innenhöfe usw. in die Wegeplanung einbezogen werden. Da die Lufttemperatur sich durch den Tagesgang oft relativ schnell ändern kann, sollte am Ende nochmals am Ausgangspunkt gemessen werden oder man bestimmt die Veränderung der Lufttemperatur durch eine andere Messstelle, um die Messreihe zu korrigieren (Anlage 3 Lineare Trendkorrektur)

Tabelle 4: Kriterien für die Messung der städtischen Wärmeinsel

Wetterbedingungen	schwachwindig, wolkenlos oder nur leicht bewölkt
Zeit	1 – 2 Stunden vor Sonnenhöchststand (ca. 13 Uhr MESZ) bis 2 – 4 Stunden nach Sonnenhöchststand bzw. in den Abendstunden, 1 – 2 Stunden nach Sonnenuntergang
Messdauer	1 – 2 Minuten pro Messung
Messhöhe	2 m
Korrektur	Tagesgang (Anlage 3)
Zahl der Messgeräte	1 bei Messdauer entlang des Weges von 60 – 90 Minuten
	2 und mehr bei längeren Messwegen, der dann in kürzere Abschnitte eingeteilt werden sollte
Wahl des Messgebietes	Typische Straßen und Plätze mit und ohne Baumbestand, Parks, Innenhöfe, Spielplätze, Flussnähe
Wahl der Messpunkte	50 – 100 m Abstand, nahe charakteristischer Stadtstrukturen

Besondere Hinweise	Ggf. verschiedene oder mehrere Routen ausprobieren, um möglichst viele Strukturen zu erfassen

Untersuchung der städtischen Transekte

Transekte stellen Wege dar, die unterschiedliche lokale Klimazonen verbinden. In Stadtgebieten wie Bamberg betrifft dies die Übergänge von den LCZ 2 bzw. LCZ 3 zu den LCZ 6 oder LCZ 9 bzw. auch LCZ B. Die entsprechenden Kriterien sind in Tabelle 5 angegeben. Abbildung 16 zeigt als Beispiel den Weg von der sogenannten „Schwarzen Brücke“ in Gaustadt über den Erba-Park entlang des Main-Donau-Kanals bis in die Innenstadt oder alternativ über die Mußstraße und die Weide in die Innenstadt. Der Endpunkt könnte in beiden Fällen der Maxplatz sein. Eine zweite Variante (Bild17) beginnt am Parkplatz am Ende der Hainstraße (alternativ Buger Spitze), führt durch den Hain entlang des linken Regnitz-Armes entweder über „Am Kanal“ (Gondelstrecke) in die Innenstadt oder über die „Schleuse 100“ und die Judenstraße in die Sandstraße. Man kann damit sowohl die Wirkung morgendlicher Kaltluftflüsse als auch die abendliche Abkühlung untersuchen. Im letzteren Fall sollte man den Weg auch in umgekehrter Richtung gehen. Auch hier muss ein möglicher Tagesgang der Lufttemperatur korrigiert werden **(**Anlage 3 Lineare Trendkorrektur**).**

Tabelle 5: Kriterien für die Messung städtischen Transekte

Wetterbedingungen	schwachwindig, wolkenlos (speziell früh und abends) oder nur leicht bewölkt
Zeit	1 – 2 Stunden vor Sonnenhöchststand (ca. 13 Uhr MESZ) bis 2 – 4 Stunden nach Sonnenhöchststand
	Ab Sonnenuntergang bis 2-4 Stunden nach Sonnenuntergang
	2 Stunden vor Sonnenaufgang bis 1 Stunde nach Sonnenaufgang
Messdauer	1 – 2 Minuten pro Messung
Messhöhe	2 m
Korrektur	Tagesgang (Anlage 3)
Zahl der Messgeräte	1 bei Messdauer entlang des Weges von 30 – 90 Minuten
	2 und mehr bei längeren Messwegen, der dann in kürzere Abschnitte eingeteilt werden sollte
Wahl des Messgebietes	Von typisch kühlerem Gebiet (Park, Vorstadt) in Innenstadt oder umgekehrt
Wahl der Messpunkte	50 – 100 m Abstand, nahe charakteristischer Stadtstrukturen
Besondere Hinweise	Ggf. verschiedene oder mehrere Routen ausprobieren, um möglichst viele Strukturen zu erfassen

Messung des Transsektes von der „Schwarzen Brücke“ über den Erba-Park bis in die Innenstadt

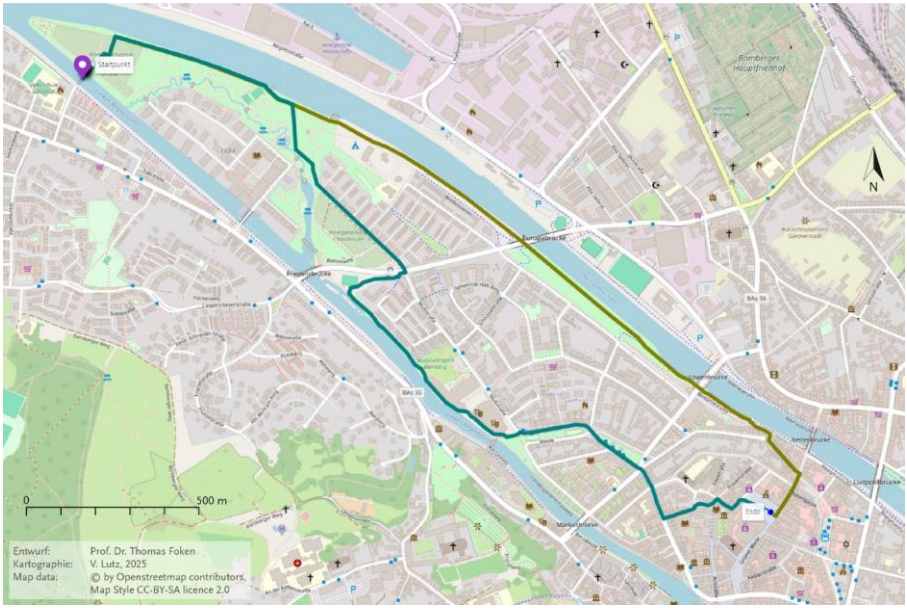


Abbildung 16: Messung des Transsektes von der „Schwarzen Brücke“ über den Erba-Park bis in die Innenstadt © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

Über den QR-Code kann der Weg auf dem Smartphone nachvollzogen wergen

Messung des Transsektes vom Hain entlang des linken Regnitz-Armes in die Innenstadt bzw. das Sandgebiet

Abbildung 17: Messung des Transsektes vom Hain entlang des linken Regnitz-Armes in die Innenstadt bzw. das Sandgebiet, © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

Über den QR-Code kann der Weg auf dem Smartphone nachvollzogen wergen

Untersuchung von Tagesgängen

Durchaus interessant ist auch die vergleichende Messung von Tagesgängen an verschiedenen Orten im Stadtgebiet, wie in Abbildung 13 gezeigt. Man sollte vorher jedoch Transsekt-Messungen und Messungen der Wärmeinsel durchführen, um die Messpunkte möglichst optimal auszuwählen. Außerdem ist eine präzise Wettervorhersage notwendig, um ganztägig gleiche Messbedingungen (windschwach, höchstens leicht bewölkt) zu gewährleisten. Die Kriterien sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6: Kriterien für die Messung von Tagesgängen der Lufttemperatur

Wetterbedingungen	schwachwindig, wolkenlos (speziell früh und abends) oder nur leicht bewölkt, Planung entsprechend Wettervorhersage
Zeit	2 Stunden vor Sonnenaufgang bis 2-4 Stunden nach Sonnenuntergang
Messdauer	1 – 2 Minuten pro Messung
Messhöhe	2 m
Zahl der Messgeräte	Anzahl abhängig von den ausgewählten Messpunkten, bei nahe liegenden Messpunkten evtl. weniger, wenn diese innerhalb von 5 Minuten beprobt werden können
Wahl des Messgebietes	Typische Messpunkte (Innenstadt, Vorstadt, Park, Wald, Wassernähe)
Wahl der Messpunkte	Je nach Anzahl der vorhandenen Geräte Auswahl der Messpunkte. Bei nahe liegenden Messpunkten kann auch ein Gerät für 2 Punkte verwendet werden, wenn diese innerhalb von 5 Minuten beprobt werden können.

	Messabstand 30 Minuten, nahe Sonnenauf- und -untergang auch 15 Minuten
Besondere Hinweise	Die Auswahl der Messpunkte sollte nach Transsektmessungen vorgenommen werden. Ggf. Schichtbetrieb der Beobachter

Empfehlungen für Pädagogen

Klimawandern kann in vielfältige Weise in den Unterricht eingebaut werden. Bevorzugtes Fach ist sicher die Geografie, doch kann man auch Aspekte in den Biologie- oder Physikunterricht integrieren. Auch ein Wandertag zum Thema Lokalklima ist möglich, wenn es die jeweilige Wettersituation zulässt. Nachfolgend sind einige Beispiele angegeben, die man weiter individuell anpassen kann. Alle Beispiele sollten von April bis September durchgeführt werden.

Schulstunde

Für Schulen im Innenstadtgebiet reichen oft 45 Minuten, um einige Messpunkte anzulaufen, beispielsweise vom Gabelmann zum Maxplatz, nördliche Promenade, Schönleinsplatz bis Schleuse 100 und zurück. Gegebenenfalls kann man mit zwei Geräten eine Gruppe im Innenstadtbereich und eine im Hain messen lassen. Zur Anwendung kommen Tabellen 4 und 5 und Abb. 16 und 17. Sinnvoll wäre es, Lokalklima in einer Schulstunde zu erklären und die Schüler in die Wahl der Messtrecke (Innenstadt mit und ohne schattenspendende Bäume, Hain oder Erba) mit einzubeziehen.

Wandertag

Für einen Wandertag eignen sich besonders Untersuchungen der städtischen Wärmeinsel und Transekte. Hierzu sollte man die späten Vormittagsstunden bis frühen Nachmittagsstunden nutzen. Da die Messungen vorzugsweise in der Mittagszeit durchzuführen sind, könnte man morgens in einer Vorbereitungsstunde Lokalklima erläutern. Zur Anwendung kommen Tabellen 4 und 5 und Abb. 16 und 17.

Der besondere Wandertag könnte eine Stunde vor Sonnenaufgang zur Messung von Kaltluftabflüssen beginnen. Zur Anwendung kommen dann Tabelle 3 und Abb. 14 und 15. Ebenso könnte man Transektmessungen in den Abendstunden nach Tabelle 5 und Abb. 16 und 17 durchführen.

In jedem Fall ist eine Abschlussbesprechung der Ergebnisse notwendig.

Projektwoche

In einer Projektwoche könnte man kleinere Schülergruppen mit verschiedenen Aufgaben betrauen, wie Kaltluftabflüsse (Tabelle 3), städtische Wärmeinsel (Tabelle 4) oder Transekte zu verschiedenen Tageszeiten (Tabelle 5). In der Woche sollten 2-3 Tage mit günstigen Wetterbedingungen gewählt werden, um die Messungen zu wiederholen. Die restlichen Tage dienen der Auswertung, des Vergleiches der Gruppenergebnisse und der Vorbereitung einer Abschlusspräsentation.

Langfristiges Projekt (3 Monate)

Das Projekt könnte ähnlich gestaltet werden wie die Projektwoche mit entsprechend häufigeren Wiederholungen. Mit Sicherheit sind auch ideale Wetterbedingungen dabei.

Durchführung der Messung

Vor der Messung muss man sich mit der Bedienungsanweisung des Temperaturmessgerätes PEAKER® (Anlage 2 Technische Daten und Bedienungsanleitung) umfassend vertraut machen.

Bei Messungen, die durch den Tagesgang der Lufttemperatur stark beeinflusst sein können, empfiehlt es sich eine nahe gelegene Messtation zu wählen und den Tagesgang aufzuzeichnen. Es bietet sich dabei an, eine oder mehrere private Messtationen im Untersuchungsgebiet zu nutzen, die man beispielsweise unter https://weathermap.netatmo.com/ finden kann. Man kann aber auch am Ende nochmals die Temperatur am Ausgangspunkt messen, z. B. mit einem zweiten Gerät

Vor Beginn der Messungen sollte das Protokollblatt (Anlage 1) vorbereitet werden. Entsprechend dem gewählten Messprofil sind geeignete Messpunkte auszuwählen, die wegen ihrer Höhenlage oder Umgebung

(unterschiedlich dicht bebaut, Bäume, Wiesen) als besonders markant erscheinen.

Etwa 2–3 Minuten vor Beginn der Messungen schaltet man die Pumpe zur Ventilation ein. Das Gerät sollte immer nahe der späteren Messhöhe transportiert werden, denn die Temperaturen in Bodennähe (Abbildung 12) können sich beachtlich unterscheiden und man benötigt längere Einstellzeiten. Ebenso sollte man das Gerät nicht am Körper tragen (Jackentasche) oder ständig direkt der Sonne aussetzen.

Zur Messung hält man das Gerät möglichst weit weg vom Körper in die richtige Messhöhe, 2 m bei Erwachsenen, 1,5 m bei Kindern. Wichtig ist, dass immer in der gleichen Höhe gemessen wird. Dabei zeigt die Öffnung des Messkopfes nach Norden, so dass keine direkte Sonnenstrahlung in das Gerät eindringen und durch Reflexion bis an den empfindlichen Temperaturfühler gelangen kann. Nach etwa 1–2 Minuten stellt sich die richtige Temperatur ein. Siehe dazu Anlage 4, Tabelle A2. Am besten ist es, wenn man das Thermometer ständig beobachtet und den Messwert nimmt, der sich nur noch unwesentlich (< 0,2 °C) verändert.

Nach Beendigung der Messungen versucht man die Daten möglichst anschaulich grafisch darzustellen. Man kann diese z.B. in die Kartendarstellungen eintragen oder zeichnet selbst z. B. bei Kaltluftabflüssen ein Höhenprofil.

Falls es notwendig ist, den Tagesgang der Lufttemperatur zu korrigieren, sind entsprechende Methoden in Anlage 3 angegeben.

Anlagen

Anlage 1 Messprotokoll

Eine Vorlage des Protokolls kann online unter www.mitmachklima.de/klimawandern heruntergeladen werden.

Zweck der Messung:

Datum:

Zeitraum:

*Beobachter*in:*

Zeit	*Messort (Koordinaten, LCZ)*	*Messhöhe in m*	*Lufttemperatur in °C*	*Bemerkungen, eigenes Hitzeempfinden*

Anlage 2 Technische Daten und Bedienungsanleitung

des Lufttemperatur- Messgerätes PEAKER® von UST Umweltsensortechnik Geschwenda

Abbildung 18: Beschreibung des Messgeräts

Technische Daten

Tabelle 7: Technische Daten des Lufttemperaturmessgeräts

Messkopf mit integriertem keramischen Platin-Dünnschicht-Temperatursensorelement, mit doppeltem Strahlungsschutz und aktiver Zwangsbelüftung innen und außen mittels Ansaugpumpe	
Einsatzbereich und Lagerbereich	–20 °C bis +45 °C, 20 % bis 80 % relative Luftfeuchte
Auflösung der Anzeige	0,1 K

Genauigkeit nach DIN/EN 60751, Klasse A	0,15 K bei 0 °C
Strahlenschutz	Doppeltes belüftetes Rohr
Strahlungsfehler	< 0,2 K
Belüftungsgeschwindigkeit	ca. 3 m/s
Zeitkonstante bei Belüftung	ca. 25 s
Stromversorgung	4,8 V Gleichstrom (Akku)
Ladenetzteil	110V/220V, 50 Hz
Messdauer mit einer Akkuladung (mit laufender Pumpe)	ca. 5-7 Std.
Betriebsdauer abhängig von Betriebsdauer der Pumpe	ca. 15 Std.
Schutzklasse	IP 54

Wichtige Hinweise

Vor Einschalten des Gerätes und Beginn der Messung Schutzkappe vom Messkopf abschrauben. Nach Beendigung der Messung Schutzkappe auf Messkopf aufschrauben.

Der Messkopf und die Luftaustrittsöffnung am Geräteboden dürfen nicht verschmutzt und während einer Messung nicht verdeckt werden.

Laden des Gerätes nur über Ladebuchse (linke Geräteseite) per mitgeliefertem Ladegerät. Die Einstellungen am Ladegerät dürfen nicht verändert werden

Die Reinigung des Gerätes darf nur mit einem trockenen bzw. leicht mit Wasser angefeuchtetem und fusselfreiem Tuch erfolgen.

Das Gerät ist vor Erschütterung zu schützen.

Bedienungsanleitung des Gerätes

Das Gerät besitzt 2 Schalter, der untere ist zum Einschalten des Gerätes, mit dem oberen schaltet man die Pumpe zur Belüftung ein. Zuverlässige Messungen sind nur mit Belüftung möglich, die man etwa 2–3 Minuten vor Messbeginn einschaltet.

Vor der Messung die Schutzkappe abnehmen. Bei längeren Messpausen und beim Transport immer die Schutzkappe aufschrauben.

Das Gerät nur kurzzeitig zur Messung der direkten Sonnenstrahlung aussetzen, immer im Schatten lagern, damit sich das Gerät nicht aufheizt.

Bei der Messung muss sichergestellt werden, dass die Luftaustrittsöffnung (unten am Gerät) immer frei ist, also nicht durch das Halten des Schaftes zufällig verschlossen ist.

Gerät einschalten: ON-Taste einmal lang drücken:

- Signalton wird ausgegeben, LED leuchtet kurz gelb und im Betrieb grün
- im LC-Display werden kurz die verfügbaren Segmente und Symbole angezeigt, danach wird der aktuell gemessene Temperaturmesswert in °C angezeigt

Ansaugpumpe an-/ausschalten: Funktionstaste jeweils einmal kurz drücken

- Ansaugpumpe wird ein- bzw. ausgeschaltet, im LC-Display wird am unteren Rand ein Balken angezeigt

LC-Display-Beleuchtung ein-/ausschalten: ON-Taste jeweils einmal kurz drücken

- Displaybeleuchtung wird ein- bzw. ausgeschaltet

Warn-/Fehleranzeigen:

- Akku im Gerät fast entladen – Anzeige Batterie-Symbol im LC-Display – Akku im Gerät sollte geladen werden
- Messwert Temperatur < 25°C – Anzeige im LC-Display: "UL", LED leuchtet rot

- Messwert Temperatur > 50°C – Anzeige im LC-Display: "OL", LED leuchtet rot
- Fehler Kalibrierdaten – Anzeige im LC-Display: "E128", LED leuchtet gelb

Gerät ausschalten: ON-Taste einmal lang drücken:

- Am Display erscheint kurzzeitig „OFF“

Anlage 3 Lineare Trendkorrektur[22]

Die lineare Trendkorrektur ist ein vereinfachtes Verfahren, um den Tagesgang der Lufttemperatur, der als lineare Veränderung angenommen wird, in einfacher Weise zu korrigieren. Man unterscheidet dabei zwei unterschiedliche Methoden:

Gleicher Anfangs- und Endpunkt der Messungen

Dabei wird die Temperaturänderung zwischen Anfangs- und Endpunkt der Messungen oder zwischen doppelt angefahrenen Punkten bei großen Untersuchungsgebieten als linear angenommen. Die Korrektur erfolgt anhand des Differenzenquotienten oder der mittleren Änderungsrate der Lufttemperatur:

$$\Delta T = \frac{T_n - T_1}{t_n - t_1}(t_i - t_n) \qquad (1)$$

Die Formel korrigiert die Messreihe auf die Temperatur des Endwertes. Will man auf die Temperatur des Anfangswertes korrigieren, muss man $(t_i - t_n)$ durch $(t_1 - t_i)$ ersetzen.

Dabei sind

ΔT Korrekturbetrag in K

T_1 Lufttemperatur zum Startzeitpunkt t_1 in °C

[22] (VDI, Umweltmeteorologie - Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen (Environmental meteorology - Methods of urban and site-related ground-based climate measurements with mobile measurement systems), 2023)

T_n Lufttemperatur zum Endzeitpunkt t_n in °C

t_1 Startzeitpunkt in s

t_n Endzeitpunkt in s

t_i Zeitpunkt i während der Messung in s

Die zeitkorrigierten Messwerte werden letztlich nach Gleichung (2) ermittelt:

$$T_{\text{korr}} = T_i + \Delta T \quad (2)$$

Dabei sind

T_{korr} zeitkorrigierter Messwert in °C

T_i mobil erhobener Messwert in °C

ΔT Korrekturbetrag in °C

Abbildung 19 zeigt eine Messung während der abendlichen Abkühlung mit der korrigierten Messreihe auf den Endwert.

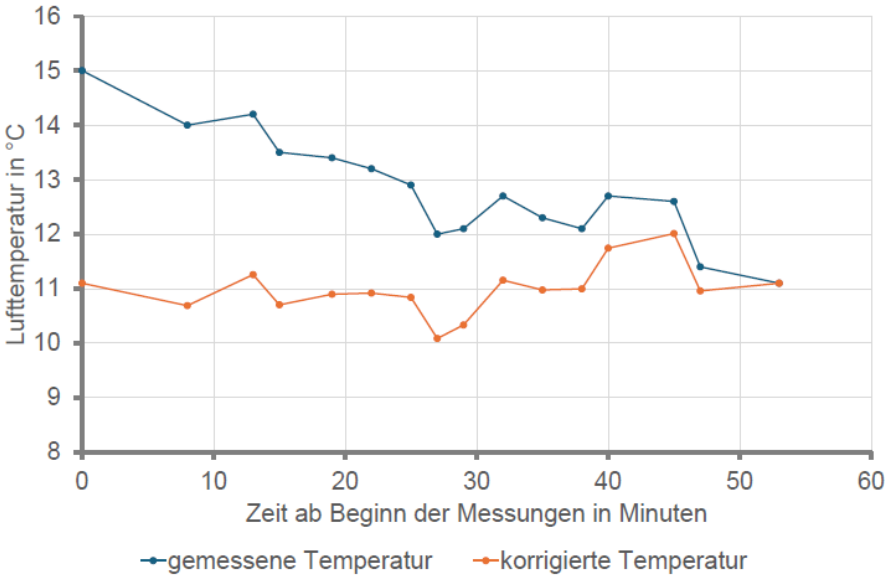


Abbildung 19: Messbeispiel der abendlichen Abkühlung am 11.04.2025 im Raum Bischberg mit Korrektur auf den Endwert. Nur durch die Korrektur sind die wärmsten und kältesten Punkte im Messprofil sicher erkennbar.

Trendkorrektur mit Referenzstation

Bei Messstrecken, bei denen Anfangs- und Endpunkt räumlich weit auseinander liegen, ist die Korrektur unter Berücksichtigung einer oder gegebenenfalls mehrerer Referenzstationen vorzunehmen. Dies gilt insbesondere, wenn Gebiete verschiedener Landnutzung ein deutlich unterschiedliches Abkühlungs- bzw. Erwärmungsverhalten zeigen.

Die Trendkorrektur mit Referenzstation korrigiert die mobil erfassten Daten nicht linear anhand der Lufttemperaturverläufe an einem/mehreren stationären Standort(en). Zur Korrektur der Daten empfiehlt sich die Anwendung der Korrekturfunktion (linear oder polynomisch), die den Trend der Lufttemperatur an der Referenzstation am besten approximiert.

$$T_{\mathrm{K}} = T_i - T\left(t_{\mathrm{R}}\right) \qquad (3)$$

Dabei sind

T_i	mobil erhobene Messwerte in K
T_K	korrigierte Messwerte in K
$T(t_R)$	Zeitverlauf der Temperatur der Referenzstation

Als Referenzstation sollte man eine möglichst nahe dem Messprofil gelegene Station auswählen. Es bietet sich dabei an, eine oder mehrere private Messtationen im Untersuchungsgebiet zu nutzen, die man beispielsweise unter https://weathermap.netatmo.com/ finden kann.

Anlage 4 Zeitkonstante

Jedes Messgerät hat eine gewisse Trägheit, d.h. es dauert eine bestimmte Zeit bis das Gerät beispielsweise nach einer Temperaturänderung wieder die richtige Temperatur anzeigt. Die Zeitkonstante eines Messsystems ist dabei jene Zeit, bei der das Messsystem sich seinem Endwert auf 63 % genähert hat. Der Wert von 63 % entspricht (1–1/e).

Bei einer Änderung der Temperatur zum Zeitpunkt t = 0 kann man die Temperatur für t > 0 nach folgender Formel bestimmen

$$T(t) = T_\infty \left(1 - \mathrm{e}^{-\frac{T}{\tau}}\right) \qquad (4)$$

Dabei sind

$T(t)$	Lufttemperatur zum Zeitpunkt t in °C
T_∞	Lufttemperatur nach dem Temperatursprung in °C
t	Zeitpunkt in s
τ	Zeitkonstante in s
e	Basis des natürlichen Logarithmus

Ein Beispiel der Bestimmung der Zeitkonstante des Messystems zeigt Abbildung 20.

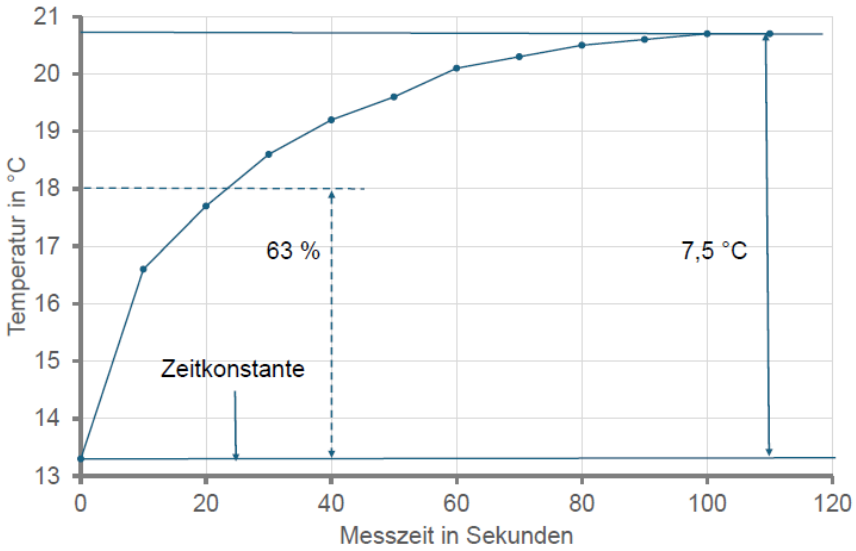


Abbildung 20: Zeitkonstantenbestimmung des Temperturmessgerätes PEAKER®. Der gefundene Wert liegt bei etwa 25 s.

Um wirklich den Endwert nach einer sprunghaften Änderung des Eingangssignales zu erfassen, muss man wesentlich länger als die Zeitkonstante messen. Tabelle 8 zeigt die Annäherung an den Endwert.

Tabelle 8: Benötigte Messdauer für eine prozentuale Annäherung an den realen Wert bei einer sprunghaften Signaländerung als Vielfaches der Zeitkonstante[23]

Prozentuale Annäherung	50 %	63,2 %	80 %	90 %	95 %	99 %
Zeit bei einer Zeitkonstante von 25 s	18 s	25 s	40 s	58 s	75 s	115 s

Nimmt man einen Fehler von 0,2 °C an, d.h. das Messgerät muss sich bis auf diesen Fehlerwert dem Endwert nähern, so ergeben sich die

[23] (VDI, Umweltmeteorologie - Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen (Environmental meteorology - Methods of urban and site-related ground-based climate measurements with mobile measurement systems), 2023)

notwendigen Messzeiten nach Tabelle 9. Man erhält also bei einer Messdauer von 1–2 Minuten einen zuverlässigen Messwert.

Tabelle 9: Notwendige Messzeiten bei einem maximalen Fehler von 0,2 °C in Abhängigkeit von der Temperaturänderung zwischen zwei Messpunkten

Temperaturänderung	1 °C	2 °C	4 °C
Notwendige Messzeit	40 s	58 s	75 s

Anlage 5 Wichtige Anschriften

Projektverantwortliche

Stadt Bamberg
Referat für Klima, Personal und Soziales
Heinrichsdamm 1
96047 Bamberg
Tel. 0951 / 87 – 1449
mitmachklima@stadt.bamberg.de

Wissenschaftliche Betreuung

Prof. Dr. Thomas Foken
MikroMeteorologische Beratung
Am Herrgottsabaum 28
96120 Bischberg
Tel. 0951 / 1809655
http://www.micrometeorology.de
thomas.foken@uni-bayreuth.de

Hersteller des Lufttemperatur-Messgerätes

UST UMWELTSENSORTECHNIK GmbH
Dieselstraße 2 und 4
99331 Geratal OT Geschwenda
Tel. 036205 / 713 – 0
http://www.umweltsensortechnik.de
info@umweltsensortechnik.de

Preis des Gerätes auf Anfrage (ca. 300 €)

Ausleihe in Stadt- und Landkreis Bamberg

Bund Naturschutz in Bayern e.V., Kreisgruppe Bamberg
Kapuzinerstraße 12
96047 Bamberg
Tel. 0951 / 5190611
https://bamberg.bund-naturschutz.de
bamberg@bund-naturschutz.de
Öffnungszeiten: Montag 14–17 Uhr, Dienstag bis Donnerstag 09–13 Uhr

Weiterführende Informationen zur Lufttemperaturmessung

Deutsches Thermometermuseum Geraberg
Dorfplan 9
99331 Geratal OT Geraberg
Tel. 0 36 77 / 20 56 81
https://www.thermometermuseum.de/
mail@thermometermuseum.de
Öffnungszeiten: Dienstag bis Samstag 10–16 Uhr

Literaturverzeichnis

Benabbas, A. E., Ackermann, L., Kkhalil, R. E., Nicklas, D., & Foken, T. (2024). Identifikation kleinräumiger lokaler Klimate in einem Crowdsourcing-Netzwerk. *Annalen der Meteorologie Bd. 53, 10. Fachtagung BIOMET des Fachausschusses Biometeorologie der DMG e.V.* (S. 47-47d). Offenbach am Main: Deutscher Wetter Dienst.

Foken, T. (2013). *EAGLE-Starthilfe - Energieaustausch an der Erdoberfläche : Lokalklima - Landnutzung - KLimawandel.* Edition am Gutenbergplatz, Leipzig: https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00006722.

Foken, T. (2021). Bearbeitung der Bamberger Klimareihe 1879–2020. *Arbeitsergebnisse / Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie ; 57*, S. 49 S.

Foken, T. (2025). *Bamberg im Klimawandel, 2. Auflage.* Norderstedt: BoD.

Foken, T., & Bange, J. (2021). Temperature sensors. In T. Foken (Hrsg), *Spinger Handbook of Atmospheric Measurements* (S. 183-208). https://doi.org/10.1007/978-3-030-52171-4_7: Springer Cham.

Foken, T., Beyrich, F., & Wulfmeyer, V. (2021). Introduction to atmospheric measurements. In T. Foken (Hrsg), *Springer Handbook of Atmospheric Measurements* (S. 3-31). https://doi.org/10.1007/978-3-030-52171-4_1: Spinger Cham.

IPCC. (2021). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis.* https://doi.org/10.1017/9781009157896: Cambridge University Press.

Schönwiese, C. (2019). *Klimawandel kompakt, Ein globales Problem wissenschaftlich erklärt.* Stuttgart: Borntraeger.

Sonntag, D., Foken, T., Vömel, H., & Hellmuth, O. (2021). Humidity sensors. In T. Foken (Hrsg.), *Springer Handbook of Atmospheric Measurements* (S. 209-242). https://doi.org/10.1007/978-3-030-52171-4_8: Springer Cham.

Stewart, I., & Oke, T. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. Bull Am Meteorol Soc 93. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

VDI. (2020). *Umweltmeteorologie - Stadtentwicklung im Klimawandel (Environmental meteorology - Urban development in view of climate change).* VDI 3787 Blatt (Part) 8. Berlin: Beuth-Verlag.

VDI. (2022). *Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas.* VDI 3787 Blatt 2, Berlin: Beuth Verlag.

VDI. (2023). *Umweltmeteorologie - Methoden bodengebundener Stadt- und Standortklimamessungen mit mobilen Messsystemen (Environmental meteorology - Methods of urban and site-related ground-based climate measurements with mobile measurement systems).* VDI 3785 Blatt 2 (Part2). Berlin: Beuth Verlag.

VDI. (2024). *Umweltmeteorologie; Klimaindikatoren (Environmental Meteorolgy; Climate indicators).* Berlin: Beuth Verlag.

Wikipedia. (2024). Abgerufen am 28. 08 2024 von https://de.wikipedia.org/wiki/Clausius-Clapeyron-Gleichung

Winklmayr, C., Muthers, S., Niemann, H., & Mücke, H. (2022). Hitzebedingte Mortalität in Deutschland zwischen 1992 und 2021. *Deutsches Ärzteblatt 119 (26)*, 451-457.

WMO. (2024). Guide to Instruments and Methods of Observation,. *WMO-No. 8, Volume I - Measurement of Meterorological Variables*. Geneva: World Meterological Organization.

Notizen: