

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

Fakultät Landschaftsarchitektur, Umwelt- und Stadtplanung

Studiengang Stadtplanung (Bachelor of Engineering)

Bachelorthesis

Auswirkungen des Klimawandels auf das Kleinklima der Stadt Reutlingen

mit Handlungsempfehlungen für eine klimaangepasste Stadt

Bearbeiter: Daniel Scheu
(Matrikel-Nr. 215457)

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Alfred Ruther-Mehlis
Zweitgutachterin: Prof.-Ing. Waltraud Pustal

Ausgabezeitpunkt: 01.08.2018

Abgabezeitpunkt: 11.12.2018

Wintersemester 2018 / 2019

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich:

1. dass ich meine Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird. Ich bin mir im Weiteren darüber im Klaren, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung zur Folge haben kann, dass ich von der Ableistung weiterer Prüfungsleistungen nach § 15 Abs. 4 SPO ausgeschlossen werden und dadurch die Zulassung zum Studiengang verlieren kann.

Nürtingen, den

..... Unterschrift mit vollem Vor- und Nachnamen

Inhaltsverzeichnis

Glossar.....	3
Zusammenfassung.....	5
1. Einleitung und Fragestellung	6
2. Klima in Baden-Württemberg / Deutschland	8
2.1 Extremwetterereignis im Sommer 2018.....	11
2.2 Auswirkung des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit	12
2.3 Klima in der Bauleitplanung	14
3. Definition Stadtklima.....	17
4. Klimatische Besonderheiten in der Region Reutlingen.....	20
4.1.1 Temperatur.....	20
4.1.2 Niederschlagsverhältnisse.....	21
4.1.3 Sonnenscheindauer.....	23
4.2 Mikroklimatische Besonderheiten der Stadt Reutlingen	25
4.2.1 Höhenlagen mit Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten	25
4.2.2 Klimatope im Stadtgebiet.....	27
4.2.3 Vergleich zwischen Stadt und Umland.....	31
4.2.4 Stauniederschlag.....	32
4.2.5 Albföhn	34
4.2.6 Regenschatten und Gewitterbildung	37
5. Auswirkungen des Klimawandels in der Region Reutlingen	39
5.1 Temperatur und Entwicklung der Sommertage.....	40
5.1.2 Niederschlag	42
5.1.3 Extremwetterereignisse (Hitzewellen, Starkniederschläge, Hochwasser) in Reutlingen.....	43
6. Folgen und Risiken für die Stadtplanung	51

6.1 Sind Städte in Süddeutschland klimatisch unabhängig oder sind Veränderungen in der Stadtplanung notwendig?	51
7. Maßnahmenkonzept zur Klimaanpassung in Reutlingen	52
7.1 Stadtentwicklung und Bauleitplanung	53
7.2 Grünflächen und Freiraumgestaltung	55
7.2.1 Lösungsvorschläge für ausgewählte Frei und Grünräume in der Reutlinger Innenstadt	56
7.2.2 Pflanzen in klimaangepassten Städten	62
7.3 Technische Maßnahmen an Gebäuden und urbanen Freiflächen.....	64
7.3.1 Dächer und Fassaden	64
7.4 Schutzmaßnahmen bei Extremwetterbedingungen für die menschliche Gesundheit am Beispiel der Stadt Reutlingen	67
7.5 Stärkung des alternativen Umweltverbundes.....	68
8. Handlungsempfehlungen	70
9. Fazit und Ausblick.....	79
10. Literaturverzeichnis	80
Anhang.....	85
Abbildungsverzeichnis.....	85

Glossar

Klimabegriffe

maritimes Klima	Das maritime Klima ist geprägt durch geringe jährliche und täglich/ nächtliche Temperaturschwankungen und einer hohen Feuchtigkeit.
kontinentales Klima	Im Allgemeinen ist das Kontinentalklima geprägt durch große jährliche und tägliche Schwankungsbereiche der Temperatur, eine geringe relative Feuchtigkeit sowie mäßigen oder geringen, unregelmäßig fallenden Niederschlag.
Vegetationsperiode	Definiert den Zeitraum des Jahres, in dem die Pflanzen photosynthetisch aktiv sind
Sommertag	Ein Sommertag ist ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $< 25\text{ °C}$ beträgt
Extremwetterereignis	Stellt eine klimatische Gefährdung für die öffentliche Ordnung sowie für Mensch und Leben dar.
Neophyten	Alle Tropengewächse, die nie freigesetzt/eingeschleppt wurden
Leeeffekte	Wolken und Niederschlagslücken hinter Gebirgszügen
außergewöhnliche Dürre	Lange niederschlagsarme Zeit
Temperaturanomalie	Abweichung von Normalwerten
Hitzewellen	Eine Hitzewelle ist ein Extremereignis, welches die menschliche Gesundheit, die Ökosysteme und die Infrastruktur schädigen kann.
Inversionswetterlagen	Umkehr der normalerweise mit der Höhe kühleren Temperaturen (Kaltluftseen am Boden)
m.ü.d.M	Meter über dem Meer

Kaltluftfluss	Ein Kaltluftfluss ist die in wind-schwachen, klaren Nächten hang-abwärts strömende kalte Luft. Sie sammelt sich am Erdboden und ist dann schwerer als die wärmere Luft der Umgebung
Stauniederschlag	Wolken die an Gebirgszügen aus-regnen
Föhnwetterlagen	Warmer, trockener Fallwind im Ge-birge
HQ 50	50- jährliches Hochwasserereignis
HQ 100	100- jährliches Hochwasserereig-nis
HQ Extrem	extremes Hochwasserereignis
Durchschnittstemperaturen	Gemittelte Temperaturen
Heißer Tag	Tage mit Temperaturen $< 30^{\circ}\text{C}$
Frost- und Eistagen	Tage mit einem Temperaturmaxi-mum von $+ 0,1^{\circ}\text{C}$ / -0°C
Starkniederschlag	Regenmengen ab 15 l/m^2 in 1 Stunde oder ab 20 l/m^2 in 6 Stun-den
Lufttemperatur	Temperatur in 2 Meter höhe
Klimamittel	30jähriges Mittel der Durch-schnittstemperaturen
Stickoxyden	Stickstoff-Sauerstoff Verbindung

Zusammenfassung

Der Klimawandel und dessen Auswirkungen beeinflussen auch die Stadtplanung. Diese Arbeit beinhaltet konkret die Fragestellung, inwiefern sich der Klimawandel in der Region Reutlingen bereits bemerkbar macht. Die entscheidende Frage für die Stadtplanung ist, inwieweit die Veränderungen ein Potential oder Risiko für eine nachhaltige Stadtentwicklung darstellen.

Zunächst wird ermittelt, wie unterschiedlich das Klima innerhalb der Stadt Reutlingen ist. Jede Stadt hat eine individuelle, klimatische Situation, die auch mikroklimatisch deutlich unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Im Folgenden werden die Klimaveränderungen der letzten 10 Jahre analysiert.

Anschließend werden Maßnahmen entwickelt, die praktische Anwendung für eine klimaangepasste Stadt finden. Es ist aus Sicht der Stadtplanung wichtig, den Klimawandel deutlich in Bauleitplanungen sowie in der städtischen Grünplanung zu berücksichtigen.

Im Weiteren besteht auch eine Fürsorgepflicht der Stadt gegenüber Ihren Bürgern, die Innenstadt auch bei zunehmenden Hitzewellen bewohnbar zu gestalten, sowie durch Hitzestress verursachten gesundheitlichen Folgen von Extremtemperaturen für die menschliche Gesundheit durch geeignete Planungen abzumildern.

Hierfür werden in dieser Arbeit einige Beispiele zur Klimaanpassung näher untersucht, und ein entsprechendes Maßnahmenkonzept zur Klimaanpassung entwickelt. Zum Schluss werden noch Handlungsempfehlungen vorgeschlagen, die ein wichtiger Bestandteil einer klimaangepassten Stadt sind.

Als Quellen wurden bevorzugt verschiedene Fachbücher, sowie die gesamstädtische Klimaanalyse verwendet. Durch das spezielle Thema der Klimaanpassung in der Stadt Reutlingen ist aufgrund von wenigen Fachbüchern in diesem Themenbereich zusätzlich auf Informationen aus verlässlich eingeschätzten Internetquellen, wissenschaftlichen Publikationen sowie auf Experteninterviews zurückgegriffen worden.

Die unter Kapitel fünf erwähnten Klimadaten aus dem Teilort Altenburg, die die konkrete Klimaveränderung in Reutlingen aufzeigen, wurden von einer privaten Messeinrichtung bezogen, die dennoch mit den Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vergleichbar sind.

1. Einleitung und Fragestellung

In den letzten Jahrtausenden hat sich das Klima auf der Erde immer wieder verändert. Es gab Wechsel zwischen kalten- und warmen Zeiten. Wenn man heute von Klimawandel spricht, sind Veränderungen gemeint, die durch den Menschen mitverursacht werden und zusätzlich für eine Erwärmung der Atmosphäre sorgen.¹ Der Klimawandel macht sich besonders durch einen Anstieg der Durchschnittstemperaturen bemerkbar. Weltweit ist die Temperatur im Vergleich zwischen den beiden 30-jährigen Jahresperioden (1901-1930) und (1986-2015) um 0,8°C angestiegen.² Der Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur hat bereits für einige Regionen der Erde ernstzunehmende Folgen. Die globale Erwärmung bringt einen Anstieg von zunehmenden Wetterextremen wie schweren Wirbelstürmen in den Tropen, schweren Stürmen, Gewitter mit extremem Unwetterpotential mit sich. Des Weiteren kommt es an den Polen zum Abschmelzen des Eises, was zu einem zunehmenden Anstieg des weltweiten Meeresspiegels führt. Bedroht sind davon vor allem Küstenregionen.³

Ferner kommt es weltweit zu Rekordernten und Ernteaussfällen. Es ist bereits eine Veränderung in der Flora und Fauna zu beobachten. Des Weiteren verbreiten sich aufgrund der höheren Temperaturen Krankheiten, die im Moment in den wärmeren Klimazonen anzutreffen sind, zunehmend auch in kühleren Gegenden. Ein Beispiel hierfür sind die Asiatischen Tigermücken, die bereits in Süddeutschland anzutreffen sind und gefährliche Krankheiten übertragen können.⁴

Zuletzt bringt die Gefahr einer Golfstromabschwächung für Mitteleuropa ernstzunehmende Folgen mit sich. Der Golfstrom sorgt für ein vergleichbares mildes Klima in Mitteleuropa. Bei einer Abschwächung, oder sogar einem Versiegen des Golfstroms, drohen für Mitteleuropa extreme Klimaveränderungen.⁵

In Baden-Württemberg beträgt der Temperaturanstieg innerhalb der letzten hundert Jahre etwas über 1 °C.⁶ Der Anstieg ist demzufolge höher als der weltweite Anstieg der Durchschnittstemperaturen. Insbesondere in der Metropolregion Stuttgart sind in den letzten Jahren immer wieder klimatische Jahrhundertereignisse aufgetreten.

In der Region Reutlingen kam es ebenfalls zu massiven Wetterextremen. In den letzten Jahren bilden sich besonders entlang der Schwäbischen Alb

¹ Vgl. Lutz Spandau, Peter Wilde. Klima / Basiswissen / Klimawandel / Zukunft, Stuttgart Hohenheim Ulmer Naturführer 2008, S. 79 ff

² Ebda.

³ Ebda.

⁴ Umweltbundesamt (2017) Achtung Tigermücke <https://www.umweltbundesamt.de/themen/achtung-tigermuecke>, abgerufen 14.11.18

⁵ Vgl. Lutz Spandau (2008) S. 79

⁶ Vgl. Klimawandel Baden-Württemberg <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimawandel/in-baden-wuerttemberg> (16.07.18)

in den Sommermonaten extreme Unwetter mit massivem Unwetterpotential. Besonders bemerkenswert ist der Hagelsturm von Reutlingen im Jahr 2013, der binnen kurzer Zeit zum teuersten Unwetterereignis, gemessen an den Versicherungsschäden, der deutschen Geschichte einnahm.⁷

Des Weiteren ereigneten sich 2013 und 2015 drei hundertjährige Hochwasser die entlang des Flusslaufes der Echaz, welche im Reutlinger Echaztal zu schwerwiegenden Schäden führten.

Der Klimawandel beeinflusst auch die Stadtplanung. Es ist wichtig zu erkennen, welche Folgen der Klimawandel auf das Kleinklima in der Stadt hat. Das Kleinklima in der Stadt kann sich deutlich vom Klima in benachbarten Randlagen unterscheiden. Besonders im Sommer kommt es beispielsweise aufgrund von dichter Bebauung häufig zu Wärmestau.⁸

Darüber hinaus ist aus wissenschaftlicher Sicht eine deutliche Zunahme der Durchschnittstemperatur im süddeutschen Raum erkennbar, sowie längere, trockene Perioden mit sehr wenig Niederschlag. Die Niederschläge kommen zunehmend in Form von Starkniederschlägen.⁹

Die Leitfragen die, dieser Arbeit zu Grunde liegen:

- Welche unmittelbaren Folgen hat die Klimaveränderung in der Stadt Reutlingen?
- Wie verhalten sich Städte in Deutschland die immer größeren klimatischen Besonderheiten ausgesetzt sind, und wie kann die Stadtplanung auf die zunehmende Klimaveränderung reagieren?
- Muss die Stadtplanung reagieren?
- Was sind die Folgen für die menschliche Gesundheit?
- Welche Folgen hat es für das Wohnen und die Stadtentwicklung?
- Wie können sich Städte am besten dem Klimawandel anpassen?

Diese Fragestellungen werden in dieser Bachelorthesis behandelt. Zudem wird versucht, Maßnahmen und Lösungsvorschläge zu entwickeln, die praktische Anwendung in der Stadt Reutlingen finden, um besser auf die Klimaveränderungen reagieren zu können. Zunächst geht es in einer Grundlagenermittlung um die aktuellen Folgen der Klimaveränderung in der Stadt Reutlingen gehen, um im Anschluss konkrete Empfehlungen und Maßnahmen auszusprechen.

⁷ Vgl. SWR Fernsehen: der Hagelsturm von Reutlingen <https://www.swr.de/geschichte/hagelsturm-in-reutlingen-2013/-/id=100754/did=16317570/nid=100754/1t7fs49/index.html> (16.07.18)

⁸ Vgl. Lutz Spandau (2008) S. 79 ff.

⁹ LUBW, Klimawandel in Baden-Württemberg, (2016) Fakten – Folgen – Perspektiven, S. 8 f.

2. Klima in Baden-Württemberg / Deutschland

Deutschland befindet sich in der gemäßigten Klimazone. Die durchschnittliche Temperatur beträgt 8 °C. Im Westen des Landes herrscht ein Übergangsklima zum milderen maritimen Klima. Im Osten der Bundesrepublik, Übergang zum kühleren, kontinentalen Klima Osteuropas. Der Niederschlag nimmt von West nach Ost ab, und erreicht besonders an den Alpen und den Mittelgebirgen die höchsten Werte. Die meisten Sonnenstunden sind sowohl im Südwesten (Oberrhein), als auch im Nordosten (Ostsee) zu finden.¹⁰

Das Klima in Baden-Württemberg ist sehr unterschiedlich. Dies ist besonders auf die topografische Lage des Bundeslandes zurückzuführen. Während auf den Höhen von Schwarzwald und der Schwäbischen Alb kühles und niederschlagsreiches Klima herrscht, ist der Oberrheingraben mit Durchschnittstemperaturen um circa 11 °C die wärmste Region in Deutschland.

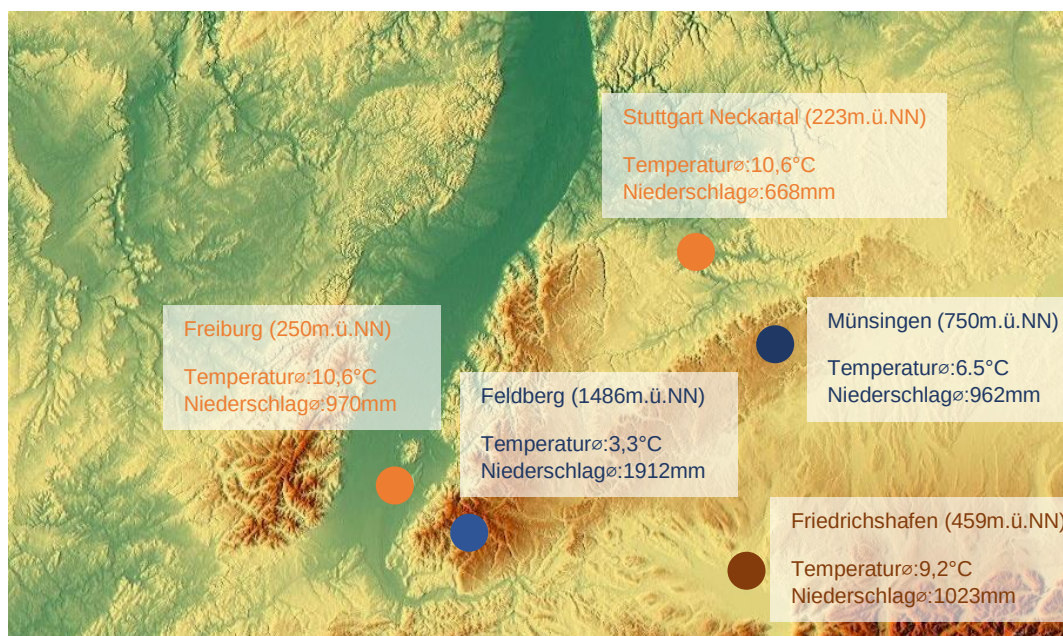


Abbildung 1: Topografische Karte Baden-Württemberg mit Klimawerten: Eigene Darstellung, angelehnt an (Geoportal Baden-Württemberg)

Es gibt wie, Abbildung 1 verdeutlicht, extreme Wettergegensätze auf sehr engem Raum. Während auf den Höhen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb noch tiefer Winter herrscht, kann es in den warmen Regionen Baden-Württembergs (Oberrhein, Neckartal, Bodensee) bereits frühlinghaft warm sein. Dies ist für die Raum und Stadtplanung wichtig zu berücksichtigen. Doch in allen Höhenlagen verändert sich das Klima bereits stark. Vegetationsperioden setzen früher ein und zunehmende Trockenheit sorgt in der Landwirtschaft zu massiven Einbußen.¹¹

¹⁰ Wetter Atlas (o.J) Klima in Deutschland, <http://www.wetter-atlas.de/klima/europa/deutschland.php>, abgerufen 07.08.18

¹¹ LUBW (2016)

Baden-Württemberg ist in Deutschland am stärksten von der Erhöhung der Durchschnittstemperatur betroffen. In den letzten hundert Jahren, ist die Temperatur, wie aus der Abbildung 2 zu entnehmen ist bereits um 1 °C angestiegen.¹²

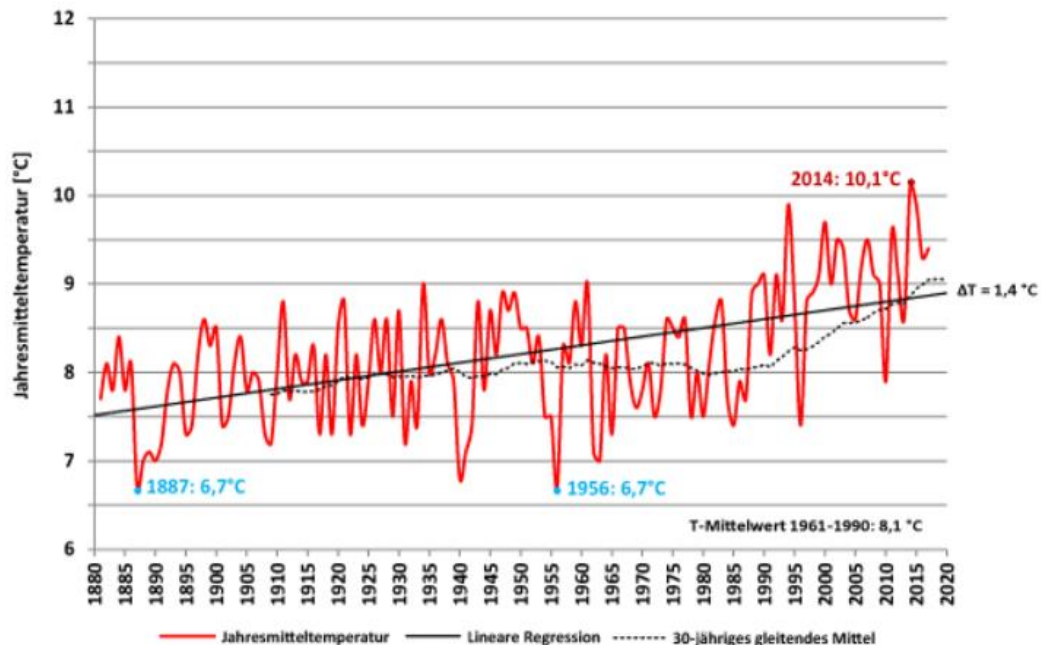


Abbildung 2: Jahresmitteltemperatur in °C für Baden-Württemberg (LUBW)

Des Weiteren nehmen ebenfalls die Sommertage (> 25 °C) in Baden-Württemberg deutlich zu. Besonders in der fernen Zukunft wird es zu einer landesweiten Verdopplung der Sommertage kommen.

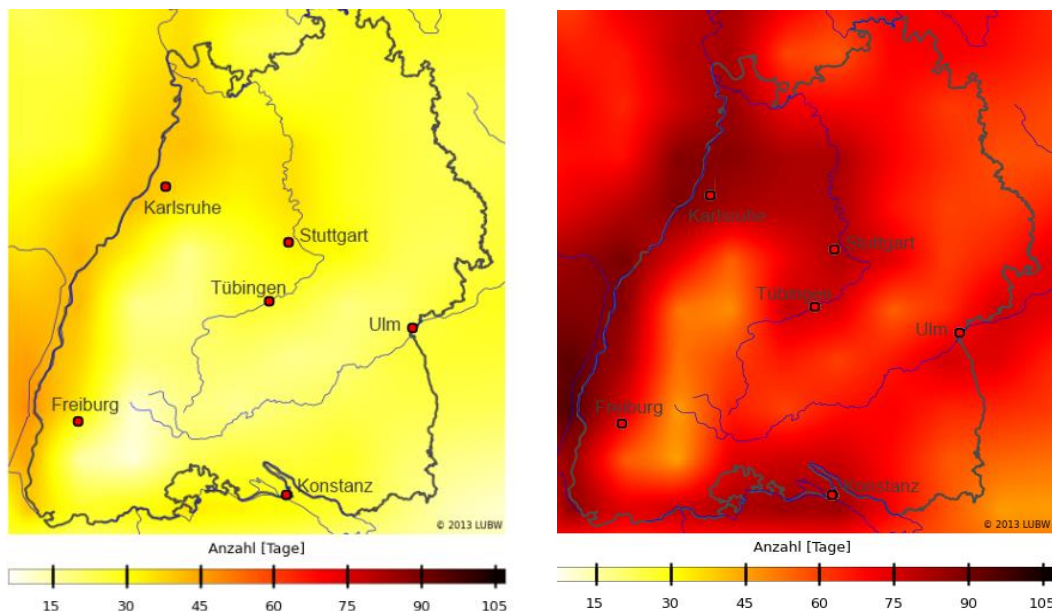


Abbildung 3 links: Beobachtungsdaten von (1971-2000) Abbildung 4 rechts: Darstellung auf Basis von 15 Klimaprojektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) (LUBW)

¹² LUBW (2016) S.5f.

Es lassen sich bereits in der Natur und Umwelt erste Veränderungen beobachten, die auf den Klimawandel der letzten Jahrzehnte zurückzuführen sind. Zum Beispiel haben Extremwetterereignisse, wie Hochwasser und Hagel, zugenommen. Die Flora und Fauna hat sich verändert, indem neue Arten heimisch geworden sind und andere durch Neophyten verdrängt werden. Aus den Klimaveränderungen resultieren ebenfalls frühere Blütezeiten bei Pflanzen-, sowie verlängerte Vegetationsperioden.¹³

„Als Frühlingsbeginn für die Vegetation wird die Apfelblüte betrachtet. Je nach Höhenlage und Kleinklima beginnt sie sehr unterschiedlich in den Regionen Baden-Württembergs. Im Oberrheintal zum Beispiel deutlich früher als an den Schwarzwaldhängen.“¹⁴ Den untenstehenden Grafiken ist zu entnehmen, dass im Vergleich zu den Klimadaten (1961-1990) zu den Daten von (1991-2005) ist eine deutliche Veränderung der Blütezeit zu erkennen. Dies betrifft nahezu alle Regionen in Baden-Württemberg.

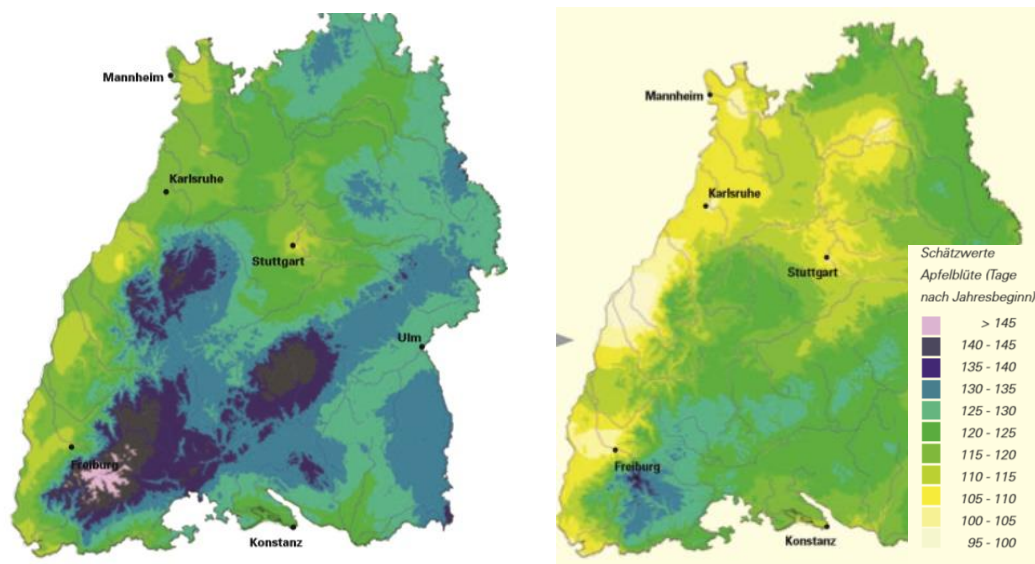


Abbildung 5 und 6: Links: Beginn der Apfelblüte 1961-1990: im Mittel 124 Tage nach Jahresbeginn. Datenquelle: DWD 2005; Auswertung und Grafik: LUBW, Rechts: 1991-2005 Beginn der Apfelblüte. Datenquelle: DWD 2005; Auswertung und Grafik: LUBW

Der Niederschlag in Baden-Württemberg ist sehr ungleich verteilt. Besonders entlang des Schwarzwaldes, der Schwäbischen Alb und im württembergischen Allgäu fallen die meisten Niederschläge. Zurückzuführen ist die Niederschlagsverteilung auf Stauniederschläge und Gewitterbildungen in den Höhen von Schwarzwald, Schwäbischer Alb sowie dem Schurwald. Darüber hinaus unterscheidet sich der Niederschlag an der Schwäbischen

¹³ LUBW (2016) S.35 ff.

¹⁴ Ebda.

Alb von Leeeffekten des Schwarzwaldes, und nimmt deshalb, trotz abnehmender Höhenentwicklung, in Richtung Osten deutlich zu.

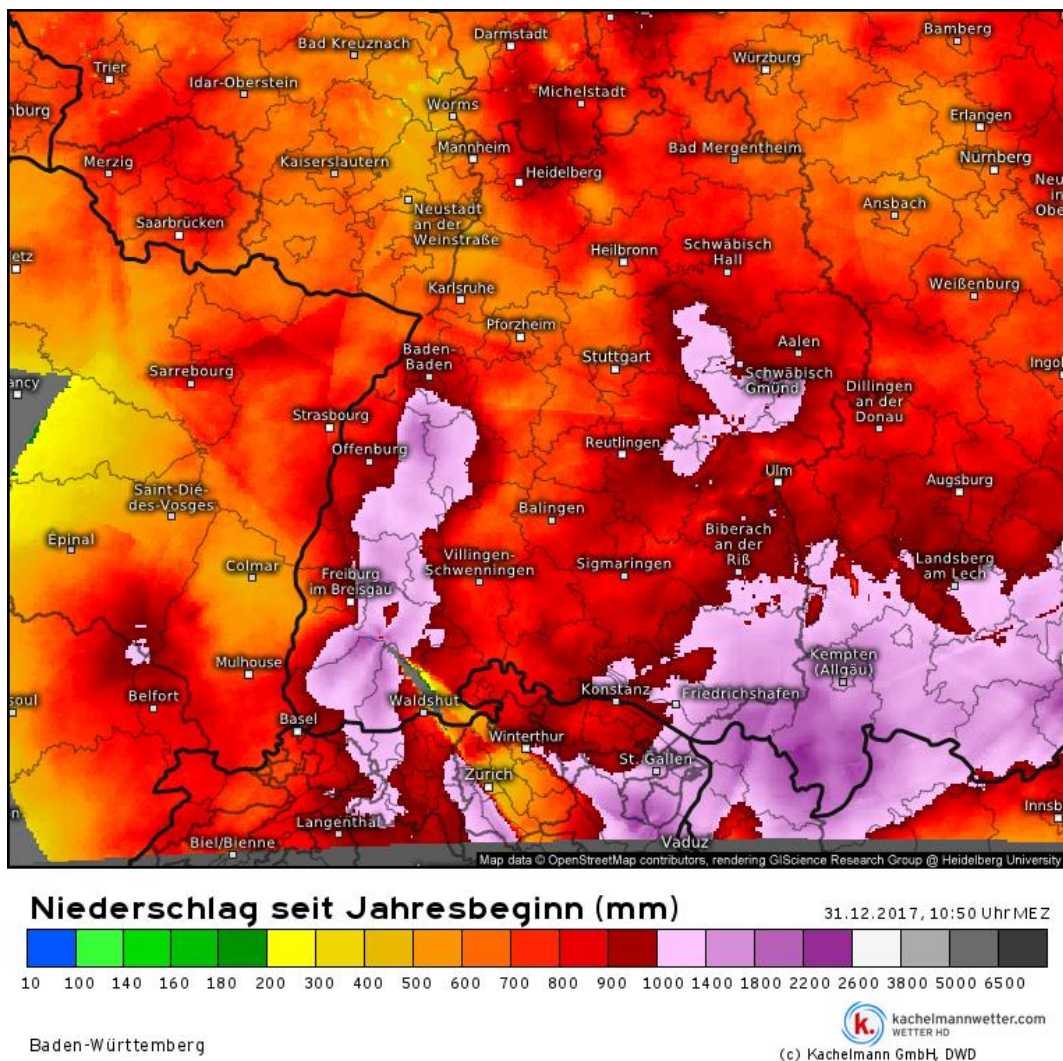


Abbildung 7: Kachelmannwetter, Niederschlag in Baden-Württemberg im Jahr 2017

Im Jahr 2017 sind in Stuttgart und Karlsruhe lediglich circa 700 mm Niederschlag gefallen. Die Gebiete zwischen Stuttgart und Karlsruhe gehören somit zu den trockensten Gebieten in Deutschland.¹⁵ Auf den Höhen vom Schwarzwald, von der Schwäbischer Alb und des württembergischen Allgäus sind hingegen bis zu circa 1800 mm Niederschlag gefallen. (Vgl. Abbildung 7)

2.1 Extremwetterereignis im Sommer 2018

Durch den stark fortschreitenden Temperaturanstieg in Baden-Württemberg (Vgl. Abbildung 2) ist das Potential für Extremwetterereignisse ebenfalls stark angestiegen. Besonders bemerkenswert war im Sommer 2018,

¹⁵ Stadtklima Stuttgart (o.J.) das Klima von Stuttgart https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_klimainstuttgart, abgerufen 24.08.18

eine extreme Dürre, die in weiten Teilen Deutschlands zu massiven Ernteaussfällen und Waldbränden geführt hat.

Eine hochdruckgeprägte Wetterlage stellte sich bereits im Frühjahr ein und sorgte im Sommer 2018 für eine außergewöhnliche Dürre in Deutschland. Die Pegel der großen Flüsse (Rhein und Elbe) sind auf Rekordniedrigwasser gefallen.¹⁶

Die Landwirtschaft leidet ebenfalls unter den extremen Wetterbedingungen. Nach einer ersten Erntebilanz des Bauernverbandes spricht die Bundeslandwirtschaftsministerin Julia Klöckner (CDU) von einem „nationalen Notstand“¹⁷ und stellt 340 Millionen Euro Soforthilfe in Aussicht. Die Bundeslandwirtschaftsministerin betont „...Von April bis Juni habe die Bundesrepublik laut Deutschem Wetterdienst „die bisher höchste Temperaturanomalie seit Beginn der Wetteraufzeichnung 1881 erlebt“.¹⁸



Abbildung 8 / 9: Rechts: Luftaufnahmen am Niederrhein Ende August 2016, Links: Aufnahme des Sommers Ende Juli 2018 (Google-Earth Zeitleiste)

2.2 Auswirkung des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit

Die Klimaveränderung hat auch gravierende und weitreichende Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Hierbei wird unterschieden zwischen direkten und indirekten Folgen.

Direkte Folgen des Klimawandels sind die eindeutig mit den Folgen des Klimawandels zusammenhängenden, potentiellen Schädigungen der menschlichen Gesundheit. Dafür kommen vor allem Extremwetterereignisse in Betracht, wie Orkanstürme, Hochwasser und extreme Kältewellen in den Wintermonaten, sowie Unwetter mit Starkregen, Überschwemmungen und Hitzewellen in den Sommermonaten.¹⁹

¹⁶ Spektrum.de, Lars Fischer Dürre in Deutschland, Stand: 09.07.18 Gibt es einen neuen Jahrhundertsommer?<https://www.spektrum.de/news/gibt-es-einen-neuen-jahrhundertsommer/1576400>, abgerufen 24.08.18

¹⁷ Vgl. Wirtschaft, (08.2018) Dürreschäden 340 Millionen Euro Nothilfe für die Bauern, Welt.de <https://www.welt.de/wirtschaft/article181262892/Duerreschaeden-Julia-Kloeckner-verspricht-Bauern-340-Millionen-Euro-Nothilfe.html>, abgerufen 09.09.18

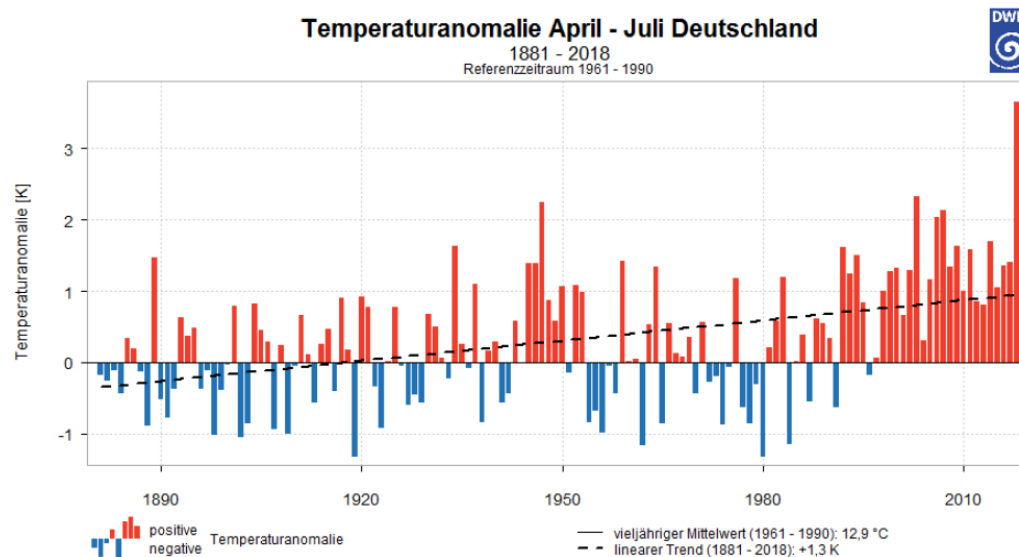
¹⁸ Vgl. Ebda.

¹⁹ Umweltbundesamt, Klimawandel und Gesundheit, Stand: 14.04.18 Hitzewellen können die Gesundheit belasten, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelt-einfluesse-auf-den-menschen/klimawandel-gesundheit#textpart-2>, abgerufen 09.09.18

Insbesondere Hitzewellen sind in Ballungszentren durch den Wärmeinselleffekt ein ernstzunehmendes gesundheitliches Risiko für die Bevölkerung. Der Hauptteil der deutschen Bevölkerung lebt in Städten. Städte sind darüber hinaus wichtige Wirtschaftsstandorte und verfügen über eine große Anzahl von Arbeitsplätzen. Besonders hier wirken sich Hitzewellen auf die Arbeitsleistung aus. Arbeitgeber sind verpflichtet, ab einer Raumtemperatur von 26 °C geeignete Gegenmaßnahmen zu unternehmen. Zum Beispiel durch das Errichten von Vordächern, die Installation von reflektierenden Vorrichtungen an den Fenstern, den Einsatz von Sonnenschutzverglasungen oder von Bepflanzungen von Bereichen mit hohem Sonneneinfall durch großkronige Bäume.

Die Temperatur am Arbeitsplatz muss ab +30 °C durch effektive Maßnahmen gesenkt werden. Lüftungseinrichtungen, eine Lockerung der Bekleidungsregeln und das Bereitstellen von kühlenden Getränken sind dabei einige mögliche Maßnahmen. Sobald +35 °C überschritten werden, ist ein Raum nicht mehr als Arbeitsraum zu gebrauchen.²⁰

Ferner führt die Hitze zu finanziellen Auswirkungen für die Volkswirtschaft. Für die Sommermonate werden für Beschäftigte mit sitzenden und leichten Tätigkeiten Temperaturen zwischen 23 °C bis 26 °C als Behaglichkeitsbereich angesehen. Wird es am Arbeitsplatz wärmer, kann die Produktivität einigen Untersuchungsergebnissen zufolge zwischen 3 und 12 % abnehmen. In einer Abschätzung wurden diese Zahlen auf das Sozialprodukt umgerechnet. Danach können sich aufgrund der heute schon auftretenden Hitzetage bei der Produktivitätsminderung Einbußen von ca. 540 Millionen Euro bis 2,4 Milliarden Euro im Vergleich zu Jahren ohne Hitzetage in Deutschland ergeben.²¹



²⁰ Arbeitsschutzgesetz.org, Arbeitsstättenverordnung: Temperatur in Arbeitsräumen, 2017 <https://www.arbeitsschutzgesetz.org/arbstaettv/temperatur/>, abgerufen 27.08.18

²¹ Hübler M. & Klepper G. 2007: Kosten des Klimawandels – Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Aktualisierte Fassung einer Studie im Auftrag des WWF Deutschland, Frankfurt, S 65f. abgerufen 27.08.18

Abbildung 10: Temperaturanomalie April-Juli in Deutschland 1881-2018 (DWD)

Darüber hinaus ist die Anzahl von Sterbefällen bei langen Hitzewellen deutlich erhöht.

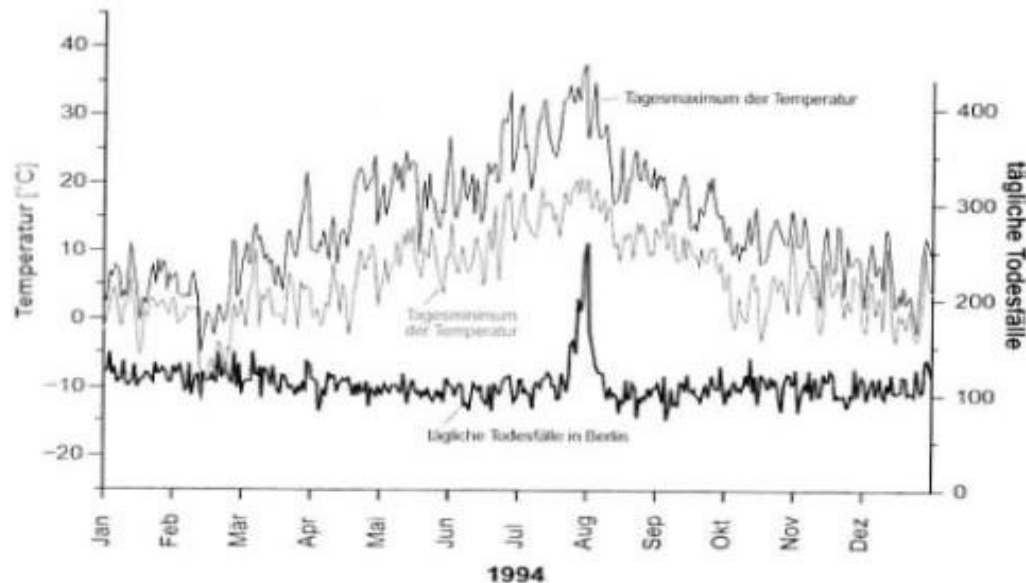


Abbildung 11: Tägliche Todesfälle in Berlin im Jahr 1994 (Endlicher 2012)

Indirekte gesundheitliche Auswirkungen und Risiken treten durch nachteilig veränderte Umweltbedingungen als Folge der Klimaänderungen auf. Hierzu gehören die Beeinträchtigung der Qualität und Quantität von Trinkwasser und Lebensmitteln.

Zusätzlich werden Beginn und Dauer des Pollenflugs und damit die Belastung für Allergiker beeinflusst.

Ebenfalls spielen vermehrt tierische Krankheitsüberträger wie Zecken, exotische Stechmücken und der Eichenprozessionsspinner als Risiken eine entscheidende Rolle in Deutschland.²²

2.3 Klima in der Bauleitplanung

Das Baugesetzbuch fordert in § 1 Abs. 5, dass die Bauleitpläne eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung gewährleisten, die die sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringen.

Bauleitpläne sollen darüber hinaus *„dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln, sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln.“*²³

²² Umweltbundesamt (2016) abgerufen, 27.08.18

²³ BauGB in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017, §1 (5) f.

Ferner wird in §1 Abs. 6 BauGB bei der Aufstellung der Bauleitpläne darauf hingewiesen, dass die Belange der Umwelt zu berücksichtigen sind:

"7. die Belange des Umweltschutzes, einschließlich des Naturschutzes und der Landschaftspflege, insbesondere

a) die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Luft, Klima und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt,

b) ...

c) umweltbezogene Auswirkungen auf den Menschen und seine Gesundheit sowie die Bevölkerung insgesamt,

d) ...

e) die Vermeidung von Emissionen (...),

f) die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die sparsame und effiziente Nutzung von Energie,

g) die Darstellungen von Landschafts- und Grünordnungsplänen sowie von sonstigen Plänen, insbesondere des Wasser-, Abfall- und Immissions-schutzrechts,

h) die Erhaltung der bestmöglichen Luftqualität in Gebieten, in denen die (...) festgelegten Immissionsschutzgrenzwerte nicht überschritten werden,

i) die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Belangen des Umweltschutzes nach den Buchstaben a, c und d,"²⁴

Die ergänzenden Vorschriften des §1a BauGB konkretisieren diese abwägungspflichtigen, sozialen und ökologischen Belange, die in ihrer Gesamtheit auch das Schutzgut Klima in der Bauleitplanung günstig beeinflussen.

Neben einer Bodenschutzklausel, in der auch beispielhaft auf die Möglichkeiten durch Wiedernutzbarmachung von Flächen, Nachverdichtung und andere Maßnahmen zur Innenentwicklung, wie zum Beispiel auf innerstädtischen Brachflächen verwiesen wird, sind Bodenversiegelungen ausdrücklich auf das notwendige Maß zu begrenzen (§ 1a Abs. 2 BauGB).

Mit dem § 1 a (3) BauGB gehört auch der Ausgleich der zu erwartenden Eingriffe in Natur und Landschaft zu den umweltschützenden Belangen in der Abwägung. Der Ausgleich erfolgt durch geeignete Darstellungen nach § 5 BauGB im Flächennutzungsplan beziehungsweise, durch Festsetzungen nach § 9 BauGB im rechtsverbindlichen Bebauungsplan.

Des Weiteren wird für die Belange des Umweltschutzes mit § 2 Abs.4 BauGB für die Bauleitplanung eine Umweltprüfung verlangt, in der die voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen ermittelt, beschrieben

²⁴ Ebda.

und bewertet werden. Nach § 2a BauGB wird gefordert, außer der Begründung zum Bauleitplanentwurf auch einen Umweltbericht als gesonderten Teil der Begründung beizufügen.

Ferner werden im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) die Auswirkungen für das Klima in der Stadtplanung begrenzt. *„Zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts sind insbesondere ... Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen; dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen (...).“*²⁵

Darüber hinaus ist in der Raumplanung der Regionalplan zu beachten. In der Region Reutlingen ist der Regionalplan Neckar-Alb zuständig. Konkret heißt es im Regionalplan Neckar Alb:

*„Durch den globalen Anstieg der Temperaturen ergeben sich Folgewirkungen wie z. B. die Zunahme der Niederschläge, insbesondere der Stark- und Dauerregen, die Zunahme heftiger Stürme infolge erhöhter Windgeschwindigkeiten sowie extreme Nassperioden im Winter und Trockenperioden im Sommer. Es steigt die Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen.“*²⁶ Konkret heißt es im Regionalplan Neckar-Alb *„die Naturgüter Boden, Wasser, Luft, Klima, die Tier- und Pflanzenwelt sowie die Landschaft sind zu bewahren. Sie sollen so behandelt, genutzt und geschützt werden, dass sie als natürliche Lebensgrundlagen erhalten bleiben und ihre Funktionen im Naturhaushalt dauerhaft erfüllen können. Dabei sind sowohl die Einzel-faktoren als auch das Zusammenspiel aller Faktoren zu berücksichtigen.“*²⁷ Für das Siedlungsklima bedeutet es konkret, dass klimatisch wertvolle Bereiche zu erhalten sind. *„Dies gilt insbesondere für lokale Luftaustauschsysteme, für Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebiete.“*²⁸

Darüber hinaus gibt es in manchen Kommunen Rahmenpläne, die spezifisch auf das Thema „Klima“ eingehen. Ein Beispiel hierfür ist der „Städtebauliche Rahmenplan zur Klimaanpassung in Karlsruhe“. Ziel des „städtebaulichen Rahmenplans Klimaanpassung“ ist es, über eine gesamtstädtische Betrachtung, zum Hitzeeffekt in der Stadt, für einzelne Teilräume konkrete Maßnahmenempfehlungen auszusprechen. Gefördert wurde dieser Rahmenplan durch das Land Baden-Württemberg.²⁹

²⁵ Bundesnaturschutzgesetz in Kraft getreten am 01.03.2010 zuletzt geändert durch Gesetz vom 15.09.2017 (BGBl. I S. 3434) m.W.v. 29.09.2017 bzw. 01.04.2018, §1 (3) Nr.4, (05.09.18)

²⁶ Regionalplan Neckar Alb in Kraft getreten am 10.04.2015, Regionale Freiraumstruktur S.62 f.

²⁷ Ebda.

²⁸ Ebda.

²⁹ Vgl. Stadt Karlsruhe (o.J) Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung <https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung.de>, abgerufen 16.11.18

3. Definition Stadtklima

Zunächst ist zu definieren, inwiefern sich der Begriff „Klima“ von anderen Begriffen wie Wetter-, und Witterung unterscheidet.

Klima ist die Beobachtung des Wetters über einen längeren Zeitraum sowie die Ermittlungen von statistischen Daten für eine Region, wie zum Beispiel Mittelwerte und Wetterextreme. Die Weltorganisation für Metrologie (WMO) empfiehlt, als Zeitspanne mindestens die letzten 30 Jahre unter Betracht zu ziehen. Wetter und Witterung hingegen sind der momentane Zustand von Wetterereignissen für eine Region.³⁰

Das Klima wird von vielen Faktoren beeinflusst, insbesondere der geographischen Breite, dem Abstand zu Ozeanen, der Höhe des Gebietes über NN, der Landnutzung und dem Geländere relief.³¹

*„Unter dem Begriff Stadtklima wird heute die menschengemachte Veränderung des Klimas und der Luftqualität in städtischen Ballungsräumen zusammengefasst. Diese Veränderungen basieren hauptsächlich auf dem Einfluss von Versiegelung und Bebauung sowie Industrie und Verkehr. Typische Phänomene des Stadtklimas sind neben der Luftverschmutzung erhöhte Luft- und Oberflächentemperaturen sowie veränderte Wind- und Niederschlagsverhältnisse“.*³²

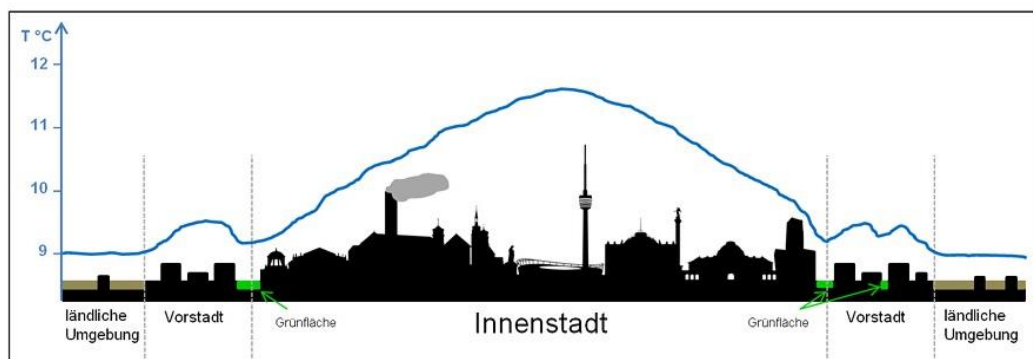


Abbildung 12: schematische Darstellung des Wärmeinseleffektes mit bodennaher Temperatur (blau) (Stadtklima Stuttgart)

Das Stadtklima wird von der World Meteorological Organization (WMO) als durch Bebauung und Emission als verändertes Lokalklima definiert und kann sich deutlich vom Klima im Umland unterscheiden. Durch den hohen Grad der Versiegelung in Städten kommt es besonders in den Sommermonaten zu deutlichen Temperaturunterschieden zwischen Stadt und Umland.

³⁰ Umweltbundesamt, Was ist eigentlich Klima? <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-eigentlich-klima>, abgerufen 07.08.18

³¹ Hans, Häckel 2016: Meteorologie 8. Auflage, Stuttgart: Eugen Ulmer, S.323 f.

³² Vgl. Nabu, Stadtklima – Was ist das? Hintergrundinformationen zum Lokalklima in Städten, <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/bauen/stadtklima/stadtklima.html>, abgerufen 18.08.18

Durch den gleichzeitigen Temperaturanstieg ist besonders die sommerliche Hitze in Deutschland durch den Wärmeinseleffekt (auch bekannt als urban heat island (UHI)) ein zunehmendes Problem in Ballungszentren.³³

Bei langanhaltenden Hitzewellen im Sommer kann sich der Temperaturunterschied in großen Metropolen auf über 10 °C belaufen. Bei Städten in der Größenordnung von 100 000 Einwohnern kann der Temperaturunterschied 8 °C betragen. Diese großen Temperaturunterschiede kommen besonders bei langen Hitzewellen in den Nachtstunden zustande, und sorgen für anhaltende Hitzebelastungen für die innerstädtische Bevölkerung.

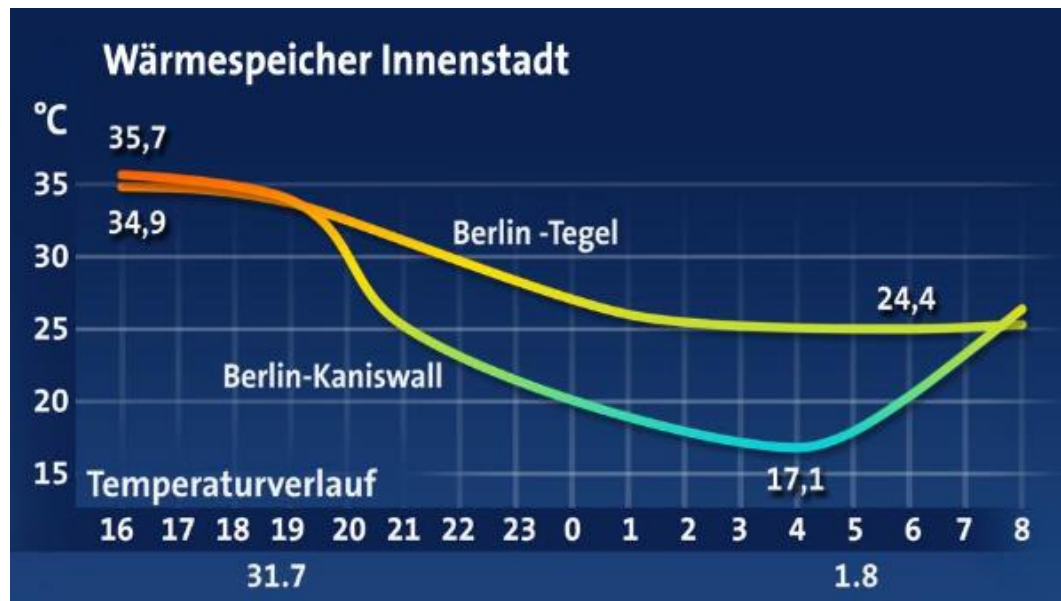


Abbildung 13: Wärmespeicher Innenstadt am Beispiel Berlin (Wetter Tagesschau)

Besonders deutlich-, ist der Temperaturunterschied nach Sonnenuntergang. Die Messstation Berlin-Kaniswall befindet sich am Berliner Stadtrand, an den Gosener Wiesen, einem Naturschutzgebiet mit einigen Seen und Flüssen. In den Nachtstunden betrug der Temperaturunterschied im Vergleich zu Berlin-Tegel (Flughafen) 7,3 °C. Wie in der Abbildung 13 zu erkennen, ist ein Temperaturverlauf zwischen 16.00 Uhr am 31.07.2018 bis zum 01.08.2018 8.00 Uhr am Morgen dargestellt.

Wie entstehen die unterschiedlichen, städtischen Klimafaktoren?

Bebaute Flächen speichern Sonnenwärme und verzögern die Abkühlung in der Nacht. Zudem verdrängen sie Grünflächen, die durch Verdunstung zu einer natürlichen Kühlung beitragen. Industrie erzeugt Abwärme und heizt Stadtgebiete zusätzlich auf. Zunehmend dominieren Klimaanlage auch das deutsche Stadtbild, und heizen durch ihre Abwärme ebenfalls die Stadt weiter auf.³⁴

³³ Stadtklima Wärmeinseln (2018) https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel, abgerufen 16.07.18

³⁴ Stadtklima, Ursachen von Wärmeinseln (2008) https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel_ursachen, abgerufen 16.11.18

In der Mobilität produziert vor allem der motorisierte Individualverkehr (MIV) Feinstaub-Partikel, die den Luftaustausch in der Stadt mindern und den Niederschlag beeinflussen.³⁵

Durch den fortschreitenden Klimawandel werden Wetterextreme weiter zunehmen. Besonders die Wärmebelastung wird in Städten ein immer größeres Problem in den Sommermonaten.³⁶ In Deutschland leben 74 % der Bevölkerungen in Städten. Besonders langanhaltende Hitzeperioden führen zu massiven Folgen für Mensch und Natur.³⁷

Des Weiteren gilt es zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Oberflächen deutlich verschiedene Oberflächentemperaturen aufweisen können. Die höchsten Temperaturen und Temperaturunterschiede werden auf Asphalt gemessen. Die aufgeheizten Oberflächen sorgen ebenfalls für eine weitere Aufheizung der Städte an Hochsommertagen.

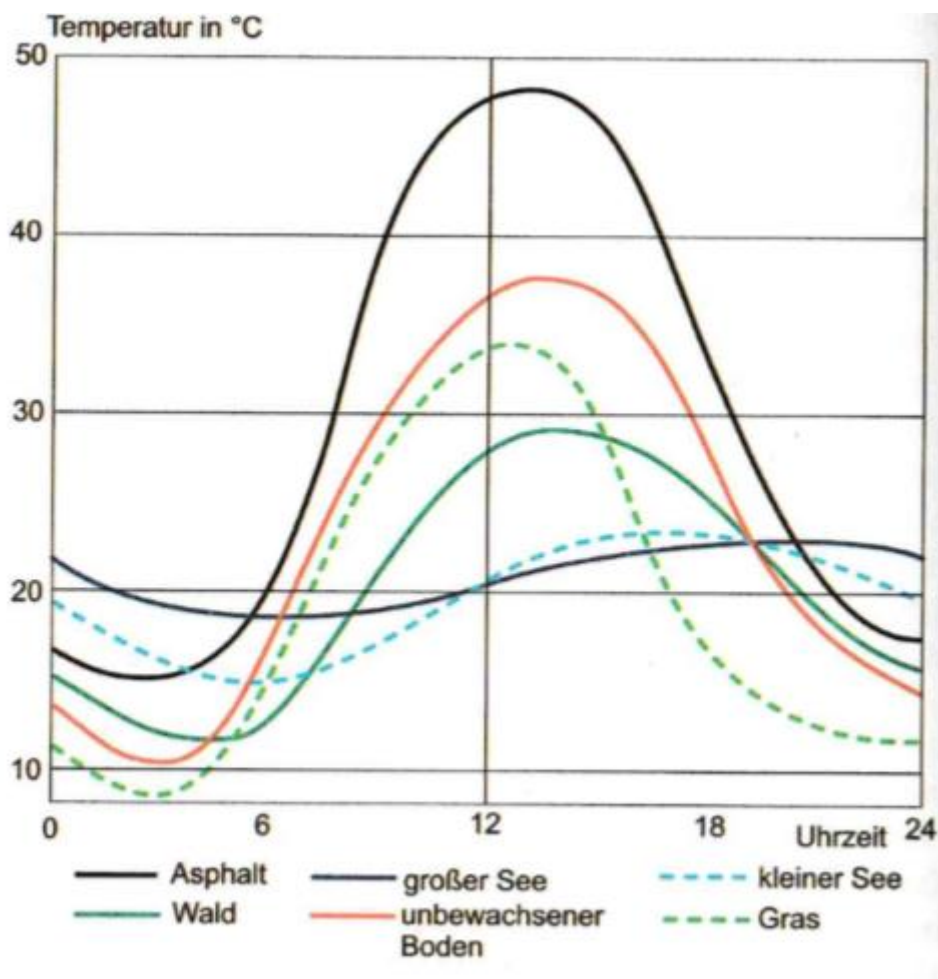


Abbildung 14: Tagesgang der Temperatur verschiedener Oberflächen an einem Hochsommertag in 50° geografischer Breite (Häcker, Hans 2006)

³⁵ Ebda.

³⁶ Bundesinstitut für Bau- Stadt und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen (2016) Grün in der Stadt, Heft 6.2016 S. 676 f.

³⁷ Vgl. Umweltbundesamt, Klimafolgen in Deutschland Übersicht, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland?page=0%2C2#strap-15396>, abgerufen 07.08.18

4. Klimatische Besonderheiten in der Region Reutlingen

Die Stadt Reutlingen befindet sich im Südwesten der Bundesrepublik Deutschland. Charakteristisch für den Südwesten sind die jährlich höchsten Durchschnittstemperaturen der Bundesrepublik Deutschland. Dennoch gibt es im Bundesland Baden-Württemberg gravierende, klimatische Unterschiede (Vgl. Kapitel 2). Durch die klimatische Lage der Stadt Reutlingen an der Leeseite des Schwarzwaldes und am Nordrand der Schwäbischen Alb gibt es in der Region Reutlingen einige klimatische Besonderheiten, die im Folgenden näher beschrieben werden.

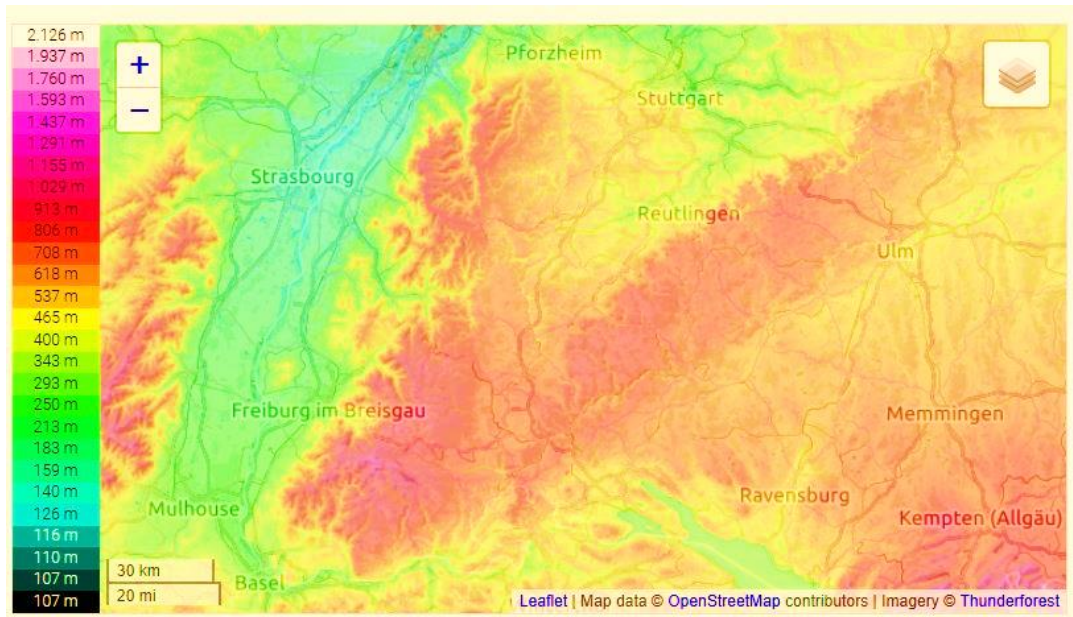


Abbildung 15: Höhenlagen im südlichen Baden-Württemberg (Topografic Map)

4.1 Temperatur

Markant sind die Unterschiede der jährlich gemittelten Durchschnittstemperaturen besonders durch die hohen Temperaturunterschiede zwischen der Albkante, und den dicht bebauten Stadtgebieten von Reutlingen und Stuttgart. Ferner ist das Stadtgebiet von Reutlingen trotz der Höhenlage von 390 m.ü.d.M. deutlich in allen Monaten über dem deutschen Mittelwert. Dies ist auf die spezielle topografische Lage der Stadt Reutlingen und die windgeschützten Lage der Messstation in der Innenstadt (stadtklimatische Bedingungen) zurückzuführen.³⁸

³⁸ DR.-ING. FRANK DRÖSCHER, März 2017, Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung, abgerufen 28.11.18

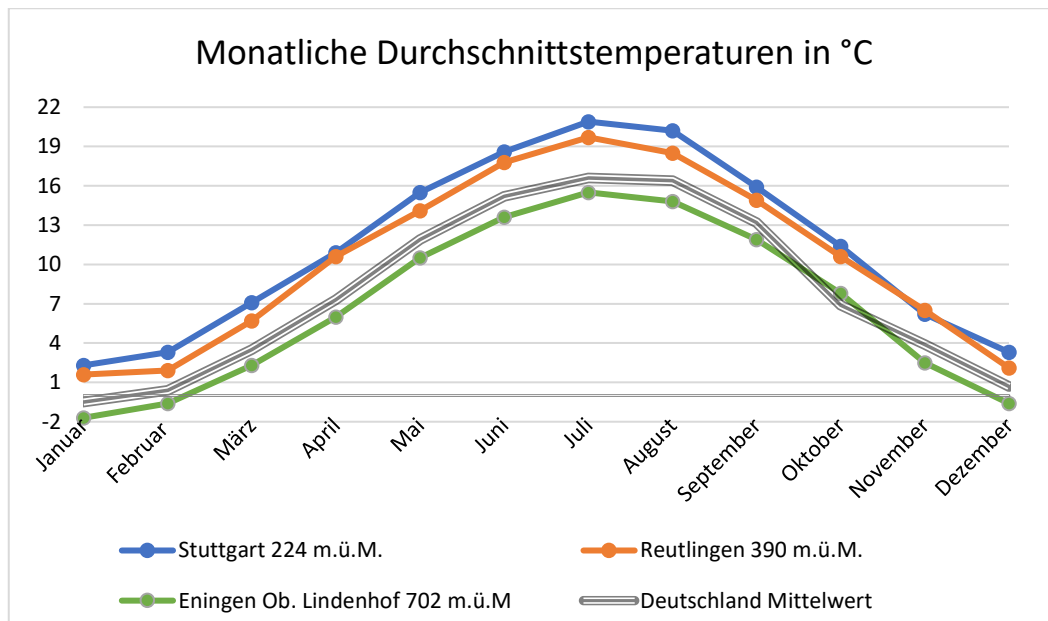


Abbildung 16: Monatliche Durchschnittstemperaturen des 30-jährigen Klimamittels (Eigene Darstellung, Datengrundlage Reutlingen: LUBW)

4.1.2 Niederschlagsverhältnisse

Die monatlichen, durchschnittlichen Niederschlagsverhältnisse sind besonders durch den für Mitteleuropa typischen, mitteleuropäischen Sommermonsun geprägt.³⁹ Bei weiterer Betrachtung fällt auf, dass der Niederschlag in Richtung Stuttgart deutlich abnimmt (Vgl. Abb. 17). Ferner ist im Juni gegenüber Mai und Juli, eine deutlich geringere Niederschlagsmenge für die Stadt Reutlingen zu erkennen. Dies ist auf die Gewitterentwicklung über den Höhen der Schwäbischen Alb zurückzuführen.⁴⁰ Bei vorwiegender südwestlicher Zugrichtung produzieren die Höhen bei entsprechenden Wetterlagen stetig neue, teils auch unwetterartige Regengüsse. Je nach Zugrichtung der

³⁹ Dipl.-Met. Thomas Ruppert: Sommermonsun? Thema des Tages, Newsletter des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vom 10.06.2013, abgerufen 02.10.18

⁴⁰ Wärmegewitter (o.J.) <https://www.wetteronline.de/wetterlexikon?topic=waermegewitter>, abgerufen 16.11.18

Gewitterzellen gehen im Landkreis Reutlingen teils sehr schwere Unwetter mit immensem Schaden einher (Vgl. Kapitel 5.1.3).

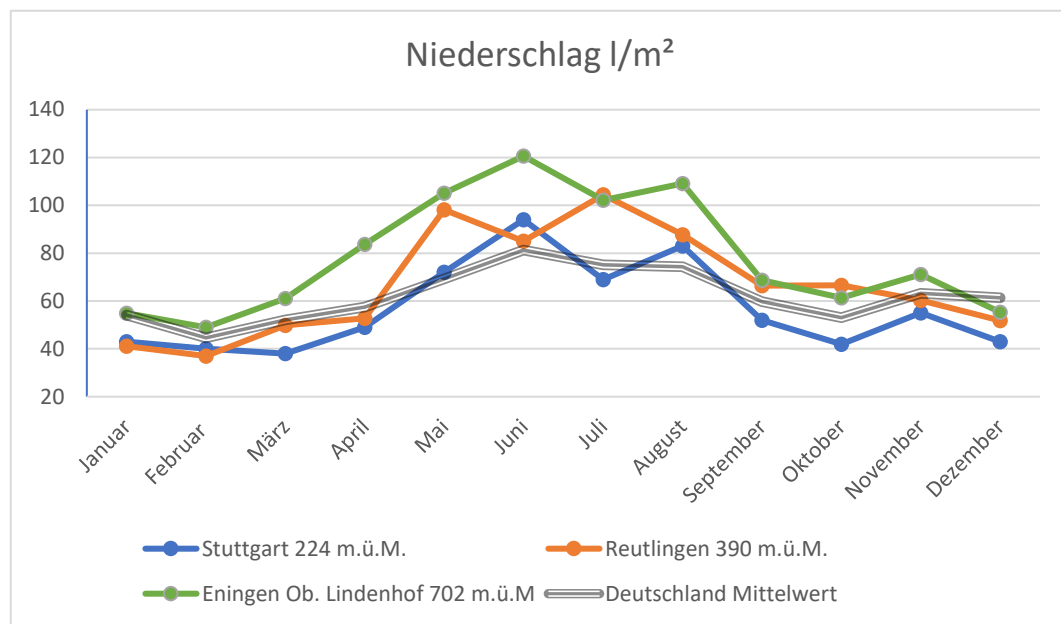


Abbildung 17: Monatlicher Durchschnittsniederschlag in Liter pro m^2 des 30jährigen Klimamittels (Eigene Darstellung, Datengrundlage Reutlingen: LUBW)

In Abbildung 18 ist ein Beispiel der erwähnten Gewitterbildung über der Schwäbischen Alb zu erkennen. Während es im Umland weitgehend wolkenlos ist, entwickeln sich über den Höhen Schauer- und Gewitterwolken. Ebenfalls gut zu erkennen sind die Mittelgebirgszüge, wie der Schwarzwald, die Schwäbische und Fränkische Alb sowie das Pfälzer Bergland.



Abbildung 18: Gewitter und Schauerbildung Mitte Mai über den Höhen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb in der Mittagszeit, (12:00 MESZ Wetter.Online)



Abbildung 19: Gewitter und Schauerbildung Mitte Mai über den Höhen der Schwäbischer Alb in der Mittagszeit, (12:00 MESZ Eigene Bildquelle)

4.1.3 Sonnenscheindauer

Die monatlichen Sonnenstunden sind im deutschlandweiten Vergleich in der Metropolregion an allen erfassten Stationen durchschnittlich (Vgl. Abb. 20). Geringe Unterschiede sind besonders in den Hochsommermonaten Juli und August zu erkennen, mit einer überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer. Im gesamtdeutschen Vergleich ist ein deutliches, sommerliches Nord-Süd-Gefälle zu erkennen. *"Der Süden Deutschlands liegt deutlich kontinentaler, es ist weniger Feuchte in der Atmosphäre, die Luft ist trockener"*⁴¹, sagt Gudrun Mühlbacher, Diplom-Meteorologin vom DWD. Im Norden bringt die Nähe zum Meer dagegen nassere Luft.⁴²

Bei weiterer Betrachtung der untenstehenden Grafik fällt in den Herbstmonaten ein leichter Trend zu der sonnigeren Albkannte auf. Durch die eher Temperatur und Niederschlags benachteiligte Albkannte ist dieses Phänomen auf die Inversionswetterlagen in den kühleren Jahreszeiten zurückzuführen.

⁴¹ Süddeutsche Zeitung, (12.09.2018) Wo der Sommer am schönsten ist <https://www.sueddeutsche.de/wissen/wetterdaten-analyse-hier-kommt-der-sommer-1.3143843>, abgerufen 07.10.18

⁴² Vgl. Ebda.

Inversionswetterlagen treten am häufigsten in den kalten Monaten auf. In den langen, windschwachen und kalten Nächten sammelt sich kalte und feuchte Luft an. Der niedrige Stand der Sonne schafft es nicht, die Luftmasse zu durchmischen und aufzuwärmen. Dadurch vergrößert sich die Dichte der kalten Luft, weswegen sie dann schwerer ist als warme Luft. Die warme, leichtere Luft legt sich somit über die kalte und feuchte Luftschicht. Wie in der Grafik zu erkennen, sind die Städte unterhalb der Höhenlagen von Oktober bis März, während des niedrigen Sonnenstandes und der fehlenden Durchmischung, von Inversionswetterlagen betroffen.⁴³

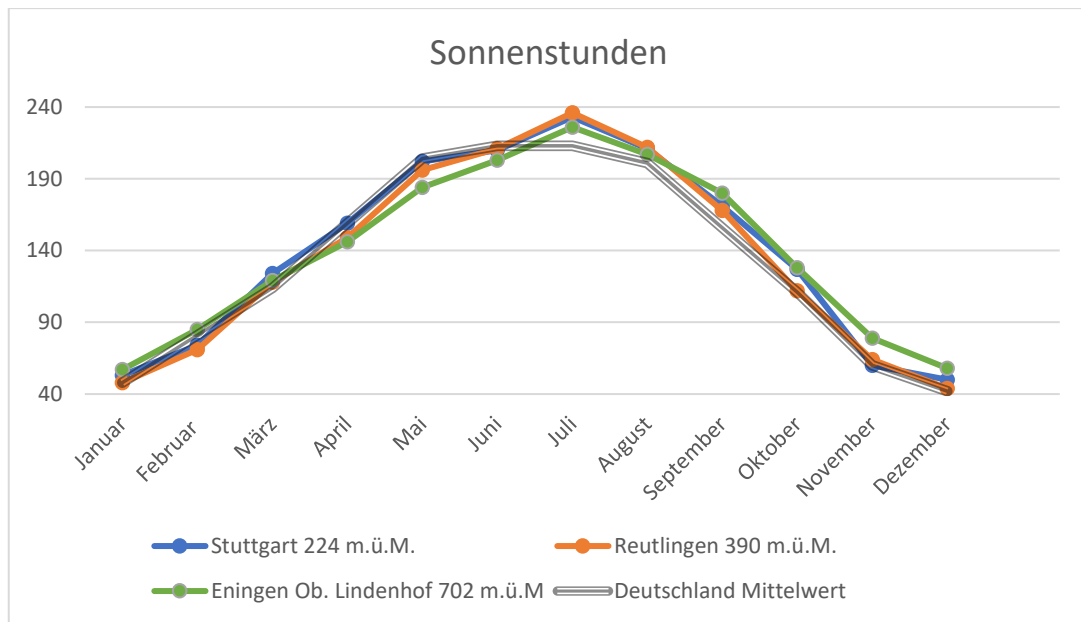


Abbildung 20: Monatliche Sonnenstunden des 30jährigen Klimamittels (Eigene Darstellung, Datengrundlage Reutlingen: LUBW)



Abbildung 21: Inversionswetterlage Ende Oktober 2017 über der Stadt Reutlingen (eigene Bildquelle)

⁴³ Vgl. Schwarzwald Informationen, (o.J.) Inversionswetterlage auf der Schwarzwaldhöhe <https://www.schwarzwald-informationen.de/wandern-an-der-schwarzwaldhochstrasse/inversionswetterlage-auf-der-schwarzwaldhoehe.html>, abgerufen am 07.10.18

4.2 Mikroklimatische Besonderheiten der Stadt Reutlingen

Das Mikroklima bezieht sich auf die besondere klimatische Situation in einer Umgebung, und kann sich innerhalb von wenigen Metern bereits deutlich verändern.⁴⁴

4.2.1 Höhenlagen mit Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten

Das Stadtgebiet der Stadt Reutlingen reicht von den Höhenlagen der Schwäbischen Alb bis zum Neckartal und weist somit erhebliche Höhenunterschiede auf engem Raum auf. Die höchste Erhebung ist der südöstlich gelegene Roßberg mit einer Höhe von 869 m.ü.d.M. Die mittlere Höhe des Stadtgebietes beträgt 376 m.ü.d.M (am Bahnhof gemessen). Südlich und westlich der Kernstadt erheben sich der 602 m.ü.d.M hohe Georgenberg sowie die 706 m.ü.d.M Achalm. Im Norden grenzen die Stadtteile an das 290 m.ü.d.M hohe Neckartal. Durch das Stadtgebiet fließt die Echaz, ein Fluss der circa 20 Kilometer südlich, an der Albkante entspringt und ein wichtiger Zufluss von Kaltluft im Stadtgebiet ist.⁴⁵

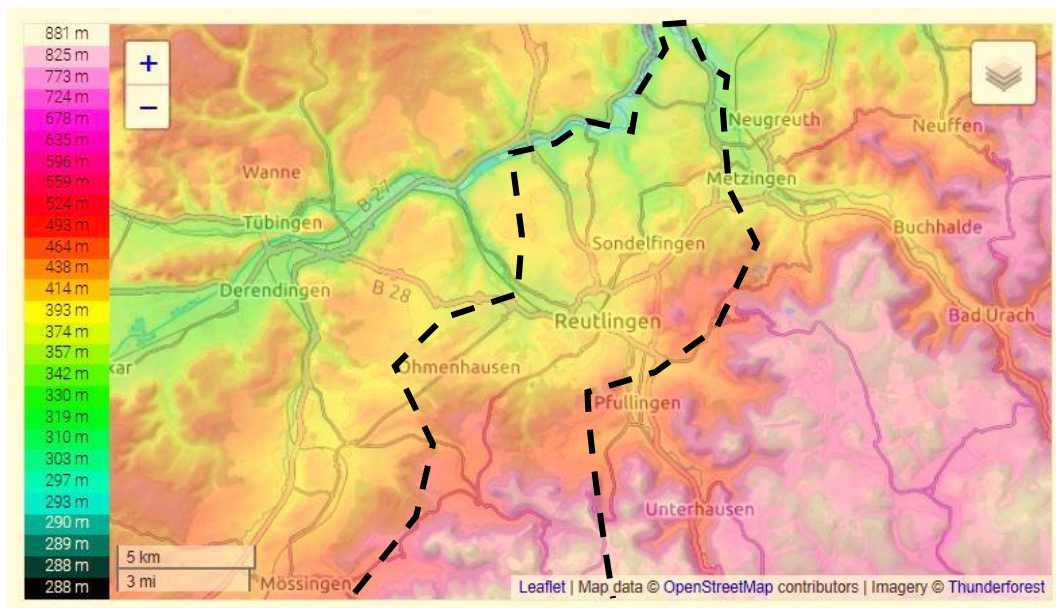


Abbildung 15: Höhenlagen im Oberzentrum Tübingen-Reutlingen (topografic map)

Durch die unterschiedlichen Höhenlagen und den dicht bebauten Stadtkern sind die Kaltluftentstehungsgebiete in Reutlingen besonders bei leistungsstarken Bergwindssystemen anzutreffen, welche für die Belüftung der Stadt Reutlingen, insbesondere die Kernstadt und des Stadtbezirks Betzingen, sehr wertvoll sind.⁴⁶

⁴⁴ Grüne Bauweise für Städte der Zukunft <http://www.gruenstadtklima.at/klima.htm>, abgerufen 15.11.18

⁴⁵ Daten und Fakten, Großstadt Reutlingen, (o.J.) <https://www.reutlingen.de/de/Leben-in-Reutlingen/Unsere-Stadt/Daten-und-Fakten>, abgerufen 08.10.18

⁴⁶Vgl. Dr.-Ing. Frank Dröscher, 2017 S.51 f.

Vier Stunden nach Sonnenuntergang ist das Bergwindssystem voll ausgebildet und erfährt stetigen Zufluss von kühler Luftmasse von den Höhen des umgebenden Mittelgebirges. Besonders kräftige Kaltluftströme bilden sich an den Nordhängen im Bereich Schönberg/ Pfullinger Berg (Gemarkung Pfullingen), den Unterhängen des Urselberges, insbesondere die Osthänge (Gemarkung Pfullingen), sowie an den Unterhängen des Drackenberges und des Mädlesfelsens (Gemarkung Eningen u.A.). Sie sind die wichtigsten Kaltluftentstehungsgebiete in der Umgebung des Stadtkerns.⁴⁷

Die Hangabwinde sammeln sich in Geländevertiefungen und bilden sogenannte Kaltluftseen aus. Oft werden Kaltluftströme durch Hindernisse aufgehalten oder abgeschwächt. In Frage kommen Baum- und Häuserreihen, sowie erhitzte Straßenräume, Plätze und Bahnanlagen. Zur Verhinderung eines Kaltluftstaus müssen daher große Schneisen freigehalten werden.⁴⁸

Die höchsten Kaltluftflüsse, die für die Belüftung der Reutlinger Kernstadt elementar sind, strömen durch das Arbachtal, sowie durch das Echaztal.⁴⁹

Weitere kleinere Kaltluftentstehungsgebiete sind an den Hängen der Achalm und des Scheibengipfels und der angrenzenden Freiflächen zwischen Eningen u.A. und dem Stadtgebiet, sowie im gesamten Flussgebiet der Echaz in der Innenstadt, als auch in Freiflächen zwischen den nördlichen Stadtteilen anzutreffen und bilden dort vor allem für die nördlichen Stadtteile wichtige Kaltluftentstehungsgebiete aus.⁵⁰



Abbildung 22: Schematische Darstellung der wichtigsten Kaltluftentstehungsgebiete für das Stadtgebiet. Angelehnt an die Abbildung 26 in der Gesamtstädtischen Klimaanalyse (Eigene Darstellung, Bildgrundlage: Google-Earth)

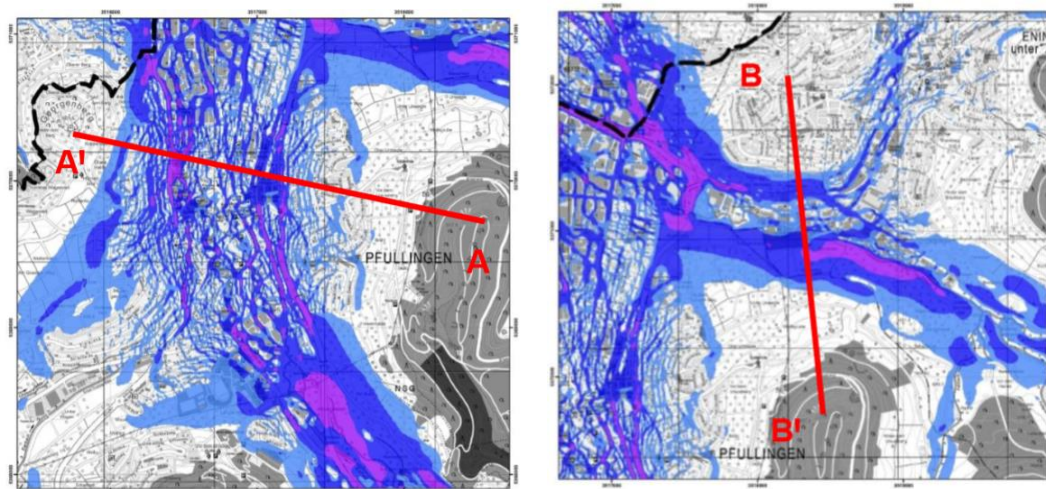
⁴⁷ Vgl. Dr.-Ing. Frank Dröscher (2017) S.51

⁴⁸ Hans Häckel, (2006) S.338 f.

⁴⁹ Dr.-Ing. Frank Dröscher, 2017 S.51 f.

⁵⁰ Ebda.

Bei näherer Betrachtung der beiden kräftigsten Kaltluftströme in Richtung der Reutlingen Kernstadt fällt auf, dass die Kaltluftströme von umgebener Bebauung, sowie sonstigen störenden Einflüssen, die Kaltluftströme in eine Vielzahl von kleineren Kanälen aufgesplittet werden. Besonders deutlich ist das an der Schnittachse A-A' zu erkennen. Beim Durchströmen der angrenzenden Innenstadt von Pfullingen, ist deutlich ein gestörter Kaltluftabfluss in Richtung der Reutlinger Innenstadt zu erkennen, lediglich eine kleine Verbindung zum zweiten großen Kaltluftsee bei der Schnittachse B-B' und Kaltluftströme entlang des westlichen Georgenbergergs sind als durchgehende Ströme zu erkennen.



Kaltluftvolumenstromdichte (m³/m*s)	Klimaökologische Ausgleichsleistung der Kaltluftleitbahn	Legendenfarbe
0-15	sehr gering	
>15-30	gering	
>30-60	mittel	
>60-120	hoch	
> 120	sehr hoch	

Abbildung 23 und 24: Kaltluftvolumenstromdichten (m³/m*s) und damit verbundene grundsätzliche klimaökologische Wertigkeit der Kaltluftleitbahn (Frank Dröscher)

4.2.2 Klimatope im Stadtgebiet

Klimatope sind mikroklimatische Ausprägungen in einem Stadtgebiet. Klimatisch bedeutsam sind dabei vor allem die aktuelle Flächennutzung, das Relief, die Oberflächenstruktur, die Bodenbeschaffenheit und die Vegetation.⁵¹ Ziel einer Klimaanalysenkarte ist es, diese Klimatope zu verorten, um auf entsprechende Bebauungen des jeweiligen Gebietes reagieren zu können.

⁵¹ Vgl. Städtische Klimafibel online, Hinweise für die Bauleitplanung, (o.J.) <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/?p=60&p2=5.7>, abgerufen 08.10.18

Im Stadtgebiet sind folgende Klimatope Bestandteil der Klimaanalysekarte:

Innenstadt-Klimatop:

Das Innenstadtklimatop ist geprägt durch dichte und hohe innerstädtische Bebauungen, mit sehr geringen Grünanteilen. In den Sommermonaten sorgt die Sonne tagsüber für eine starke Aufheizung, die sich in den Abend und Nachtstunden durch den innerstädtischen Wärmeinsel-Effekt nur schwer wieder abkühlt, und sich deutlich von anderen Klimatopen wärmetechnisch unterscheidet.

Die hohe Bebauungsdichte führt zusammen mit der ausgeprägten Wärmeinsel zu bedeutender Beeinflussung der regionalen und überregionalen Winde. Insgesamt besteht eine hohe Schadstoffbelastung. An den Hauptstraßen, sowie an Plätzen und Wegen treten neben böenartigen Windverwirbelungen hohe Luftschadstoff- und Lärmbelastungen auf.⁵²

Stadt-Klimatop:

Im Stadtklimatop sind ähnliche makroklimatischen Eigenschaften anzutreffen wie im vorangegangenen Innenstadtklimatop.

Gewerbe- und Industrieanlagen-Klimatop:

Das Industrieanlagen-Klimatop ist vergleichbar mit den vorangegangenen Klimatopen, weist aber großflächige Verkehrsflächen, sowie einen höheren Grad der Versiegelung auf. Ein weiterer Aspekt sind höhere Emissionswerte. Bei intensiver, sommerlicher Aufheizung am Tage bildet sich auch nachts aufgrund der Ausdehnung versiegelter Flächen eine deutliche Wärmeinsel aus. Die am Boden befindlichen Luftmassen sind erwärmt, trocken und mit Schadstoffen angereichert. Die massiven Industrieanlagen und die daraus resultierende, bodennahe Erwärmung verändern das Windfeld wesentlich.⁵³

Stadttrand-Klimatop:

Das Stadttrand-Klimatop ist von weniger dichter Bebauung und einem größeren Anteil von Grünflächen geprägt. Die nächtliche Abkühlung ist dennoch eingeschränkt und von der umgebenden Struktur abhängig. Die lokalen Winde und Kaltluftströme werden gestört und sollten in Neuplanungen berücksichtigt werden. Vor allem an Hauptstraßen können ebenfalls erhöhte Luftschadstoffe auftreten.⁵⁴

⁵² Vgl. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2015), Städtebauliche Klimafibel. S.176 ff. https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/interne/Publikationen/Bauen/Klimafibel_2012.pdf, abgerufen 09.10.18

⁵³ Vgl. Ebda.

⁵⁴ Vgl. Ebda.

Vorstadt-Klimatop:

Das Vorstadt-Klimatop umfasst bebaute Flächen mit offener, niedrig geschossiger Bebauung und reichhaltigen Grünflächen. Es finden lediglich noch leichte klimatische Veränderungen bei der nächtlichen Abkühlung, sowie den regionalen Windverhältnissen statt.⁵⁵

Grünanlagen-Klimatop:

Gebiete in der Stadt mit reichhaltigem Angebot an Grünflächen. Sie wirken sich positiv auf die städtischen Klimafaktoren aus. Sie sorgen für Kalt- und Frischluftproduktionen, geringere Extremtemperaturen und können bei entsprechender Größe für eine Durchlüftung dicht bebauter Gebiete sorgen. Innerstädtische, dicht bepflanzte Alleen wirken sich ebenfalls positiv auf das Stadtklima aus und sorgen für geringere Temperaturen im Stadtkern.⁵⁶

Gewässer-, Seen-,Klimatop:

Das Gewässer-Klimatop hat im Verhältnis zur Umgebung eine ausgleichende Funktion. Besonders bei langen Hitzewellen tragen Gewässer ab einer bestimmten Größe zu einer langsameren Erwärmung im Tagesverlauf bei. Gleichzeitig sind die nächtlichen Temperaturen erhöht, da Gewässer ihre Wärme nur langsam an die Umgebung abgeben.⁵⁷

Freiland-Klimatop:

Das Freiland-Klimatop hat sehr ausgeprägte Schwankungen zwischen Tages- und Nachttemperaturen. Ebenfalls ist damit eine intensive nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verbunden.⁵⁸

Wald-Klimatop:

Im Wald-Klimatop herrschen stark gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Temperatur und Feuchte. Tagsüber sind die Temperaturen durch die Verschattung und Verdunstung niedriger als in den anderen Klimatopen. Da allerdings die Luftfeuchtigkeit unter dem Blätterdach erhöht ist, treten nachts relativ milde Temperaturen auf. Der Wald ist durch die Bildung von Frischluft als wichtiges Erholungsgebiet anzusehen.⁵⁹

⁵⁵ Vgl. Ebda.

⁵⁶ Vgl. Ebda.

⁵⁷ Vgl. Ebda.

⁵⁸ Vgl. Ebda.

⁵⁹ Vgl. Ebda.

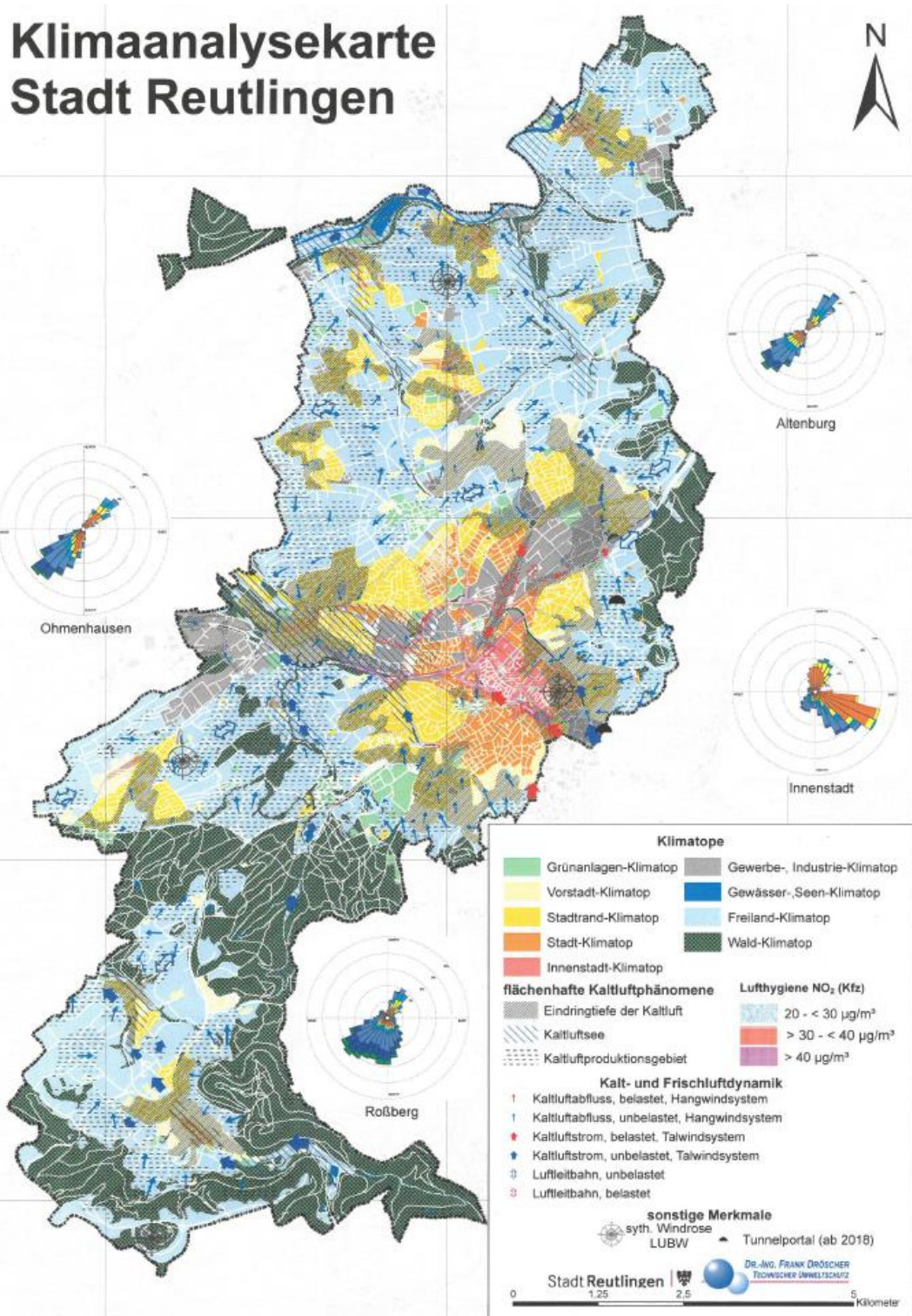


Abbildung 25: Klimaanalysekarte der Stadt Reutlingen (Frank Dröscher)

Durch die Abbildung 25 wird deutlich, dass die klimatischen Auswirkungen, besonders für die Innenstadt, und die angrenzende Kernstadt ein zunehmendes Problem darstellen (rote Pfeile). Wie in Kapitel 4.2.1 erwähnt, sind die Kaltluftströme des Bergwindsystems für die Belüftung der Innenstadt essenziell. Es sollten daher große Schneisen freigehalten werden.

4.2.3 Vergleich zwischen Stadt und Umland

Wie in den vorangehenden Kapiteln erklärt, sind die Temperaturunterschiede innerhalb des Stadtgebietes durch verschiedene klimatische Einflüsse wie verschiedene Klimatotypen, Kaltluftentstehungsgebiete und die Höhenlagen geprägt. Aufgrund der Klimaanalyse wurde eine Temperaturmessfahrt unternommen, die in folgender Grafik abgebildet ist. Es wurden zwei unterschiedlichen Routen, zu unterschiedlichen Zeiten abgefahren.⁶⁰

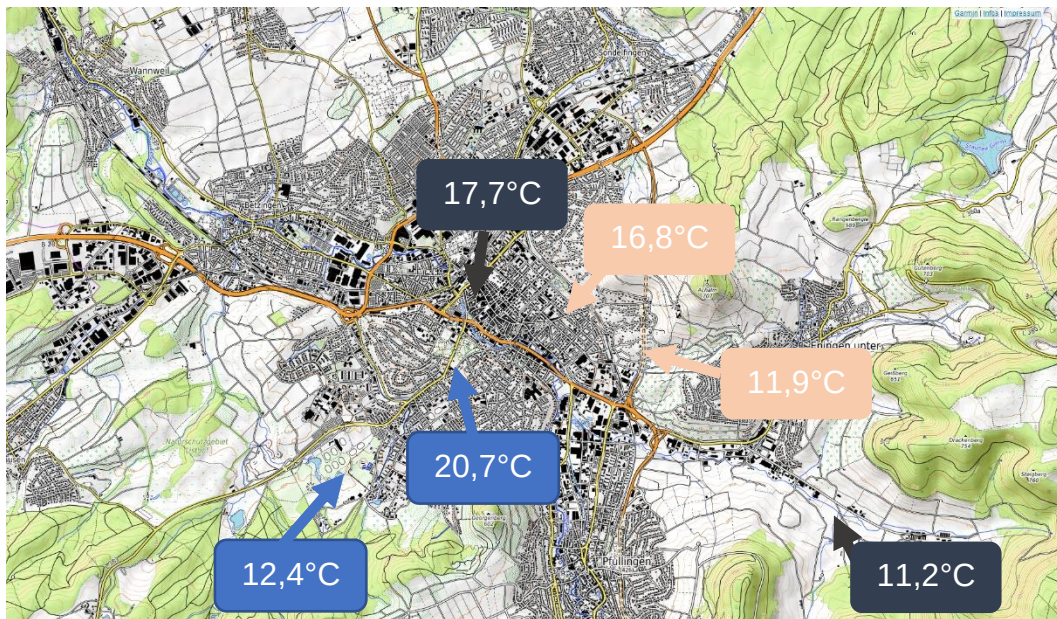


Abbildung 26: Eigene Darstellung der Temperaturmessfahrt am 06.05.2016 im Stadtgebiet

- Temperaturmessfahrt 1, zwischen 20:25-21:22 Uhr am 06.05.2016
- Temperaturmessfahrt 2, zwischen 21:28-22:27 Uhr am 06.05.2016
- Temperaturmessfahrt 3, zwischen 23:46-0:43 Uhr am 06.05.2016

Dargestellt sind jeweils die gemessenen maximal, und minimalen Temperaturen des Zeitraums. Auffallend sind die hohen Temperaturunterschiede im Stadtgebiet. Die höchsten Temperaturen wurden im Stadtkern und Industriegebieten gemessen. Die Ergebnisse der Messfahrt verdeutlichen die innerstädtische Wärmeinselbildung. Die kühlfsten Temperaturen wurden entlang der Kaltluftentstehungsgebiete gemessen⁶¹, und verdeutlichen die Wichtigkeit einer durchgehenden Kaltluftleitbahn durch das Stadtgebiet.

⁶⁰ Dr.-Ing. Frank Dröscher, 2017 S.48 f.

⁶¹ Ebda.

4.2.4 Stauniederschlag

In Mitteleuropa fällt der meiste Niederschlag bei westlichen und nördlichen Wetterlagen. Dies führt an den Mittelgebirgen, und besonders an den Alpen zu erheblichem Stauniederschlag. Auf diese Weise kommt es entlang der typischen Staulagen teilweise zu erheblichem Regenüberfluss, währenddessen auf den Leeseiten der Gebirgszüge ein deutlicher Niederschlagsmangel in den jährlichen Niederschlagsmengen zu erkennen ist.⁶²

Aufgrund der geographischen Lage an der Schwäbischen Alb, ist bei nord-westlichen Wetterlagen am Albtrauf, durch den Steigungsregen, mit höheren Niederschlagsmengen als in der Umgebung zu rechnen. In einer Niederschlagsmodellierung des Geländeprofiles der Ostalb, zwischen Lorch (Rems-Murr-Kreis) und Stötten auf der Ostalb wurde ermittelt, dass die 300m hohe Albkante in diesem Gebiet einen Stauniederschlag von bis zu 330mm Niederschlag pro Jahr bewirkt.⁶³ Zum Vergleich: Dieser Wert entspricht dem halben Jahresniederschlag der Stadt Berlin.⁶⁴

Ein Beispiel für die vorangegangenen Beschreibung des Stauniederschlages in der Region Reutlingen ist die Wetterlage am 12.06.2018. Es stauten sich feuchtwarme Luftmassen einer Regenfront an der Albkante, und sorgten für einen ausgeprägten Stauniederschlag an der Nordkante der Schwäbischen Alb. Im Gegensatz dazu blieb es auf der Albhochfläche, sowie im Donautal weitgehend trocken.

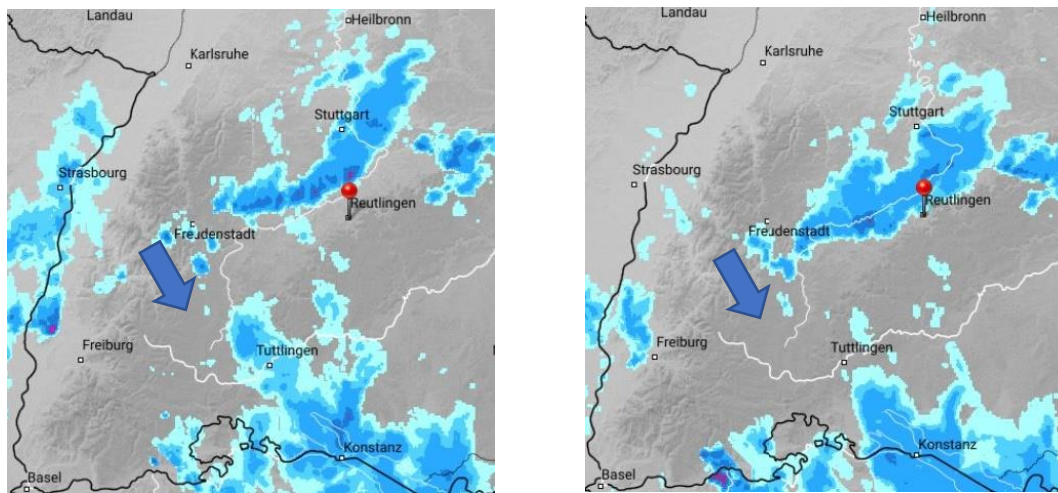


Abbildung 27 und 28: Niederschlagsradar WetterOnline, Links: Niederschlagssituation 21:00 Uhr, Rechts: Niederschlagssituation 21:30 Uhr

⁶² Vgl. Hans, Häckel (2016) S.151 f.

⁶³ Vgl. Ebda.

⁶⁴ DWD Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1981 – 2010

https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_akt.html?view=nasPublication, abgerufen 09.10.18

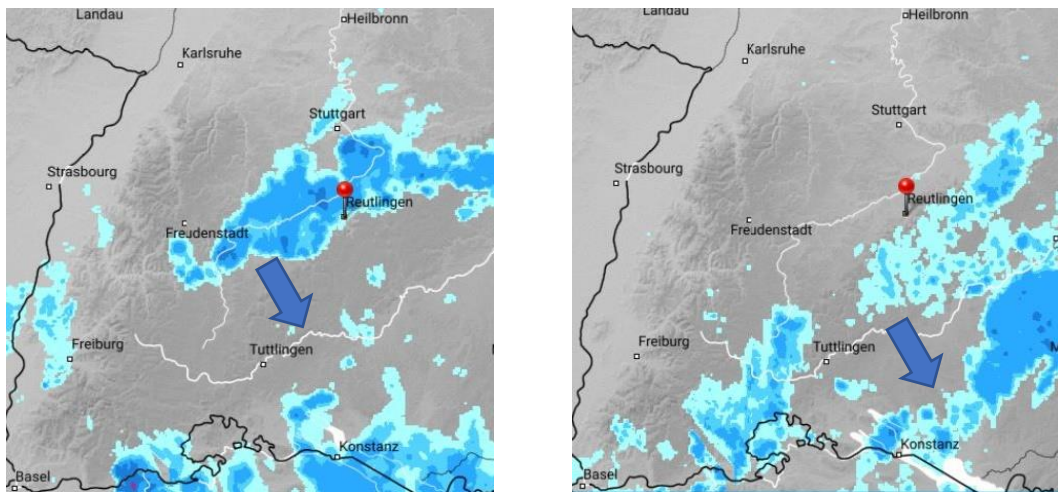


Abbildung 29 und 30: Niederschlagsradar WetterOnline, Links: Niederschlagssituation 22:00 Uhr, Rechts: Niederschlagssituation 00:00 Uhr

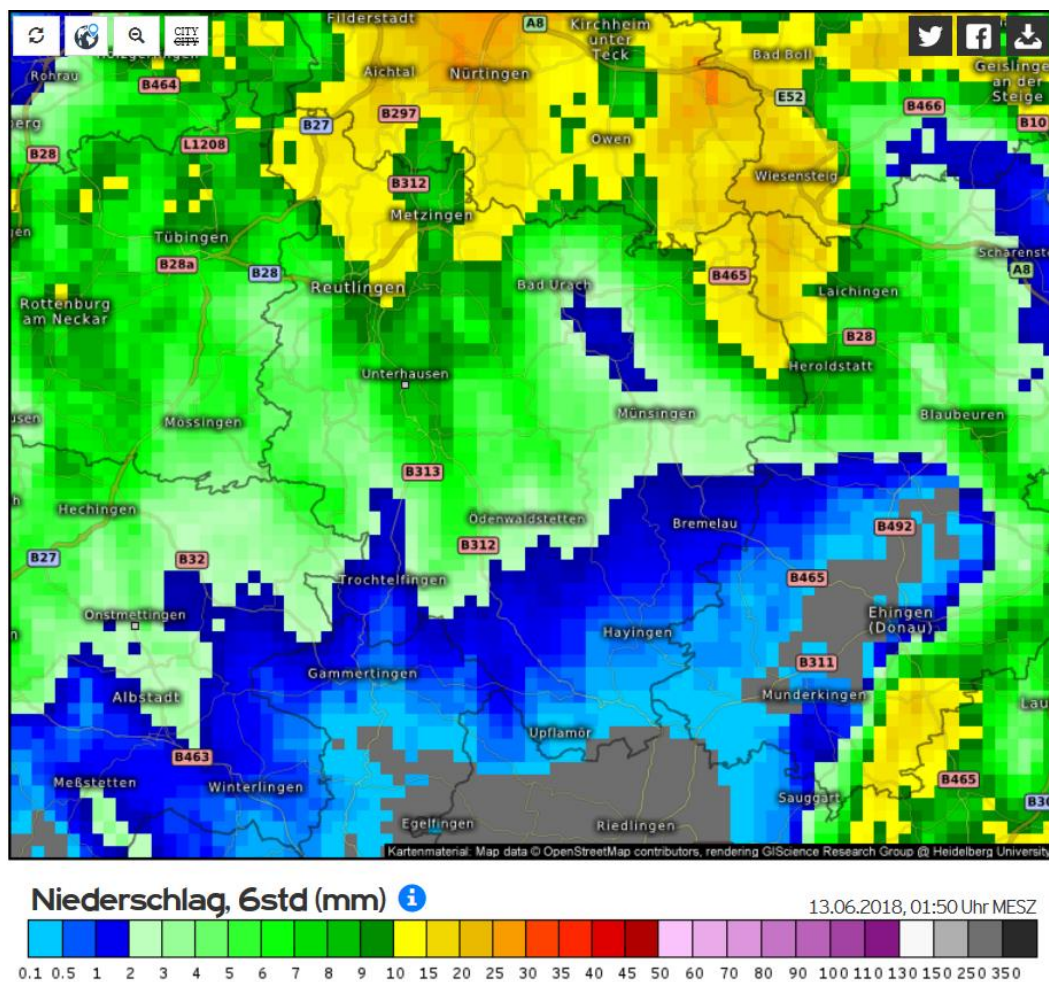


Abbildung 31: Aufsummierter Niederschlag im Landkreis Reutlingen der letzten 6 Stunden vom 13.06.2018, 01:50 Uhr MESZ (Kachelmannwetter)

4.2.5 Albföhn

Ein weiteres Wetterphänomen sind Föhnwetterlagen. Bei kräftigen südlichen Strömungen stellt sich selbst in Mittelgebirgen eine sogenannte Föhnwetterlage ein. Charakteristisch für Föhnwetterlagen sind im Lee eines Gebirgszugs wolkenfreie Zonen, während auf der anderen Seite des Gebirgszugs kühles, regnerisches und bewölktes Wetter herrscht.⁶⁵

Ursprünglich ist die Bezeichnung „Föhn“ eine Bezeichnung für trockene Fallwinde in den Alpen. Föhnwetterlagen in den Alpen gehen mit einem kräftigen Föhnsturm mit Orkanstärke einher, sowie mit massiven Temperaturunterschieden zwischen der Nord- und Alpensüdseite. Die heutige Bezeichnung „Föhn“ schließt alle warmen Fallwinde auf der Leeseite von Gebirgen mit ein.⁶⁶

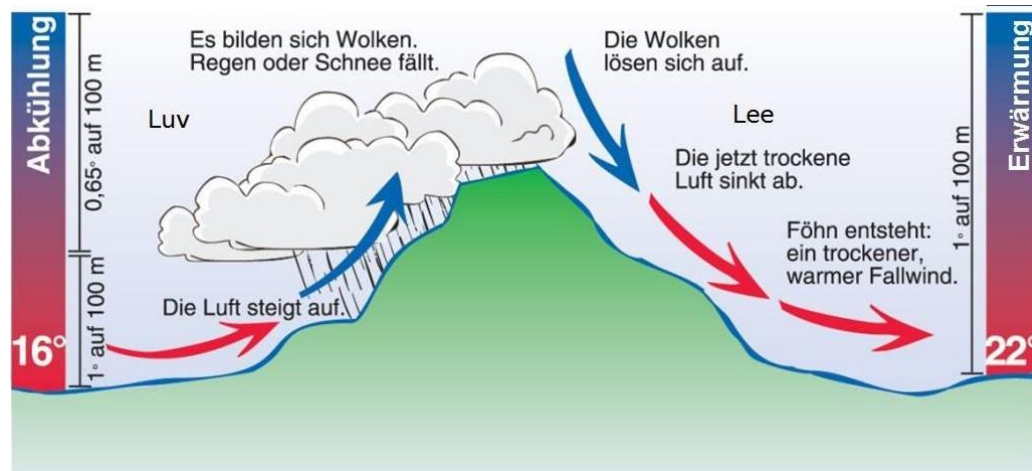


Abbildung 32: Schematische Erklärung zur Entstehung des Föhns (DWD)

An der Schwäbischen Alb können sich ebenfalls Föhnwetterlagen ausbilden- besonders bei südlichen bis südöstlichen Strömungen können sich Föhnwetterlagen einstellen. Aufgrund des geringeren Höhenunterschiedes zwischen dem Albtrauf und dem Umland, sind diese Föhnwetterlagen jedoch weitaus schwächer ausgeprägt, als vergleichsweise in den Alpenregionen.⁶⁷

⁶⁵ Wetter.de (2016) So heizt der Föhn dem Süden Deutschlands ein, <https://www.wetter.de/cms/so-heizt-der-foehn-dem-sueden-deutschlands-ein-4020480.html>, abgerufen 11.10.18

⁶⁶ DWD (2018) Föhn, https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2018/10/10.html, abgerufen 11.10.18

⁶⁷ Vgl. Schriftverkehr mit Diplommeteorologe Roland Schrödner, Kachelmannwetter 12.10.18

Besonders im Herbst sorgen diese Föhnwetterlagen im nördlichen Vorland der Schwäbischen Alb für eine Wolkenauflösung bei Inversionswetterlagen. Am häufigsten entstehen die Föhnwetterlagen in der kalten Jahreszeit. Kalte Luft sinkt ab, sammelt sich bodennah und bildet somit eine Inversionswetterlage.

Bei Erwärmung der Luftmassen am Tag wird die Kaltluft oberhalb des Mittelgebirgszugs ins Tal verfrachtet. Im weiteren Verlauf strömt die aufliegende wärmere und trockenere Luft aus höheren Luftschichten nach. Durch die nachströmenden trockenen und warmen Luftmassen löst sich der Nebel auf, und die Temperaturen steigen spürbar an. Die wolkenfreie Zone kann sich selbst mehrere Kilometer dem Mittelgebirgszug entfernt bemerkbar machen. Auch dieses Phänomen wird definitionsgemäß als Föhn bezeichnet.⁶⁸

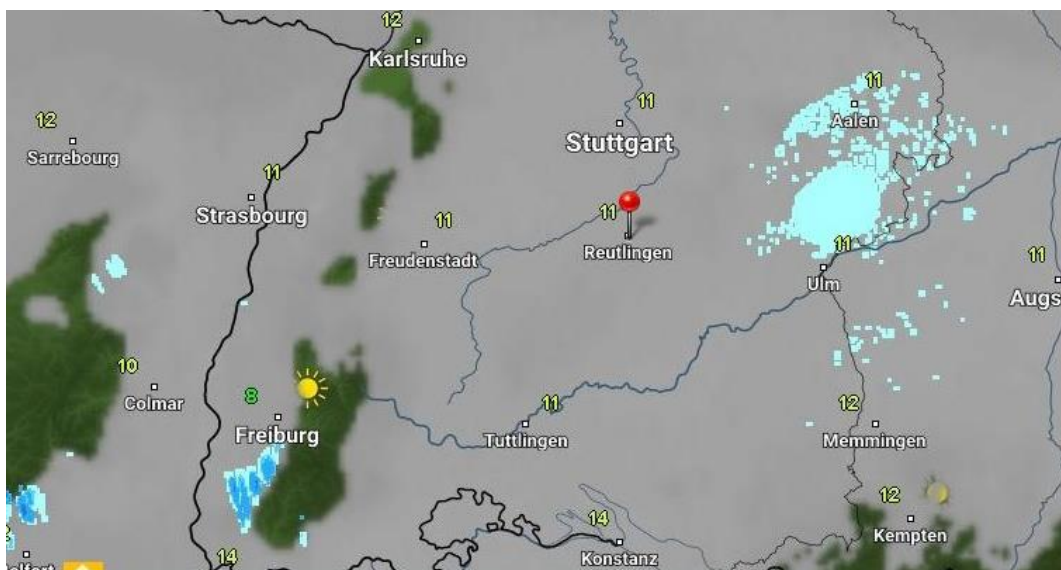


Abbildung 33: Alb föhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 8:00 Uhr – Wetterzustand auf der Schwäbischen Alb: Hochnebelbewölkung (Wetter.Online)



⁶⁸ Vgl. Gerd Pfeffer, Föhn (o.J.) Föhn im Mittelgebirge http://www.gerd-pfeffer.de/zirk_w_foehn.html, abgerufen 12.10.18

Abbildung 34: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 10:00 Uhr – Wetterzustand Auflockerungen am Nordrand der Schwäbischen Alb (Wetter.Online)

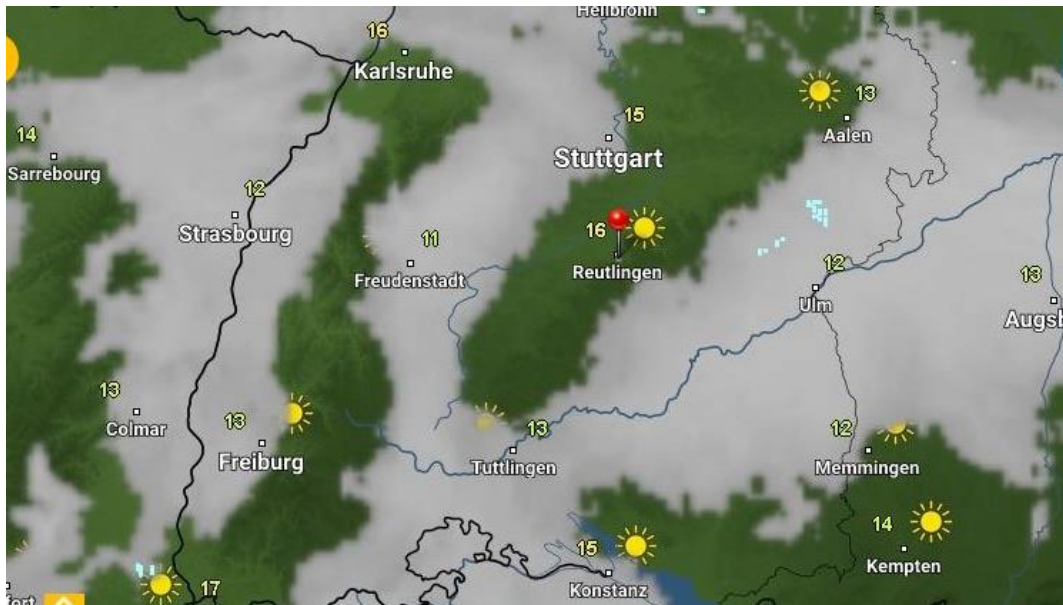


Abbildung 35: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 12:00 Uhr – Wetterzustand großflächige Auflockerungen am Nordrand der Schwäbischen Alb

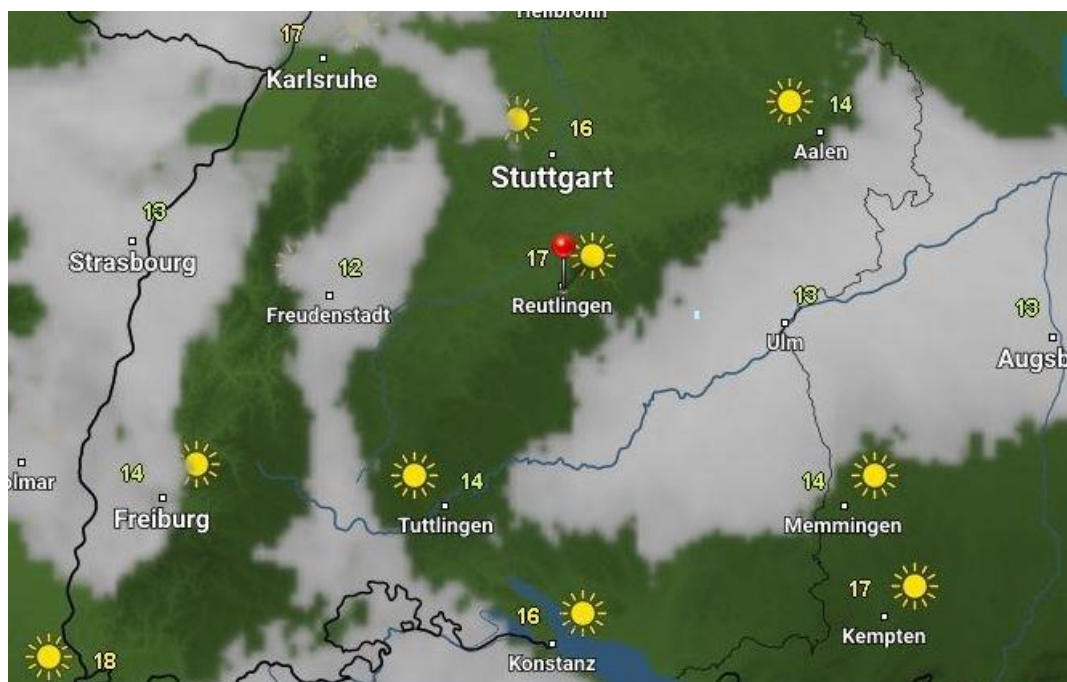


Abbildung 36: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 13:00 Uhr – Wetterzustand weitläufige Auflockerungen am Nordrand der Schwäbischen Alb (Wetter-Online)

4.2.6 Regenschatten und Gewitterbildung

Wie im Kapitel 4.2.4 erwähnt, kommt es entlang von Gebirgszügen zu Stau-niederschlag in den Bergen. Durch die geografische Lage der Region Reutlingen, und der vorrangig südwestlichen oder westlichen Strömung in Mitteleuropa befindet sich die Region bei entsprechenden Wetterlagen, im Regenschatten des Schwarzwaldes. Grund für die häufige westliche Strömung in Mitteleuropa, ist das Zusammenspiel von Islandtief und dem Azorenhoch, das die Westwindzone erzeugt.⁶⁹

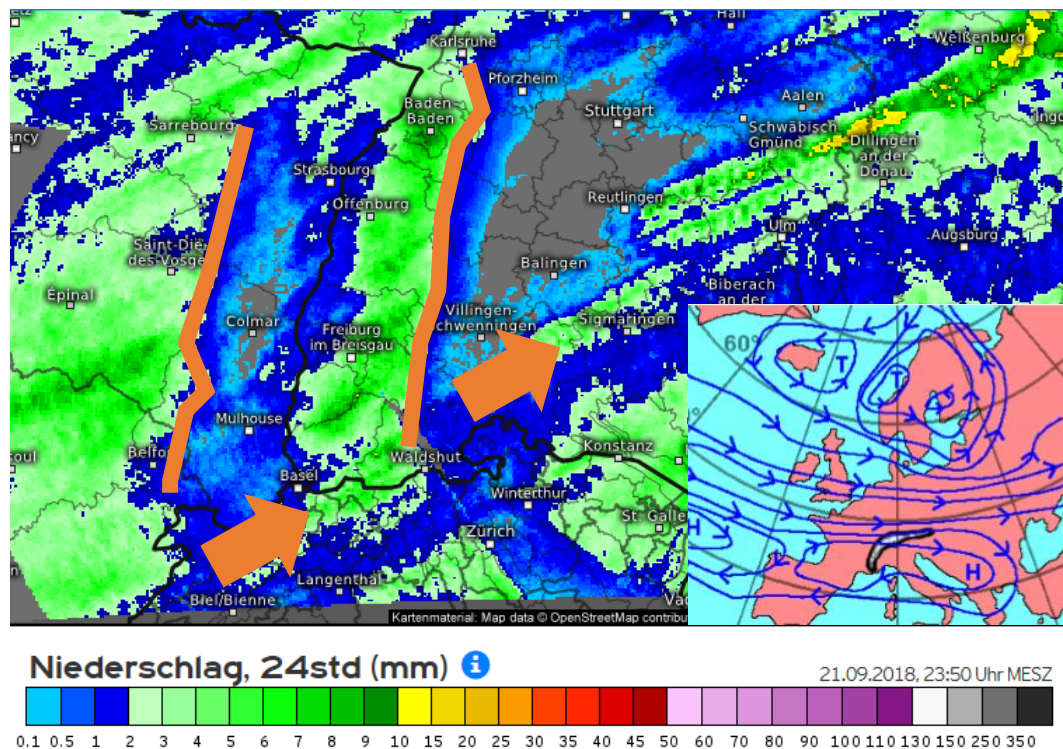


Abbildung 37 und 38: Stau-niederschlag bei westlichen Wetterlagen am Beispiel der Wetterlage des 21.09.2018. Mit schematischer, eigener Einzeichnung der Staulagen bei westlichen Wetterlagen (Vogesen und Schwarzwald). (Kachelmwannwetter)

In den Sommermonaten kann sich der Effekt des Regenschattens des Schwarzwaldes gegenteilig bemerkbar machen. Die Schwarzwaldhöhen produzieren bei entsprechenden Wetterlagen teilweise schwere Gewitter mit großen Regenmengen. In den Sommermonaten ist zu beobachten, dass sich eine große Anzahl von Gewittern über dem Schwarzwald bildet. Die Gewitter ziehen mit der oben erwähnten westlichen Strömung in Richtung Osten. Besonders problematisch für die Regionen am Nordrand der Schwäbischen Alb ist, wenn die Gewitterzellen vom Schwarzwald im Aufwindbereich der Schwäbischen Alb in Richtung Nordosten ziehen. Bei solchen Wetterlagen muss mit einem erheblichen Unwetterpotential in der Region Reutlingen gerechnet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Wetterlage vom 07.08.2018. Bereits am Vormittag setzte eine Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes ein. Im weiteren Verlauf zogen die Gewitter nach

⁶⁹ Lutz Spandau, Peter Wilde (2008) S.32

Osten, verstärkten sich im nördlichen Aufwindbereich der Schwäbischen Alb und sorgten in der Region Reutlingen für die höchst- mögliche Warnstufe vor schweren Unwettern. Eine ähnliche Wettersituation führte 2013 zu einem verheerenden Hagelunwetter, welches gemessen an der Schadenshöhe in die Geschichtsbücher einging.⁷⁰

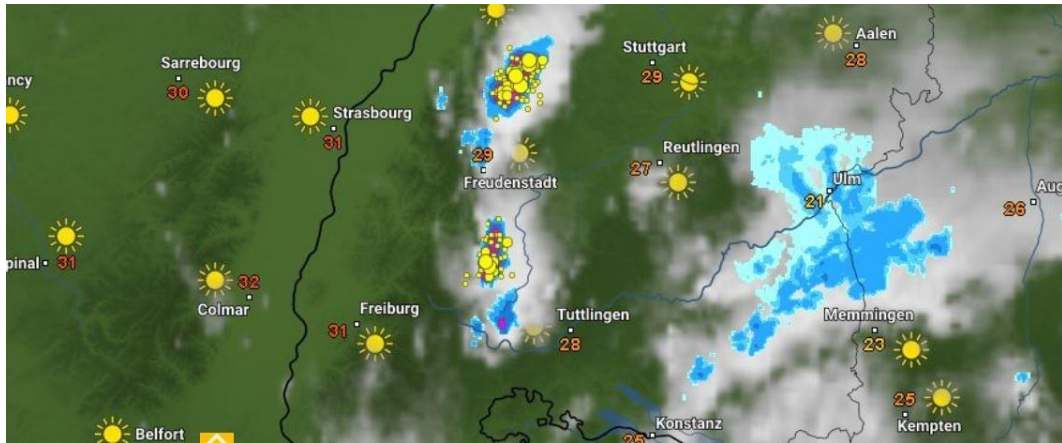


Abbildung 39: Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes am Beispiel des 07.08.2018. Aufnahmezeit: 12:00 Uhr (Wetter.Online)



Abbildung 40: Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes am Beispiel des 07.08.2018. Aufnahmezeit: 13:00 Uhr (Wetter.Online)

⁷⁰ SWR Fernsehen: der Hagelsturm von Reutlingen <https://www.swr.de/geschichte/hagelsturm-in-reutlingen-2013/-/id=100754/did=16317570/nid=100754/1t7fs49/index.html>, abgerufen 13.10.18

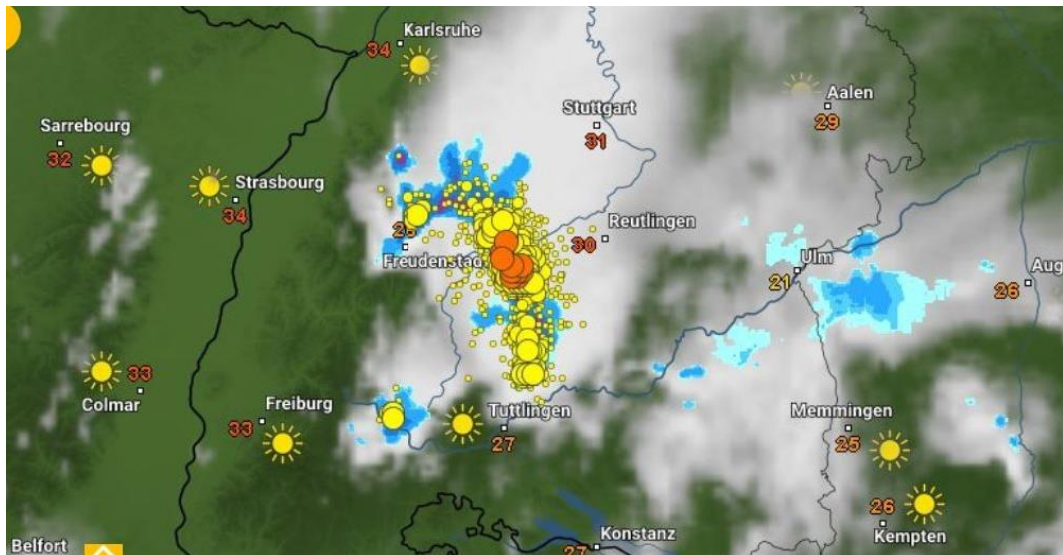


Abbildung 41: Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes am Beispiel des 07.08.2018. Aufnahmezeit: 13:30 Uhr (Wetter.Online)

Reutlingen (72770)

Unwetterwarnung Stufe Violett vor Gewitter

gültig von: **Dienstag, 7. August 2018, 13:15 Uhr**
 gültig bis: **Dienstag, 7. August 2018, 14:45 Uhr**
 gültig für: **alle Höhenstufen**



Schwergewitter mit Starkregen, (großer Hagel u. orkanartige Böen möglich)

Diese Warnung wurde am Dienstag, 7. August 2018, 13:15 Uhr zuletzt aktualisiert.

Abbildung 42: Unwetterwarnung für die Stadt Reutlingen (höchste Gefahrenstufe, Violett) am 07.08.2018 (Unwetterzentrale.de)

Aufgrund der aufgezeigten Problematik ist es wichtig, diese Gefährdung aus durch Unwetter in der Region Reutlingen bei stadtplanerischen Prozessen zu berücksichtigen. Durch den voranschreitenden Klimawandel werden Starkregenereignisse stärker ausfallen, sowie häufiger auftreten.⁷¹

5. Auswirkungen des Klimawandels in der Region Reutlingen

Im folgenden Kapitel werden die Auswirkungen des Klimawandels für die Stadt Reutlingen näher beschrieben. Bemessungsgrundlage sind die letzten 10 Jahre. Damit soll ein Trend aufgezeigt werden, inwiefern sich das Klima in den letzten 10 Jahren verändert hat.

⁷¹ Hans Häckel (2016) S. 445

5.1 Temperatur und Entwicklung der Sommertage

Bei der Berechnung des Temperaturtrends wurden die letzten 10 Jahre betrachtet. Die Berechnung soll aufzeigen, inwieweit sich die Temperatur in den letzten 10 Jahren bereits verändert hat. Datengrundlage hierfür sind die Daten der Wetterstation in Reutlingen Altenburg.⁷² Für jeden Monat wurden die Mittelwerte aus den durchschnittlichen Tagestemperaturen über die Jahre 2008 bis 2018 berechnet.

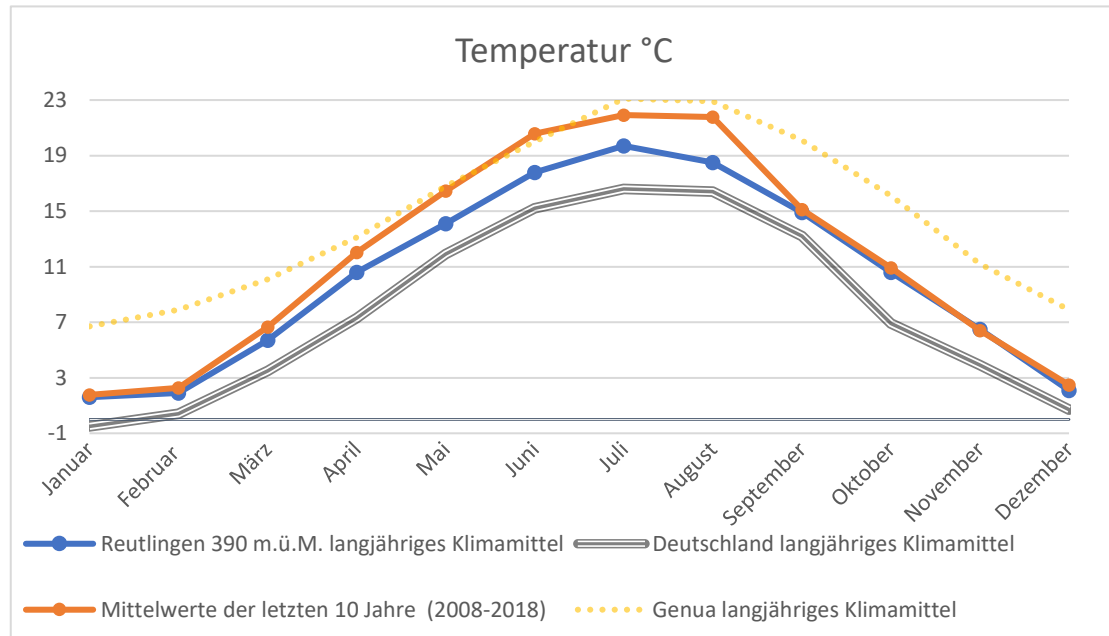


Abbildung 43: Mittelwerte der Monatstemperaturen der letzten 10 Jahre im Vergleich zum langjährigen Mittelwert der Wetterstation Reutlingen (Eigene Darstellung, Datengrundlage Wetterstation Reutlingen-Altenburg)

Bei Betrachtung des Diagramms fällt ein deutlicher Temperaturanstieg der Monatsdurchschnittstemperatur im Vergleich zum langjährigen Klimamittel ins Auge. Besonders das Sommerhalbjahr ist deutlich von einem Temperaturanstieg betroffen. Vergleicht man die monatlichen Mittelwerte der Temperatur der letzten 10 Jahre mit Genua im Mittelmeerraum, stellt man fest, dass bereits fünf Monate annähernd jene mediterranen Temperaturen in Reutlingen aufweisen. Dies entspricht dem allgemeinen, süddeutschen Trend, wonach das Klima der Zukunft mediterraner werden wird.⁷³

Das mediterrane Klima ist trockener. Besonders im Sommer sinken die Niederschlagsmengen, die Bodenfeuchte und auch die allgemeine Wasserverfügbarkeit lässt nach. Das wiederum wirkt sich auf die Außentemperaturen im Sommer aus. Denn zwischen Böden, Vegetation und Atmosphäre

⁷² Vgl. Rtwetter (2007) Datengrundlage Statistik Klima, <http://www.rtwetter.de/neu/index.php>, abgerufen 15.10.18

⁷³ Welt.de (2012) Das Klima im deutschen Südwesten wird mediterran <https://www.welt.de/wissenschaft/article109112562/Das-Klima-im-deutschen-Suedwesten-wird-mediterran.html>, abgerufen 04.12.18

gibt es bedeutende Wechselwirkungen. Bei trocken heißen Wetterlagen können ausgetrocknete Landstriche, die sommerlichen Temperaturspitzen nicht mehr abpuffern. Die Vegetation im Mittelmeerraum ist den Wetterextremen angepasst, während die Vegetation in Deutschland kühlem und niederschlagsreichem Klima angepasst ist.⁷⁴

Hier wird entschieden sein, welche Gehölze zukünftig in einem mediterranen Klima in Deutschland gepflanzt werden. Hier kommt es stark auf eine individuelle Anpassung an die wärmeren Temperaturen in deutschen Städten an.

Daran schließen die Entwicklung der Sommertage und heißen Tage an. Ebenfalls ist hier für die Region Reutlingen ein Anstieg an Sommertagen, sowie an heißen Tagen zu verzeichnen. Besonders auffällig ist der Sommer 2018. Im Sommer 2018 ist die Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen regelrecht explodiert. Ebenfalls wurde bei Frost- und Eistagen seit 2008 ein Rückgang verzeichnet.⁷⁵

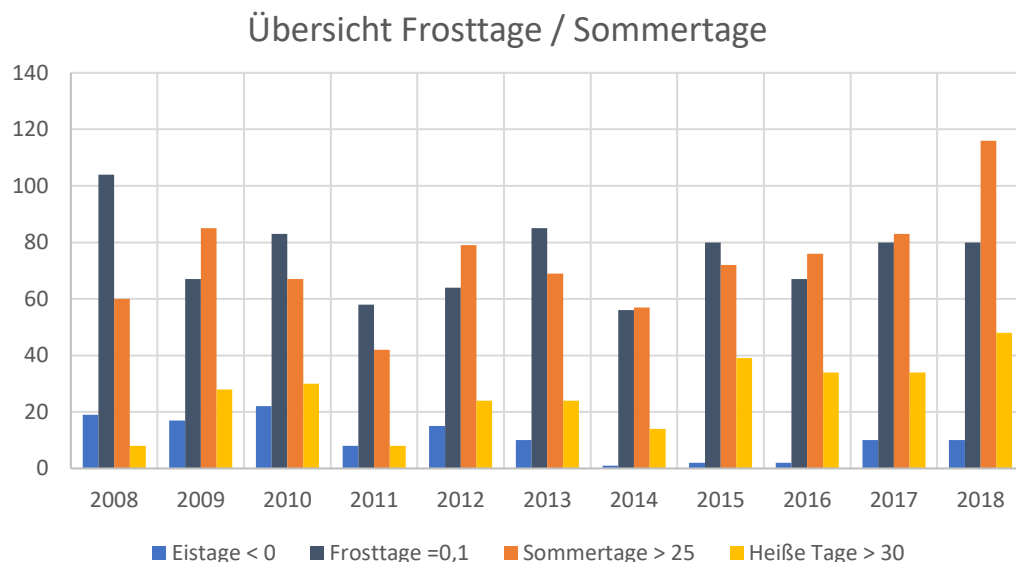


Abbildung 44: Zeitliche Entwicklung der Winter und Sommertemperaturen (Eigene Darstellung, Datengrundlage Wetterstation Reutlingen-Altenburg)

⁷⁴ Vgl. Deutschlandfunk (2006) Mediterranes Wetter in Deutschland https://www.deutschlandfunk.de/mediterranes-wetter-in-deutschland.676.de.html?dram:article_id=23772, abgerufen 15.10.18

⁷⁵ Vgl. Rtwetter (2007) Datengrundlage Statistik Klima, <http://www.rtwetter.de/neu/index.php>, abgerufen 15.10.18

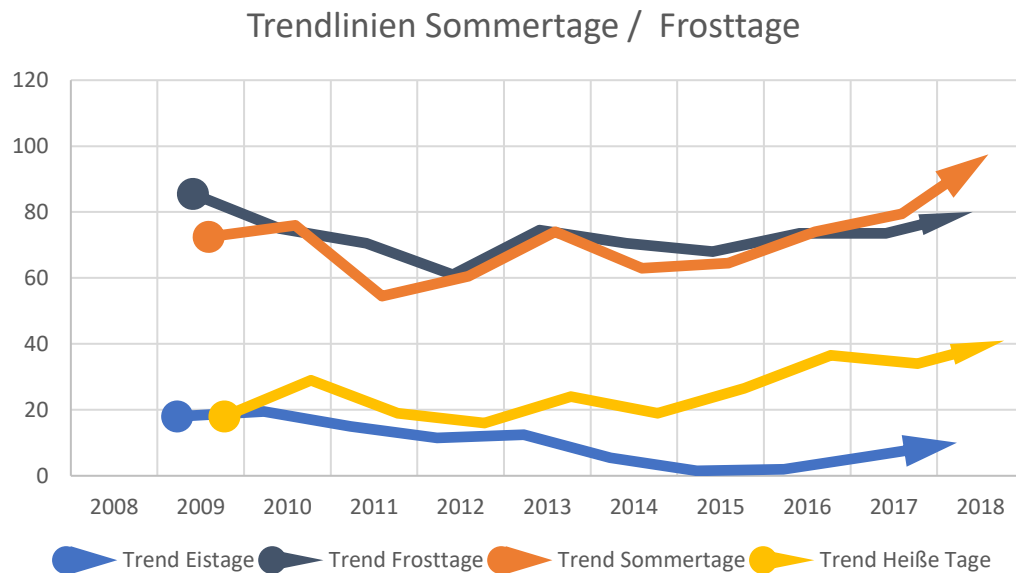


Abbildung 45: Trend der Winter und Sommertemperaturen (Gleitender Durchschnitt) (Eigene Darstellung, Datengrundlage Wetterstation Reutlingen-Altenburg)

5.1.2 Niederschlag

Bei der Ermittlung der Niederschlagsveränderungen wurden ebenfalls die letzten 10 Jahre in Betracht gezogen. Die Ermittlung soll einen Trend vermitteln, inwieweit sich die Niederschläge in den letzten 10 Jahren bereits verändert haben. Datengrundlage hierfür sind die Daten der Wetterstation in Reutlingen-Altenburg für die Berechnungsgrundlage.⁷⁶

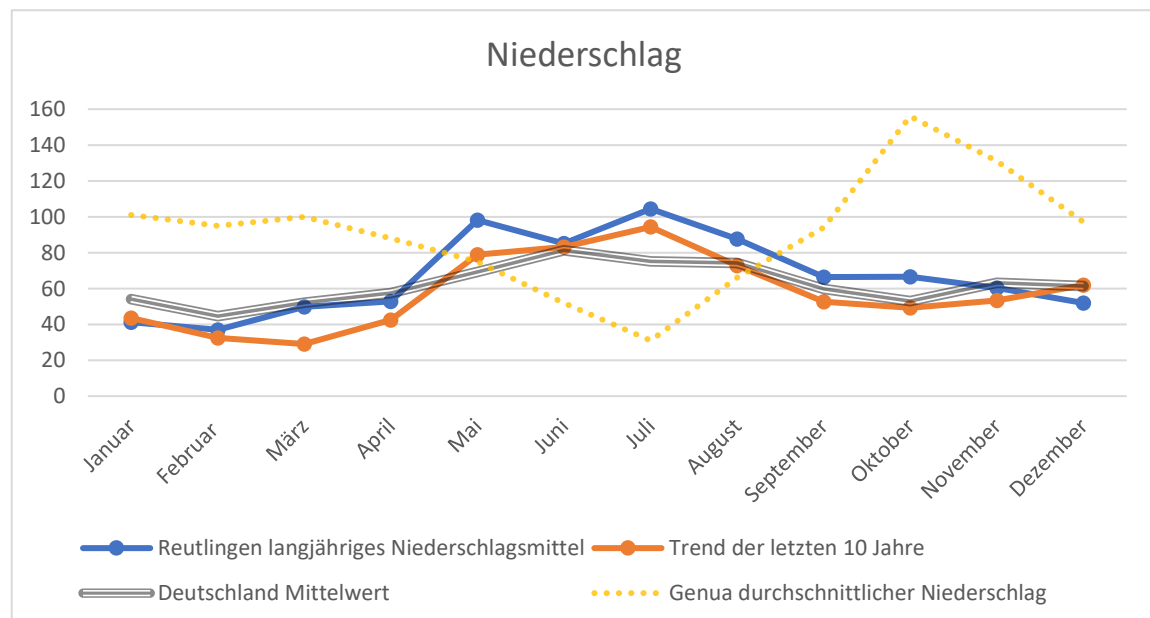


Abbildung 46: Zeitliche Entwicklung der Niederschläge (Eigene Darstellung, Datengrundlage Wetterstation Reutlingen-Altenburg)

⁷⁶ Vgl. Rtwwetter (2007), abgerufen 15.10.18

Bei der Niederschlagsberechnung sticht besonders hervor, dass ein allgemeiner Trend zu weniger Niederschlag in Reutlingen zu erkennen ist. Darüber hinaus ist besonders das Frühjahr, der Frühsommer, der Spätsommer sowie der Herbst von weniger Niederschlag betroffen-, und sinkt teilweise auch unter den deutschen Mittelwert. Im Hochsommer spielt nach wie vor die Gewitterbildung über den Höhen der Schwäbischen Alb, sowie dem Schwarzwald eine entscheidende Rolle für die Region Reutlingen und wirkt dem Rückgang an Niederschlag entgegen.

Des Weiteren steigt durch höhere Temperaturen automatisch auch die Gefahr von schweren Gewittern. Warme feuchte Luft liefert die Energie für Gewitter da wärmere Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen. Je feuchter und wärmer die Luft ist, desto mehr Energie steht einem Gewitter zur Verfügung.⁷⁷

5.1.3 Extremwetterereignisse (Hitzewellen, Starkniederschläge, Hochwasser) in Reutlingen

Wie in den Kapiteln 5.1 und 5.1.2 beschrieben, verändert sich das Klima in der Region Reutlingen bereits deutlich. Einige Extremwetterereignisse haben in der Region Reutlingen bereits zu Schäden in Milliardenhöhe geführt. Vor allem der Hagelsturm von Reutlingen Ende Juli 2013 sorgte mit einer Schadenssumme von insgesamt 3,6 Milliarden Euro für den größten Schaden durch eine Hagelkatastrophe in Deutschland.⁷⁸

Die Stadt Reutlingen ist darüber hinaus zunehmend von massiven Hochwasserlagen betroffen. Sowohl die Echaz im Stadtgebiet von Reutlingen, als auch der Neckar im nördlichen Gemarkungsgebiet der Stadt sorgen in den letzten Jahren immer wieder für Hochwasserereignisse.

Der Pegel der Reutlinger Echaz erreichte am 10.08.2002 mit 2.22m, am 01.06.2013 mit 2.29 m und am 24.06.2016 mit 2.30m die höchsten gemessenen Wasserstände und sorgte in allen Jahren für ein HQ 100 Hochwasserereignis.⁷⁹ Der mittlere Pegelstand der Echaz beträgt 0,46m.⁸⁰ Alle HQ 100 Hochwassermarken sind demnach in den vergangenen Jahren gemessen worden.

⁷⁷ Warum ziehen schon wieder so heftige Gewitter über Deutschland? Interview mit Andreas Friedrichs (DWD) (2018) <https://www.welt.de/vermischtes/article176806147/Starkregen-und-Gewitter-sind-heute-heftiger-als-frueher-DWD-Meteorologe.html>, abgerufen 16.10.18

⁷⁸ SWR Fernsehen (2015) Der Hagelsturm von Reutlingen <https://www.swr.de/geschichte/hagelsturm-in-reutlingen-2013/-/id=100754/did=16317570/nid=100754/1t7fs49/index.html>, abgerufen 16.10.18

⁷⁹ Hochwasser Risikomanagement BaWü, Standort Echaz (Wannweil) <https://ripsdienste.lubw.baden-wuerttemberg.de/rips/ripsservices/apps/hwrm/Abfrage.aspx?coord=3510749;5376139>, abgerufen 21.10.18

⁸⁰ Hochwasserzentrale Baden Württemberg (2018) Pegel Wannweil / Echaz https://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/cgi/peg_info.pl?id=00092&m=W, abgerufen 17.10.18

Bei extremen Hochwasserereignissen ist im Stadtgebiet besonders betroffen, der Bereich um die Reutlinger Stadthalle / Bürgerpark. Im weiteren Verlauf auch der Stadtteil Betzingen im Bereich der Firma Bosch sowie des Dorfkerns. Besonders im Jahr 2013 waren die Schäden entlang der Echaz massiv.⁸¹

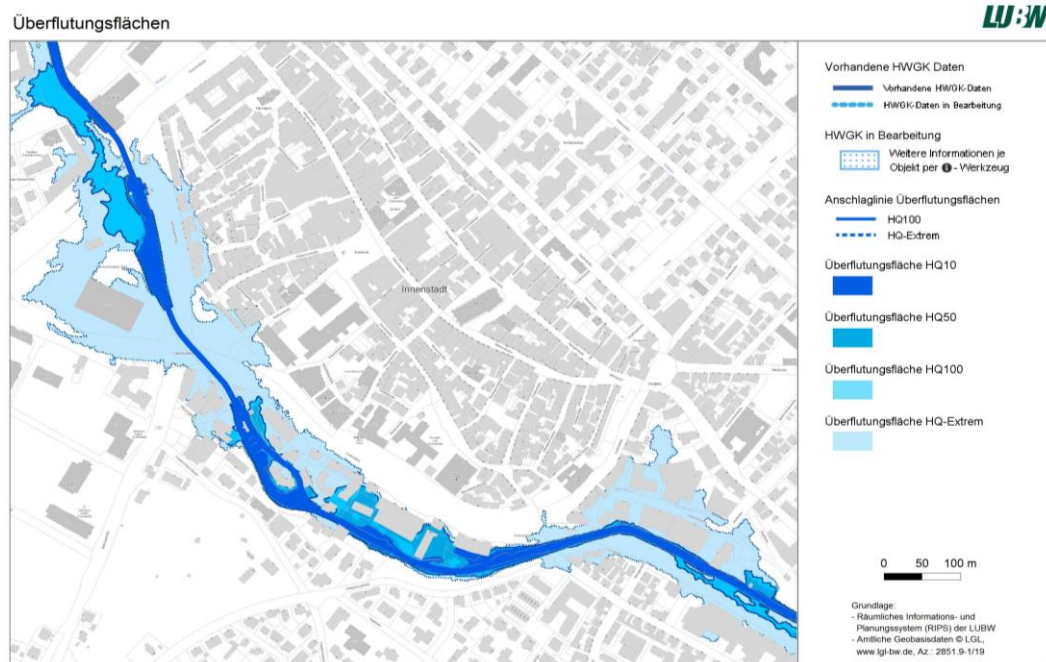


Abbildung 47: Überflutungsflächen der Echaz im Stadtkern (LUBW)

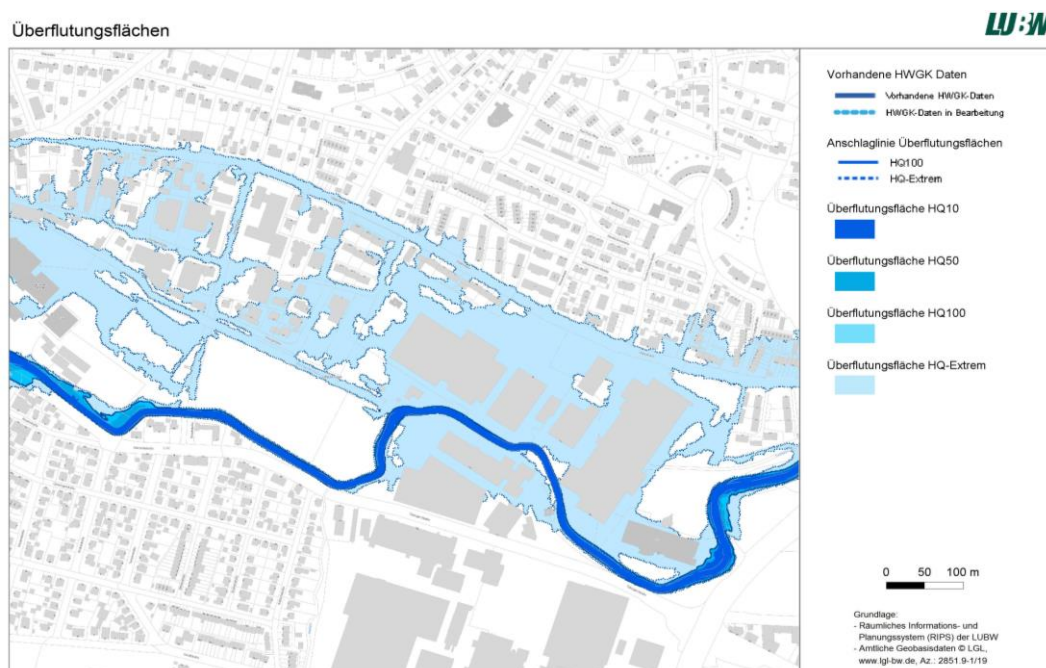


Abbildung 48: Überflutungsflächen der Echaz bei der Firma Bosch am Ortsrand des Stadtteils Betzingen (LUBW)

⁸¹ Südwestpresse (2013) Hochwasser: Bis an die Leistungsgrenze <https://www.swp.de/suedwesten/staedte/reutlingen/hochwasser-bis-an-die-leistungsgrenze-19145245.html>, abgerufen 17.10.18

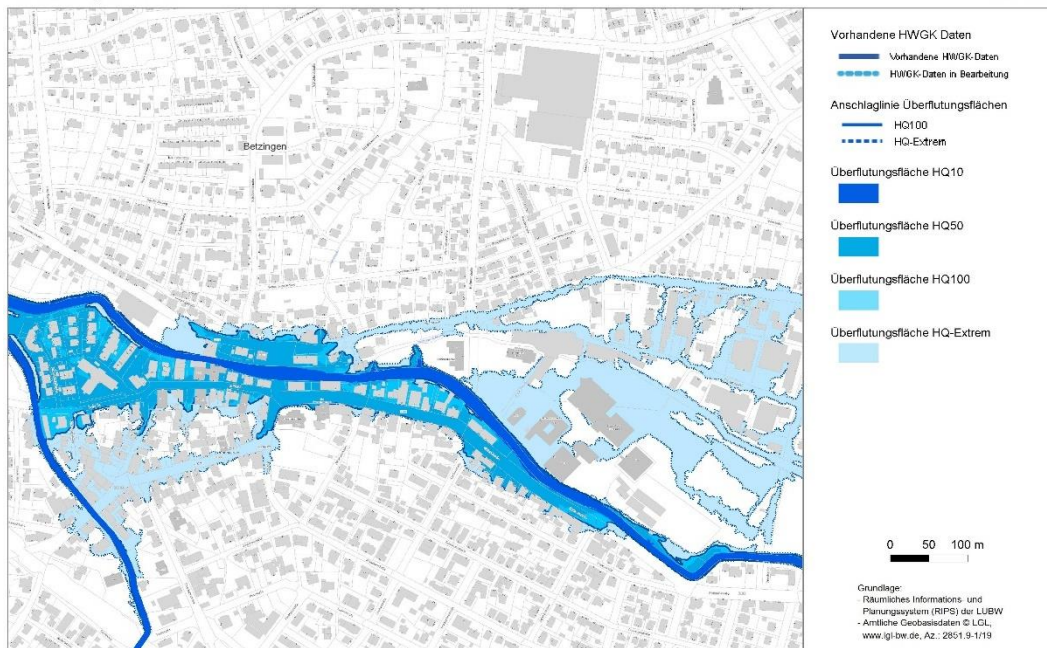


Abbildung 49: Überflutungsflächen der Echaz im Ortskern von Betzingen (LUBW)

Im Juni 2018 kam es durch eine stationäre Gewitterzelle, die sich über dem Albtrauf gebildet hat, zu einem plötzlichen zeitlich eng begrenzten Hochwasserereignis an der Echaz. Kleinere Flüsse und Bäche reagieren bei einem Starkregenereignis sehr plötzlich und können binnen Minuten zu reißenden Sturzfluten anschwellen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist der Ort Braunsbach, im Nordosten von Baden-Württemberg. Im Mai 2016 stürzten Aufgrund einer stationären Gewitterzelle binnen weniger Minuten gewaltige Wassermassen durch den Ort und richteten immensen Schaden an.⁸²

Auch bei der Gewitterzelle im Juni 2018 schwoll die Echaz durch das Gewitter binnen weniger Minuten an, und sorgte plötzlich in der Kernstadt und im Stadtteil Betzingen für Probleme. In diesem Fall reichten die Regenmengen jedoch nicht, um Schlimmeres auszulösen. Dennoch sollte aufgrund, der topografischen Lage der Stadt bei möglichen präventiven Maßnahmen der Stadtverwaltung gegenüber Hochwasserereignissen auch ein solch massives Ereignis wie in Braunsbach mit in Betracht gezogen werden.⁸³

Der Pegel der Echaz erreichte während des kurzen Unwetters bereits ein HQ 50 Hochwasserereignis.

⁸² Hydologie und Wasserbewirtschaftung (2017) 61. Jahrgang, Heft 3 2017 Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 – Entstehung, Ablauf und Schäden eines „Jahrhundertereignisses“. Teil 1: Meteorologische und hydrologische Analyse S. 150 ff. abgerufen, 18.10.18

⁸³ Schwäbisches Tagblatt (2018) Schwere Gewitter am Donnerstag trafen die Alb heftig Unwetter: Feuerwehr muss im Kreis Reutlingen über 50 Mal ausrücken, <https://www.tagblatt.de/Nachrichten/Unwetter-Feuerwehr-muss-im-Kreis-Reutlingen-ueber-50-Mal-aus-ruecken-375470.html> abgerufen 18.10.18



Abbildung 50 links Abbildung 51 rechts: Gewitterbildung über dem Nordrand der Schwäbischen Alb am 07.06.18 Links Niederschlagszustand 17:00 Uhr MESZ, Rechts Niederschlagszustand 17:30 Uhr MESZ (Wetter-Online)



Abbildung 52: Wasserstand der Echaz nach dem Gewitter am 07.06.18 um 17:45 MESZ

Am Neckar im nördlichen Stadtgebiet ist 2013 ebenfalls der Höchststand des Pegels mit 5.91 m erreicht worden. Der mittlere Pegel liegt bei 1.41 m. Im Gegensatz zur Echaz sind weitere Hochwassermarken nicht in den letzten Jahren entstanden, sondern in den 1990er Jahren.⁸⁴ Des Weiteren ist die Überschwemmungsgefahr bei Hochwasser in den nördlichen, am Neckar liegenden Stadtteilen zwar immens, dennoch finden die Überschwemmungen größtenteils auf unbewohnten Gebieten statt. Selbst bei

⁸⁴ Hochwasserzentrale Baden-Württemberg (2008) Pegel Neckar / Kirchentelensfurt (2018) http://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/cgi/peg_info.pl?id=0086, abgerufen 18.10.18

HQ extrem Ereignissen betrifft es die nördlichen Stadtteile am Neckar (Alt-
enburg, Oferdingen und Mittelstadt) nur minimal.

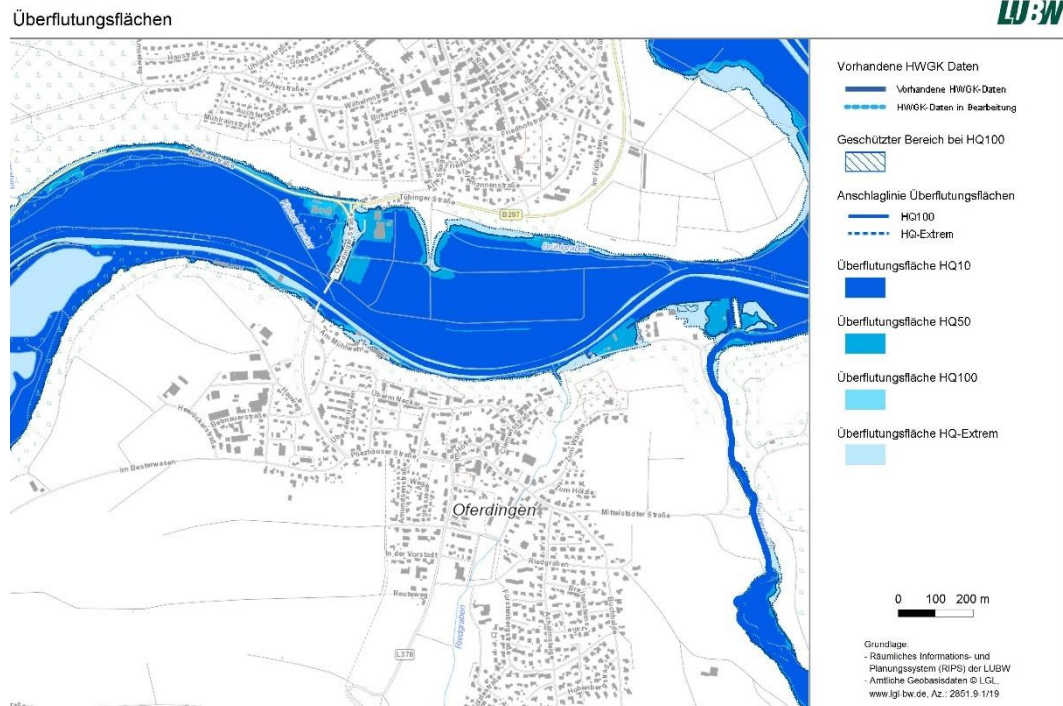


Abbildung 53: Überflutungsflächen des Neckars bei Oferdingen (LUBW)

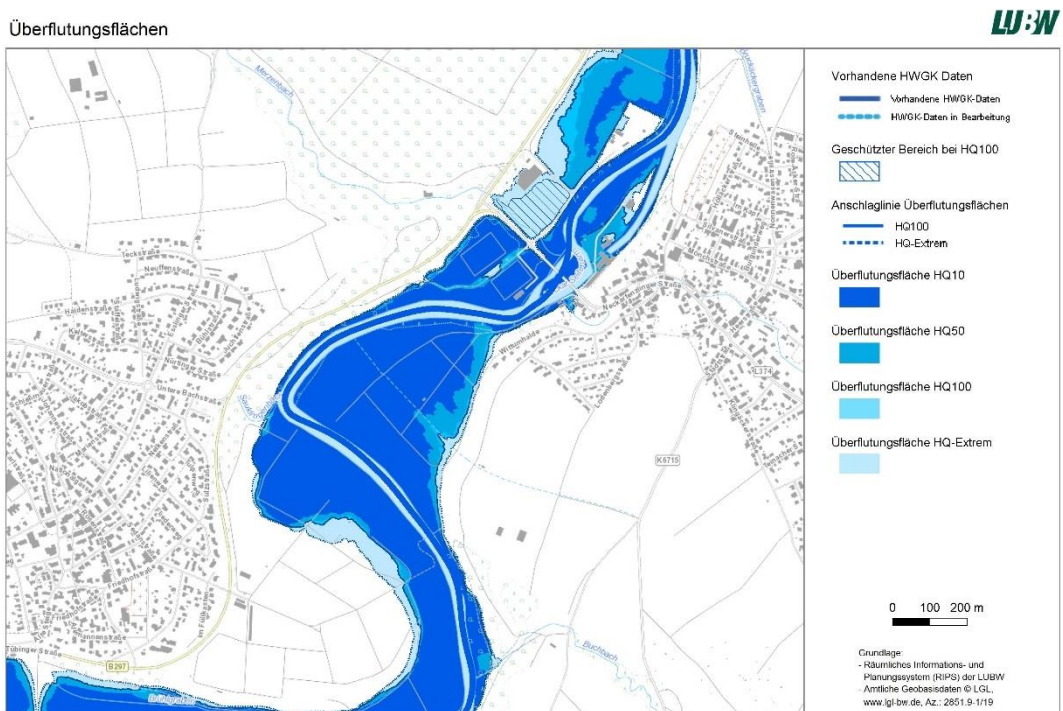


Abbildung 54: Überflutungsflächen des Neckars zwischen Oferdingen und Mittelstadt
(LUBW)

Wie eingangs erwähnt, kommt es im Landkreis Reutlingen zu schwerem Unwetter teils auch mit heftigen Hagelereignissen. Die Frage ist, weshalb kommt es so häufig zu Unwettern? Ist der Hagelsturm von Reutlingen im Jahr 2013 eine Ausnahme? Um diese Fragen zu klären, muss zunächst erwähnt werden, dass es in der Region Reutlingen pro Sommer zu circa 15-20 Starkregenereignissen kommt. Dies ist auf die unter 4.2.6 beschriebene Gewitterbildung über den Höhen von Schwarzwald und Schwäbischer Alb zurückzuführen.

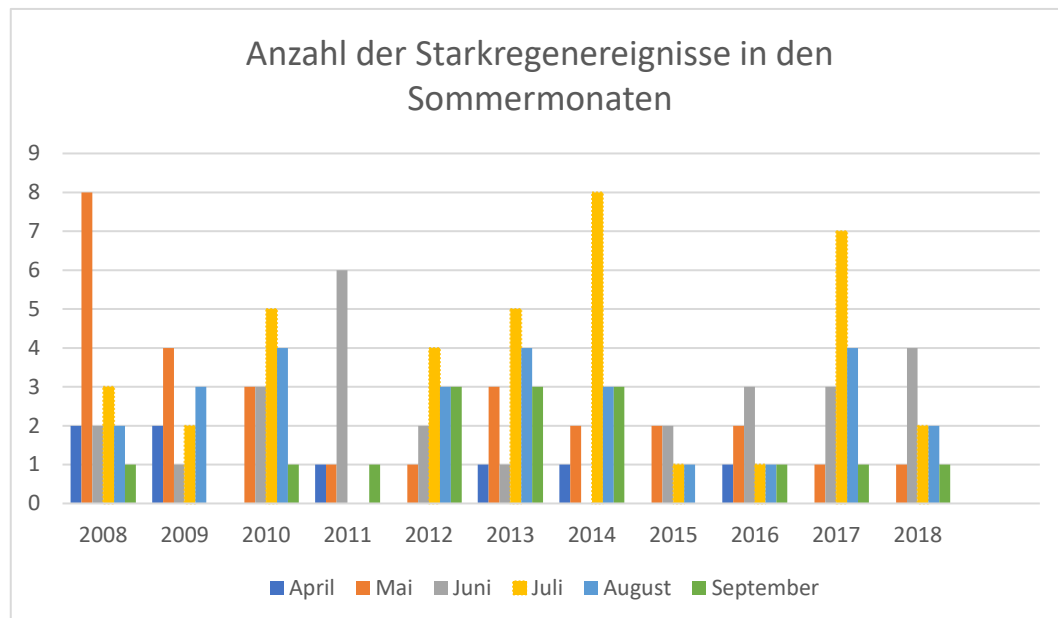


Abbildung 55: Anzahl der Tage mit Starkregenereignissen in den Sommermonaten (<10 l/m² in 6h) der Wetterstation Reutlingen-Altenburg (Eigene Darstellung, Datengrundlage Wetterstation Reutlingen-Altenburg)

Des Weiteren ist nachgewiesen, dass es südlich von Stuttgart (Landkreis Reutlingen) zu den meisten Hagelunwettern in der gesamten Bundesrepublik kommt.⁸⁵ Dieser hohe Wert lässt auf eine verstärkte Gewitterbildung in der Region zwischen Villingen am östlichen Rand des Schwarzwalds und der mittleren Schwäbischen Alb schließen. Da der Höhenzug der Schwäbischen Alb sich von Südwest nach Nordost erstreckt, liegt die Albkante bei Südwestwind parallel zur Strömung. Stromaufwärts liegt der Schwarzwald, der im Süden Höhenlagen von fast 1500 m über Meereshöhe erreicht. Bei entsprechender südwestlicher Wetterlage bildeten sich dort Gewitterzellen, die sich im Anschluss im Aufwindbereich der Schwäbischen Alb verstärken, und zu massiven Unwettern heranwachsen können.⁸⁶ Durch die Lage im Zugbereich der Gewitterstürme ist für die Stadt Reutlingen bei südwestlicher Strömung und bei entsprechender schwülwarmer, energiereicher Strömung auch weiterhin mit Immensen Unwettern zu rechnen. Somit muss festgehalten werden, dass der Hagelsturm von Reutlingen im Jahr 2013

⁸⁵ Vgl. Marc Puskeiler (2013) Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland S.130f. abgerufen 19.10.18

⁸⁶ Vgl. Marc Puskeiler (2013) S. 166 ff.

keine Ausnahme darstellt und es sehr wahrscheinlich auch weiterhin zu solch massiven Unwettern in den Sommermonaten kommen wird.

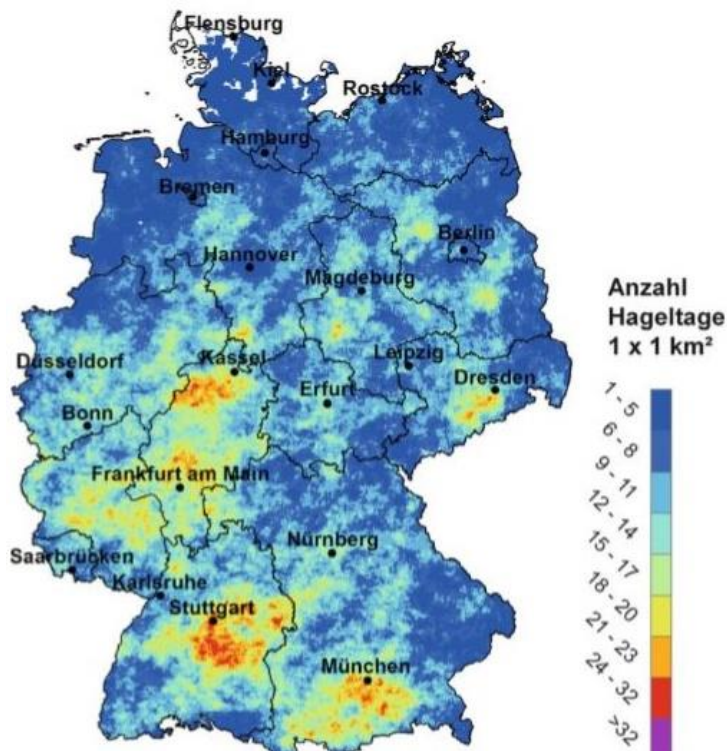


Abbildung 56: Anzahl der Hageltage zwischen 2005-2011 (Marc Puskeiler 2013)

Auch langanhaltende Trockenperioden kommen in der Region Reutlingen vor. Besonders die Niederschlagsmenge ist in den letzten 10 Jahren zwischen Februar und Mai deutlich zurückgegangen. Darüber hinaus nimmt auch die Dauer von Hitzewellen deutlich zu. Im Sommer 2018 wurde wochenlang vor extremen Temperaturen durch Hitze gewarnt.

Reutlingen (72770)

Wetterhinweis wegen Hitze

gültig von: **Montag, 6. August 2018, 11:00 Uhr**
 gültig bis: **Donnerstag, 9. August 2018, 21:00 Uhr**
 gültig für: **Höhen bis 500 m**

starke Hitzebelastung: Mo. und Di. 30 bis 32, Mi. 30 bis 33, Do. 28 bis 30 Grad,

Dieser Hinweis wurde am Sonntag, 5. August 2018, 12:46 Uhr zuletzt aktualisiert.

Abbildung 57: Warnung für einer Hitzeperiode Anfang August 2018 (unwetterzentrale.de)

Auch die Pflanzenwelt hatte unter den Extrembedingungen stark zu kämpfen, etliche Pflanzen sind in Folge der Temperaturen vertrocknet, wie in den folgenden Grafiken veranschaulicht wird.



Abbildung 58 links und Abbildung 59 rechts: Auswirkungen auf die Vegetation in der Region Reutlingen während der Hitzewelle Anfang August 2018 (Eigenes Foto)

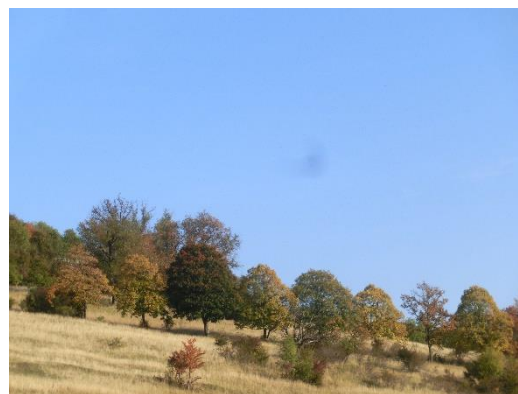


Abbildung 60 links und Abbildung 61 rechts: Links, Auswirkungen der Hitzeperiode 2018 auf den staubtrockenen Feldern Rechts, Auswirkungen im Oktober 2018 (Eigenes Foto)

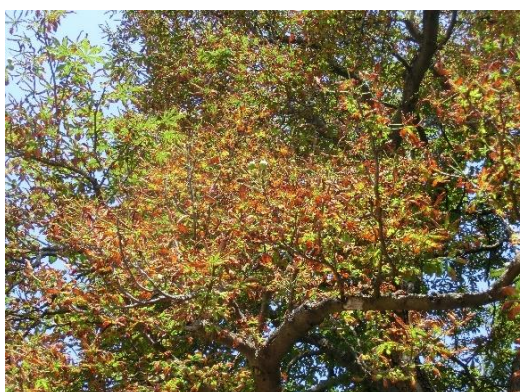


*Abbildung 62 und 63: Auswirkungen des Hitzesommers 2018 auf die Stadtbäume
Aufnahmedatum: 06.08.2018 (Eigene Quelle)*

Abschließend ist festzuhalten, dass sich die Region Reutlingen mitten im voranschreitenden Klimawandel befindet, und sich bereits einige Auswirkungen deutlich bemerkbar machen.

6. Folgen und Risiken für die Stadtplanung

In dem vorangegangenen Kapiteln wurde dargestellt, inwiefern sich der Klimawandel in der Region Reutlingen bemerkbar macht. Die entscheidende Frage für die Stadtplanung ist, inwieweit die Veränderungen ein Potential oder Risiko für eine nachhaltige Stadtentwicklung darstellen. Zunächst ist zu definieren, dass, das Klima räumlich sehr unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Keine zwei Regionen in Deutschland haben genau dasselbe Klima. Jede Stadt hat eine individuelle, klimatische Situation, die auch mikroklimatisch stark unterschiedlich ausfallen kann. Es ist wichtig diese Unterschiede zu erkennen und für jede Region ein spezifisches Konzept zu entwickeln.

6.1 Sind Städte in Süddeutschland klimatisch unabhängig oder sind Veränderungen in der Stadtplanung notwendig?

Wie in den vergangenen Kapiteln erläutert, ist der Klimawandel in Süddeutschland schon längst eingezogen. Besonders problematisch sind für Städte im Südwesten der Bundesrepublik langanhaltende Hitzewellen, die durch den in Kapitel 3 beschriebenen Wärmeinseleffekt in Städten noch verstärkt werden. Städte haben die Aufgabe für eine lebenswerte Umgebung für Ihre Bewohner zu sorgen. Bei einer immer größeren Zahl von Sommer und Hitzetagen in den Sommermonaten sind Städte gefordert, Maßnahmen zu ergreifen um weiterhin lebenswert zu bleiben.⁸⁷

Des Weiteren ist in der Bauleitplanung das Schutzgut Klima im Umweltbericht in Bebauungsplänen ein fester Bestandteil der Begründung. Somit müssen für alle neuen Bebauungen im Regelverfahren in einem Umweltbericht die klimatischen Auswirkungen mitberücksichtigt werden.

Die Folgen des Klimawandels betreffen praktisch alle Lebensbereiche, insbesondere betroffen ist jedoch die Ressource Wasser. Wasser ist für die menschliche Zivilisation ein unverzichtbares Gut und wird durch die zunehmenden Dürren in Deutschland zu einem zunehmend knappen Gut. Zusätzlich werden Niederschläge zunehmend in Form von Starkniederschlägen fallen und Gefahren für die menschliche Gesundheit mit sich bringen. Zusätzlich ist durch die Zunahme der thermischen Belastungen auf die menschliche Gesundheit mit ernstzunehmenden Folgen zu rechnen.⁸⁸

Konkret sind die klimatischen Besonderheiten einer Großstadt im Vergleich zum unbebauten Umland:

⁸⁷ Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung – Der GERICS- Stadtbaukasten. – Report 31, Climate Service Center Germany, Hamburg S.7 f.

⁸⁸ Ebda.

- Eine höhere Lufttemperatur gegenüber dem unbebauten Umland im Jahresmittel um etwa 2 °C, in Einzelfällen um bis zu 15°C („städtische Wärmeinsel“)
- Im Winter sind die Temperaturminima um bis zu 10°C erhöht. Die Dauer der Frostperiode ist um bis zu 30% reduziert; dagegen dehnt sich die Vegetationsperiode um bis zu 10 Tage früher aus
- Starkregen- und Hagelereignisse treten in der Großstadt gehäuft auf, Schneefall und Dauer der Schneebedeckung sind dagegen reduziert.
- Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit ist in der Großstadt um bis zu 20% reduziert; außerdem sind die Windrichtungen sehr unterschiedlich und liegen an der Bebauung.⁸⁹

Durch die dichte Bebauung einer Großstadt sind die klimatischen Bedingungen ohnehin schon verändert diese Merkmale kommen durch den Klimawandel in Städten jedoch viel deutlicher zum Ausdruck. Deshalb muss mit Nachdruck an regionalen Anpassungsstrategien gearbeitet werden um auf zunehmende, klimatische Extrembedingungen besser reagieren zu können.

7. Maßnahmenkonzept zur Klimaanpassung in Reutlingen

Im folgenden Kapitel werden mögliche Anpassungsstrategien entwickelt mit praktischer Anwendung in der Stadt Reutlingen. Entscheidende regionale Besonderheiten in der Region Reutlingen wurden in den vorangegangenen Kapiteln beleuchtet. Es ist wichtig die regionalen Unterschiede im Maßnahmenkonzept zur Klimaanpassung zu berücksichtigen, um aus wissenschaftlicher Sicht konkrete Empfehlungen aussprechen zu können.

Die wichtigsten Bausteine der Anpassungsstrategien sind:



Abbildung 64: Piktogramme einer möglichen Anpassungsstrategie
(Eigene Darstellung)

⁸⁹ Vgl. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2009a, S. 14ff

7.1 Stadtentwicklung und Bauleitplanung

Aufgrund der Temperaturzunahme durch den beschriebenen Klimawandel in den vorangegangenen Kapiteln ist die Berücksichtigung regionaler Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten sowie deren Zugrichtung für die Stadtentwicklung elementar. Es muss analysiert werden ob bestehende Kaltluftentstehungsgebiete im Einzugsgebiet der Täler und Hangeinschnitte so bebaut sind, dass wichtige Zuströme der natürlichen Frischluftzufuhr für die Innenstadt bereits verlorenen gegangen sind.⁹⁰ Im Regionalplan des Oberzentrums Tübingen-Reutlingen ist dazu erwähnt, dass für das Siedungsklima relevante, klimatisch wertvolle Bereiche freizuhalten sind. Besonders gilt das bei lokalen Luftaustauschsystemen, für Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebieten.⁹¹

Zunächst sollte daher eine großflächige Analyse von Kaltluftströmen und entstehungsgebieten in Auftrag geben werden um großflächig Kaltluftströme im Stadtgebiet besser steuern zu können. Dabei ist auch darauf zu achten, ob bereits verbaute Zuströme verbessert werden können.

Im weiteren Verlauf können Bebauungspläne zur Verbesserung der Frischluftzufuhr beschlossen werden. Ein Beispiel hierfür ist der Bebauungsplan „Grüne Höfe“ in Dettingen. Hier wurden explizit Festsetzungen getroffen um die Sicherung innerörtliche Freiflächen um gesunde Wohnverhältnisse dauerhaft zu erhalten und zu festigen.⁹²

Des Weiteren sollte verbindlich mittels eines fünf Punkte Katalogs in allen neuen Bebauungsplänen geprüft werden welche Aspekte berücksichtigt werden können, um auf die voranschreitenden Klimaveränderung zu reagieren.

Folgende Punkte sollten Bestandteil des Kataloges sein:

1. Festsetzung über Freiflächen zur thermischen Entlastung von kühlenden Elementen (öffentlichen und privaten Grünflächen, Wasserflächen zusammenhängende Waldgebiete im urbanen Gebiet)
2. Festsetzung einer Grundflächenzahl, mit dem Ziel, eine Mindestdurchgrünung der privaten Bauflächen sicherzustellen. Des Weiteren sollte vorgeschrieben werden, auf privaten Bauflächen, wenn möglich großkronige Bäume zu pflanzen und für eine sommerliche Verschattung und Kühlung der bebauten Bauflächen zu erhalten.

⁹⁰ Stadt Wetzlar (o.J.) Frischluftzufuhr in der Stadt https://www.wetzlar.de/leben-in-wetzlar/umweltnaturschutz/Luft_und_Laerm/frischluftzufuhr-in-der-stadt.php, abgerufen 23.10.15

⁹¹ Regionalplan Neckar Alb (2013) Regionale Freiraumstruktur S.63 ff. https://www.rvna.de/site/Regionalverband+Neckar+Alb/get/pa-rams_E934285479/11011430/RVNA_Rnk2013_Ost_web.pdf, abgerufen 23.10.18

⁹² Stadt Dettingen Erms (2018) Bebauungsplan „Netzwerk Grüne Lungen“ https://service.dettingen-erms.de/bi/vo0050.php?_kvonr=343, abgerufen 23.10.18

3. Festsetzungen zu den überbaubaren und den nicht überbaubaren Grundstücksflächen über Baugrenzen oder Baulinien, zur Stellung von baulichen Anlagen oder zur Bauweise mit dem Ziel bei relevanten Kaltluftströme durch das Gebiet einen besseren Abfluss zu gewähren.
4. Festsetzungen zur Stellung, zum Abstand und zur maximalen Höhe von baulichen Anlagen mit dem Ziel einer bewussten Steuerung der sommerlichen Aufheizung) sowie zu Erzeugung sinnvoller Verschattungseffekten in den angrenzenden Freiräumen. Simulationen von Sonnenständen sind mit zu berücksichtigen um einen sinnvollen Mix von Verschattung im Sommer und Lichteinfall im Winter zu berücksichtigen. (Kontrolle der Sonneneinstrahlung)
5. Festsetzung über Gehölzpflanzungen die stadtklimatisch Geeignet sind, sowie Dach- oder Fassadenbegrünungen.⁹³

Ein weiteres Instrument zur Klimaanpassung ist, ein städtebaulicher Rahmenplan „Klimaanpassung“ in Auftrag zu geben. Ein Beispiel hierfür ist die Stadt Karlsruhe. Die Stadt Karlsruhe hat am 24. März 2015 den Rahmenplan als "-sonstige städtebauliche Planung" nach § 1 Abs. 6, Nr. 11 BauGB beschlossen. Es ist damit künftig bei der Abwägung im Rahmen der Bauleitplanung mit zu berücksichtigen. Ziel der Klimaanpassung ist es, bei zukünftigen Planungen in Karlsruhe auf ein Planwerk zugreifen zu können um detaillierte Aussagen über die klimatischen Bedingungen vor Ort treffen zu können.⁹⁴

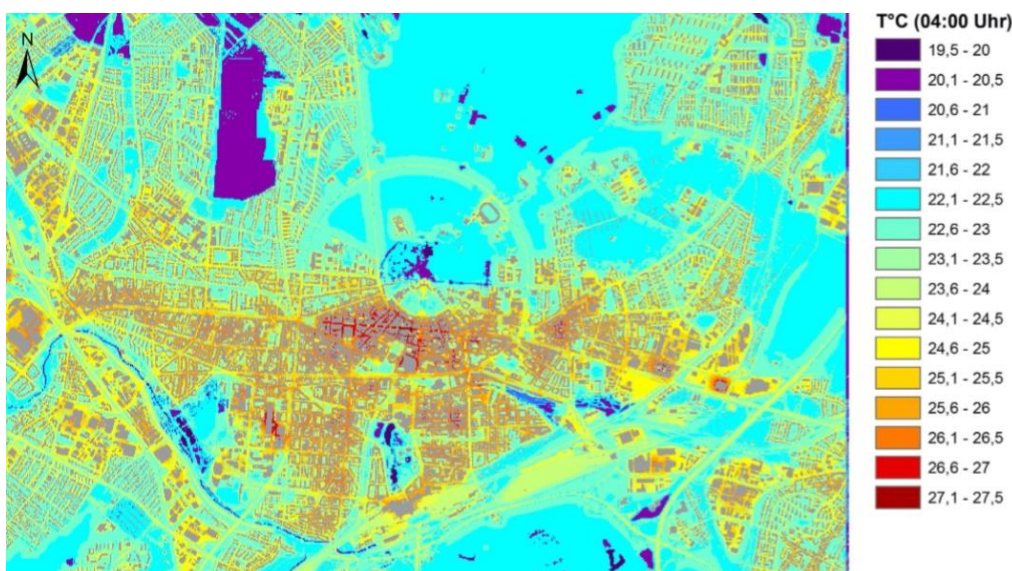


Abbildung 65: Temperaturfeld in Karlsruhe um 04:00 Uhr morgens in 2m Höhe während einer hochsommerlichen Wetterlage als Grundlage für den Rahmenplan Klimaanpassung.

⁹³ Vgl. Stadt Nürnberg, Umweltamt (2012) Handbuch Klimaanpassung, Bausteine für die Nürnberger Klimaanpassung S.52 f.

⁹⁴ Vgl. Stadt Karlsruhe (o.J) Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung <https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung.de>, abgerufen 23.10.18

Eine großflächige Analyse einzelner Wetterlagen und deren Temperaturauswirkungen für die Siedlungsstrukturen in Reutlingen wie im Rahmenplan Klimaanpassung der Stadt Karlsruhe umgesetzt, könnte der Stadt Reutlingen ebenfalls helfen, ein großflächiges Konzept zur Klimaanpassung im Stadtgebiet von Reutlingen zu realisieren. Wichtig ist hierbei über die Stadtgrenzen hinaus zu denken und mit angrenzenden Gemeinden aufgrund des zusammenhängenden Siedlungsgebiets eine gemeinsame Rahmenplanung zur Klimaanpassung auf den Weg zu bringen. Hier gilt es rechtzeitig zu handeln und frühzeitig mit Maßnahmen zu beginnen, um nicht vom Klimawandel überrannt zu werden.

7.2 Grünflächen und Freiraumgestaltung

Wie in Kapitel 5 beschrieben, ändert sich das Klima in der Region stark. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass besonders der Temperaturanstieg auf Mittelmeerniveau in den letzten 10 Jahren von April bis September bereits vollzogen ist. Diese starke Veränderung hat auch erheblichen Einfluss auf die Grünflächen und Freiraumgestaltung der Stadt Reutlingen. Besonders wichtig ist hierbei die Kontrolle der Sonneneinstrahlung im dicht bebauten Innenstadtbereich.

Auf Grünflächen und Plätzen spenden Gehölze der Bevölkerung Schatten und erzeugen Verdunstungskälte. In größeren Grünanlagen ist das Anlegen von Teichen oder Wasserbecken elementar. Durch die Verdunstung von Wasser wird Wärmeenergie verbraucht und die umgebende Luft abgekühlt. Dies sollte bei allen neu angelegten Grünflächen ein fester Bestandteil der Planung sein. Eine hohe Anzahl kleinerer qualitativer Grünflächen trägt in der Summe dazu bei den Wärmeinseleffekt in der Innenstadt zu verringern.⁹⁵

Anpflanzungen von Bäumen und Sträuchern entlang von Straßen führen besonders innerhalb bebauter Gebiete zu einer Reduzierung der Aufheizung und dienen damit dem thermischen Ausgleich in überwärmten Stadtstrukturen. Darüber hinaus verringern großkronige Bäume entlang von großem versiegeltem Plätzen und Straßen durch die Verschattung die Temperaturen.⁹⁶

Stadtbäume sorgen einerseits für eine bessere Stadtluft durch Photosynthese, zum anderen sorgen Stadtbäume im Sommer für eine kühlere Umgebungstemperatur und sind somit essenziell als Maßnahme gegen die zunehmende Erwärmung der Städte. Zum einen sorgen Stadtbäume für bis zu 10 Grad kühleren Oberflächentemperaturen, zum anderen sorgen Stadtbäume für eine 2-3 Grad kühlere Umgebungstemperatur.⁹⁷

⁹⁵ Stadt Nürnberg Umweltamt (2012) S.54 ff.

⁹⁶ Ebda.

⁹⁷ Wiener Umwelt Anwaltschaft (o.J.) Naturschutz und Stadtökologie <http://wua-wien.at/naturschutz-und-stadtoekologie/weiterfuehrende-informationen-zum-thema17/klima-wiens>, abgerufen 28.10.18

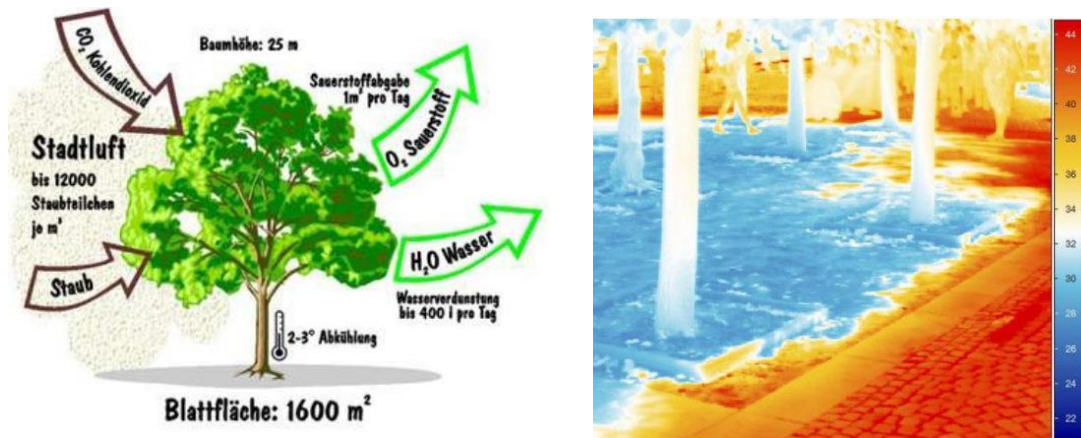


Abbildung 66 und 67: Wirkung von Stadtbäumen auf die Umgebungstemperaturen (Stadtklima Stuttgart)

7.2.1 Lösungsvorschläge für ausgewählte Frei und Grünräume in der Reutlinger Innenstadt

Städtische Grünräume können noch 200 Meter entfernt Auswirkungen auf die städtischen Klimatope mit sich bringen. Durch den voranschreitenden Klimawandel, sind verstärkt Lösungen gefragt, wie Grün- und Freiflächen als grüne Infrastrukturen dazu beitragen können, die Folgen des Klimawandels bei langen Hitzeperioden abzumildern.⁹⁸ Es wäre wünschenswert ein Konzept zu entwickeln für eine bessere Vernetzung von Grünräumen im Reutlinger Stadtgebiet zu entwickeln und entsprechend zu fördern. Konkret gibt es im Innenstadtgebiet von Reutlingen einige Verbesserungsmöglichkeiten bei vorhandenen Grünflächen und Freiraumstrukturen.



⁹⁸ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt, abgerufen 01.11.18

1

Am Reutlinger Marktplatz sind die vorhandenen Kastanien durch die falsche Standortwahl am Marktplatz stark in Mittteleidenschaft gezogen und schaffen es kaum noch, Schatten und Verdunstungskälte zu produzieren. Durch die fehlende Verschattung heizt sich der Asphalt wie in Abbildung 14: (Tagesgang der Temperatur verschiedener Oberflächen an einem Hochsommertag in 50° geografischer Breite) auf über 50 Grad auf. Dieser Effekt wirkt sich ebenfalls negativ auf die noch vorhandenen Baumstrukturen aus. Es wird empfohlen die Bäume auf Hitze und Trockenheit beständige Arten auszutauschen.

2

Im Bürgerpark an der Stadthalle sind zwei Punkte verbesserungswürdig. Zum einen ist die bestehende Baumsubstanz weit hinter den Erwartungen der Planungen zurückgeblieben. Es wurden etliche Planungsfehler begangen.⁹⁹ Zum anderen befinden sich um das Tübinger Tor eine große Freifläche, die im Hochsommer aufgrund fehlender Verschattung aufheizt und nicht zum Verweilen in den Sommermonaten einlädt vgl. (Abbildung 67: Aktuelle Freiraumsituation am Tübinger Tor).

Dies trifft ebenfalls auf die Bereiche neben dem Skaterpark zu. Durch eine dichtere Bepflanzung mit großkronigen Bäumen reduziert sich die Aufheizung in den Sommermonaten und steigert automatisch die Aufenthaltsqualität. Zusätzlich kann durch Einsatz größerer Wasserelemente eine nachhaltige Senkung der sommerlichen Extremtemperaturen gelingen.¹⁰⁰ Auf der beschriebenen Grundlage bietet der neu angelegte Bürgerpark noch einiges an Potential, um langfristig ein Ort der Erholung zu sein.

Im Folgenden wird vorgeschlagen, die Baumreihen in Richtung des Tübinger Tors, sowie des Grünbereiches am Wasserspiel zu verlängern um die angelegten Wiesenflächen von sommerlichen Extremtemperaturen zu entlasten. Des Weiteren wird empfohlen langfristig bei Umsetzung des neuen Stadtbusnetzes den zentralen Omnibusbahnhof zurückzubauen, um den Bürgerpark auch auf der anderen Seite der Echaz fortzusetzen um langfristig eine städtische Grünoase im Herzen der Altstadt zu realisieren. Die Umsetzung und geänderte Linienführung erfolgt bereits Mitte 2019. Die zentrale Busachse wird ab der Umsetzung des neuen Stadtbusnetzes

⁹⁹ <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.die-reutlinger-schnurbaum-misere-die-baeume-die-nicht-wachsen.799aa348-151a-43ff-9b5d-1540ed69c0a1.html>

¹⁰⁰ Wilfried Endlicher (2012) S. 237 ff.

in die Oststadt verlegt und somit fallen die Flächen des heutigen Omnibusbahnhofes aus der heutigen Nutzung.¹⁰¹

2



Abbildung 69: Aktuelle Freiraumsituation am Tübinger Tor (Eigene Quelle)

2



Abbildung 70: Mögliche Zielplanung am Tübinger Tor, um sommerliche Temperaturspitzen abzumildern. (Eigene Darstellung, Bildquelle: Stadtplan Reutlingen)

¹⁰¹ Stadt Reutlingen (o.J.) Das neue Stadtbusnetz <https://www.reutlingen.de/de/Leben-in-Reutlingen/Umwelt-Verkehr/Das-neue-Stadtbusnetz>, abgerufen 24.10.18

2



Abbildung 71: Mögliche Zielplanung im Bürgerpark zwischen Bruderhaus und Skateranlage (Eigene Darstellung, Bildquelle: Stadtplan Reutlingen)

2



Abbildung 72: Mögliche Zielplanung am zentralen Omnibusbahnhof Reutlingen „Erlebnisoase Echaz“ (Eigene Darstellung, Bildquelle: Stadtplan Reutlingen)

Ein Beispiel hierfür ist der Grünzug der „Promenade du Paillon“ in der Innenstadt von Nizza (Südfrankreich). Zwischen den Jahren 2011 und 2013 wurde der Grünzug inmitten der Stadt realisiert. Vor dem Jahr 2011 diente der Bereich ebenfalls als Busbahnhof der Stadt Nizza. Bestandteil der Planungen ist ein 12 Hektar großes, und 1,2 Kilometer langes, blaugrünes, innerstädtisches Band. Bestandteil der Planungen sind Wasserspiele, urbane Plätze und Spielplätze zur Schaffung von innerstädtischen Freiraumqualitäten.¹⁰²

Die landschaftliche und urbane Qualität dieses Parks hat die grüne Freiraumstruktur der Stadt gestärkt, und das Image des Parks hat sich über die Grenzen hinweg zu einer Touristenattraktion entwickelt.¹⁰³



Abbildung 73: Blaugrünes Band der Promenade du Paillon der Stadt Nizza (Landezine)

Abbildungen 74 und 75: Eigene Bildquellen

¹⁰² Mein Frankreich (o.J.) Nizzas Promenade du Paillon <https://meinfrankreich.com/paillon/>, abgerufen 29.11.18

¹⁰³ Landezine (o.J.) The Paillon Promenade <http://www.landezine.com/index.php/2015/06/the-paillon-promenade-by-pena-paysages/>, abgerufen 29.11.18

Ebenfalls ist die zentrale Grünfläche vor dem Reutlinger Hauptbahnhof am Listplatz ein wichtiger Grünraum im urbanen Stadtkern. Im Jahr 1950 wurde die Freifläche im Rahmen des Parkhotels realisiert, und sah als fester Bestandteil des Konzeptes ein großflächiges Wasserspiel vor. Aufgrund fehlender Haushaltsmittel wurde im Jahr 2012 das Wasserspiel zugeschüttet.¹⁰⁴ Stadtklimatisch ist dieser Bereich dem Innenstadt-Klimatop zugeordnet (vgl. Kapitel 4) und sorgt somit für erhebliche Wärmeinseleffekte. In der Umgebungsstruktur des Gebietes sind dicht bebaute und versiegelte Flächen zu erkennen. Deshalb ist, aus stadtklimatischer Sicht, jede Art von kühlenden Elementen wünschenswert.



Abbildung 76: Luftbild des Bereiches um den Listplatz

Es wird zudem angeregt, die Aufenthaltsqualität der Grünfläche durch planerische Maßnahmen zu stärken. Ziel sollte unter anderem sein, durch weitere Sitzelemente und weitere grünplanerischen Festsetzungen einen Ort der Entspannung für die Bevölkerung zu generieren. Durch die Lage zwischen dem Hauptbahnhof, der Bushaltestelle Listplatz/Hauptbahnhof und dem direkten Zugang in die Fußgängerzone ist dieser Grünraum ein wichtiger Bezugspunkt und sollte zwingend in weiteren Planungen dieses Gebietes berücksichtigt werden.

¹⁰⁴ Reutlinger Generalanzeiger (2015) Brunnen am Bahnhof zugeschüttet https://www.gea.de/reutlingen_artikel,-brunnen-am-bahnhof-zugeschuettet-arid,4382705.html, abgerufen 11.11.18

7.2.2 Pflanzen in klimaangepassten Städten

Bäume in der Stadt sind einer Vielzahl von Einflüssen ausgesetzt, die in ihrer natürlichen Umgebung nicht oder nur begrenzt vorkommen. Eine Anpassung an diese Einflüsse ist nur bedingt oder gar nicht möglich. Die Folge einer negativen Entwicklung eines Baumes hat nachteilige Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, aber auch auf die Lebenserwartung der Bäume. Durch die Pflege von falsch gepflanzten Baumarten müssen teilweise hohe Kosten in den städtischen Haushalt mit eingerechnet werden. Deshalb ist es wichtig zu erkennen, welche Baumarten bei den sich bereits abzeichnenden Klimaveränderungen nicht mehr in Städten gepflanzt werden sollten. Zu den bereits abzeichnenden Klimaveränderungen gehören längere Trockenperioden, erhöhte Strahlungsenergie und unregelmäßige Niederschläge (Starkniederschlag).¹⁰⁵

Die folgende Pflanzenliste beinhaltet Bäume, die nicht mehr in Städten gepflanzt werden sollten.

1: Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	Begründung
 https://www.gera.de/sixcms/detail.php?id=84046Stadt , abgerufen 29.10.18	Der Bergahorn ist ein heimischer Laubbaum und kann bis 30m hoch werden. Er wird für Städte als sehr problematisch angesehen, da er zum einen mit Trockenheit schlecht zurechtkommt und zum anderen streusalzempfindlich ist. Darüber hinaus hat er ein Problem mit hohem Versiegelungsgrad. ¹⁰⁶ Der Bergahorn bevorzugt in der Natur feuchte, tiefgründige und nährstoffreiche Böden in kühlen, luftfeuchten und halbschattigen Lagen in Mischwäldern. ¹⁰⁷

¹⁰⁵ Stadt Jena (o.J) Stadt- und Straßenbäume im Klimawandel Stadtbaumkonzept https://www.jena.de/fm/1727/Schriften_zur_Stadtentwicklung_Nr7_11_2016_www_low_res.pdf, S.10 abgerufen, 14.11.18

¹⁰⁶ Landeshauptstadt Düsseldorf (o.J) Broschüre Zukunftsbaumliste Düsseldorf, abgerufen 29.10.18

¹⁰⁷ Baumkunde.de https://www.baumkunde.de/Acer_pseudoplatanus/, abgerufen 29.10.18

2: Rosskastanie (Aesculus hippocastanum)	Begründung:
 hippocastanum/ https://www.baumkunde.de/Aesculus_hippocastanum/, abgerufen 29.10.18	Die Rosskastanie leidet unter starker Versiegelung und Streusalz. Darüber hinaus benötigt die Rosskastanie sehr viel Wasser im Sommer.¹⁰⁸ Des Weiteren befallen Rosskastanien, die durch die heißen Sommer zunehmend geschwächt werden, Schädlinge wie die Miniermotte. Die Schädlinge vermehren sich bei heißem und trockenem Wetter schneller. Wenn die Schädigungen durch die Miniermotte mehrere Jahre auftreten, wird der Baum geschwächt und kann schlimmstenfalls absterben. Besonders die trockenen Sommer sorgen für einen stärkeren Befall mit Schädlingen.¹⁰⁹

3: Birke (Betula pendula)	Begründung:
 https://www.stadt-kassel.de/aktuelles/meldungen/20672/, abgerufen 29.10.18	Birken vertragen zwei Dinge besonders schlecht: Zum einen wochenlange Dürre und Hitze ohne Niederschläge und zum anderen heftige Gewittergüsse, die zu Staunässe im Wurzelbereich führen. Durch den Klimawandel werden solche Extremwetterereignisse weiter zunehmen. Deshalb sollte in urbanen Gebieten auf das Pflanzen von Birken verzichtet werden um hohe Folgekosten zu vermeiden.¹¹⁰

Tabelle 1, 2 und 3: Baumarten die nicht mehr in Städten gepflanzt werden sollten.

¹⁰⁸ Landeshauptstadt Düsseldorf (o.J) Broschüre Zukunftsbaumliste Düsseldorf, abgerufen 29.10.18

¹⁰⁹ N-tv Wissen (2015) Miniermotten mögen die Hitze, <https://www.n-tv.de/wissen/Kastanien-Schaedling-auf-dem-Vormarsch-article15700266.html>, abgerufen 1.11.18

¹¹⁰ Baumpflegeportal (o.J) Das Birkensterben <https://www.baumpflegeportal.de/baumpflege/klimawandel-im-blick-das-birkensterben/>, abgerufen 01.11.18

7.3 Technische Maßnahmen an Gebäuden und urbanen Freiflächen

Wie stark ein Gebäude und urbane Freiflächen von Hitze und Starkregeneignissen betroffen sind, hängt von der städtebaulichen Situation und vom lokalen Umfeld ab. Jedes Gebäude kann sich unterschiedlich auf die städtische Wärmebilanz auswirken. Besonders wichtig hierbei, ist die Begrünung der Dächer und Freiflächen, sowie die Farbe der Fassaden. Ein weiterer Aspekt sind Klimaanlage, die ebenfalls Wärmeemissionen verursachen.¹¹¹

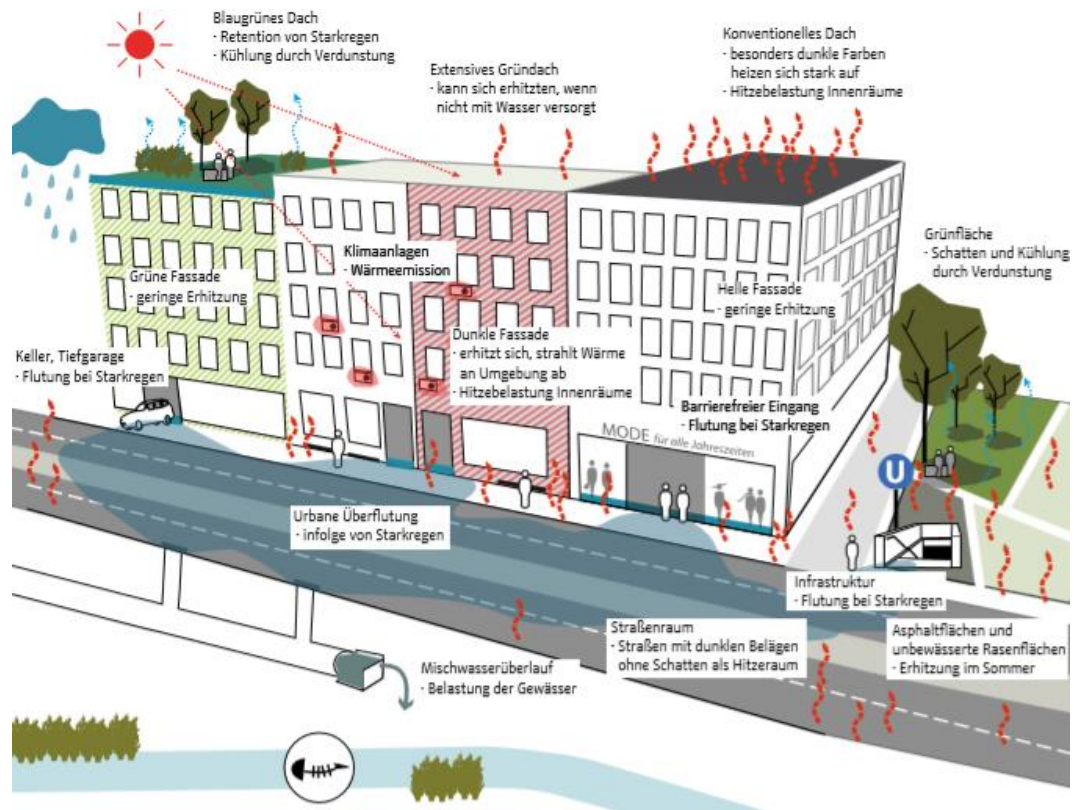


Abbildung 77: Wärmequellen eines städtischen Straßenzuges (Senatsverwaltung Berlin 2006)

7.3.1 Dächer und Fassaden

Besonders negativ in der Klimabilanz sind dunkle Dachbedeckungen. Sie heizen sich und ihre Umgebung bei hochsommerlichen Temperaturen stark auf. Deshalb ist zu empfehlen, hellen Deckungsbelag zu wählen sowie, sofern möglich mit Formen der Dachbegrünung zu arbeiten. Einige Formen der Dachbegrünung wirken sich kühlend auf die Umgebung aus. Bei zusammenhängenden Dachbegründungen kann sich der kühlende Effekt der Dachbegrünung auf das Stadtklima positiv auswirken. Es hilft vor

¹¹¹ Vgl. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2006) S.30 f.

allein das Aufheizen von Dächern zu verringern und verbessert zudem das Raumklima in den Dachgeschossen.¹¹²

Je nach Dachform und Dachart sind folgende Dachbegrünungen möglich:



Abbildung 78: Dachbegrünung dauerstaunässe mit verdunstungsstarken Pflanzen

Die größte klimatische Wirkung haben Dachbegrünungsformen, bei denen die Pflanzen dauerhaft im Wasser stehen. In solchen Wassergärten wachsen vor allem Pflanzen, die eine hohe Verdunstungsrate aufweisen, wie zum Beispiel Schilf.¹¹³

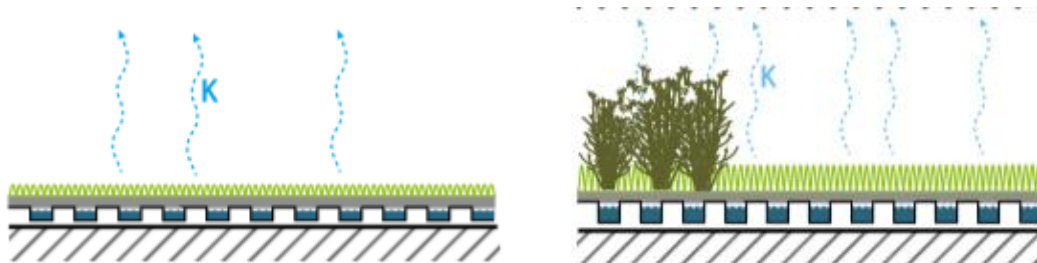


Abbildung 79: Intensive und extensive Dachbegrünung (Senatsverwaltung Berlin 2006)

Herkömmliche, extensive Dachbegrünungsformen mit einem Bodenauftrag von 10 bis 15 Zentimetern halten Regenwasser zurück, haben jedoch nur geringe Kühlwirkung, vor allem bei Hitze kommt es zu einer raschen Austrocknung der Dachbegrünung. Intensiv begrünte Dächer mit einer Substratdicke von 40 bis 60 Zentimetern, und dem damit höheren Speichervolumen für Wasser, können auch Starkregenereignisse besser abfangen.¹¹⁴

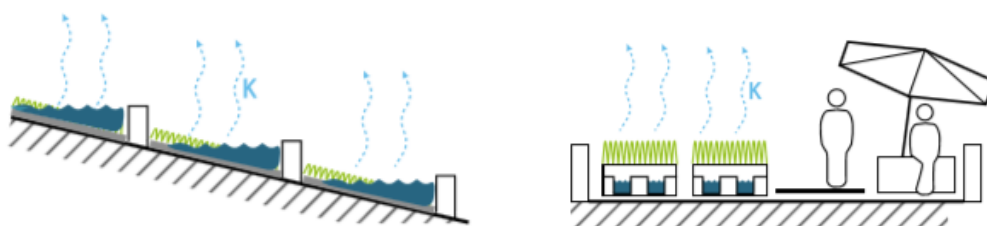


Abbildung 80: Sonderformen bei geneigten Dächern sowie in Verbindung mit Aufenthaltsqualität (Senatsverwaltung Berlin 2006)

Dächer können in urbaneren Gebieten dienen als privater oder gemeinschaftlicher Freiraum. Bei entsprechender Gestaltung leisten Dachgärten

¹¹² Vgl. Ebda.

¹¹³ Vgl. Ebda.

¹¹⁴ Vgl. Ebda.

einen Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel in der Stadt.¹¹⁵ Ferner kann durch örtliche Versickerung über die Dachbegrünung auch eine Befreiung des Niederschlagsentgelts erfolgen. Darüber hinaus sind begrünte Dächer besser vor Extremwetterereignissen wie zum Beispiel Hagel geschützt.¹¹⁶ Dies ist insbesondere in der Region Reutlingen ein wichtiger Aspekt um bei zukünftigen Unwetterereignissen baulich angepasst zu sein.

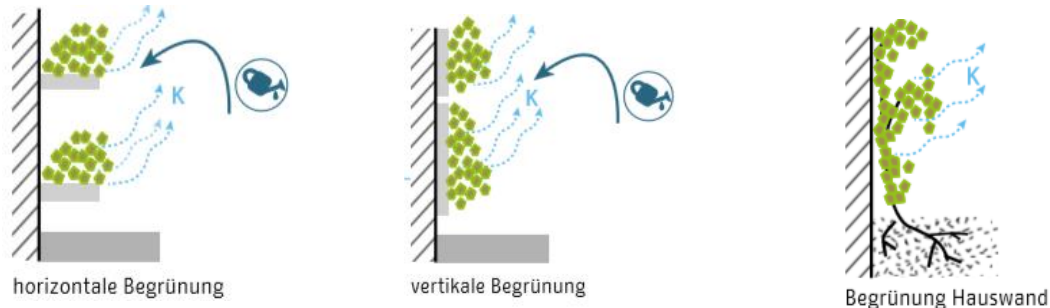


Abbildung 81, 82 und 83: Möglichkeiten der Fassadenbegrünung (Senatsverwaltung Berlin 2006)

Ebenfalls sind begrünte Fassaden ein weiteres Element um die Aufheizung von Gebäuden zu verringern. Oberflächen heizen sich stark auf. Urbane Strukturen werden so zum Hitzespeicher. Aufgeheizte Gebäude geben nachts Wärme an die Umgebung, sowie in das Gebäudeinnere ab.¹¹⁷

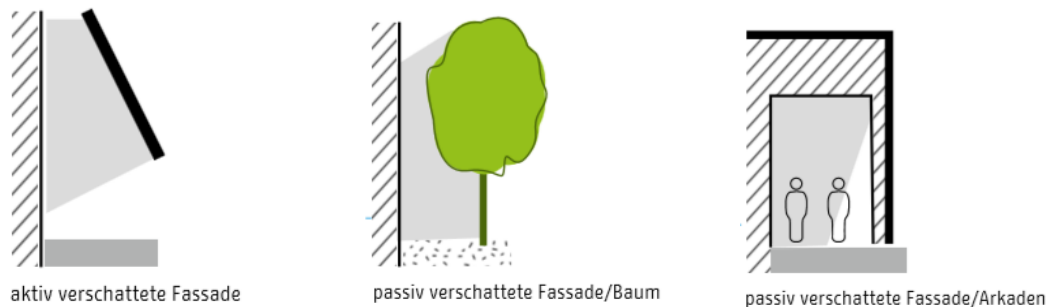


Abbildung 84, 85 und 86: Möglichkeiten für eine verschattete Fassade

Gebäudefassaden können aktiv und passiv verschattet werden. Aktiv verschattet werden kann sowohl eine komplette Fassade, sowie einzelne Fenster. Besonders bei der Planung berücksichtigte Vordächer und Hausdachüberstände können bei hohem Sonnenstand im Sommer Bereiche verschatten, die durch den niedrigen Sonnenstand im Winter nicht verschattet werden. Eine weitere Möglichkeit der Gebäudeverschattung sind passiv verschattete Fassaden, durch großgronige Bäume. Laubbäume haben den Vorteil in den warmen Monaten zu verschatten, und in den kühlen Monaten Sonnenlicht durch die fehlende Belaubung der Bäume durchzulassen. Kon-

¹¹⁵ Vgl. Ebda.

¹¹⁶ Vgl. Ebda.

¹¹⁷ Vgl. Ebda.

kret muss bei jeder neuen Bebauung geprüft werden, welche Arten der Verschattung in Frage kommen und können. Im Anschluss müssen zum Beispiel durch geeignete Pflanzbindungen eine passiv verschattete Fassaden mit festgesetzt werden.¹¹⁸

7.4 Schutzmaßnahmen bei Extremwetterbedingungen für die menschliche Gesundheit am Beispiel der Stadt Reutlingen

Unter langanhaltenden Hitzewellen leiden besonders Menschen mit Vorerkrankungen oder Behinderungen, ältere Menschen und Säuglinge. Gesundheitliche Auswirkungen der Hitzewelle können Müdigkeit, Schwindel, Muskelkrämpfe oder Verwirrtheit sein, und in Extremfällen droht ein Hitzschlag mit Kreislaufkollaps.¹¹⁹

Ob Menschen durch Hitzewellen gesundheitliche Schäden erleiden werden oder an einem Hitzschlag sterben, hängt von ihrem Verhalten ab. Unangepasstes Verhalten kann auch bei gesunden Menschen zu einer ernsthaften Gefahr werden. Dazu gehören eine falsche Bekleidung, zu geringe Flüssigkeitsaufnahme, zu hohe körperliche Aktivität sowie Alkohol- oder Drogenkonsum.¹²⁰

Zur Vorbeugung von gesundheitlichen Folgen langanhaltender Hitzewellen und Unwetter sollten verstärkt gefährdete Bevölkerungsgruppen über lokale Zeitungen und Hörfunkanstalten gewarnt werden. Des Weiteren sollte als Informationsangebot eine Broschüre mit wichtigen Verhaltensregeln bei langanhaltenden Hitzewellen in der Stadt Reutlingen bereit liegen. Bestandteil dieser Broschüre sollten folgende Inhalte sein:¹²¹

1. Information

Wo kann man sich über die Dauer und Intensität der Hitzewellen und Unwetterereignisse informieren? Weiterhin muss darüber informiert werden, welche Gesundheitsfolgen bei unangepasster Verhaltensweise während Hitzeperioden eintreten können.

2. Empfehlung zur Flüssigkeitszufuhr an heißen Tagen

Gerade in Kitas, Schulen und Altenheimen sollten im Stadtgebiet immer kostenlose und frische Getränke bereitstehen.¹²²

Ferner sollte ein Trinkbrunnennetz in der Reutlinger Innenstadt der Bevölkerung kostenloses Wasser zur Verfügung stellen. Darüber hinaus sollten Anreize gesetzt werden, sich bei Refill Deutschland, einem Portal, das sich dafür einsetzt kostenfreies Leitungswasser in die mitgebrachte Flasche auf-

¹¹⁸ Ebda.

¹¹⁹ Vgl. Stadt Remscheid (2017) Sommerhitze- So schützen Sie Ihre Gesundheit https://remscheid.de/leben/medienpool/dokumente020/1.31.5_Broschuere_Hitze.pdf, S.6 ff. abgerufen 02.11.18

¹²⁰ Ebda.

¹²¹ Ebda.

¹²² Ebda.

füllen zu lassen um Plastikmüll zu vermeiden verstärkt im Stadtgebiet auszuweiten. Aktuell sind lediglich zwei Geschäfte in der Reutlinger Innenstadt Bestandteil der Kampagne.¹²³ Dieses Trinkbrunnennetz muss zwingend in der eingangs erwähnten Broschüre verortet sein.

3. Empfehlung für angemessene Ernährung an heißen Tagen

4. Hinweise und Empfehlungen zur körperlichen Aktivität

5. Hinweise über Krankheiten, die durch zu hohe Hitzebelastungen entstehen können, sowie deren Erkennung mit Ersthelferempfehlungen¹²⁴

7.5 Stärkung des alternativen Umweltverbundes

Die Stadt Reutlingen ist, bezogen auf den Gehalt der Stickoxide in der Luft, die an der viertstärksten belastete Stadt in Deutschland. Nach aktueller Fortschreibung des Luftreinhalteplanes des Regierungspräsidiums Tübingen wird es in Reutlingen dennoch keine Fahrverbote geben.¹²⁵ Umgesetzt wurden stattdessen zahlreiche Maßnahmen zur Luftreinhaltung, wie ein Lkw-Durchfahrtsverbot, verschiedene Tempolimits entlang der Hauptachsen, sowie eine veränderte Ampelschaltung auf der höchstbelasteten Lederstraße.¹²⁶ Ferner wird akribisch an einem neuen Bussystem gearbeitet dessen Einführung für Ende 2019 geplant ist. Ziel des Buskonzeptes sind 100 neue Haltestellen und eine bessere Vernetzung und Linienführung des Busnetzes. Im Herbst 2019 wird das neu geplante Busnetz an den Start gehen.¹²⁷ Darüber hinaus wurde der Masterplan Radverkehr im Sommer 2018 vom Gemeinderat verabschiedet und befindet sich aktuell in der ersten Umsetzungsphase.¹²⁸ Des Weiteren befindet sich die Regionalstadtbahn Neckar-Alb in der Entwicklungsphase. Ziel der Regionalstadtbahn ist die Region besser zu vernetzen. In der Stadt Reutlingen ist eine Innenstadstrecke durch die Innenstadt in Richtung Pfullingen / Engstingen geplant. Die Finanzierungszusage von Land und Bund sind Voraussetzungen und

¹²³ Refill Deutschland (2018) Online-Auftritt <https://refill-deutschland.de/>, abgerufen 03.11.18

¹²⁴ Empfehlungen Angelehnt an: Landeshauptstadt Stuttgart (2018) Tipps für die heiße Jahreszeit <https://www.stuttgart.de/img/mdb/item/503927/135733.pdf>, abgerufen 04.11.18

¹²⁵ Welt.de (2018) Reutlingen optimistisch: Schaffen es ohne Diesel-Fahrverbote <https://www.welt.de/regionales/baden-wuerttemberg/article174041875/Reutlingen-optimistisch-Schaffen-es-ohne-Diesel-Fahrverbote.html>, abgerufen 08.11.18

¹²⁶ Ebda

¹²⁷ Südwestpresse (2018) ÖPNV, damit der Umstieg gelingt <https://www.swp.de/suedwesten/staedte/reutlingen/damit-der-umstieg-gelingt-26836668.html>, abgerufen 08.11.18

¹²⁸ Reutlinger Generalanzeiger (2018) Masterplan Radverkehr verabschiedet <https://www.gea.de/reutlingen/artikel,-reutlinger-masterplan-radverkehr-verabschiedet-arid,6075334.html>, abgerufen 08.11.18

noch ist keine abschließende Entscheidung des Bundes zur 60% Kostenübernahme gefallen.¹²⁹

Ein aktuell großes Problem des ÖPNV- Netzes in Reutlingen ist die Unpünktlichkeit der Buslinien. Besonders durch lange Staus zu den Stoßzeiten weisen die Stadtbusse erhebliche Verspätungen auf. (persönliche Kommunikation mit Mark Hogenmüller Geschäftsführer des RSV am 29. November 2018) Hier muss bei Umsetzungen des neuen Stadtbusnetzes darauf geachtet werden, die Pünktlichkeit als einen großen Bestandteil der Umsetzung mit zu verbessern und durch Maßnahmen wie das Errichten von weiteren Busspuren und Busvorrang an Ampeln eine hohe Pünktlichkeit zu erreichen. Die Pünktlichkeit sowie günstige Preise sind ein unerlässliches Merkmal für die Kundenzufriedenheit im ÖPNV.¹³⁰

Ferner ist die Stadt Reutlingen nicht Bestandteil des Stuttgarter Verkehrsverbunds (VVS). Durch die Tarifgrenze ergeben sich im öffentlichen Nahverkehr Richtung Stuttgart erhebliche Einschnitte. Es sind für die Nutzer des öffentlichen Nahverkehrs über die Tarifgrenze bei Jahres-, Monats und Tagestickets die Kombination von zwei verschiedenen Tickets notwendig. Die Attraktivität des Nahverkehrs in der Region ist aus den Stauzeiten der B 27 in Richtung Stuttgart ableitbar. Kilometerlange Staus zu den Hauptverkehrszeiten sind inzwischen an der Tagesordnung. Die halbstündige Nahverkehrsverbindung von Reutlingen nach Stuttgart war im Quartal September-November 2018 ebenfalls in über 90% aller Verbindungen verspätet (persönliche Kommunikation mit Ramazan Selcuk MdL 09.11.2018).

Das Busnetz über den Nordraum von Reutlingen bis zum Flughafen-Stuttgart ist im Verkehrsverbund Neckar Alb (Naldo) strukturiert. Eine Schnellbuslinie verkehrt im Stundentakt zwischen Reutlingen und Stuttgart Flughafen und ist ebenfalls von häufigen Verspätungen von morgendlichen Stausituationen betroffen. Die uneinheitliche Tarifpolitik erschwert auch die Einführungen weiterer Buslinien auf dem erwähnten Streckenabschnitt. Ferner führt die aktuelle Tarifpolitik dazu, dass durch den Kauf eines zusätzlichen Tickets häufig die Anschlüsse zur S-Bahn Stuttgart verpasst werden (persönliche Kommunikation mit Mark Hogenmüller, Geschäftsführer des Reutlinger Stadtverkehrs (RSV am 15. April 2015).¹³¹

Deshalb ist es unerlässlich ein Tarifverbund für eine Metropolregion voranzutreiben. Die die Stadt Reutlingen muss konsequent an einer Eingliederung in den Stuttgarter Verkehrsverbund arbeiten um einen einheitlichen Tarifverbund Richtung der Landeshauptstadt zu erzeugen. Ein Beispiel

¹²⁹ <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/tuebingen/Regionalstadtbahn-Neckar-Alb-Der-lange-Weg-zur-Realisierung,hintergrund-regionalstadtbahn-neckar-alb-100.html>

¹³⁰ Deutsches Institut für Urbanistik (2005) Umweltfreundlicher, attraktiver und leistungsfähiger ÖPNV – ein Handbuch S.32 f. abgerufen 09.11.18

¹³¹ Weiterführende Informationen, Reutlinger Generalanzeiger (15.04.15)
https://www.gea.de/reutlingen_artikel,-die-zukunft-heißt-vernetzung-_arid,4201639.html,
abgerufen 30.11.18

hierfür ist der Vorstoß der Tarifintegration in den Stuttgarter Verkehrsverbund (VVS) des Landkreises Göppingen.¹³²

8. Handlungsempfehlungen

Die folgenden Steckbriefe enthalten Handlungsempfehlungen für das Reutlinger Stadtgebiet. Neben der Beschreibung der Maßnahmen, wird ihre Wirkung erläutert, sowie eine mögliche zeitliche Einschätzung und ein möglicher Kostenaufwand eingeschätzt. Des Weiteren werden relevante Akteure und mögliche Synergien und Konflikte beschrieben. Die Handlungsempfehlungen sollen einen kurzen Überblick über Empfehlungen einer klimaangepassten Stadt geben und praktische Anwendung in der Stadt Reutlingen, sowie anderen Kommunen finden können. Angaben die spezifisch auf die Situation in Reutlingen zutreffen, sind in Klammern dargestellt.

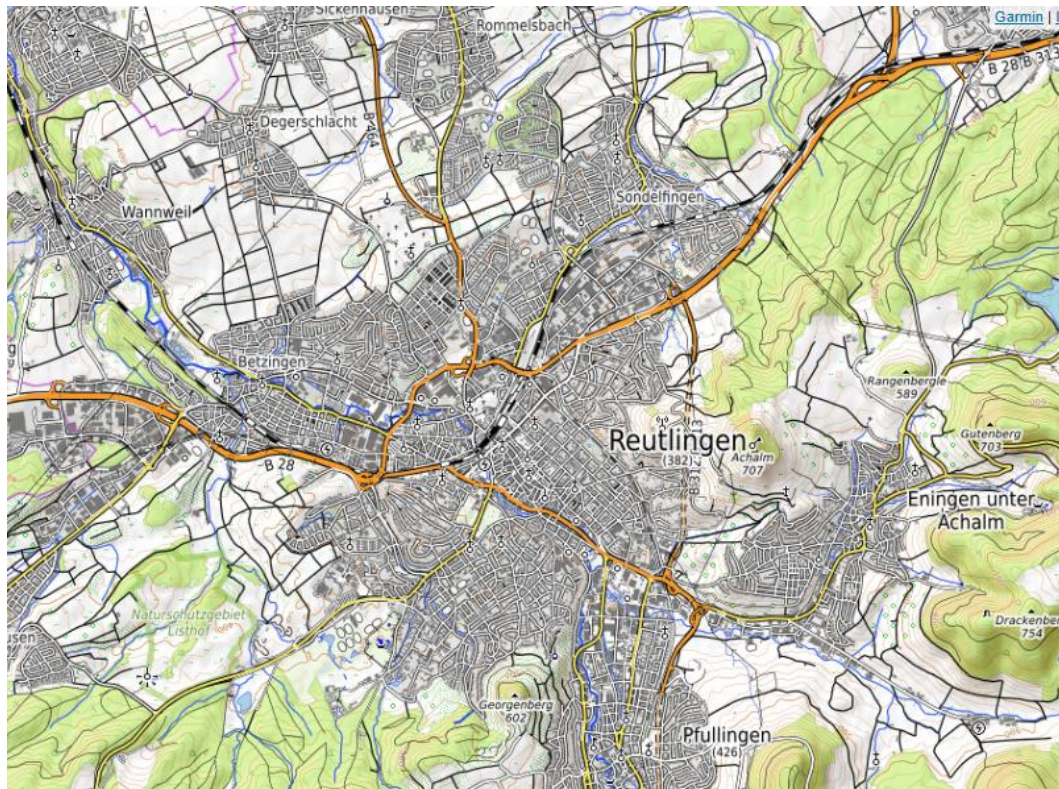


Abbildung 87: Topografische Karte der Region Reutlingen (opentopomap)

¹³² Landkreis Göppingen (o.J) Tarifliche Integration in die Nachbarverbünde https://www.landkreis-goeppin-gen.de/Lde/start/Landratsamt/Tarifintegration+VVS+u_+DING.html, abgerufen 12.11.18

Handlungsempfehlung 1: Entsiegelung innerstädtischer Flächen

Handlungsfeld	Menschliche Gesundheit, Wasserhaushalt/Wasserwirtschaft, Boden, Raumordnung und Bauleitplanung
Wirkungsbereiche	Entschärfung der Wärmebelastung für die Bevölkerung, sowie von Unwetterereignissen, Hochwasserereignissen und Trockenstress bei Stadtbäumen
Beschreibung und Vorschläge	Eine Entsiegelung innerstädtischer Flächen ermöglicht die Verdunstung von Wasser aus Boden und Vegetation und wirkt somit der Ausbildung von Wärmeinseln entgegen. Ferner wirkt sich eine Entsiegelung von Flächen positiv auf Starkregenereignisse aus. Die Flächenversiegelung sollte zudem durch ein gesamtstädtisches Monitoring erfasst und bewertet werden. Des Weiteren können die Bewohner durch Preise angeregt werden bei einem Entsiegelungswettbewerb in der Stadt mitzumachen um eigene Ideen und Vorschläge mit einbringen zu können.
Zeithorizont	Kurz bis mittelfristig
Kostenaufwand	Gering bis mäßig
Relevante Akteure	Amt für Stadtentwicklung und Vermessung, Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt, Grundstückseigentümer, Bürger, Wohnungsbauunternehmen und Wohnungsbaugesellschaften
Synergien und Zielkonflikte	Dachbegrünung im Bebauungsplan festsetzen, Stadtgrün und Bewässerungsmanagement optimieren und Begrünungen im Stadtkern sowie an Gebäuden ausweiten. Entsiegelte Flächen sorgen für zahlreiche weitere Wohlfühlfaktoren in der Bevölkerung. Zielkonflikt mit Handel, Dienstleistungen, öffentlichen Einrichtungen, Wohnbebauung sowie öffentlichen Stellplatzflächen möglich

Tabelle 4: Handlungsempfehlung 1: Entsiegelung innerstädtischer Fläche

Handlungsempfehlung 2: Erhalt und Entwicklung von Kalt- und Frischluftbahnen

Handlungsfeld	Menschliche Gesundheit, Bauwesen, Raumordnung und Bauleitplanung
Wirkungsbereiche	Wärmebelastung für die Bevölkerung, Trockenstress bei Stadtbäumen und Luftreinhaltung
Beschreibung und Vorschläge	Bestehende Kalt- und Frischluftbahnen sind zur Abmilderung der nächtlichen Wärmebelastung bzw. Verbesserung der Luftreinhaltung im verdichteten Raum zu erhalten und auszubauen. Eine Beeinträchtigung der Kaltluftströme ist zu vermeiden und sollte durch ein umfassendes Gutachten untersucht werden. Besonders die kräftigen Kaltluftströme, entlang der Schwäbischen Alb an der südlichen Stadtgrenze sind aufgrund der Wichtigkeit für die Abkühlung der Kernstadt umfassend zu untersuchen. Durch das Gutachten festgestellte Beeinträchtigungen sollten umfassend analysiert und behoben werden, um eine nächtliche Abkühlung der Kernstadt dauerhaft zu ermöglichen.
Zeithorizont	Kurz bis mittelfristig
Kostenaufwand	Gering bis mäßig
Relevante Akteure	Amt für Stadtentwicklung und Vermessung, Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt Bürgerbüro Bauen sowie die Regionalplanung
Synergien und Konflikte	Verbesserung der Lufthygiene und Erhalt von Freiflächen in Kaltluftentstehungsgebieten. Konflikte mit Nachverdichtungen im Innen- und Außenraum sind möglich.

Tabelle 5: Handlungsempfehlungen 2: Erhalt und Entwicklung von Kalt / Frischluftbahnen

Handlungsempfehlung 3: Pflanzenstandortwahl und Pflanzenarten optimieren

Handlungsfeld	Menschliche Gesundheit, Stadtgrün, Biodiversität, Hitze, Raumordnung und Bauleitplanung
Wirkungsbereiche	Wärmebelastung für die Bevölkerung, Trockenstress bei Stadtbäumen und Luftreinhaltung
Beschreibung und Vorschläge	Die zunehmende Belastungssituation des Stadtgrüns durch klimawandelbedingte Hitze- und lange Trockenheitsperioden sowie neu einwandernde Schädlinge, erfordert eine angepasste Auswahl von klimangepassten Gehölzen. Es sollten Pflanzlisten verwendet werden, die spezifisch Auskunft über regionalen, klimatischen Beschaffenheiten der Stadt Reutlingen geben können. Des Weiteren ist auf größere Pflanzquartiere zu achten.
Zeithorizont	Mittelfristig
Kostenaufwand	Gering bis mäßig
Relevante Akteure	Amt für Stadtentwicklung und Vermessung, Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt sowie die Regionalplanung
Synergien und Konflikte	Verbesserung der Lufthygiene sowie Verbesserungsmaßnahmen an grünen Elementen in der dicht bebauten Innenstadt Konflikte mit Nachverdichtungen im Innenraum möglich Weitere Zielkonflikte ergeben sich z.B. mit den Grundsätzen des Naturschutzes, wenn zur Trockenheitsanpassung verstärkt auf nicht-heimische und exotische Baumarten (Neophyten) zurückgegriffen wird. Hier sind sensible Planungsentscheidungen unter Beachtung des Umfeldes gefordert. (z.B Marktplatz Reutlingen) Ferner sind Konflikte mit Sichtbezügen möglich (z.B Tübinger Tor / Stadthalle)

Tabelle 6: Handlungsempfehlungen 3: Pflanzenstandortwahl und Pflanzenarten optimieren

Handlungsempfehlung 4: Entwicklung von blau- grünen Bändern (Aufenthaltsqualität)	
Handlungsfeld	Menschliche Gesundheit, Stadtgrün, Biodiversität, Hitze, Raumordnung und Bauleitplanung
Wirkungsbereiche	Wärmebelastung für die Bevölkerung, Trockenstress bei Stadtbäumen und Luftreinhaltung, sowie bei Hitzestress in der Bevölkerung
Beschreibung und Vorschläge	Zunehmende sommerliche Hitzebelastungen sorgen in Städten für zunehmenden Hitzestress in der Bevölkerung. Die Entwicklung eines zusammenhängenden Bandes aus Wasserelementen und Stadtgrün kann einen erheblichen Beitrag zur Hitzereduzierung bei langanhaltenden Hitzewellen leisten. Ferner kann sich das Band ebenfalls positiv auf die lufthygienische Situation in der Stadt auswirken und ist aufgrund des voranschreitenden Klimawandels unerlässlich.
Zeithorizont	Mittel bis langfristig
Kostenaufwand	Gering bis mäßig
Relevante Akteure	Amt für Stadtentwicklung und Vermessung, Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt sowie die Regionalplanung
Synergien und Konflikte	Entsiegelung von innerstädtischen Flächen, Erhalt und Entwicklung von Kalt und Frischluftzonen / Leitbahnen, Ausgleichsflächen für die Ökontenverordnung im Stadtgebiet. Ferner wirkt sich ein Band aus Wasserelementen und grünen Freiräumen positiv auf die menschliche Gesundheit an heißen Tagen aus. Konflikte mit Nachverdichtungen im Innenraum möglich

Tabelle 7: Handlungsempfehlungen 4: Entwicklung von blaugrünen Bändern

Handlungsempfehlung 5: Umweltbildung stärken	
Handlungsfeld	Menschliche Gesundheit, Stadtgrün, Biodiversität und Hitze
Wirkungsbereiche	Wärmebelastung für die Bevölkerung, Trockenheit und Unwetterereignisse
Beschreibung und Vorschläge	Zur Information über Klimaanpassungsstrategie und Klimaschutzmaßnahmen ist die Einführung von Bildungsprogrammen an Schulen, Universitäten, Jugendfreizeiten und dem jährlichen Kinderferienprogramm (Sun and Action) einzuführen. Besonders junge Menschen hat eine Umweltbildungskampagne große Erfolgsaussichten. Ziel der Umweltbildung ist ein Verständnis für die Klimaveränderungen zu entwickeln, und dafür zu sensibilisieren, Ressourcen zu sparen und zu schützen. Durch verschiedene Umweltpreise könnten darüber hinaus Anreize für Schulen und Umweltschutzeinrichtungen geschaffen werden, um aktiv an einer Klimaanpassungsstrategie mitzuwirken. Ein Beispiel könnten Preise für Begrünungsvorschläge von Plätzen und Straßenzügen im Stadtgebiet sein.
Zeithorizont	Kurzfristig bis mittelfristig
Kostenaufwand	Gering bis Mäßig
Relevante Akteure	Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt / Stabstelle Umweltschutz
Synergien und Konflikte	Umgang mit Gesundheitsrisiken, Information und Kommunikationskanäle überprüfen und Stärkung der Umweltbildung in der Bevölkerung. Energiesparendes Verhalten

Tabelle 8: Handlungsempfehlungen 5: Umweltbildung stärken

Handlungsempfehlung 6: Information und Kommunikation	
Handlungsfeld	Menschliche Gesundheit
Wirkungsbereiche	Hitzebelastung, Trockenheit und Unwetterereignisse
Beschreibung und Vorschläge	Zur Information von Extremwetterereignissen ist besonders im Landkreis Reutlingen durch die beschriebene Unwetterneigung und dem deutlichen Anstieg der Durchschnittstemperatur, auch langfristig mit massiven Wettergefahren für die menschliche Gesundheit zu rechnen. Deshalb wird empfohlen, eine Broschüre mit Empfehlungen bei Extremwetterereignissen zu entwickeln und in der Bevölkerung zu verteilen. Ferner sollte ein Trinkbrunnennetz der Bevölkerung in den Sommermonaten kostenfreies Trinkwasser zur Verfügung stellen. Bei Unwetterereignissen ist die Bevölkerung rechtzeitig über regionale Informationsquellen zu informieren und zu warnen.
Zeithorizont	Kurzfristig
Kostenaufwand	Gering
Relevante Akteure	Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt / Stabstelle Umweltschutz , Feuerwehr und regionale Nachrichtenkanäle
Synergien und Konflikte	Gesundheitsrisiken minimieren Fürsorgepflicht für die Bevölkerung Dach- und Fassadenbegrünung Verwendung von geeigneten Bau- Materialien Dauer von Arbeiten, die in großer Hitze verübt werden zu minimieren. (Arbeitszeitmodelle überdenken) Konflikte: Arbeitsbedingungen bei anstrengenden Tätigkeiten im freien (Hitzewellen und Extremtemperaturen) finanzieller Verlust / menschliche Gesundheit.

Tabelle 9: Handlungsempfehlungen 6: Information und Kommunikation

Handlungsempfehlung 7: Technische Maßnahmen an Gebäuden und urbanen Freiflächen

Handlungsfeld	Gebäudearchitektur und Freiraumgestaltung
Wirkungsbereiche	Hitzebelastung, Trockenheit, Unwetterereignisse, Starkniederschläge, Gebäudeinnenräume und Aufenthaltsqualität
Beschreibung und Vorschläge	Jedes Gebäude kann sich unterschiedlich auf die städtische Wärmebilanz auswirken. Besonders wichtig hierbei, sind die Begrünung der Dächer und Freiflächen, sowie die Farbe der Fassaden. Ein weiterer Aspekt sind Klimaanlageanlagen, die ebenfalls Wärmeemissionen verursachen und das Stadtklima zusätzlich erwärmen. Deshalb ist zu empfehlen, hellen Deckungsbelag zu wählen, sowie, wenn möglich Dachbegrünung in Bebauungsplänen verbindlichen festzusetzen. Bei zusammenhängenden Dachbegrünungen kann sich der kühlende Effekt der Dachbegrünung das Stadtklima positiv auswirken und verbessert zudem das Raumklima in den Dachgeschossen. Ebenfalls sorgen passive und aktive Verschattungsmöglichkeiten für ein angenehmeres Raumklima und sollten bei Gebäudeentwürfen mitbedacht werden. Ferner weisen Dachbegrünungen auch positive Aspekte bei Starkniederschlägen und Hagel auf.
Zeithorizont	Langfristig
Kostenaufwand	Gering
Relevante Akteure	Amt für Tiefbau, Grünflächen und Umwelt, Amt für Stadtentwicklung und Vermessung sowie Wohnungsbaugesellschaften
Synergien und Konflikte	Einfluss von Extremwetterbedingungen auf Gebäude und Freiflächen abmildern Konflikte: keine Konflikte zu erwarten

Tabelle 10: Handlungsempfehlungen 7: Technische Maßnahmen an Gebäuden und urbanen Freiflächen

Handlungsempfehlung 8: Stärkung des alternativen Umweltverbundes

Handlungsfeld	Mobilität
Wirkungsbereiche	Stausituation, Tarifgrenze und Luftreinhaltung
Beschreibung und Vorschläge	Lange Staus sind in der Stadt Reutlingen sowie in der Metropolregion an der Tagesordnung. Hierbei ist vor allem die Tarifgrenze in Richtung Stuttgart eine Vielzahl von Verspätungen im städtischen Busverkehr, sowie die hohen Preise ausschlaggebend für die hohe Autodichte in Reutlingen. Im Rahmen der auf den Weg gebrachten Maßnahmen (neues Buskonzept, Masterplan Radverkehr, Regionalstadtbahn) fehlt die Forderung eines einheitlichen Tarifs in Richtung Stuttgart. Ferner muss zwingend an der Pünktlichkeit des städtischen Busverkehrs gearbeitet werden z.B. durch eine Ausweitung von Busspuren und Vorfahrtsberechtigungen um den zuverlässigen Umstieg, an Knotenpunkten zu gewährleisten. Darüber hinaus müssen zwingend Umsteigezeiten und Anschlussmöglichkeiten, zwischen allen Verkehrsmitteln des öffentlichen Personen Nahverkehrs, aufeinander abgestimmt werden.
Zeithorizont	Kurz bis mittelfristig
Kostenaufwand	Gering bis mäßig
Relevante Akteure	Amt für Stadtentwicklung / Verkehrsplanung VVS / NALDO sowie der Landkreis Reutlingen / Stadt Reutlingen (Auskreisung) und das Land Baden-Württemberg
Synergien und Konflikte	Entzerrung der Stausituation und der hohen Autodichte im Stadtgebiet und der Metropolregion (B 27). Ein möglicher Konflikt ist durch eine Tarifintegration der Stadt Reutlingen in den Stuttgarter Verkehrsverbund, den ländlichen Raum im verbleibenden Verkehrsverbund nicht abzuhängen.

Tabelle 11: Handlungsempfehlungen 8: Stärkung des alternativen Umweltverbundes

9. Fazit und Ausblick

Das Klima in der Region Reutlingen, ist nach den Untersuchungen dieser Arbeit geprägt von deutlichen Veränderungen in den vergangenen 10 Jahren. Besonders die Durchschnittstemperatur hat sich verglichen mit dem langjährigen Temperaturmittel, deutlich verändert. Besonders das Frühjahr und der Sommer zeigen deutliche Veränderungen der Durchschnittstemperaturen, sowie in der Niederschlagsneigung.

Des Weiteren ist die Region Reutlingen sehr häufig von schweren Unwetterereignissen betroffen. Diese Unwetterneigung, besonders bezogen auf die Hagelwahrscheinlichkeit, ist deutschlandweit am stärksten ausgeprägt, was an der geografischen Lage der Stadt Reutlingen liegt. Ferner ist in den letzten Jahren bereits innerhalb von wenigen Jahren an der Echaz zu einigen Jahrhunderthochwasserereignissen gekommen. Die Region Reutlingen wird somit bereits deutlich mit den Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert.

Es ist aus Sicht der Stadtplanung wichtig, den Klimawandel als wesentlicher Bestandteil in den Bauleitplanungen, sowie in der städtischen Grünplanung zu berücksichtigen und durch geeignete Maßnahmen darauf zu reagieren.

Im Weiteren besteht auch eine Fürsorgepflicht der Stadt gegenüber ihren Bürgern, die Innenstadt auch bei zunehmenden Hitzewellen attraktiv zu gestalten, sowie durch Hitzestress verursachte gesundheitliche Folgen von Extremtemperaturen für die menschliche Gesundheit durch geeignete Planungen abzumildern.

Die gesundheitlichen Folgen der Hitze sind ebenfalls stark ausgeprägt, und können zu erhöhten Sterberaten in der Bevölkerung führen. Ferner sind im Thema Luftreinhaltung Grenzwerte für die Menschliche Gesundheit definiert, im Stadtklima sind allerdings keine festen Grenzwerte vorgegeben. Deshalb ist eine Stadt nicht verpflichtet Maßnahmen zur Eliminierung von Wärmeinseln zu unternehmen. Dennoch ist im Rahmen der Fürsorgepflicht dafür zu sorgen, Städte auch in Zukunft lebenswerter zu gestalten.

Hierfür ist eine umfassende Klimaanalyse notwendig. Darauf aufbauend ist ein Netzwerk von blau-grünen Bändern im Stadtgebiet notwendig, um gegen die Aufheizung der Innenstadt vorzusorgen.

Des Weiteren ist die Kommunikation und Information bei Extremwetterbedingungen zu stärken und auszubauen. Viele kleine Maßnahmen, die in dieser Arbeit beschrieben sind, können also mit überschaubarem Aufwand aktiv und wirkungsvoll dazu beitragen, die Stadt klimaangepasster zu gestalten, und den Wärmeinseleffekt in der Innenstadt abzumildern.

10. Literaturverzeichnis

Arbeitsschutzgesetz.org, Arbeitsstättenverordnung (2017) Temperatur in Arbeitsräumen, <https://www.arbeitsschutzgesetz.org/arbstaettv/temperatur/>, abgerufen 14.08.18

Baumkunde.de (o.J) Acer Pseudoplatanus https://www.baumkunde.de/Acer_pseudoplatanus/, abgerufen 29.10.18

Baumpflegeportal (o.J) Das Birkensterben <https://www.baumpflegeportal.de/baumpflege/klimawandel-im-blick-das-birkensterben/>, abgerufen 01.11.18

Bender, S., Brune, M., Cortekar, J., Groth, M. & Remke, T. (2017): Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Stadtplanung und Stadtentwicklung – Der GERICS- Stadtbaukasten. – Report 31, Climate Service Center Germany, Hamburg

Bundesnaturschutzgesetz in Kraft getreten am 01.03.2010 zuletzt geändert durch Gesetz vom 15.09.2017 (BGBl. I S. 3434) m.W.v. 29.09.2017 bzw. 01.04.2018, §1 (3) Nr.4

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2012) Lebenslagen – Lebensrisiken Regionalatlas zur Raum- und Stadtentwicklung Hrsg.:BBSRAnalysen Bau.Stadt.Raum,Band 7 Bonn

Bundesinstitut für Bau- Stadt und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen (2016) Grün in der Stadt, Heft 6.2016 S. 676 f.

Bildungsserver, Klimawandel <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Hauptseite>, abgerufen 16.07.18

Daten und Fakten, Großstadt Reutlingen, (o.J.) <https://www.reutlingen.de/de/Leben-in-Reutlingen/Unsere-Stadt/Daten-und-Fakten>, abgerufen 08.10.18

Deutschlandfunk (2006) Mediterranes Wetter in Deutschland https://www.deutschlandfunk.de/mediterranes-wetter-in-deutschland.676.de.html?dram:article_id=23772, abgerufen 15.10.18

Deutsches Institut für Urbanistik (2005) Umweltfreundlicher, attraktiver und leistungsfähiger ÖPNV – ein Handbuch abgerufen 09.11.18

DR.-ING. FRANK DRÖSCHER (2017) Gesamtstädtische Klimaanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Luftreinhaltung

Dipl.-Met. Thomas Ruppert: Sommermonsun? Thema des Tages, Newsletter des Deutschen Wetterdienstes (DWD) vom 10.06.2013, abgerufen 02.10.18

DWD Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1981 – 2010 https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_akt.html?view=nasPublication, abgerufen 09.10.18

Empfehlungen Angelehnt an: **Landeshauptstadt Stuttgart** (2018) Tipps für die heiße Jahreszeit <https://www.stuttgart.de/img/mdb/tem/503927/135733.pdf>, abgerufen 04.11.18

Hübler M. & Klepper G. (2007) Kosten des Klimawandels – Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Aktualisierte Fassung einer Studie im Auftrag des WWF Deutschland

Hans Häckel (2016) Meteorologie 8. Auflage, Stuttgart, Eugen Ulmer KG

Hochwasser Risikomanagement BaWü, Standort Echaz (Wannweil) <https://rips-dienste.lubw.baden-wuerttemberg.de/rips/ripservices/apps/hwrm/Abfrage.aspx?coord=3510749;5376139>, abgerufen 21.10.18

Hochwasserzentrale Baden Württemberg (2018) Pegel Wannweil / Echaz https://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/cgi/peg_info.pl?id=00092&m=W, abgerufen 17.10.18

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (2017) 61. Jahrgang, Heft 3 2017 Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 – Entstehung, Ablauf und Schäden eines „Jahrhundertereignisses“. Teil 1: Meteorologische und hydrologische Analyse S. 150 ff. abgerufen, 18.10.18

Klimaanpassungskonzept für die Landeshauptstadt Magdeburg (2017) Auftraggeber Landeshauptstadt Magdeburg Umweltamt Stabsstelle Klimaschutz / Umweltvorsorge

Klimawandel Baden-Württemberg (o.J) <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimawandel/in-baden-wuerttemberg>, abgerufen 16.07.18

Landeshauptstadt Düsseldorf (o.J) Broschüre Zukunftsbaumliste Düsseldorf, abgerufen 29.10.18

Landkreis Göppingen (o.J) Tarifliche Integration in die Nachbarverbünde, https://www.landkreis-goeppingen.de/Lde/start/Landratsamt/Tarifintegration+VVS+u_DING.html, abgerufen 12.11.18

Lutz Spandau, Peter Wilde. (2008) Klima / Basiswissen / Klimawandel / Zukunft, Stuttgart Hohenheim Ulmer Naturführer

LUBW, Klimawandel in Baden-Württemberg, (12.2016) Fakten – Folgen – Perspektiven, S. 8 f

Marc Puskeiler Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) (2013) Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland

Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (2015), Städtebauliche Klimafibel. S.176 ff. https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Publikationen/Bauen/Klimafibel_2012.pdf, abgerufen 09.10.18

Nabu, Stadtklima – Was ist das? Hintergrundinformationen zum Lokalklima in Städten, <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/ressourcenschonung/bauen/stadtklima/stadtklima.html>, abgerufen 16.07.18

Refill Deutschland (2018) Online-Auftritt <https://refill-deutschland.de/>, abgerufen 03.11.18

Regionalplan Neckar Alb (2013) Regionale Freiraumstruktur https://www.rvna.de/site/Regionalverband+Neckar+Alb/get/params_E934285479/11011430/RVNA_Rnk2013_Ost_web.pdf, abgerufen 23.10.18

Reutlinger Generalanzeiger (2015) Brunnen am Bahnhof zugeschüttet https://www.gea.de/reutlingen_artikel,-brunnen-am-bahnhof-zugeschuettet-arid,4382705.html, abgerufen 11.11.18

Reutlinger Generalanzeiger (2018) Masterplan Radverkehr verabschiedet https://www.gea.de/reutlingen_artikel,-reutlinger-masterplan-radverkehr-verabschiedet-arid,6075334.html, abgerufen 08.11.18

Rtwtetter (2018) Datengrundlage Statistik Klima, <http://www.rtwetter.de/neu/index.php>, abgerufen 15.10.18

Stadtklima Stuttgart, das Klima von Stuttgart (o.J) https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_klimainstuttgart, abgerufen 24.08.18

Stadtklima Wärmeinseln (o.J) https://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinseln, abgerufen 16.07.18

Stadt Karlsruhe (o.J) Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung (<https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung.de>, abgerufen 16.11.18

Spektrum.de, Lars Fischer Dürre in Deutschland, Stand: 09.07.18 Gibt es einen neuen Jahrhundertsommer? <https://www.spektrum.de/news/gibt-es-einen-neuen-jahrhundertsommer/1576400>, abgerufen 24.08.18

Süddeutsche Zeitung, (2018) Wo der Sommer am schönsten ist <https://www.sueddeutsche.de/wissen/wetterdaten-analyse-hier-kommt-der-sommer-1.3143843>, abgerufen 07.10.18

Schwarzwald Informationen, (o.J.) Inversionswetterlage auf der Schwarzwaldhöhe <https://www.schwarzwald-informationen.de/wandern-an-der-schwarzwaldhochstrasse/inversionswetterlage-auf-der-schwarzwaldhoehe.html>, abgerufen am 07.10.18

Städtische Klimafibel online, Hinweise für die Bauleitplanung, (o.J.) <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/?p=60&p2=5.7>, abgerufen 08.10.18

Schriftverkehr mit Diplommeteorologe Roland Schrödner, Kachelmannwetter (2018)

SWR Fernsehen: der Hagelsturm von Reutlingen <https://www.swr.de/geschichte/hagelsturm-in-reutlingen-2013/-/id=100754/did=16317570/nid=100754/1t7fs49/index.html>, abgerufen 13.10.18

Schwäbisches Tagblatt (2018) Schwere Gewitter am Donnerstag trafen die Alb heftig Unwetter: Feuerwehr muss im Kreis Reutlingen über 50 Mal ausrücken, <https://www.tagblatt.de/Nachrichten/Unwetter-Feuerwehr-muss-im-Kreis-Reutlingen-ueber-50-Mal-ausruecken-375470.html>, abgerufen 18.10.18

Stadt Wetzlar (o.J.) Frischluftzufuhr in der Stadt https://www.wetzlar.de/leben-in-wetzlar/umweltnaturschutz/Luft_und_Laerm/frischluftzufuhr-in-der-stadt.php, abgerufen 23.10.15

Stadt Dettingen Erms (2018) Bebauungsplan „Netzwerk Grüne Lungen“ https://service.dettingen-erms.de/bi/vo0050.php?_kvonr=343, abgerufen 23.10.18

Stadt Nürnberg, Umweltamt (2012) Handbuch Klimaanpassung, Bausteine für die Nürnberger Klimaanpassung

Stadt Karlsruhe (o.J.) Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung <https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/projekte/klimaanpassung.de>, abgerufen 23.10.18

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt, abgerufen 01.11.18

Stuttgart Zeitung (2016) Die Bäume die nicht wachsen <https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.die-reutlinger-schnurbaum-misere-die-baeume-die-nicht-wachsen.799aa348-151a-43ff-9b5d-1540ed69c0a1.html>, abgerufen 12.11.18

Stadt Reutlingen (o.J.) Das neue Stadtbusnetz <https://www.reutlingen.de/de/Leben-in-Reutlingen/Umwelt-Verkehr/Das-neue-Stadtbusnetz>, abgerufen 24.10.18

Stadt Remscheid (2017) Sommerhitze- So schützen Sie Ihre Gesundheit [https://remscheid.de/leben/medienpool/dokumente020/1.31.5 Broschuere_Hitze.pdf](https://remscheid.de/leben/medienpool/dokumente020/1.31.5_Broschuere_Hitze.pdf), abgerufen 02.11.18

Südwestpresse (2018) ÖPNV, damit der Umstieg gelingt <https://www.swp.de/suedwesten/staedte/reutlingen/damit-der-umstieg-gelingt-26836668.html>, abgerufen 08.11.18

SWR Fernsehen (o.J) Der lange Weg der Realisierung Regionalstadtbahn Neckar Alb <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/tuebingen/Regionalstadtbahn-Neckar-Alb-Der-lange-Weg-zur-Realisierung,hintergrund-regionalstadtbahn-neckar-alb-100.html>, abgerufen 12.11.18

Südkurier, Gefährliche Asiatische Tigermücke rückt am Hochrhein vor, Bad Säckingen 15.06.18 <https://www.suedkurier.de/ueberregional/baden-wuerttemberg/Gefaehrliche-Asiatische-Tigermueck1e-rueckt-am-Hochrhein-vor;art417930,9778515>, abgerufen 16.07.18

Umweltbundesamt (2018) Klimawandel und Gesundheit Hitzewellen können die Gesundheit belasten, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/klimawandel-gesundheit#textpart-2>, abgerufen 09.09.18

Umweltbundesamt Was ist eigentlich Klima (2013) <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-eigentlich-klima>, abgerufen 12.11.18

Umweltbundesamt (2017) Achtung Tigermücke <https://www.umweltbundesamt.de/themen/achtung-tigermuecke>, abgerufen 14.11.18

Wärmegewitter (o.J) <https://www.wetteronline.de/wetterlexikon?topic=waermegewitter>, abgerufen 16.11.18

Wetter Atlas, Klima in Deutschland, <http://www.wetter-atlas.de/klima/europa/deutschland.php>, abgerufen 07.08.18

Welt.de (2018) Wirtschaft, Dürreschäden 340 Millionen Euro Nothilfe für die Bauern <https://www.welt.de/wirtschaft/article181262892/Duerreschaeden-Julia-Kloeckner-verspricht-Bauern-340-Millionen-Euro-Nothilfe.html>, abgerufen 09.09.18

Welt.de (2012) Das Klima im deutschen Südwesten wird mediterran <https://www.welt.de/wissenschaft/article109112562/Das-Klima-im-deutschen-Suedwesten-wird-mediterran.html>, abgerufen 04.12.18

Welt.de (2018) Warum ziehen schon wieder so heftige Gewitter über Deutschland? Interview mit Andreas Friedrichs (DWD) <https://www.welt.de/vermishtes/article176806147/Starkregen-und-Gewitter-sind-heute-heftiger-als-frueher-DWD-Meteorologe.html>, abgerufen 16.10.18

Welt.de (2018) Reutlingen optimistisch: Schaffen es ohne Diesel-Fahrverbote, <https://www.welt.de/regionales/baden-wuerttemberg/article174041875/Reutlingen-optimistisch-Schaffen-es-ohne-Diesel-Fahrverbote.html>, abgerufen 08.11.18

Wiener Umwelt Anwaltschaft (o.J) Naturschutz und Stadtökologie <http://wua-wien.at/naturschutz-und-stadtoekologie/weiterfhrende-informationen-zum-thema17/klima-wiens>, abgerufen 28.10.18

Wetter.de (2016) So heizt der Föhn dem Süden Deutschlands ein, <https://www.wetter.de/cms/so-heizt-der-foehn-dem-sueden-deutschlands-ein-4020480.html>, abgerufen 11.10.18

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Topografische Karte Baden-Württemberg mit Klimawerten.

Eigene Darstellung, angelehnt an Geoportal Baden-Württemberg Bildquelle, <http://geo.lmz-bw.de/klima-bw/>, abgerufen 12.11.18

Abbildung 2: Jahresmitteltemperatur in °C für Baden-Württemberg <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/klimawandel-in-bw>, abgerufen 05.10.18

Abbildung 3 und 4: Links Ist- Beobachtungsdaten von (1971-2000) Rechts: Perzentil-Darstellung auf Basis von 15 Klimaprojektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/klimawandel-und-anpassung/klima-in-der-zukunft>, abgerufen 12.11.18

Abbildungen 5 und 6 Links: Beginn der Apfelblüte 1961-1990: im Mittel 124 Tage nach Jahresbeginn. Datenquelle: DWD 2005; Auswertung und Grafik: LUBW Rechts: 1991-2005 Beginn der Apfelblüte. Datenquelle: DWD 2005; Auswertung und Grafik: LUBW https://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf?command=downloadContent&filename=klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf, S.35

Abbildung 7: Kachelmwannwetter, Niederschlag in Baden-Württemberg im Jahr 2017 <https://kachelmannwetter.com/de/regensummen/niederschlags-summe-jahr.html>, abgerufen 25.09.18

Abbildung 8 / 9: Rechts: Luftaufnahmen am Niederrhein Ende August 2016, Links: Aufnahme des Sommers Ende Juli 2018 Bildquellen Google Earth Zeitleiste, abgerufen 25.09.18

Abbildung 10: Temperaturanomale April-Juli Deutschland 1881-2018 <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/bild-1221615-1323686.html>, Datengrundlage DWD 03.08.2018, abgerufen 25.09.18

Abbildung 11: Tägliche Todesfälle in Berlin im Jahr 1994 Wilfried Endlicher, (2012) Einführung in die Stadtökologie, Stuttgart, Eugen Ulmer KG, S.75 abgerufen 07.10.18

Abbildung 12: Schematische Darstellung des Wärmeinseleffektes mit bodennaher Temperatur (blau) http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel, abgerufen 25.09.18

Abbildung 13: Wärmespeicher Innenstadt am Beispiel Berlin

<https://wetter.tagesschau.de/wetterthema/2018/08/01/die-staedtische-waermeinsel.html>, abgerufen 25.09.18

Abbildung 14: Tagesgang der Temperatur verschiedener Oberflächen an einem Hochsommertag in 50° geografischer Breite, Hans Häckel, (2006) Meteorologie 8. Auflage, Stuttgart, Eugen Ulmer KG, S.248

Abbildung 15: Topografie im südlichen Baden-Württemberg <http://de-de.topographic-map.com/places/Reutlingen-581791/>, abgerufen 25.09.18

Abbildung 16: Monatliche Durchschnittstemperaturen des 30jährigen Klimamittels. Eigene Darstellung mit Verwendung der unten aufgeführten Klimawerten der letzten 30 Jahre für alle in der Grafik aufgeführten Stationen.

<http://www.wetter-bw.de/Internet/AM/NotesB-wAM.nsf/bwwweb/09fc44c3d412c252c1257ca8002db007?OpenDocument&TableRow=3.1.3%2C3.5#3.1>.

https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html

https://hvz.lubw.baden-wuerttemberg.de/hvz_met.html?id=02677&mode=0&flt=542, abgerufen 05.10.18

Abbildung 17: Monatlicher Niederschlag des 30jährigen Klimamittels. Eigene Darstellung mit Verwendung der unten aufgeführten Klimawerten der letzten 30 Jahre für alle in der Grafik aufgeführten Stationen. <http://www.wetter-bw.de/Internet/AM/NotesB-wAM.nsf/bwwweb/09fc44c3d412c252c1257ca8002db007?OpenDocument&TableRow=3.1.3%2C3.5#3.1>, https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html, https://hvz.lubw.baden-wuerttemberg.de/hvz_met.html?id=02677&mode=0&flt=542, abgerufen 05.10.18

Abbildung 18: WetterOnline WetterRadar: Aufnahmedatum 14.05.18, 12.00 Uhr MESZ, <https://www.wetteronline.de/weterradar?wrt=20181005-0925-2&wrx=51.01,10.5>, abgerufen 05.10.18

Abbildung 19: Gewitter und Schauerbildung Mitte Mai über den Höhen der Schwäbischer Alb in der Mittagszeit, (12:00 MESZ), Eigene Fotografie: Aufnahmeort Steinenbergturm am Universitätsklinikum Tübingen

Abbildung 20: Monatliche Sonnenstunden des 30jährigen Klimamittels. Eigene Darstellung mit Verwendung der unten aufgeführten Klimawerten der letzten 30 Jahre für alle in der Grafik aufgeführten Stationen.

<http://www.wetter-bw.de/Internet/AM/NotesB-wAM.nsf/bwwweb/09fc44c3d412c252c1257ca8002db007?OpenDocument&TableRow=3.1.3%2C3.5#3.1>.

https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html

https://hvz.lubw.baden-wuerttemberg.de/hvz_met.html?id=02677&mode=0&flt=542, abgerufen 05.10.18

Abbildung 21: Inversionswetterlage Ende Oktober 2017 über der Stadt Reutlingen, Eigene Bildquelle Aufgenommen Ende Oktober 2017 am Hausberg der Stadt Reutlingen, der Achalm.

Abbildung 22: Schematische Darstellung der wichtigsten Kaltluftentstehungsgebiete für das Stadtgebiet. Angelehnt an die Abbildung 26 im Gesamtstädtischen Klimaanalyse

Abbildung 23 und 24: Kaltluftvolumenstromdichten ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{s}$) und damit verbundene grundsätzliche klimaökologische Wertigkeit der Kaltluftleitbahn, Stadt Reutlingen Gesamtstädtische Klimaanalyse S. 52 DR.-ING. FRANK DRÖSCHER

Abbildung 25: Klimaanalysekarte der Stadt Reutlingen

Stadt Reutlingen Gesamtstädtische Klimaanalyskarte DR.-ING. FRANK DRÖSCHER

Abbildung 26: Darstellung der Temperaturmessfahrt am 06.05.2016 im Stadtgebiet, Eigene Darstellung nach Daten der Gesamtstädtischen Klimaanalyse DR.-ING. Frank DRÖSCHER S. 48 f.

Abbildung 27 und 28: Niederschlagsradar WetterOnline, Links: Niederschlagssituation 21:00 Uhr, Rechts: Niederschlagssituation 21:30 Uhr <https://www.wetteronline.de/regenradar/baden-wuerttemberg>, abgerufen 15.06.18

Abbildung 29 und 30: Niederschlagsradar WetterOnline, Links: Niederschlagssituation 22:00 Uhr, Rechts: Niederschlagssituation 00:00 Uhr <https://www.wetteronline.de/regenradar/baden-wuerttemberg>, abgerufen 15.06.18

Abbildung 31: Aufsummierter Niederschlag im Landkreis Reutlingen der letzten 6 Stunden vom 13.06.2018, 01:50 Uhr MESZ <https://kachelmannwetter.com/de/regensummen/reutlingen/niederschlagssumme-6std/20180611-2350z.html>, abgerufen 09.10.18

Abbildung 32: Schematische Erklärung zur Entstehung des Föhns https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2018/10/10.html, abgerufen 09.10.18

Abbildung 33: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 8:00 Uhr – Wetterzustand auf der Schwäbischen Alb Hochnebelbewölkung Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar?wrx=51.01,10.5>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 34: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 10:00 Uhr – Wetterzustand Auflockerungen am Nordrand der Schwäbischen Alb Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 35: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 12:00 Uhr – Wetterzustand großflächige Auflockerungen am Nordrand der Schwäbischen Alb Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 36: Albföhn-Effekt am Beispiel des 10.10.2018. Aufnahmezeitraum: 13:00 Uhr – Wetterzustand weitläufige Auflockerungen am Nordrand der Schwäbischen Alb Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 37 und 38: Stauniederschlag bei westlichen Wetterlagen am Beispiel der Wetterlage des 21.09.2018. Mit schematischer Einzeichnung der Staulagen bei westlichen Wetterlagen (Vogesen und Schwarzwald).

www.physik.uni-regensburg.de/forschung/gebhardt/gebhardt_files/skripten/EuropaeischeWetterlagen.Hagner.pdf, abgerufen 12.10.18

<https://kachelmannwetter.com/de/regensummen/baden-wuerttemberg/niederschlagssumme-24std/20180921-2150z.html>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 39: Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes am Beispiel des 07.08.2018. Aufnahmezeit: 12:00 Uhr Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 40: Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes am Beispiel des 07.08.2018. Aufnahmezeit: 13:00 Uhr Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 41: Gewitterbildung über den Höhen des Schwarzwaldes am Beispiel des 07.08.2018. Aufnahmezeit: 13:30 Uhr Wetterradar WetterOnline <https://www.wetteronline.de/wetterradar>, abgerufen 12.10.18

Abbildung 42: Unwetterwarnung für die Stadt Reutlingen am 07.08.2018 <http://www.unwetterzentrale.de/uwz/europe.html>, abgerufen 13.10.18

Abbildung 43: Berechnung der Mittelwerte des Temperaturanstiegs der letzten 10 Jahre, Eigene Darstellung auf Grundlage der Wetterstation Reutlingen-Altenburg

Abbildung 44: Zeitliche Entwicklung der Winter und Sommertemperaturen, Eigene Darstellung auf Grundlage der Wetterstation Reutlingen-Altenburg

Abbildung 45: Entwicklung der Temperaturentwicklung, Eigene Darstellung auf Grundlage der Wetterstation Reutlingen-Altenburg

Abbildung 46: Zeitliche Entwicklung der Niederschläge, Eigene Darstellung auf Grundlage der Wetterstation Reutlingen-Altenburg

Abbildung 47: Überflutungsflächen der Echaz im Stadtkern, LUBW Kartendienst Überflutungsflächen <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 48: Überflutungsflächen der Echaz bei der Firma Bosch am Ortsrand des Stadtteils Betzingen, LUBW Kartendienst Überflutungsflächen

<http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 49: Überflutungsflächen der Echaz im Ortskern von Betzingen-LUBW Kartendienst Überflutungsflächen <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 50 / 51: Gewitterbildung über dem Nordrand der Schwäbischen Alb am 07.06.18 Links Niederschlagszustand 17:00 Uhr MESZ, Rechts Niederschlagszustand 17:30 Uhr MESZ WetterOnline Wetterradar <https://www.wetteronline.de/wetterradar?wrt=20181021-0755-2&wrx=51.01,10.5>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 52: Pegelstand der Echaz nach dem Gewitter am 07.06.18 um 17:45 MESZ, Eigene Bildquelle Aufnahmedatum 07.06.2018

Abbildung 53: Überflutungsflächen des Neckars bei Oferdingen LUBW Kartendienst Überflutungsflächen <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 54: Überflutungsflächen des Neckars zwischen Oferdingen und Mittelstadt, LUBW Kartendienst Überflutungsflächen <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 55: Anzahl der Tage mit Starkregenereignissen in den Sommermonaten (<10 l/m² in 6h) der Wetterstation Reutlingen-Altenburg <http://www.rtwetter.de/neu/index.php>, abgerufen 21.10.18

Abbildung 56: Anzahl der Hageltage zwischen 2005-2011 S.129 Marc Puskeiler (2013) Radarbasierte Analyse der Hagelgefährdung in Deutschland

Abbildung 57: Warnung für einer Hitzeperiode Anfang August 2018 www.unwetterzentrale.de, abgerufen 08.08.18

Abbildung 58 und 59: Auswirkungen auf die Vegetation in der Region Reutlingen während der Hitzewelle Anfang August 2018, Eigene Bildquelle

Abbildung 60 und 61: Links, Auswirkungen der Hitzeperiode 2018 auf den Staubbetroffenen Feldern Rechts, Auswirkungen im Oktober 2018, Eigene Bildquelle

Abbildung 62 und 63: Auswirkungen des Hitzesommers 2018 auf die Stadtbäume Aufnahmedatum: 06.08.2018 Eigene Bildquelle

Abbildung 64: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wilfried Endlicher, Einführung in die Stadtökologie S.242 ff.

Abbildung 65: Temperaturfeld in Karlsruhe um 04:00 Uhr morgens in 2m Höhe während einer hochsommerlichen Wetterlage als Grundlage für den Rahmenplan Klimaanpassung. <https://www.karlsruhe.de/b3/bauen/pro->

iekte/klimaanpassung/HF_sections/content/ZZICX0Pvquij3Xx/ZZm2CEM87ZaAB8/Begleitheft%20Teil%201.pdf
S.5, abgerufen 12.11.18

Abbildung 66 und 67: Wirkung von Stadtbäumen auf die Umgebungstemperaturen <http://wua-wien.at/naturschutz-und-stadtoekologie/weiterfuehrende-informationen-zum-thema17/klima-wiens> Fotos: Städtische Grünfläche, Straßenverkehr: W. Doppler, WUA, <https://www.tag24.de/nachrichten/andreas-roloff-baumversteh-er-handbuch-baumdiagnostik-17143>, abgerufen 29.10.18

Abbildung 68: Wichtige Frei- und Grünräume in der Reutlinger Innenstadt-Eigene Darstellung, Bildquelle Google-Earth

Abbildung 69: Aktuelle Freiraumsituation am Tübinger Tor Eigene Bildquelle

Abbildung 70: Mögliche Zielplanung am Tübinger Tor um sommerlichen Temperaturspitzen abzumildern.

Eigene Darstellung, Bildquelle Stadtplan Reutlingen, <https://stadtplan.reutlingen.de/>, abgerufen 11.11.18

Abbildung 71: Mögliche Zielplanung im Bürgerpark zwischen Bruderhaus und Skateranlage, Bildquelle Stadtplan Reutlingen, <https://stadtplan.reutlingen.de/>, abgerufen 11.11.18

Abbildung 72: Mögliche Zielplanung am Zentralen Omnibusbahnhof Reutlingen „Erlebnisoase Echaz“ Bildquelle Stadtplan Reutlingen, <https://stadtplan.reutlingen.de/>, abgerufen 11.11.18

Abbildung 73: Landezine (o.J.) The Paillon Promenade <http://www.landezine.com/index.php/2015/06/the-paillon-promenade-by-pena-paysages/>, abgerufen 29.11.18

Abbildung 74 und 75: Eigene Bildquelle, Aufnahmedatum August 2015

Abbildung 76: Luftbild des Bereiches um den Listplatz Bildquelle: Google-Earth

Abbildung 77: Wärmequellen eines städtischen Straßenzuges, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt S.28, abgerufen 01.11.18

Abbildung 78: Dachbegrünung dauerstaunässe mit verdunstungsstarken Pflanzen Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt S.30, abgerufen 01.11.18

Abbildung 79: Intensive und extensive Dachbegrünung, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt S.30, abgerufen 01.11.18

Abbildung 80: Sonderformen bei geneigten Dächern sowie in Verbindung mit Aufenthaltsqualität Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt S.30 f. abgerufen 01.11.18

Abbildung 81, 82 und 83: Möglichkeiten der Fassadenbegrünung

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt S.33 f. abgerufen 01.11.18

Abbildung 84, 85 und 86: Möglichkeiten für eine verschattete Fassade, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin (2016) Broschüre Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt S.33 f. abgerufen 01.11.18

Abbildung 87: Topografische Karte der Stadt Reutlingen: <https://opentopomap.org/#map=13/48.49755/9.19127>, abgerufen 04.12.18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1, 2 und 3: Stadtbäume die nicht mehr in Städten gepflanzt werden sollten.

Tabelle 4: Handlungsempfehlung 1: Entsiegelung innerstädtischer Fläche (Eigene Darstellung)

Tabelle 5: Handlungsempfehlungen 2: Erhalt und Entwicklung von Kalt / Frischluftbahnen (Eigene Darstellung)

Tabelle 6: Handlungsempfehlungen 3: Pflanzenstandortwahl und Pflanzenarten optimieren (Eigene Darstellung)

Tabelle 7: Handlungsempfehlungen 4: Entwicklung von blau-grünen Bändern (Eigene Darstellung)

Tabelle 8: Handlungsempfehlungen 5: Umweltbildung stärken (Eigene Darstellung)

Tabelle 9: Handlungsempfehlungen 6: Information und Kommunikation (Eigene Darstellung)

Tabelle 10: Handlungsempfehlungen 7: Technische Maßnahmen an Gebäuden und urbanen Freiflächen (Eigene Darstellung)

Tabelle 11: Handlungsempfehlungen 8: Stärkung des alternativen Umweltverbundes (Eigene Darstellung)