

KLIMAANPASSUNGSKONZEPT KAISERSLAUTERN

KAISERSLAUTERN IM KLIMAWANDEL – WIR GESTALTEN UNSERE ZUKUNFT!



IMPRESSUM

Herausgeber

Stadtverwaltung Kaiserslautern | Referat Umweltschutz
Lauterstraße 2 | 67657 Kaiserslautern
Telefon: +49 (0)631 365-1150 | Telefax: +49 (0)631 365-1159
Email: umweltschutz@kaiserslautern.de
Internet: www.kaiserslautern.de



in Kooperation mit:

Stadtentwässerung Kaiserslautern - Anstalt des öffentlichen Rechts
der Stadt Kaiserslautern (STE AöR)
Telefon +49 (0)631 3723-0 | Telefax +49 (0)631 3723-100
E-Mail: info@ste-kl.de
Internet: www.ste-kl.de



Gefördert vom:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03K05749

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Auftragnehmer:

DAHLEM Beratende Ingenieure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG
Poststraße 9 | 64293 Darmstadt
Telefon: +49 (0)6151 85950 | Email: darmstadt@dahlem-ingenieure.de
Internet: www.dahlem-ingenieure.de

DAHLEM

in Kooperation mit:

MUST Städtebau GmbH
Eigelstein 103-113 | 50668 Köln
Telefon: +49 (0)221 1699 2929 | Email: mail@must.eu
Internet: www.must.nl/de



GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a | 30161 Hannover
Telefon: +49 (0)511 388 72 00 | Email: info@geo-net.de
Internet: www.geo-net.de



INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|------------|
| Inhaltsverzeichnis | III |
| Fact Sheet | 1 |
| 1 Einführung | 5 |
| 1.1 Hintergrund | 5 |
| 1.2 Projektziele und Projektablauf | 6 |
| 1.3 Beteiligungsprozess | 8 |
| 1.3.1 Steuerungsrunde | 9 |
| 1.3.2 AG Extremwetterereignisse | 9 |
| 1.3.3 Auftaktveranstaltung | 10 |
| 1.3.4 Workshop 1: Wirkungen des Klimawandels | 11 |
| 1.3.5 Workshop 2: Strategie und Maßnahmen zur Klimaanpassung | 13 |
| 1.3.6 Abschlussveranstaltung | 14 |
| 1.3.7 Schulprojekt | 14 |
| 2 Stadtklima und Klimawandel in Kaiserslautern | 16 |
| 2.1 Beobachteter Klimawandel in der Region Kaiserslautern | 16 |
| 2.2 Zukünftiger Klimawandel | 20 |
| 2.2.1 Methodik und Datengrundlage | 20 |
| 2.2.1.1 Daten | 20 |
| 2.2.1.2 Methodik | 21 |
| 2.3 Temperaturzunahme und Hitze | 27 |
| 2.4 Niederschlagsverschiebung und Trockenheit | 32 |
| 2.4.1 Niederschlagsverschiebung | 32 |
| 2.4.2 Trockenheit | 35 |
| 2.5 Starkniederschläge | 36 |
| 2.6 Sturmereignisse | 39 |
| 2.7 Zwischenfazit Klimaveränderungen | 40 |
| 3 Betroffenheitsanalyse | 43 |
| 3.1 Räumliche Betroffenheitsanalyse | 43 |
| 3.1.1 Stadtklima | 43 |
| 3.1.1.1 Hot-Spots Nachtsituation | 43 |
| 3.1.1.2 Hitzebelastung am Tage und Grünerreichbarkeit | 45 |
| 3.1.1.3 Demographische Verletzlichkeit | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.1.1.4 | Hot-Spots Stadtklima | 50 |
| 3.1.2 | Starkregen | 52 |
| 3.1.2.1 | Bekannte Gefährdungsbereiche | 52 |
| 3.1.2.2 | GIS-gestütztes Grob-Screening | 53 |
| 3.1.2.3 | Vereinfachte Starkregenrisikokarten und Risiko-Hot-Spots | 57 |
| 3.2 | Funktionale Betroffenheitsanalyse (Wirkungsanalyse) | 63 |
| 3.2.1 | Analyseprozess | 63 |
| 3.2.2 | Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit | 64 |
| 3.2.2.1 | Wirkungskette Menschliche Gesundheit (Abb. 37) | 66 |
| 3.2.3 | Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt | 67 |
| 3.2.3.1 | Wirkungskette Wasser (Abb. 38) | 69 |
| 3.2.3.2 | Wirkungskette Boden (Abb. 39) | 70 |
| 3.2.3.3 | Wirkungskette Natur und Stadtgrün (Abb. 40) | 71 |
| 3.2.3.4 | Wirkungskette Landwirtschaft (Abb. 41) | 72 |
| 3.2.3.5 | Wirkungskette Wald- und Forstwirtschaft (Abb. 42) | 73 |
| 3.2.4 | Auswirkungen des Klimawandels auf Infrastrukturen und Gebäude | 74 |
| 3.2.4.1 | Wirkungskette Bauwesen (Abb. 43) | 77 |
| 3.2.4.2 | Wirkungskette Verkehr (Abb. 44) | 78 |
| 3.2.4.3 | Wirkungskette Energie (Abb. 45) | 79 |
| 3.2.4.4 | Wirkungskette Industrie und Gewerbe (Abb. 46) | 80 |
| 3.2.4.5 | Wirkungskette Naherholung und Tourismus (Abb. 47) | 81 |
| 4 | Gesamtstrategie zur Klimaanpassung | 82 |
| 4.1 | Zielfindung und Konzeptentwicklung | 82 |
| 4.2 | Anpassungsstrategie | 83 |
| 4.3 | Kernziele und Maßnahmen für die Klimaanpassung in Kaiserslautern | 83 |
| 4.3.1 | Ziel 1: Hitze mindern – Grün schaffen | 84 |
| 4.3.1.1 | Zielbeschreibung | 84 |
| 4.3.1.2 | Maßnahmenpakete | 85 |
| 4.3.2 | Ziel 2: Schäden durch Starkregen minimieren | 98 |
| 4.3.2.1 | Zielbeschreibung | 98 |
| 4.3.2.2 | Maßnahmenpakete | 104 |
| 4.3.3 | Ziel 3: Klimaanpassung organisieren (Verstetigungsstrategie) | 113 |
| 4.3.3.1 | Zielbeschreibung | 113 |
| 4.3.3.2 | Maßnahmenpakete | 116 |
| 4.3.4 | Ziel 4: Bürger und Unternehmen aktiv einbinden (Kommunikationskonzept) | 123 |
| 4.3.4.1 | Zielbeschreibung | 123 |
| 4.3.4.2 | Maßnahmenpakete | 125 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.3.5 | Ergänzende Maßnahmen | 136 |
| 4.4 | Kosten und Nutzen | 138 |
| 4.5 | Controllingkonzept | 138 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick | 140 |
| 6 | Literatur | 148 |
| 7 | Abbildungsverzeichnis | 152 |
| 8 | Tabellenverzeichnis | 155 |
| 9 | Bildnachweis | 156 |
| 10 | Anhang | 157 |
| 10.1 | Anhang 1: Klimawandel in Kaiserslautern | 157 |
| 10.1.1 | Temperaturzunahme und Hitze | 158 |
| 10.1.2 | Niederschlagsverschiebung | 161 |
| 10.1.3 | Trockenheit | 163 |
| 10.1.4 | Starkniederschläge: Starker Niederschlag ($N \geq 10$ mm/d) | 165 |
| 10.1.5 | Starkniederschläge: Stärkerer Niederschlag ($N \geq 20$ mm/d) | 167 |
| 10.1.6 | Starkniederschläge: Starkniederschlag ($N \geq 50$ mm/d) | 169 |
| 10.1.7 | Sturm: Sturmereignisse (Bft 9) | 170 |
| 10.1.8 | Sturm | 172 |
| 10.2 | Anhang 2: Fragebogen Betroffenheitsanalyse (Beispiel Wasser) | 173 |
| 10.3 | Anhang 3: Controlling-Bogen | 177 |

FACT SHEET

PROJEKTZIEL

Entwicklung eines ressortübergreifenden Klimaanpassungskonzeptes (KLAK)

ERWARTETE KLIMAVERÄNDERUNGEN (2071 – 2100)

| | |
|------------------------------|--|
| Temperatur und Hitze | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zunahme der Jahresmitteltemperaturen (ca. 1-4 K) ▪ mehr Heiße Tage (von 9 auf 16-40 Tage pro Jahr) ▪ mehr Tropennächte ▪ häufigere und länger andauernde Hitzeperioden ▪ halbjähriges Auftreten von Hitzewellen, die heute etwa alle 10 Jahre auftreten ▪ Abnahme von Frost- und Eistagen |
| Niederschlag und Trockenheit | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zunahme des Jahresniederschlages um bis zu 9 % ▪ trockenere Sommer und feuchtere Winter (Niederschlags-höhe Winter um bis zu +29 %, Sommer um bis zu -13 %) ▪ längere Trockenperioden im Sommer |
| Starkregen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zunahme des Anteils von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlag ▪ Zunahme der Niederschlagsintensität |
| Sturm | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tendenz zu mehr Sturmtagen und höheren Sturmintensitäten |

STRATEGIE

- Durch die gezielte Anpassung der Stadt an den Klimawandel sollen in den nächsten Jahrzehnten die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualität sowie die allgemeinen Umweltbedingungen erhalten und verbessert werden.
- Die Stadt mit ihrer Bebauung, ihrer Infrastruktur und ihren Naturräumen wird sukzessive so weiterentwickelt und gestaltet, dass die negativen Folgen des Klimawandels minimiert werden. Die Vorsorge gegenüber Hitze, Trockenheit, Starkregen und Sturm steht hierbei im Fokus.
- Der Klimawandel und die Erfordernisse der Anpassung an seine Folgen stellen ein zentrales Planungskriterium bei der städtischen Entwicklung dar. Getragen vom politischen Willen von Verwaltungsspitze und Stadtrat, greift das administrative, planerische und bauliche Handeln die Belange der Klimaanpassung konsequent auf.

STRATEGIE [Forts.]

- Die Klimaanpassung versteht sich als dauerhafte Querschnittsaufgabe und umfasst vielfältige gemeinschaftliche Aktivitäten, die im Zusammenspiel von Stadtverwaltung, städtischen Beteiligungsunternehmen, Bürgerschaft und lokaler Wirtschaft mit weiteren Akteuren erarbeitet, gebündelt und umgesetzt werden. Auch der einzelne Bürger und Unternehmen sind aufgefordert, im Rahmen der Eigenvorsorge selbst aktiv zu werden.

KERNZIELE DES KLIMAANPASSUNGSKONZEPTES

- Hitze mindern – Grün schaffen!
- Schäden durch Starkregen minimieren!
- Klimaanpassung organisieren! (→ Verstetigungsstrategie)
- Bürger und Unternehmen aktiv einbinden! (→ Kommunikationskonzept)

MASSNAHMENPAKETE (KOMMUNALE AKTIONSFELDER)

(1) Hitze mindern – Grün schaffen!

Den zu erwartenden Belastungen für Mensch, Natur und Infrastruktur durch eine zunehmende sommerliche Hitze wird durch die Erhaltung und vor allem die gezielte Neuschaffung von Grünräumen mit positivem lokalklimatischem Effekt in enger Verknüpfung mit weiteren hitzemindernden und ökologiefördernden Maßnahmen begegnet.

- HG-01: Entsiegelung und Begrünung
- HG-02: Stadtbaumbestand erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln
- HG-03: Anreize für Dach- und Fassadenbegrünung (in Kombination mit PV)
- HG-04: Verbesserung der Informations- und Abwägungsgrundlagen zur Hitzevorsorge
- HG-05: Verschattung im öffentlichen Raum
- HG-06: Biodiversität in der Stadt fördern

(2) Schäden durch Starkregen minimieren!

Der Verwundbarkeit der Stadt gegenüber Starkregen wird durch ein aktives Starkregenrisikomanagement begegnet. Dieses Starkregenrisikomanagement bündelt und koordiniert alle zielführenden Vorsorge- und Bewältigungsmaßnahmen auf kommunaler Ebene. Es umfasst das Erkennen und Bewerten der bestehenden Risiken gegenüber Niederschlägen jenseits des Bemessungsniveaus der öffentlichen Entwässerungssysteme sowie die Entwicklung und Umsetzung geeigneter Vorkehrungen. Die planerische und technische Überflutungsvorsorge ist

MASSNAHMENPAKETE (KOMMUNALE AKTIONSFELDER) [Forts.]

hierbei eng verknüpft mit einem retentionsorientierten Regenwassermanagement, einer naturnahen Gewässerentwicklung sowie einer wassersensiblen und klimaangepassten Stadtgestaltung.

- SR-01: Starkregenrisikomanagement
- SR-02: Maßnahmen zum Schutz kritischer Infrastruktur
- SR-03: Hochwasserschutz und klimaangepasste Gewässerrenaturierung
- SR-04: Klimaangepasste Straßen- und Freiraumplanung

(3) Klimaanpassung organisieren!

(→ Verstetigungsstrategie)

Die Klimaanpassung wird in der täglichen Verwaltungspraxis verankert und innerhalb der Stadtverwaltung koordiniert. Hierzu werden die organisatorischen Rahmenbedingungen geschaffen und fachliche Leitlinien erarbeitet. Das Maßnahmenbündel bildet die Verstetigungsstrategie des KLAK.

- KO-01: Klimaanpassungsmanagement
- KO-02: Klimaanpassung in Bau- und sonstigen Planungsverfahren
- KO-03: Erstellung abgestimmter Alarm- und Einsatzpläne

(4) Bürger und Unternehmen aktiv einbinden!

(→ Kommunikationskonzept)

Bürger und Unternehmen werden zur aktiven Wahrnehmung ihrer Eigenverantwortung in Bezug auf die Klimaanpassung und den Überflutungsschutz durch die Stadtverwaltung zielgerichtet informiert und unterstützt. Das Maßnahmenbündel bildet das Kommunikationskonzept des KLAK.

- BU-01: Öffentlichkeitsarbeit zur Klimaanpassung
- BU-02: Klimaanpassungsdialog mit Unternehmen
- BU-03: Beratungsangebote und Dienstleistungen für die Bevölkerung
- BU-04: Trinkwasserbereitstellung im öffentlichen Raum
- BU-05: Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen

MASSNAHMENSTECKBRIEFE

Für alle Maßnahmenpakete als wesentliche kommunale Aktionsfelder zur Klimaanpassung wurden Maßnahmensteckbriefe erstellt, in denen Ziele und Gegenstand der Maßnahmen, sowie die Federführung, die Beteiligten, die Wechselwirkungen zu anderen Maßnahmenpaketen, Kostenaspekte, bestehende Anknüpfungspunkte, mögliche Pilotprojekte sowie Referenzen im Sinne von Best-Practice-Beispielen kompakt zusammengestellt und benannt sind.

CONTROLLINGKONZEPT

- Dokumentation aller Umsetzungsprojekte in zentralem Controlling-Bogen (Excel-Tabelle, Koordination durch Klimaanpassungsmanagement, Input durch federführende Akteure der einzelnen Projekte)
- regelmäßige Diskussion des Umsetzungsfortschritts in der AG Extremwetterereignisse (oder Nachfolge-AG Klimaanpassung)
- jährlicher Bericht an Stadtrat/Gremien
- Überprüfung des KLAK alle 5-10 Jahre (Grundausrichtung, Wirkungsketten, Strategie, Maßnahmen) und Erstellung Fortschrittsbericht / Aktualisierung des KLAK

KOSTEN UND NUTZEN

Mit dem Klimawandel und der Notwendigkeit zur Klimaanpassung kommen – auch unabhängig vom vorliegenden Klimaanpassungskonzept – neue und z.T. zusätzliche Aufgaben auf die Stadtverwaltung zu, die sich in einem erhöhten Mittel- und Personalbedarf niederschlagen und denen im städtischen Haushalt Rechnung zu tragen sein wird. Das Klimaanpassungskonzept sorgt für eine koordinierte und effiziente Nutzung dieser Ressourcen. Es umfasst dabei sowohl Maßnahmen, die ohne Zusatzkosten bzw. weitgehend kostenneutral vollzogen werden können, als auch Maßnahmen, die mit zusätzlichen Personal-, Investitions- und Unterhaltungskosten verbunden sind. Diesen Kosten stehen die Verminderung von Schäden an Bebauung und Infrastruktur, die Vermeidung oder Dämpfung von Gesundheits- und Umweltbeeinträchtigungen sowie die Sicherung und Verbesserung von Lebens-, Wohn- und Arbeitsqualität gegenüber. Diese positiven Wirkungen der Klimaanpassung entziehen sich einer rein monetären Bewertung.

Weder die Kosten, die für die Stadt Kaiserslautern mit der Klimaanpassung verbunden sind, noch die eingesparten Schäden lassen sich derzeit fundiert quantifizieren. Sie hängen auch von der letztlichen Umsetzungsintensität und den realisierten Maßnahmen ab. Generell gilt es, bestehende finanzielle Fördermöglichkeiten konsequent auszuschöpfen und kostensparende Synergien mit ohnehin vollzogenen Aktivitäten und Maßnahmen zu schaffen (Huckepack-Lösungen), wo immer dies möglich ist. Die Umsetzung der Maßnahmen muss zudem im Einklang mit dem städtischen Haushalt erfolgen (Haushaltsvorbehalt).

KAISERSLAUTERN IM KLIMAWANDEL – WIR GESTALTEN UNSERE ZUKUNFT!

1 EINFÜHRUNG

1.1 Hintergrund

Spätestens durch die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro und der dort verabschiedeten Klimarahmenkonvention ist der Klimawandel von der globalen bis hinunter zur regionalen Ebene als eine der größten Herausforderungen der Zukunft anerkannt worden (UN 1992). Die Veränderung des Weltklimas und die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels werden seitdem durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, „Weltklimarat“) in regelmäßigen Sachstandsberichten dokumentiert und öffentlichkeitswirksam diskutiert.

Angesichts der jüngsten Aussagen des IPCC (IPCC 2014, IPCC 2018), global ansteigender CO₂-Emissionen und zäher Verhandlungen der Weltgemeinschaft zu einem Post-Kyoto Abkommen, ist davon auszugehen, dass die Klimafolgenanpassung im Laufe der kommenden Jahrzehnte noch weiter an Bedeutung gewinnen wird. Daher hat die Europäische Union ihre Mitgliedsstaaten im Rahmen einer Klimafolgenanpassungsstrategie zu einem gemeinschaftlichen Vorgehen aufgefordert (EU-Kommission 2007, 2009, 2013). Zur Begleitung der Umsetzung der Strategie auf kommunaler Ebene wurde der „Covenant of Mayors for Climate and Energy“ als Netzwerk zum gegenseitigen Erfahrungsaustausch ins Leben gerufen.

Der Aufforderung der EU sind mittlerweile viele europäische Staaten gefolgt und haben nationale Anpassungsstrategien auf den Weg gebracht. Der deutsche Anpassungsprozess wird vom Umweltbundesamt bzw. vom dortigen „Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass)“ im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, und Reaktorsicherheit (BMU, früher BMUB) gesteuert. Die Bundesrepublik Deutschland gehört mit der 2008 verabschiedeten „Deutschen Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels (DAS)“ (Bundesregierung 2008) sowie dem „Aktionsplan Anpassung I + II“ (Bundesregierung 2011, 2015) zu den europäischen Vorreitern, die der Klimaanpassung in Deutschland einen politischen Rahmen geben.

In der DAS werden Aussagen zu beobachteten und erwarteten Klimaänderungen getroffen und es sind notwendige Schritte genannt, um Anpassungsmaßnahmen rechtzeitig und damit vorausschauend umsetzen zu können. Die DAS stellt mögliche Folgen des Klimawandels in verschiedenen Handlungsfeldern vor und zeigt Handlungsoptionen auf. Damit legt sie den Grundstein für einen mittelfristigen Prozess, der Deutschland widerstandsfähiger gegenüber Klimaänderungen und deren Auswirkungen machen wird. Die DAS und der Aktionsplan werden regelmäßig evaluiert und fortgeschrieben (UBA 2015a). Für die kommunale Ebene ist vor allem die Studie „Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel“ von besonderer Relevanz (UBA 2015b). Dort sind methodische Standards gesetzt sowie, in Abhängigkeit vom Naturraum, klimasensible Handlungsfelder identifiziert, operationalisiert und hinsichtlich ihrer Vulnerabilität bewertet worden.

Klimaschutz ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, die das Mitwirken aller in den unterschiedlichsten Bereichen erfordert. Mit der Nationalen Klimaschutzinitiative initiiert und fördert das Bundesumweltministerium (BMU) seit 2008 zahlreiche Projekte, die einen Beitrag

zur Senkung der Treibhausgasemissionen leisten. Ihre Programme und Projekte decken ein breites Spektrum an Klimaschutzaktivitäten ab: Von der Entwicklung langfristiger Strategien bis hin zu konkreten Hilfestellungen und investiven Fördermaßnahmen. Diese Vielfalt ist Garant für gute Ideen. Die Nationale Klimaschutzinitiative trägt zu einer Verankerung des Klimaschutzes vor Ort bei. Von ihr profitieren Verbraucherinnen und Verbraucher ebenso wie Unternehmen, Kommunen oder Bildungseinrichtungen.

Unter diese Förderung des BMU Hierunter fallen auch Projekte, die auf die kommunale Anpassung an den Klimawandel abzielen (z.B. Klimaschutzteilkonzepte zur Klimaanpassung). Unter Anpassung an den Klimawandel wird hierbei die Einstellung auf bereits erfolgte und noch zu erwartende Änderungen des Klimas verstanden, sodass daraus entstehende Risiken weitgehend vermieden und Chancen genutzt werden. Es handelt sich dabei um eine Querschnittsaufgabe der Daseinsvorsorge, die viele verschiedene Bereiche des staatlichen und privaten Handelns betrifft. In den Kommunen treffen diese Bereiche direkt zusammen. Daher ist die Erstellung einer Anpassungsstrategie bzw. eines Anpassungskonzepts eine gesamtkommunale Aufgabe.

Auf allen skizzierten politischen Ebenen wird den Kommunen und den mit ihr verbundenen Stadtgesellschaften eine zentrale Rolle im Klimaschutz und im Anpassungsprozess an die Folgen des Klimawandels zugeschrieben. Auch von Verbandsseite wird diese Rollenzuweisung unterstützt (Deutscher Städtetag 2012). Dies liegt vor allem darin begründet, dass sich der Klimawandel aufgrund inhomogener Vulnerabilitäten kleinräumig unterschiedlich auswirken wird und es daher an die lokalen Verhältnisse angepasste Reaktionen bedarf. In der Deutschen Anpassungsstrategie heißt es hierzu: **“Da Anpassung in den meisten Fällen auf regionaler oder lokaler Ebene erfolgen muss, sind viele Entscheidungen auf kommunaler oder Kreisebene zu treffen“** (Bundesregierung 2008).

1.2 Projektziele und Projektablauf

Kommunen und ihre Verwaltung sind sektoral nach unterschiedlichen Aufgaben organisiert (Stadtentwicklung, Umweltschutz, Straßenbau, Grünflächen, Stadtentwässerung, Hochbau etc.). Die Klimaanpassung ist hingegen eine Aufgabe, die alle diese Bereiche betrifft bzw. zu der alle diese Verwaltungsbereiche einen Beitrag leisten müssen (UBA 2018, DWA 2013). Ein unkoordiniertes Vorgehen wird bei der Klimaanpassung kaum zum Erfolg führen. Daher ist es bedeutsam, dass die verschiedenen Aktivitäten zielgerichtet, abgestimmt und effizient erfolgen. Sie müssen auf die wesentlichen lokalen Betroffenheiten durch den Klimawandel ausgerichtet sein und es bedarf einer klaren, intern abgestimmten Vorgehensweise im Sinne einer grundlegenden Strategie, die dann konsequent verfolgt und umgesetzt wird. Die Entwicklung eines solchen, ganzheitlich ausgerichteten Anpassungskonzeptes ist Gegenstand des vorliegenden Vorhabens.

Im Zuge der Entwicklung dieses kommunalen Klimaanpassungskonzeptes sind v. a. folgende Fragen für die Stadt Kaiserslautern zu beantworten:

- Welche Klimaveränderungen sind bereits zu beobachten und welche Klimaveränderungen sind in den nächsten Jahrzehnten noch zu erwarten?

- Wie wirken sich diese Klimaveränderungen aus und welche Sektoren (Gesundheit, Umwelt, Wirtschaft, Infrastruktur etc.) bzw. welche lokalen Bereiche innerhalb der Stadt (Innenstadt, Randbebauung, Stadtteile) sind besonders betroffen?
- Welchen negativen Wirkungen des Klimawandels sollte versucht werden entgegenzutreten und welche Maßnahmen bzw. Aktivitäten sind hierzu geeignet?
- Wer kümmert sich um diese Maßnahmen und wer ist hierbei zu beteiligen?
- Wie lassen sich diese Maßnahmen in einer Gesamtstrategie bündeln und mit welchen Pilotprojekten kann ihre Umsetzung beginnen?
- Wie kann es gelingen, die Klimaanpassung dauerhaft im Verwaltungshandeln zu etablieren und zu verstetigen?
- Wie lassen sich hierbei Klimaschutz und Klimaanpassung miteinander verbinden?
- Welche erfolgreichen Ansätze und Maßnahmen kann man von anderen Kommunen übernehmen bzw. adaptieren?

Das vorliegende Projekt ist zur Beantwortung dieser Fragen gemäß „Merkblatt Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten“ in acht Arbeitspakete gegliedert (Abb. 1; BMUB 2017).

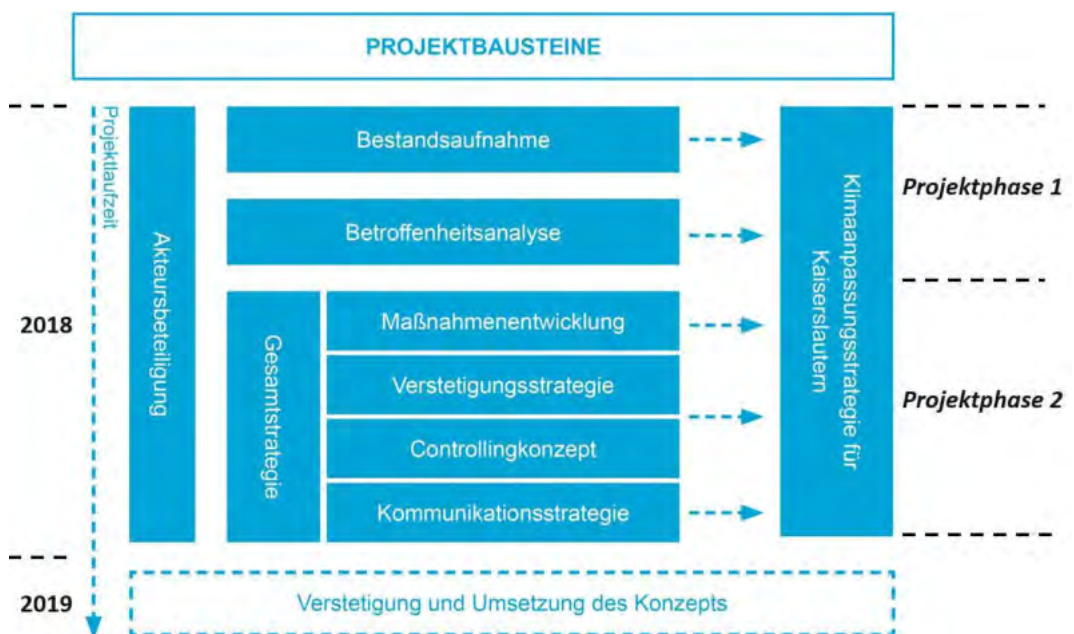


Abb. 1: Schematischer Projektablauf

Die Kernelemente bilden die regionalen Ergebnisse zum erwarteten Klimawandel (Kap. 2), die räumlich-funktionale Betroffenheitsanalyse (Kap. 3) sowie die Gesamtstrategie mit den zugehörigen Maßnahmenpaketen (Kap. 4). Die Klimaanpassungsstrategie setzt sich dabei aus der Formulierung der zentralen Ziele, den wesentlichen Handlungsmaximen sowie den umzusetzenden Maßnahmenpaketen (kommunale Aktionsfelder) zusammen.

In diesem Zusammenhang beschreiben die zu erarbeitenden Maßnahmenpakete die übergeordneten Aktivitäten auf kommunaler Ebene, nicht jedoch einzelne lokale (Bau)Maßnahmen (Abb. 2). Sie bilden vielmehr den grundlegenden Handlungsrahmen zur koordinierten Anpassung an den Klimawandel. Die eigentliche Klimaanpassung erfolgt dann anschließend durch die sukzessive Umsetzung des Konzeptes in entsprechenden Detailprojekten, Baumaßnahmen und Einzelaktivitäten.



Abb. 2: Konzeptentwicklung und Umsetzung (Begriffe und Beispiele)

Bei der Entwicklung des Klimaanpassungskonzeptes wurden Erfahrungen aus anderen Kommunen insbesondere durch das Gutachterteam eingespeist, sowohl was den Entwicklungsprozess als auch das letztliche Anpassungskonzept mit darin gebündelten Maßnahmen betrifft. Bei der Maßnahmenentwicklung bildeten Best-Practice-Beispiele aus anderen Kommunen eine gute Orientierung für den lokalen Akteurskreis. Von Beginn an diente zudem das erfolgreiche Bremer Anpassungskonzept KLAS mit seinem 3-Säulen-Prinzip zum Starkregenmanagement ((1) Schadensbegrenzung / Risikomanagement, (2) klima- und wassersensible Stadtentwicklung, (3) Öffentlichkeitsarbeit und Eigenvorsorge) als Orientierungshilfe.

1.3 Beteiligungsprozess

Die Auswirkungen des Klimawandels betreffen die Kaiserslauterer Stadtgesellschaft in ihrer Gesamtheit. Entsprechende Maßnahmen zur Klimaanpassung gehen daher über den Handlungsbereich einer öffentlichen Stadtverwaltung hinaus und erfordern eine breite Mitwirkung vieler gesellschaftlicher Stakeholder. Während der Konzepterstellung lag daher ein Schwerpunkt in der frühzeitigen Beteiligung wichtiger Akteure, die die Konzeptergebnisse mittragen und damit auch einen dauerhaften Umsetzungsprozess nach der Konzeptphase unterstützen.

Im Zuge der Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes für Kaiserslautern wurden verschiedene Fachgremien, Referate und stadt eigene Betriebe aktiv beteiligt (Steuerungsrunde, AG Extremwetterereignisse). Darüber hinaus wurde eine Reihe von Veranstaltungen durchgeführt (Auftaktveranstaltung, zwei Workshops, Abschlussveranstaltung) und damit eine Beteiligungsstruktur von Beginn der Konzeptphase an im Prozess implementiert.

Mit verschiedenen Ressorts (z. B. Stadtentwässerung) sowie verschiedenen Institutionen außerhalb der AG Extremwetterereignisse (z. B. Gesundheitsamt) wurden zusätzliche Besprechungstermine und Interviews durchgeführt.

Darüber hinaus wurde regelmäßig in den politischen Gremien (Umwelt-/Bauausschuss, Verwaltungsrat der Stadtentwässerung, Stadtrat) über den Fortgang des Projektes berichtet. Die Bevölkerung bzw. die allgemeine Öffentlichkeit wurden über entsprechenden Pressemitteilungen und Bekanntmachungen (Rheinpfalz, Amtsblatt) regelmäßig über das Projekt und den aktuellen Projektstand informiert sowie zur Beteiligung am Projekt eingeladen und aufgefordert. Gerade auch die aufgetretenen Starkregenereignisse und die sommerliche Hitzeperiode des Jahres 2018 boten eine gute Gelegenheit, auf die Thematik und das laufende Projekt aufmerksam zu machen. Ergänzend wurde u. a. auf der Internetpräsenz der Stadt Kaiserslautern über das Vorhaben informiert und eine direkte Beteiligungsmöglichkeit über ein Online-Formular geschaffen.

1.3.1 Steuerungsrunde

Eine verwaltungsinterne Steuerungsrunde diente dem inhaltlichen Austausch, der Reflektion und der Abstimmung der Arbeitsschritte zwischen den konzepterstellenden Büros (DAHLEM, GEO-NET und MUST) und der Stadt Kaiserslautern (vertreten durch das Referat Umwelt und die Stadtentwässerung) als Auftraggeberin. Neben Abstimmungstreffen vor Ort fand ein intensiver und regelmäßiger Austausch zwischen den konzepterstellenden Büros, der Auftraggeberin und den betreffenden Fachbereichen der Kaiserslauterer Stadtverwaltung statt.

1.3.2 AG Extremwetterereignisse

Bereits 2016 wurde seitens der Stadtverwaltung die ressortübergreifende Arbeitsgruppe Extremwetterereignisse eingerichtet. Diese verfolgt das Ziel, die fachübergreifende Zusammenarbeit in Fragen der Klimaanpassung zu gewährleisten und weiterzuentwickeln, aktuelle Themen zu besprechen (z. B. die Starkregenereignisse in 2018), in regelmäßigen Abständen über die möglichen Klimawandelfolgen zu berichten, für das Thema zu sensibilisieren und die Bevölkerung über mögliche Vorsorgemaßnahmen aufzuklären.

Die Arbeitsgruppe setzt sich aus MitarbeiterInnen folgender Referate und stadteigenen Betriebe zusammen:

- Referat Umweltschutz (15)
- Referat Tiefbau (66)

- Referat Stadtentwicklung (61)
- Referat Grünflächen (67)
- Referat Bauordnung (63)
- Referat Gebäudewirtschaft (65)
- Referat Feuerwehr und Katastrophenschutz (37)
- Stadtbildpflege Kaiserslautern - Eigenbetrieb der Stadt Kaiserslautern (SK)
- Stadtentwässerung AÖR (STE)

Die Arbeitsgruppe wurde während der gesamten Konzeptphase in regelmäßigen Abständen aktiv beteiligt, neben den Workshops v. a. im Rahmen mehrerer ausgedehnter Besprechungstermine (03.07.2018, 12.07.2018, 08.10.2018, 14.11.2018). Sie unterstützte die konzepterstellenden Büros in der Einordnung und Schärfung der Ergebnisse und trugen die Diskussion aus dem Prozess in die Verwaltungsressorts, um dort die fachliche Abstimmung vorzubereiten und das Thema in aktuelle Planungen einzubinden. Insbesondere bei der Vorauswahl der Maßnahmenoptionen sowie bei der Konkretisierung der Maßnahmenpakete fand ein intensiver Austausch zwischen den Gutachtern und der Arbeitsgruppe statt.

Die AG Extremwetterereignisse soll auch nach Fertigstellung des Anpassungskonzeptes fortbestehen (ggf. als AG Klimaanpassung). Mit ihr wurde bereits eine gute Basis für den ämterübergreifenden Austausch geschaffen. Die bestehenden Kooperationsstrukturen auf dem Gebiet der Klimafolgenanpassung gilt es im Hinblick auf eine erfolgreiche Umsetzung und ein Monitoring des Klimaanpassungskonzeptes zu stärken, auszuweiten und zu vertiefen.

1.3.3 Auftaktveranstaltung

Am 12. März 2018 fand im Rathaus der Stadt Kaiserslautern die Auftaktveranstaltung zum Klimaanpassungskonzept statt, an der ca. 40-50 Personen aus Fachöffentlichkeit, Kommunalpolitik, Stadtverwaltung und Bürgerschaft teilnahmen (Abb. 3).



Abb. 3: Auftaktveranstaltung am 12. März 2018 im Großen Ratssaal

Zum Einstieg in die Veranstaltung erläuterte der Umwelt- und Baudezernent die Bedeutung von Klimaschutz und Klimaanpassung sowie die bisherigen Aktivitäten der Stadt. Im Anschluss stellte ein Referent des Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

die bereits in der Region beobachteten Klimaveränderungen vor. Die konzepterstellenden Büros präsentierten anschließend die weiterhin zu erwartenden Klimaveränderungen für Kaiserslautern und erläuterten die Ziele sowie die vorgesehenen Arbeitsschritte zur Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes. Zum Abschluss der Veranstaltung konnten Anregungen, Fragen und Wünsche zum weiteren Vorgehen geäußert werden. Darüber hinaus konnten über einen Feedback-Bogen sowie ein Online-Formular auf der Homepage der Stadtverwaltung im Nachgang zur Veranstaltung Anregungen und Ideen beigesteuert werden.

1.3.4 Workshop 1: Wirkungen des Klimawandels

Am 26. April 2018 fand bei der Stadtentwässerung Kaiserslautern der erste Workshop zum Klimaanpassungskonzept statt, an der ca. 35 Personen teilgenommen haben (Abb. 4). Im Fokus der Veranstaltung stand die Frage, wie sehr Kaiserslautern vom Klimawandel betroffen ist und welche Auswirkungen der Klimaveränderungen für Kaiserslautern besonders relevant sind. Während des Workshops wurden durch die konzepterstellenden Büros zunächst die ersten Ergebnisse der Bestandsaufnahme zum Klimawandel sowie der Analysen zur räumlichen Betroffenheit der Stadt durch die Wetterextreme Starkregen und Hitze präsentiert. Im Anschluss daran wurden die lokalen Auswirkungen des Klimawandels in Kaiserslautern bewertet und der notwendige Handlungsbedarf zur Anpassung an die Klimafolgen ermittelt. Hierzu wurden drei Kleingruppen gebildet, die die Auswirkungen des Klimawandels auf die Bereiche „Menschliche Gesundheit“, „Umwelt“ und „Gebäude und Infrastrukturen“ näher betrachteten und die für Kaiserslautern relevantesten Auswirkungen identifiziert.



Abb. 4: Workshop 1 am 26. April 2018 bei der Stadtentwässerung Kaiserslautern

1.3.5 Workshop 2: Strategie und Maßnahmen zur Klimaanpassung

Am 12. September 2018 kamen Akteure aus der Kaiserslauterer Stadtverwaltung sowie aus Forschung, Wirtschaft, Politik und Verbänden zusammen (ca. 35 Personen), um sich im Rahmen des 2. Projektworkshops über mögliche Maßnahmen zur Anpassung der Stadt an den Klimawandel auszutauschen (Abb. 5).

Ziel der Veranstaltung war es, die zuvor mit der AG Extremwetterereignisse ausgewählten Maßnahmenpakete in breiter Runde zu diskutieren und für den weiteren Prozess zu konkretisieren.



Abb. 5: Workshop 2 am 13. September 2018 bei der Stadtentwässerung Kaiserslautern

Zur Einführung erläuterten die konzepterstellenden Büros den Anwesenden im Plenum das Vorgehen bei der Erstellung des Anpassungskonzepts und den aktuellen Arbeitsstand. Hierzu zählten vor allem die Ergebnisse der Betroffenheitsanalyse (Workshop 1) sowie die daraus abgeleiteten Ziele und Maßnahmenpakete.

Im Anschluss daran wurden die Teilnehmer in vier Kleingruppen unterteilt. Im Rahmen eines „Gallery-Walks“ hatte jede Kleingruppe dann die Möglichkeit, die vier – den Kernzielen des Anpassungskonzeptes zugeordneten – Posterstände zu besuchen. Dort diskutierten die TeilnehmerInnen jeweils 30 Minuten die zuvor erläuterten Maßnahmenpakete, stellten Rückfragen und entwickelten in einem lebhaften Austausch weitere Ideen.

Die Veranstaltung fand ihren Abschluss in einer Plenumsrunde, in der den Betreuern der jeweiligen Posterstände die Möglichkeit gegeben wurde, dem Plenum ihre Eindrücke und wichtigsten Erkenntnisse aus den Diskussionen zu schildern.

1.3.6 Abschlussveranstaltung

Im Rahmen der Abschlussveranstaltung am 7. März 2019 wurde die interessierte Öffentlichkeit über die Projektergebnisse informiert und der Startschuss für die Umsetzungsphase gegeben.

1.3.7 Schulprojekt

Begleitend zur von Beginn an vorgesehenen Akteursbeteiligung wurde im Rahmen des Projektes eine separate Initiative gestartet. Durch die Stadtverwaltung wurden die Schulen im Stadtgebiet angeschrieben, ob sich Schulklassen oder Schul-AGs an der Entwicklung des Klimaanpassungsprojektes aktiv beteiligen oder den Entwicklungsprozess begleiten möchten. Der Vorschlag wurde vom Hohenstaufen-Gymnasium Kaiserslautern aufgegriffen.

Schüler aus dem Erdkunde-Leistungskurs sowie der Film-AG des Gymnasiums haben an den Projekt-Workshops teilgenommen und einen Film über das Klimaanpassungsprojekt erstellt (Abb. 6). Hierzu wurden verschiedene Akteure der Stadtverwaltung, des Gutachterteams sowie Passanten in der Kaiserslauterer Innenstadt interviewt. Darüber hinaus wurde durch das Gutachter-Team zusammen mit der Stadtentwässerung Kaiserslautern ein Junior-Workshop in der Schule abgehalten, bei dem sich die Schüler intensiv mit der Klimaanpassung in ihrer Stadt auseinander setzen konnten. Auf der Grundlage des im Rahmen des Projektes erarbeiteten Kartenmaterials haben sich die Schüler zudem ausgewählte Problembereiche innerhalb des Stadtgebietes vor Ort angesehen, analysiert und Lösungsvorschläge für diese Bereiche entwickelt.

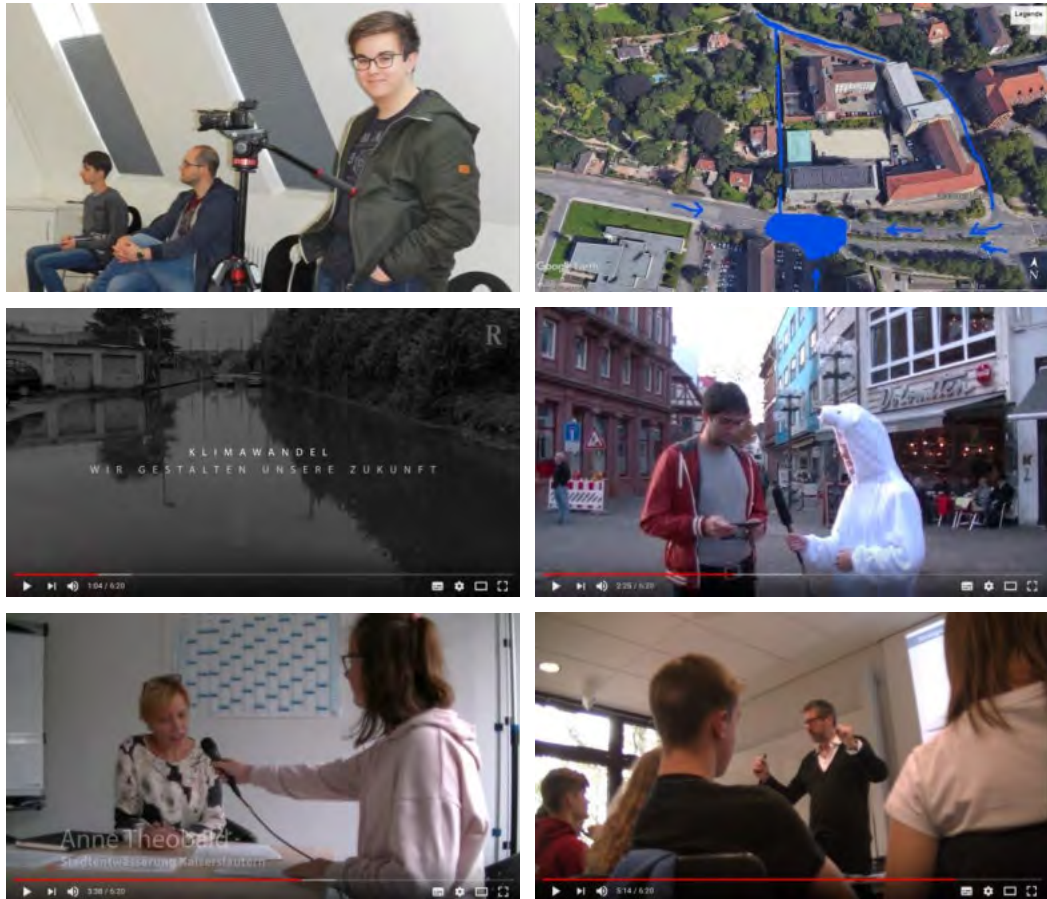


Abb. 6: Einbindung von SchülerInnen des Hohenstaufen-Gymnasiums Kaiserslautern (Projekt-Workshops, Junior-Workshop, Filmbeitrag)

2 STADTKLIMA UND KLIMAWANDEL IN KAISERSLAUTERN

2.1 Beobachteter Klimawandel in der Region Kaiserslautern

Rheinland-Pfalz ist durch ein westeuropäisch-atlantisches Klima geprägt, das durch milde Winter, gemäßigte Sommer und hohe jährliche Niederschlagsmengen gekennzeichnet ist. Der Klimawandel hat bereits zu messbaren Veränderungen geführt. Seit Beginn der systematischen Aufzeichnungen Ende des 19. Jahrhunderts ist die mittlere Jahrestemperatur in Rheinland-Pfalz um ca. 1,6 °C angestiegen, wobei dieser Anstieg besonders stark in den letzten Jahrzehnten ausgefallen ist. Regional gibt es deutliche Unterschiede. Für Kaiserslautern wurde sogar ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur um 2,0 °C ermittelt (Abb. 7).

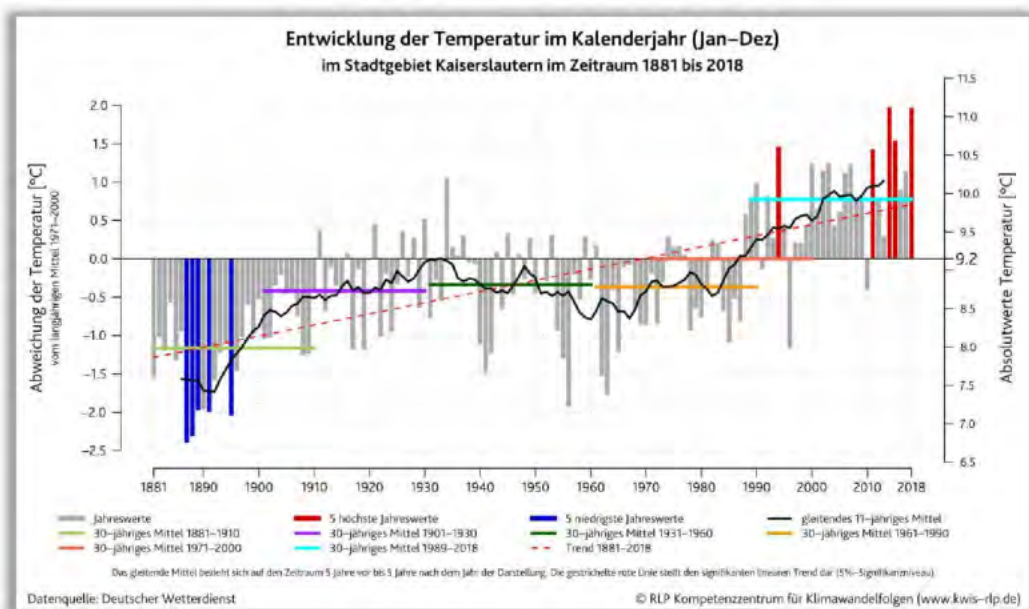


Abb. 7: Entwicklung der Temperatur in Kaiserslautern (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de)

Die beobachtete Erwärmung geht einher mit deutlichen Veränderungen der sogenannten Kenntage. Dies sind Tage, an denen ein festgelegter Schwellenwert eines klimatischen Parameters erreicht, beziehungsweise über- oder unterschritten wird. Tage mit einer maximalen Temperatur von 25 °C oder mehr bspw. gelten als Sommertage. Die Anzahl an Sommertagen ist im Landesmittel seit 1951 um 23 Tage pro Jahr angestiegen. In Kaiserslautern hat die Anzahl an Sommertagen im selben Zeitraum um 28 Tage pro Jahr zugenommen. (Abb. 8). Eine entgegengesetzte Entwicklung zeigen die Frosttage, an welchen die Minimumtemperatur unter 0 °C fällt. Während im Landesmittel deren Anzahl seit 1951 um 23 Tage pro Jahr zurückgegangen ist beträgt der Rückgang in Kaiserslautern 26 Tage pro Jahr.

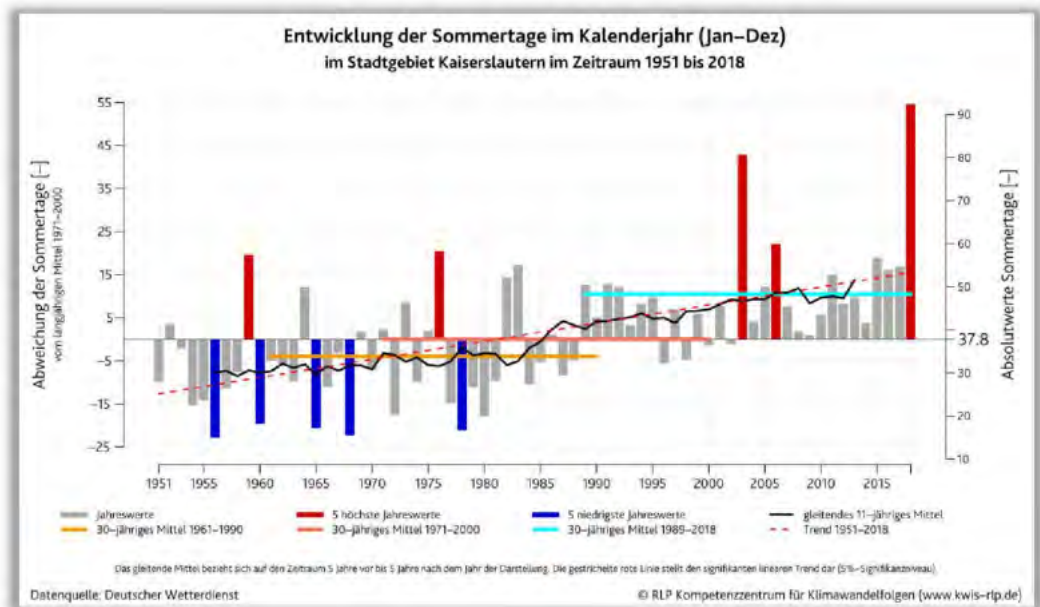


Abb. 8: Entwicklung der Sommertage in Kaiserslautern (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de)

Auch beim Niederschlag hat der Klimawandel bereits zu teilweise deutlichen Veränderungen seit Beginn der systematischen Messungen Ende des 19. Jahrhunderts geführt. So ist die mittlere jährliche Niederschlagsmenge in Kaiserslautern in diesem Zeitraum um gut 10 % angestiegen und betrug im 30-jährigen Zeitraum 1971 bis 2000 circa 800 l/m² (Abb. 9). Die Niederschlagsmengen im Sommer und Herbst sind in etwa gleich geblieben, jedoch haben die Niederschläge im Frühjahr um ca. 14 % und im Winter um ca. 38 % zugenommen. Es deutet sich somit eine auffallende Tendenz zu einer Niederschlagsverschiebung im mittleren Jahresverlauf an.

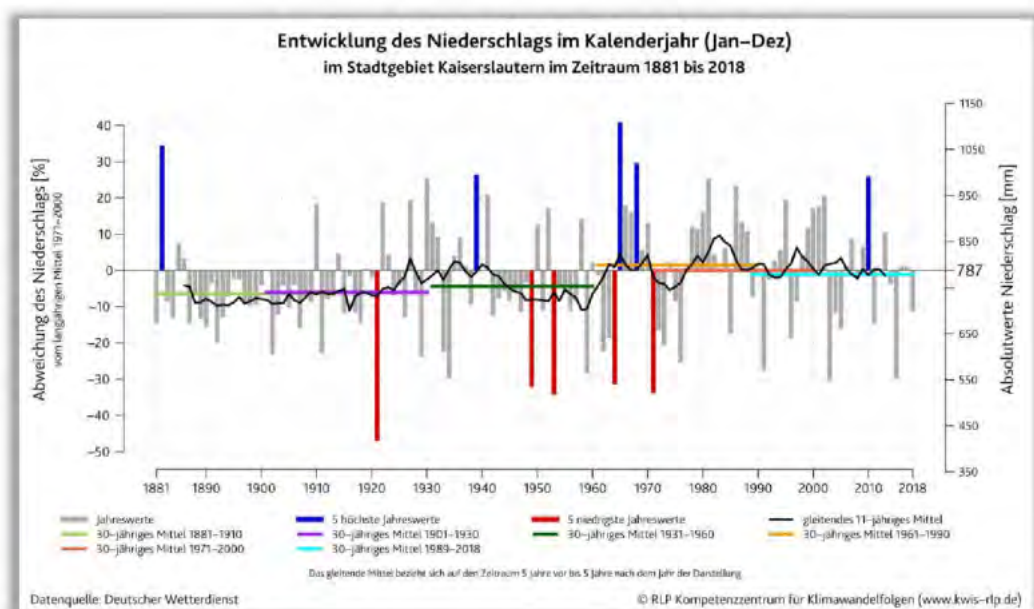


Abb. 9: Entwicklung des Niederschlags im Kaiserslautern (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de)

Mit der zunehmenden Erwärmung steigt das Potenzial für starke Niederschläge. Starkniederschläge sind schwer zu erfassen, da sie eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität besitzen und somit oftmals nur lokal begrenzt auftreten. Eine flächendeckende Erfassung mit Radar ist erst seit Beginn des 21. Jahrhunderts möglich. Diese Zeitreihen sind aber noch nicht lang genug, um gesicherte klimatische Aussagen treffen zu können.

Deutlich längere Zeitreihen liegen für Tageswerte des Niederschlags vor. Allerdings können nur Häufigkeiten von Niederschlägen über einem bestimmten Schwellenwert ausgewertet werden. Eine Kombination mit der Dauer des zugehörigen Ereignisses ist nicht möglich. In Rheinland-Pfalz haben seit Mitte des 20. Jahrhunderts Tagesniederschläge von mehr als 10, 20 oder 30 Liter pro Quadratmeter bisher im Flächenmittel nicht zugenommen. Auch im Saar-Nahe-Bergland sind keine auffallenden Änderungen erkennbar (Abb. 10).

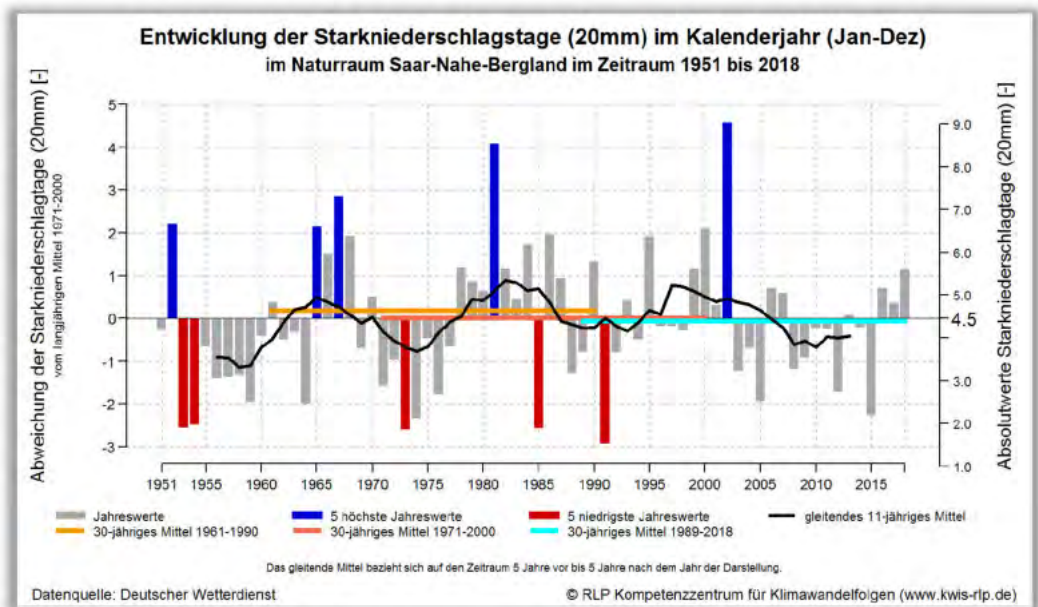


Abb. 10: Entwicklung der Starkniederschlagstage (20mm) im Naturraum Saar-Nahe-Bergland (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de)

Markante Sturmereignisse wie „Axel“ 2017 oder „Friederike“ im Jahr 2018 lassen die Frage über mögliche Änderungen der Häufigkeit von Stürmen aufkommen. Dies lässt sich nicht einfach beantworten, da die Messung der Windgeschwindigkeit empfindlich auf Änderungen der Messumgebung reagiert (z.B. wachsende Vegetation oder Änderung des Messstandortes). So weisen fast alle Windzeitreihen Inhomogenitäten auf und die zur Verfügung stehenden Zeitreihen sind oftmals nur einige Jahrzehnte lang, zu kurz, um Langzeittrends bestimmen zu können (DWD 2016).

Eine Möglichkeit, trotzdem Aussagen über die Entwicklung der Windgeschwindigkeit und des Auftretens von Stürmen abzuleiten, ist die Betrachtung des geostrophischen Windes. Dieser beruht auf Luftdruckdifferenzen und ist eng mit dem „wahren“ Wind gekoppelt. Es zeigen sich Abschnitte von mehreren Jahren bis wenigen Jahrzehnten mit höherem oder niedrigerem Sturmpotential. Deutlich erkennbar ist die sturmreiche Zeit der 1990er und 2000er Jahre, in die beispielsweise die Stürme Vivian und Wiebke (1990), Lothar und Anatol (1999), Kyrill (2007) sowie Emma (2008) fielen (RPKK 2018). Einen deutlichen Trend zeigen die Daten jedoch nicht auf (Abb. 11).

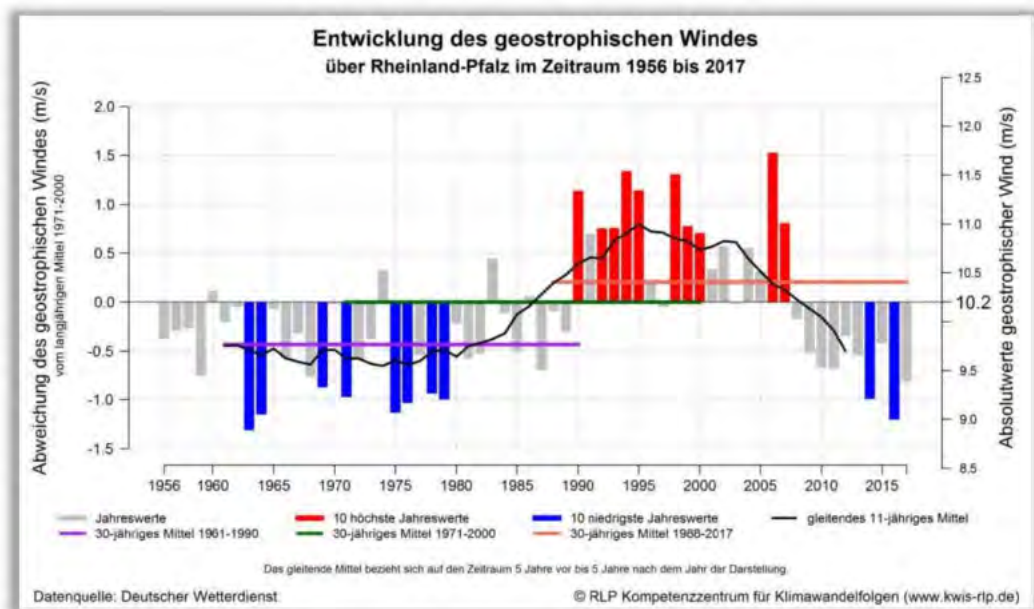


Abb. 11: Entwicklung des geostrophischen Windes über Rheinland Pfalz (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de)

2.2 Zukünftiger Klimawandel

2.2.1 Methodik und Datengrundlage

2.2.1.1 Daten

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen für die Stadt Kaiserslautern basiert auf Daten von numerischen, regionalen Klimamodellen der EURO-CORDEX-Initiative. EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, welche regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC Assessment Reports (AR5) und darüber hinaus erstellt (Giorgi et al. 2009).

EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar und werden im Internet über mehrere Knoten der Earth System Grid Federation (ESGF) bereitgestellt (www.euro-cordex.net). Verwendet wurden tägliche Daten mit einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11 °). Tab. 1 listet die zum Zeitpunkt der Durchführung der Auswertungen verfügbaren Modellrechnungen von EURO-CORDEX auf, welche die Grundlage für das zusammengestellte Ensemble bilden. EURO-CORDEX ist ein fortlaufendes Projekt, d.h. die Datenbanken mit den verfügbaren Modellergebnissen werden permanent aktualisiert. Somit sind eventuell in der Zeit bis zur Erstellung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen.

Im Laufe des Jahres 2018 wurden drei der im Ensemble enthaltenen Regionalmodelle (Nr. 1,2 und 4 in Tab. 1) als fehlerbehaftet identifiziert (vgl. [Hinweis auf www.dwd.de](http://www.dwd.de)). Der Deutsche Wetterdienst (DWD) empfiehlt, diese Modelle nicht mehr zu verwenden. Da die in

diesem Bericht vorgestellten Analysen und Auswertungen jedoch vor Veröffentlichung dieser Empfehlung entstanden sind, konnte dies nicht mehr berücksichtigt werden. Ein erheblicher Einfluss auf die hier präsentierten Ergebnisse ist nicht zu erwarten.

Tab. 1: Für das verwendete Modellensemble verfügbare Ensemblemitglieder (Modellkombinationen) und Szenarien (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5). GCM - Globales Klimamodell (Global Climate Model), RCM - Regionales Klimamodell (Regional Climate Model).

| | GCM | RCM | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
|----|------------|---------------|---------|---------|---------|
| 1 | CNRM-CM5 | CCLM4-8-17 | x | ✓ | ✓ |
| 2 | CNRM-CM5 | SMHI-RCA4 | x | ✓ | ✓ |
| 3 | EC-EARTH | CCLM4-8-17 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 4 | EC-EARTH | DMHI-HIRHAM5 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 5 | EC-EARTH | RACMO22E | ✓ | ✓ | ✓ |
| 6 | EC-EARTH | RACMO22E | x | ✓ | ✓ |
| 7 | EC-EARTH | SMHI-RCA4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 8 | IPSL-CM5A | SMHI-RCA4 | x | ✓ | ✓ |
| 9 | HadGEM2-ES | CCLM4-8-17 | x | ✓ | ✓ |
| 10 | HadGEM2-ES | RACMO22E | ✓ | ✓ | ✓ |
| 11 | HadGEM2-ES | RCA4 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 12 | MPI-ESM | CCLM4-8-17 | x | ✓ | ✓ |
| 13 | MPI-ESM | REMO2009 (v1) | ✓ | ✓ | ✓ |
| 14 | MPI-ESM | REMO2009 (v2) | ✓ | ✓ | ✓ |
| 15 | MPI-ESM | RCA4 | ✓ | ✓ | ✓ |

2.2.1.2 Methodik

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Somit ist es möglich einen analytischen Blick in die klimatische Zukunft zu werfen. Wie alle Modelle sind Klimamodelle Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik sowie der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes Modellensemble. Diesem Ansatz folgend wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung von Kaiserslautern auf ein Ensemble bestehend aus 15 Regionalen Klimamodellen zurückgegriffen (Tab. 1).

Zur Auswertung der Ergebnisse eines Modellensembles stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. So ist es möglich, die Ergebnisse zu aggregieren und einen Ensemble-Mittelwert auszuwerten oder aus den Ensemblewerten statistische Maße wie den Median oder Quantile abzuleiten. Auch komplexe statistische Ansätze wie bspw. das Bayes-Verfahren kommen bei der Auswertung von Modellensembles zur Anwendung (vgl. Fischer et

al. 2012). Es stellt sich weiterhin die Frage, ob alle Ensemble-Mitglieder gleichberechtigt betrachtet oder eventuell nach ihrer Güte (die zu definieren wäre) gewichtet werden sollen. Jede Methode hat Vor- und Nachteile, die an dieser Stelle nicht tiefergehend diskutiert werden können (siehe z.B. Knutti et al. 2010). Für diesen Bericht wurden die Mitglieder des Regionalmodell-Ensembles gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke et al. 2016).

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Hitzetagen, Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage kann entweder anhand von Schwellenwerten (schwellenwertbasiert), wie bspw. $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$ für Sommertage, oder anhand von statistischen Maßen, wie bspw. dem 95. Perzentil der statistischen Verteilung erfolgen (perzentilbasiert) (siehe ReKliEs-De 2017). Für die Betrachtung des zukünftigen Klimawandels in Kaiserslautern wurden schwellenwertbasierte Kenntage verwendet.

Einige Modellläufe der Regionalen Klimamodelle zeigen bei bestimmten meteorologischen Variablen teilweise systematische Abweichungen (Bias) von den realen Gegebenheiten. Es wird davon ausgegangen, dass der Wertebereich dieser Abweichungen für den Referenzzeitraum in etwa genauso groß ist wie für die Zukunftszeiträume. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der Unterschiede zwischen Zukunft und Referenz haben die Abweichungen, also deren Differenz, keinen Einfluss auf die Aussage.

Bei der schwellenwertbasierten Berechnung von Kenntagen können die benannten systematischen Abweichungen jedoch zu einer Unter- bzw. Überschätzung der Schwellenwerte im Vergleich zu den beobachteten Werten führen. „Ist ein Modell z.B. im Mittel etwas zu warm, so werden in diesem Modell möglicherweise auch besonders viele warme und/oder besonders wenige kalte Kenntage identifiziert“ (ReKliEs-De 2017). Aus diesem Grund wurden für jede Modellsimulation die Schwellenwerte mit der Methode des Quantile-Mappings (Piani et al. 2010, Themeßl et al. 2011) adjustiert. Für jeden Kenntag wurde dementsprechend aus den Beobachtungsdaten das jeweilige Perzentil der statistischen Verteilung berechnet und anhand dieses Perzentilwertes aus dem Referenzlauf jeder Modellsimulation der adjustierte Schwellenwert bestimmt. (siehe Abb. 12). Die Auswertung der Regionalmodellsimulationen wurde dann mit den adjustierten Kenntagen durchgeführt, um systematische Verzerrungen der Ergebnisse weitgehend zu vermeiden.

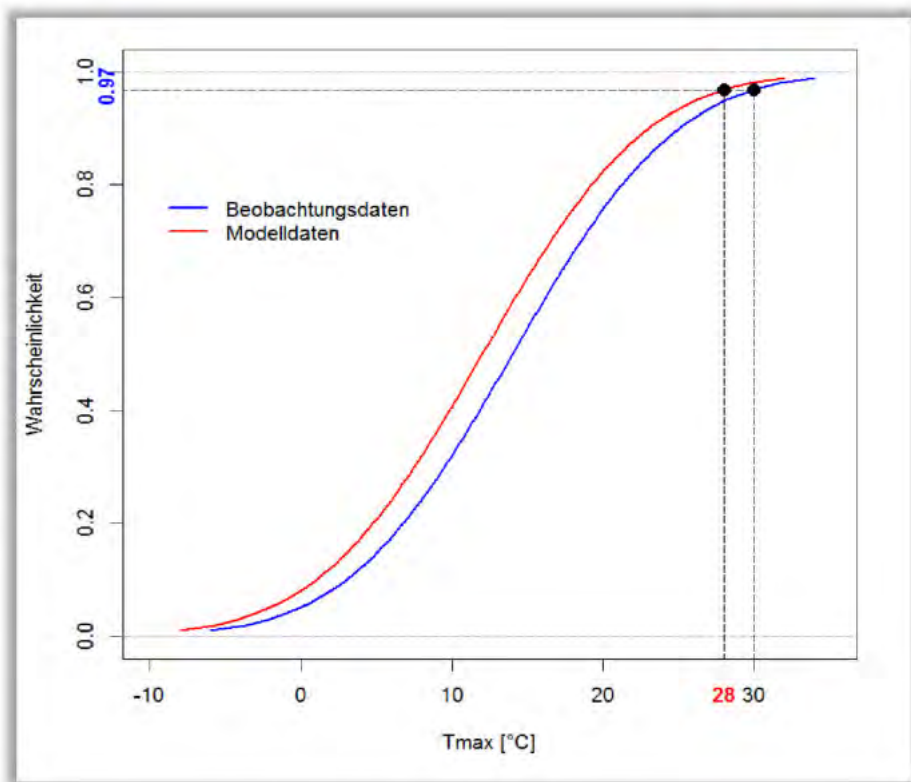


Abb. 12: Methode der Adjustierung von Schwellenwerten für Kenntage. Die blaue Zahl auf der y-Achse zeigt das berechnete Perzentil des Schwellenwertes und die rote Zahl auf der x-Achse zeigt den adjustierten Schwellenwert.

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO₂-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO₂-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO₂-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*). Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m², der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; Abb. 13):

- Das Szenario RCP 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m². Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m² ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass das RCP 2.6 oft auch als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.

- Das Szenario RCP 8.5 weist hingegen den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um ca. 4,8 °C gegenüber dem Zeitraum 1985-2005 bewirken würde. Das Szenario RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher Szenario“ bezeichnet.

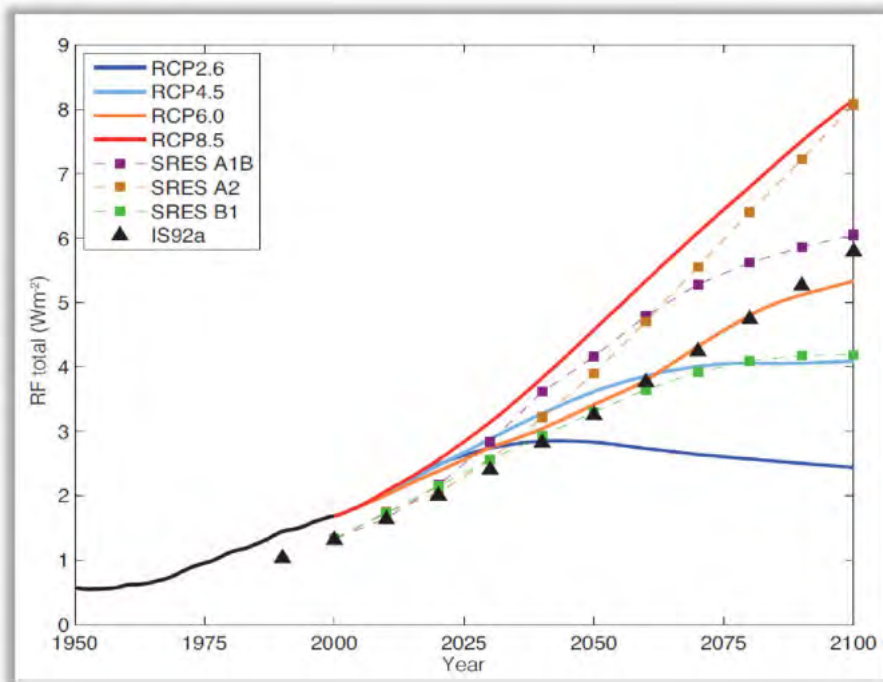


Abb. 13: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)

Die weltweiten CO₂-Emissionen verzeichneten seit den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts einen permanenten Anstieg, wobei in den vergangenen Jahren der größte Anteil durch Emissionen aus Asien beigetragen wurde (vgl. Boden 2017). Nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes¹ befinden wir uns somit, gemessen an den globalen CO₂-Emissionen, aktuell auf dem „Pfad“ des RCP 8.5-Szenarios (Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO₂-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. In diesem Bericht sind im Hauptteil vornehmlich Grafiken zu Klimaänderungen des Szenarios RCP 8.5 platziert, die Auswertungen der Szenarien RCP 2.6 und RCP 4.5 finden sich jeweils im Anhang.

Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Ermittlung des dem Stadtzentrum von Kaiserslautern am nächsten gelegenen Gitterpunktes sowie den 8 umliegenden Gitterpunkten (Abb. A 1). Die an den Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (täglich) räumlich aggregiert, um auf

¹ www.globalcarbonproject.org

diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2016). Alle Auswertungen basieren auf diesen Zeitreihen.

Die Analyse des zukünftigen Klimawandels in Kaiserslautern wurde mit zwei methodisch unterschiedlichen Herangehensweisen durchgeführt. Im Ansatz 1 wurden die Daten des Modellensembles zu zusammenhängenden Zeitreihen von 1971 bis zum Jahr 2100 zusammengeführt und für jede betrachtete Variable untersucht, ob erstens ein zeitlicher linearer Trend vorliegt und zweitens die Trendentwicklung statistisch signifikant ist. Die statistische Signifikanz wurde anhand des Trend-/ Rauschverhältnisses ermittelt und klassifiziert (vgl. Tab. 2).

Für die Beschreibung des zukünftigen Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in welchem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind. Die WMO (World Meteorological Organisation) empfiehlt die Verwendung der sogenannten 30-jährigen Klimanormalperiode von 1961 bis 1990. Da jedoch bei einigen der verwendeten Regionalen Klimamodelle der Zeitraum des Referenzlaufs erst 1971 beginnt wurde im Rahmen dieses Projektes der Zeitraum von 1971 bis 2000 als Referenzperiode festgelegt. Dieser ist im Verhältnis zu den betrachteten Zukunftszeiträumen noch ausreichend wenig vom Klimawandel beeinflusst, sodass eine vergleichende Betrachtung die wesentlichen klimatischen Veränderungen aufzeigt.

Das Klima eines Raumes wird repräsentiert durch den mittleren Zustand der Atmosphäre über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren, deshalb wurden im Ansatz 2 für jede Variable zeitliche Mittelwerte über folgende 30-jährige Zeiträume berechnet:

- | | |
|---|-------------|
| • Referenzperiode: | 1971 - 2000 |
| • Zukunftsperiode 1 (nahe Zukunft): | 2021 - 2050 |
| • Zukunftsperiode 2 (mittelfristige Zukunft): | 2041 - 2070 |
| • Zukunftsperiode 3 (ferne Zukunft): | 2071 - 2100 |

Von den einzelnen Variablen-Mittelwerten der jeweiligen Zukunftsperiode wurden die zugehörigen Mittelwerte der Referenzperiode subtrahiert und somit die langjährigen mittleren Änderungen für jede Variable berechnet. Die statistische Signifikanz der Änderungen wurde nach einem vom Bund-Länder Fachgespräch zur „Interpretation von Modelldaten“ vorgeschlagenen statistischen Testschema ermittelt (vgl. Linke et al. 2016). Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf 95 % festgelegt.

Es ist unbedingt zu beachten, dass die Referenzläufe mit den Beobachtungsdaten des gleichen Zeitraumes nur in ihren klimatisch relevanten, statistischen Eigenschaften übereinstimmen. Sie sind auf kleineren Zeitskalen (Jahre, Monate, Tage) nicht exakt miteinander vergleichbar.

Die nachfolgenden Ausführungen enthalten eine Vielzahl von Grafiken in Form sogenannter *Box-Whisker Plots*. Diese haben den Vorteil, dass die Kennwerte statistischer Verteilungen schnell erfassbar und vergleichbar sind (siehe Abb. A 2 im Anhang zur Erläuterung der Plots).

Tab. 2: Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses

| Trend- / Rauschverhältnis | Bewertung |
|----------------------------------|----------------------|
| $\geq 2,0$ | sehr stark zunehmend |
| $\leq -2,0$ | sehr stark abnehmend |
| $\geq 1,5$ und $< 2,0$ | stark zunehmend |
| $\leq -1,5$ und $> -2,0$ | stark abnehmend |
| $\geq 1,0$ und $< 1,5$ | schwach zunehmend |
| $\leq -1,0$ und $> -1,5$ | schwach abnehmend |
| $< 1,0$ und $> -1,0$ | kein Trend |

2.3 Temperaturzunahme und Hitze

Im zeitlichen Verlauf von 1971 bis zum Jahr 2100 zeigen die Mediane der Jahresmitteltemperaturen des Regionalmodellensembles einen deutlichen Anstieg bei allen drei Szenarien, wobei Szenario RCP 8.5 den stärksten positiven Anstieg aufzeigt (Abb. 14). Diese Trends sind äußerst robust, ein Anstieg der jährlichen Mitteltemperaturen wird von allen Modellkombinationen des Ensembles bestätigt (Abb. 15 sowie Abb. A 3 und Abb. A 4 im Anhang). Zum Ende des Jahrhunderts nimmt neben der Jahresmitteltemperatur auch die Variabilität zu, dies wird durch die Darstellung der Bandbreite des Modellensembles in Abb. 14 deutlich (Möglichkeitsbereich). Hierbei sei darauf hingewiesen, dass der im Diagramm abgebildete, bereits vergangene Zeitraum durch Modelldaten und nicht durch Beobachtungsdaten repräsentiert wird (dies gilt für alle Diagramme mit Zeitreihen von Modelldaten in diesem Kapitel). Der Unterschied ist in Kapitel 2.2.1.2 erläutert.

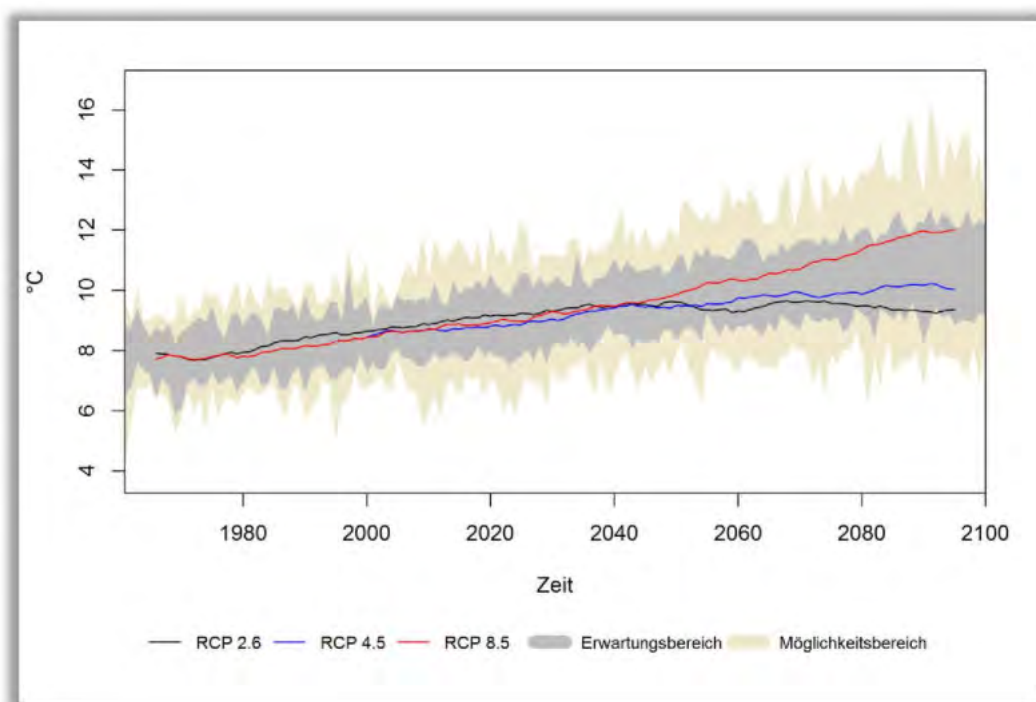


Abb. 14: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Kaiserslautern, alle Szenarien²

Die Änderungen der Temperatur zeigen für Kaiserslautern ebenfalls einen deutlichen Anstieg in allen Zeiträumen, wobei zum Ende des Jahrhunderts beim Szenario RCP 8.5 die stärksten Zunahmen und beim Szenario RCP 2.6 die geringsten Zunahmen zu verzeichnen sind (Tab. 3). Die Minimumtemperaturen³ steigen bei allen Szenarien am stärksten,

² Die durchgezogenen Linien sind die Mediane der einzelnen Szenarien des Ensembles. Der Möglichkeitsbereich ist synonym dem Begriff Vertrauensbereich zu verwenden und bildet die Bandbreite zwischen kleinstem und größtem Wert des Ensembles, der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Ensembles.

³ Temperaturminima oder das Temperaturminimum sind entweder der jährliche oder der 30-jährige Mittelwert der täglichen Tiefsttemperatur.

ebenso fallen die Änderungen der Temperaturmaxima⁴ höher aus als die der Mitteltemperaturen. Die höchsten Zunahmen der Mitteltemperatur treten in der Zukunftsperiode von 2071 bis 2100 bei den Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 auf, beim Szenario RCP 2.6 ist eine Stagnation des ohnehin schon geringen Temperaturanstiegs zu erkennen. Hier zeigen sich die projizierten positiven Auswirkungen globaler Klimaschutzmaßnahmen deutlich.

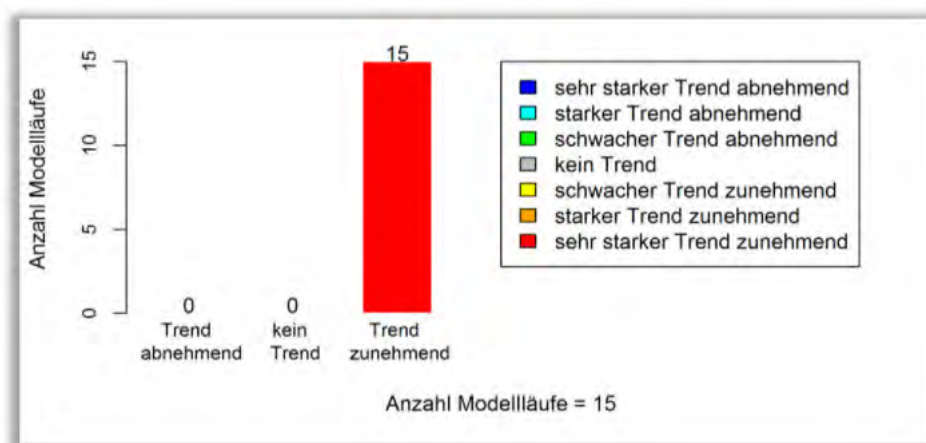


Abb. 15: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 8.5

Eine Zunahme der Temperaturen ist in allen Regionen Deutschlands beobachtbar und auch in den regionalen Klimaprojektionen erkennbar (DWD 2016, Deutschländer und Mächel 2017). In der 3. Zukunftsperiode (2071-2100) entspricht die Temperaturänderung des Szenarios RCP 8.5 in Kaiserslautern mit 3,7 °C fast genau dem deutschlandweiten Mittelwert von 3,8 °C. Bei der Annahme des Eintretens von Szenario RCP 8.5 würde die Jahresmitteltemperatur in Kaiserslautern zum Ende des Jahrhunderts somit bei ca. 13 °C liegen. Unter Einbeziehung der Änderungen für die Minimum- und Maximumtemperaturen, sowie des Jahresniederschlages ähnelt das zukünftige Klima Kaiserslauterns (RCP 8.5) den heutigen Klimabedingungen von beispielsweise Pamplona in Spanien. Wie bei den Trends der Temperatur sind auch die projizierten Änderungen der langjährigen Mittelwerte sehr robust und werden von allen Modellkombinationen des Ensembles als statistisch signifikant ausgegeben (vgl. Tab. A 1 im Anhang).

Im Jahresgang ist ein Temperaturanstieg in allen Monaten erkennbar, wobei im Sommer und Winter vergleichsweise größere Temperaturänderungen auftreten als im Frühjahr und Herbst (Abb. 16). Dieses Muster zeigen alle drei Szenarien (vgl. Abb. A 5 und Abb. A 6 im Anhang), wobei die Ausprägung bei Szenario 8.5 am stärksten ist. Wie bei den jährlichen Mitteltemperaturen verstärkt sich auch hier das Klimaänderungssignal deutlich zum Ende des Jahrhunderts.

⁴ Temperaturmaxima oder Maximumtemperaturen sind entweder der jährliche oder der 30-jährige Mittelwert der täglichen Höchsttemperatur.

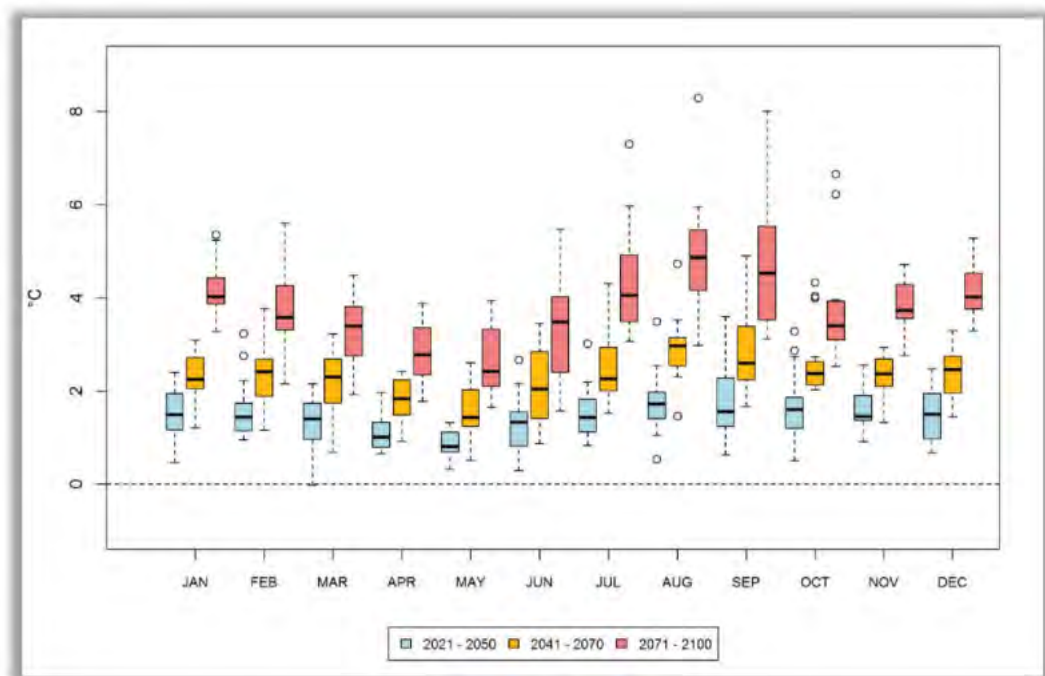


Abb. 16: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Kaiserslautern (RCP 8.5)

Tab. 3: Langjährige Änderung der Temperatur (in °C) in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil.

| Variable | Szenario | Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000 | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|--|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | | 2021/2050 | | | 2041/2070 | | | 2071/2100 | | |
| | | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 |
| Jahresmitteltemperatur [°C] | RCP 2.6 | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 1,1 | 1,2 | 1,6 | 1,0 | 1,2 | 1,7 |
| | RCP 4.5 | 1,0 | 1,2 | 1,8 | 1,3 | 1,7 | 2,4 | 1,8 | 2,1 | 2,9 |
| | RCP 8.5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,8 | 3,2 | 3,7 | 4,8 |
| Minimumtemperatur [°C] | RCP 2.6 | 2,0 | 2,1 | 4,3 | 2,0 | 2,6 | 3,7 | 2,1 | 3,5 | 5,1 |
| | RCP 4.5 | 1,8 | 3,1 | 4,2 | 2,5 | 3,2 | 6,2 | 3,3 | 5,1 | 6,9 |
| | RCP 8.5 | 1,3 | 3,2 | 4,4 | 3,0 | 3,9 | 6,8 | 6,1 | 8,0 | 9,9 |
| Maximumtemperatur [°C] | RCP 2.6 | 0,9 | 1,6 | 2,5 | 0,9 | 2,1 | 2,2 | 1,3 | 1,8 | 2,5 |
| | RCP 4.5 | 1,3 | 2,0 | 2,3 | 1,6 | 2,5 | 3,6 | 1,8 | 3,0 | 4,5 |
| | RCP 8.5 | 1,6 | 1,9 | 2,8 | 2,0 | 3,3 | 5,0 | 4,3 | 5,8 | 7,9 |

Der projizierte Anstieg der Temperatur steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung meteorologischer Kenntage, die eine anschaulichere Sicht auf klimatische Änderungen zulassen. In Tab. 4 sind die langjährigen mittleren Änderungen ausgewählter Kenntage aufgeführt. Die durchschnittliche jährliche Anzahl an Sommertagen, Heißen Tagen und Tropennächten nimmt bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich zu. So ist bspw. in der Zukunftsperiode 3 beim Szenario RCP 8.5 mit 31 zusätzlichen Heißen Tagen zu rechnen. Damit würden zukünftig im Mittel ca. 40 Heiße Tage im Gegensatz zu aktuell ca. 9 Heißen Tagen pro Jahr auftreten.

Tropennächte treten relativ selten auf, weshalb beobachtete Änderungen statistisch nur unzureichend belastbar sind. Trotzdem können sie als Anhaltspunkte für die Tendenz zur zunehmenden Erwärmung dienen. Tropennächte treten ab Mitte des Jahrhunderts häufiger auf. Dieser Kennwert beschreibt die zunehmende nächtliche Temperaturbelastung besonders in urbanen eng bebauten Räumen sehr gut. Beim Klimaschutzszenario RCP 2.6 tritt in der 3. Zukunftsperiode im Durchschnitt nur eine Tropennacht im Jahr mehr auf als im Referenzzeitraum. Beim Szenario 8.5 sind es dann bereits 11 zusätzliche Tropennächte im Jahr (siehe Tab. 4).

Die Zunahme der Heißen Tage lässt in Zukunft eine zunehmende Häufigkeit von Hitzeperioden und Hitzewellen erwarten. Für Hitzeperioden gibt es keine eindeutige Definition. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um einen Zeitraum mit länger anhaltenden ungewöhnlich hohen Temperaturen. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze zur objektiven Erfassung der Eigenschaft „ungewöhnlich hoch“. Einerseits werden Schwellenwerte verwendet wie z.B. eine maximale Tagestemperatur von 30 °C, andererseits gibt es statistische Ansätze wie die Verwendung des 95. oder 99. Perzentils der Temperaturverteilung. Wird der Schwellenwert einer Tageshöchsttemperatur ≥ 30 °C verwendet und die Länge aufeinanderfolgender Tage betrachtet, die diesen Wert erreicht oder überschritten haben, zeigt sich für Kaiserslautern beim Szenario RCP 8.5, dass die Länge von Hitzeperioden in Zukunft zunimmt (Abb. 6). Bei den Szenarien RCP 2.6 und RCP 4.5 ist ebenfalls eine Zunahme erkennbar, wobei die projizierten Änderungen niedriger ausfallen (Abb. A 6 und Abb. A 7 im Anhang).

Hitzewellen gelten nach Definition der WMO als ein Zeitraum von mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen, an welchen der langjährige Mittelwert der jährlichen Maxima der Temperatur der Sommermonate (JJA) überschritten wird. Im Raum Kaiserslautern traten in der 30-jährigen Referenzperiode von 1971 bis 2000 etwa 3 Hitzewellen auf. Dies entspricht einer Auftrittshäufigkeit von 10 Jahren. Beim Szenario RCP 8.5 würden zum Ende des Jahrhunderts 61 Hitzewellen in 30 Jahren auftreten was dann einer Auftrittshäufigkeit von 0,5 Jahren, also zwei Hitzewellen pro Jahr entspräche.

Neben den auf die hohen Temperaturen abzielenden Kenntagen steht die eingangs beschriebene intensive Zunahme der Minimumtemperaturen im Zusammenhang mit einer Abnahme an Frost- und Eistagen. Dies lässt ein häufigeres Auftreten wesentlich milderer Winter und eine geringere Zahl an Tagen mit Frost- und Tauwechseln erwarten. In Kaiserslautern treten im langjährigen Mittel ca. 75 Frosttage pro Jahr auf. Darin enthalten sind etwa 14 Eistage pro Jahr. Beim Szenario RCP 8.5 würden zum Ende des Jahrhunderts im Mittel nur noch 23 Frosttage und kein Eistag mehr pro Jahr auftreten.

Tab. 4: Langjährige Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil.

| Kenntag | Szenario | Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000 | | | | | | | | |
|--|----------|--|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | | 2021/2050 | | | 2041/2070 | | | 2071/2100 | | |
| | | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 |
| Sommertage [n/Jahr] (Tmax ≥ 25°C) | RCP 2.6 | 6 | 16 | 30 | 8 | 15 | 28 | 12 | 16 | 27 |
| | RCP 4.5 | 13 | 22 | 29 | 14 | 25 | 38 | 22 | 27 | 41 |
| | RCP 8.5 | 12 | 20 | 27 | 23 | 31 | 45 | 39 | 56 | 67 |
| Heisse Tage [n/Jahr] (Tmax ≥ 30°C) | RCP 2.6 | 3 | 7 | 11 | 4 | 7 | 10 | 6 | 7 | 11 |
| | RCP 4.5 | 6 | 8 | 11 | 9 | 12 | 17 | 10 | 13 | 17 |
| | RCP 8.5 | 5 | 8 | 10 | 9 | 15 | 21 | 18 | 31 | 37 |
| Tropennächte [n/Jahr] (Tmin ≥ 20°C) | RCP 2.6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| | RCP 4.5 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 |
| | RCP 8.5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 5 | 7 | 11 | 21 |
| Frosttage [n/Jahr] (Tmin < 0°C) | RCP 2.6 | -24 | -15 | -1 | -25 | -21 | -1 | -24 | -20 | 2 |
| | RCP 4.5 | -27 | -18 | 2 | -35 | -21 | -5 | -39 | -32 | -15 |
| | RCP 8.5 | -29 | -21 | -2 | -39 | -34 | -14 | -57 | -52 | -31 |
| Eistage [n/Jahr] (Tmax < 0°C) | RCP 2.6 | -9 | -6 | -2 | -9 | -7 | -2 | -9 | -7 | -5 |
| | RCP 4.5 | -10 | -6 | -1 | -11 | -7 | -5 | -11 | -10 | -7 |
| | RCP 8.5 | -9 | -6 | -4 | -13 | -9 | -6 | -15 | -14 | -10 |

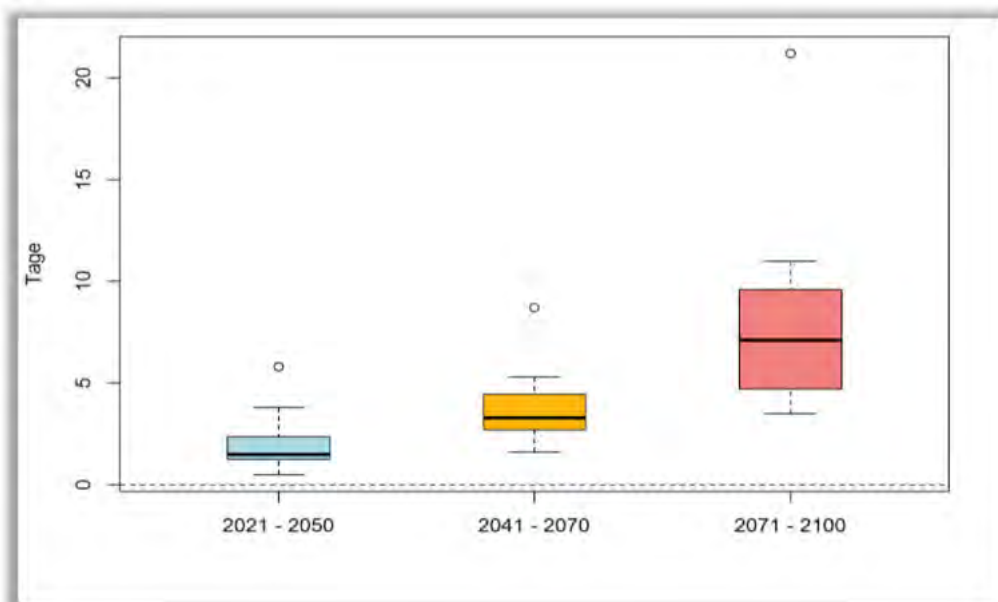


Abb. 17: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) in Kaiserslautern Szenario RCP 8.5

2.4 Niederschlagsverschiebung und Trockenheit

2.4.1 Niederschlagsverschiebung

Die jährlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern zeigen für alle Szenarien einen nur schwachen Anstieg bis zum Ende des Jahrhunderts (Abb. 18). Beim Szenario RCP 8.5 ist dieser Trend bei 6 von 15 Modellläufen statistisch signifikant (Abb. A 9 im Anhang), beim Szenario RCP 4.5 bei 2 von 15 Modellläufen und das Szenario RCP 2.6 weist keinen signifikanten Trend auf (jeweils ohne Abb.). Die Variabilität der jährlichen Niederschläge ist naturgemäß relativ hoch.

Bei Betrachtung der Änderungen der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssummen treten in allen Zukunftsperioden bei allen drei Szenarien Zunahmen auf (

Tab. 5). Hierbei ist bei den Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 ein kontinuierlicher Anstieg der Zunahmen von der ersten bis zur letzten Zukunftsperiode erkennbar. Die im Vergleich der Szenarien geringsten Niederschlagszunahmen treten beim Szenario RCP 2.6 im Zeitraum von 2041-2070 und von 2071-2100 auf. Das Szenario RCP 8.5 zeigt die höchsten Niederschlagszunahmen, welche im Zukunftszeitraum von 2071-2100 bei durchschnittlich 75 mm/Jahr liegen.

Die Änderungen der jährlichen Niederschlagssummen sind im Verhältnis zur natürlichen Schwankung, die bis zu ca. 330 mm von Jahr zu Jahr betragen kann, eher gering. Jedoch zeigt die Mehrzahl der Regionalmodelle eine leichte Zunahme der jährlichen Niederschlagssummen an (Tab. A 2 im Anhang), wobei diese beim Szenario RCP 8.5 in der Zukunftsperiode von 2071 bis 2100 in der Mehrzahl auch statistisch signifikant ist.

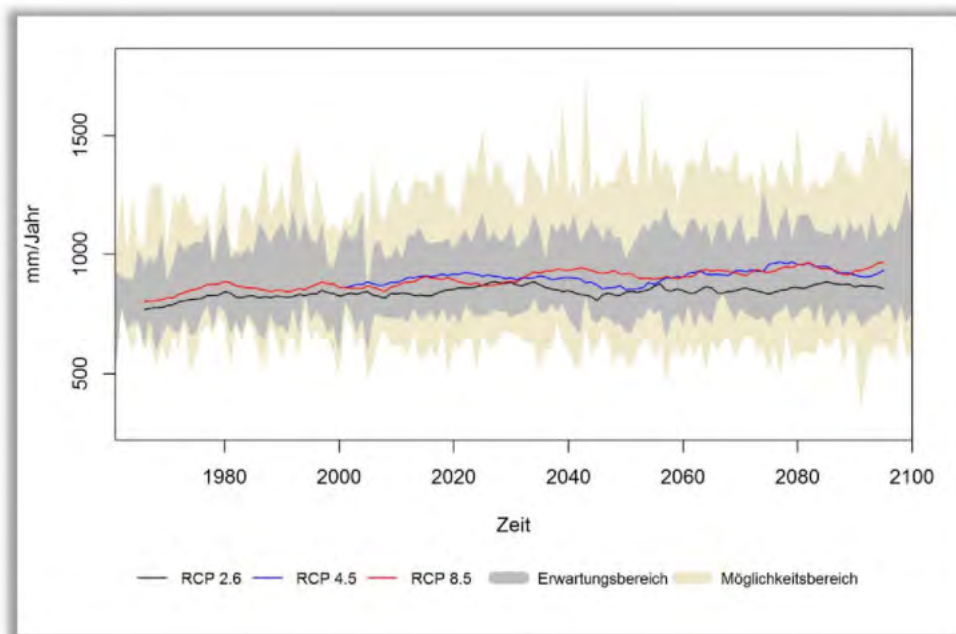


Abb. 18: Zeitlicher Trend der jährlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, alle Szenarien

Tab. 5: Langjährige Änderung der Niederschlagssumme (in mm/Jahr) in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil.

| Variable | Szenario | Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000 | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------|--|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | | 2021/2050 | | | 2041/2070 | | | 2071/2100 | | |
| | | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 |
| Jahresniederschlag [mm/Jahr] | RCP 2.6 | -12 | 42 | 81 | -16 | 32 | 63 | 7 | 38 | 57 |
| | RCP 4.5 | -13 | 51 | 78 | -4 | 55 | 84 | 32 | 80 | 114 |
| | RCP 8.5 | 25 | 64 | 92 | 26 | 70 | 118 | 47 | 75 | 150 |

Im Jahresgang zeigen sich auffällige Unterschiede der Niederschlagsänderungen. Es ist eine Tendenz zur Verschiebung des Niederschlags erkennbar, mit geringer ausfallenden Änderungen im Sommer als im Winter. Beim Szenario RCP 8.5 sind in den Monaten Juli bis September im Zeitraum von 2071-2100 abnehmende Niederschlagsmengen erkennbar (Abb. 20). Die Szenarien RCP 2.6 und RCP 4.5 weisen dieselben Änderungsmuster auf, wenn auch nicht so ausgeprägt wie beim Szenario RCP 8.5 (Abb. A 10 und Abb. A 11 im Anhang). Auch hier ist die Modellvariabilität innerhalb des Ensembles recht hoch, was wiederum auf relativ hohe Unsicherheiten in der Aussage hindeutet. Die in den Abbildungen erkennbare Niederschlagsverschiebung mit Zunahmen des Niederschlags vornehmlich im Winter und Abnahmen im Sommer kann trotz der Unsicherheiten zumindest als auffallende Tendenz interpretiert werden.

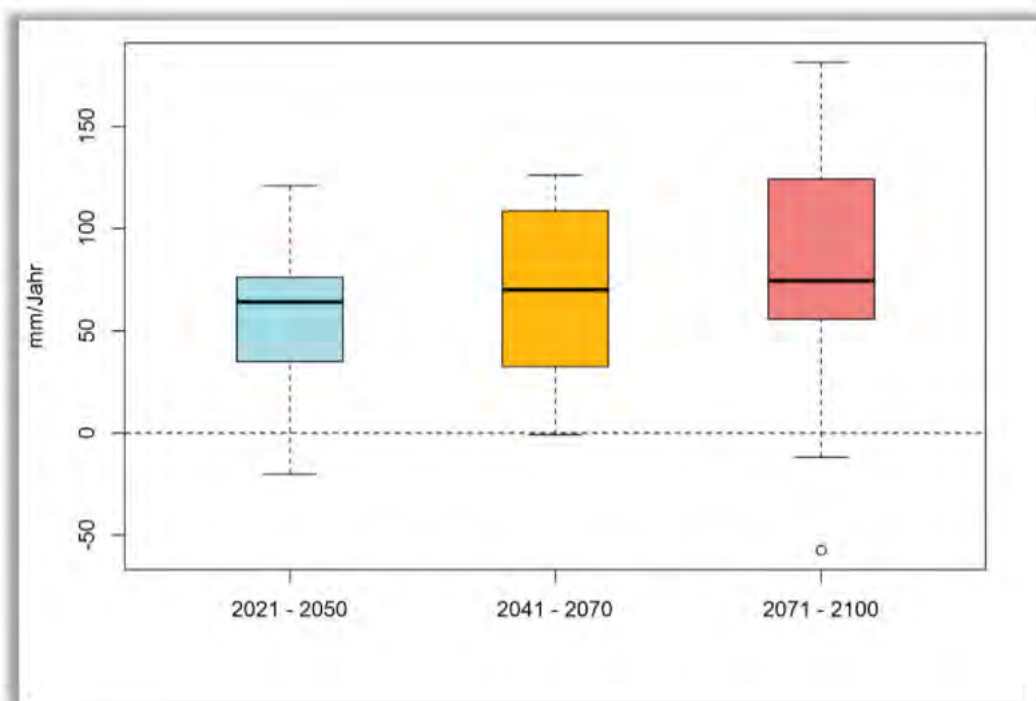


Abb. 19: Langjährige mittlere Änderungen der jährlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5

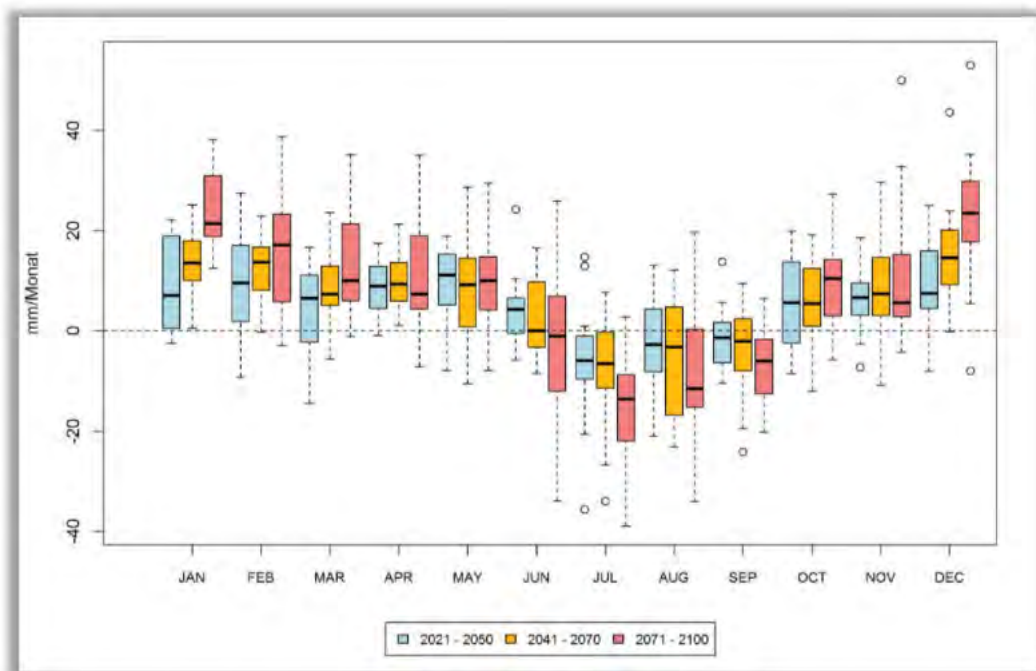


Abb. 20: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5

2.4.2 Trockenheit

Begriffe wie Trockenheit oder Dürre sind nicht eindeutig definiert und die Bewertung dieser Ereignisse hängt oftmals von der jeweiligen fachlichen oder individuellen Sichtweise ab. Im allgemeinen Verständnis sind Trockenheit und Dürre durch einen Mangel an Wasser oder Feuchtigkeit gekennzeichnet, wie er in niederschlagsarmen und/oder warmen bis heißen Perioden auftreten kann. Ein Indikator für Trockenheit ist beispielsweise die Klimatische Wasserbilanz (Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung), die eine Gegenüberstellung des potenziellen (natürlichen) Wasserdargebots durch Niederschlag und Wasserverlust aufgrund der potenziellen Verdunstung erlaubt.

Die monatlichen Änderungen der klimatischen Wasserbilanz weisen entscheidende jahreszeitliche Differenzen auf (Abb. 21). Während die Winter- und Frühjahrsmonate größtenteils positive Änderungen der klimatischen Wasserbilanz zeigen, sind in den Monaten Juli, August und September in allen drei Zukunftsperioden Abnahmen der klimatischen Wasserbilanz beim Szenario RCP 8.5 erkennbar. Auch wenn die Änderungen in den Sommermonaten teilweise recht gering sind, deutet dies zumindest auf die Tendenz zu einer Verminderung des natürlichen Wasserdargebots hin. Dies kann in heißen Sommern die Situation, in bereits heute schon von Wasserknappeit oder Trockenheit betroffenen Bereichen, noch verschärfen. Ähnlich wie beim Niederschlag sind auch die Änderungen der klimatischen Wasserbilanz mit Unsicherheiten behaftet, da diese zu einem nicht unwesentlichen Teil durch die Variabilität des Niederschlags beeinflusst sind. Auch bei der Klimatischen Wasserbilanz sind die für das Szenario RCP 8.5 sichtbaren Muster bei den Szenarien RCP 2.6 und RCP 4.5 ebenso erkennbar, jedoch weniger deutlich ausgeprägt (Abb. A 14 und Abb. A 15 im Anhang).

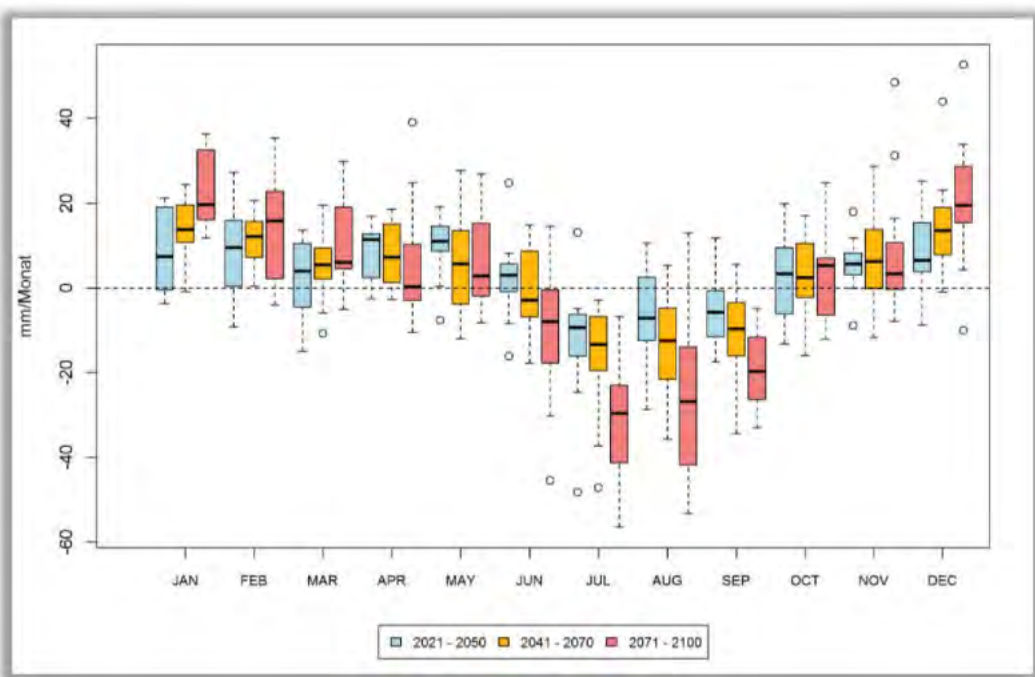


Abb. 21: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen klimatischen Wasserbilanz in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5

2.5 Starkniederschläge

Mehr noch als die mittleren Niederschlagssummen ist für Städte die Frage nach der Häufigkeit und der Intensität von Starkniederschlägen relevant. Verschiedene Ereignisse in jüngster Vergangenheit haben gezeigt, dass Starkregenereignisse ein erhebliches Schadens- und Gefahrenpotenzial besitzen.

Als Starkniederschläge werden Niederschläge bezeichnet, die eine hohe Intensität, d.h. eine im Verhältnis zu ihrer Dauer hohe Niederschlagshöhe, aufweisen. Starkniederschlagsereignisse können dabei sowohl Niederschläge kurzer Dauer als auch mehrere Stunden oder Tage anhaltende Niederschläge mit entsprechend großen Niederschlagshöhen sein (Rauthe et al. 2014). Neben der Dauer eines gegebenen Starkniederschlagsereignisses ist die Größe der betroffenen Fläche wesentlich. Der DWD warnt vor Starkregen in zwei Stufen wenn folgende Schwellenwerte voraussichtlich überschritten werden: Regenmenge ≥ 10 mm/1 Std. bzw. ≥ 20 mm/6 Std. (Markante Wetterwarnung) oder Regenmenge ≥ 25 mm/1 Std. bzw. ≥ 35 mm/6 Std. (Unwetterwarnung; DWD 2018a). In der Klimaforschung wird meist die Tagesniederschlagssumme betrachtet. Hier werden Schwellenwerte festgelegt (z.B. $N \geq 10$ mm/d oder ≥ 20 mm/d), deren Überschreitung als Starkniederschlag verstanden werden kann. Diese sind jedoch nicht einheitlich definiert, sodass verschiedene Ansätze zur Bestimmung der Schwellenwerte für Starkniederschlag existieren. In diesem Bericht werden folgende Schwellenwerte der täglichen Niederschlagssumme zur Identifizierung von Starkregenereignissen festgelegt:

- starker Niederschlag: $N \geq 10$ mm/d
- stärkerer Niederschlag: $N \geq 20$ mm/d
- Starkniederschlag: $N \geq 50$ mm/d

Beispielhaft für den Trend von Starkniederschlagsereignissen in Kaiserslautern ist die zeitliche Entwicklung der Aufttrittshäufigkeit von Tagen mit einem Niederschlag ≥ 20 mm/d dargestellt (Abb. 22). Die Klimaszenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 zeigen einen leicht ansteigenden und die Werte von RCP 2.6 nur noch einen minimalen positiven Trend, wobei dieser beim Szenario RCP 8.5 bei 10 von 15 Modellläufen auch statistisch signifikant ist (Abb. 23). Beim Szenario RCP 4.5 gilt dies nur noch für 5 von 15 Modellläufen und beim Szenario RCP 2.6 für zwei von 9 Modellläufen (ohne Abbildung).

Starkniederschläge treten relativ selten auf und lassen sich somit statistisch nur bedingt erfolgreich auswerten. Die Änderungen des Auftretens dieser seltenen Ereignisse pro Jahr fallen äußerst gering aus. Für die Kategorien $N \geq 10$ mm/d und $N \geq 20$ mm/d des Starkniederschlages projizieren die regionalen

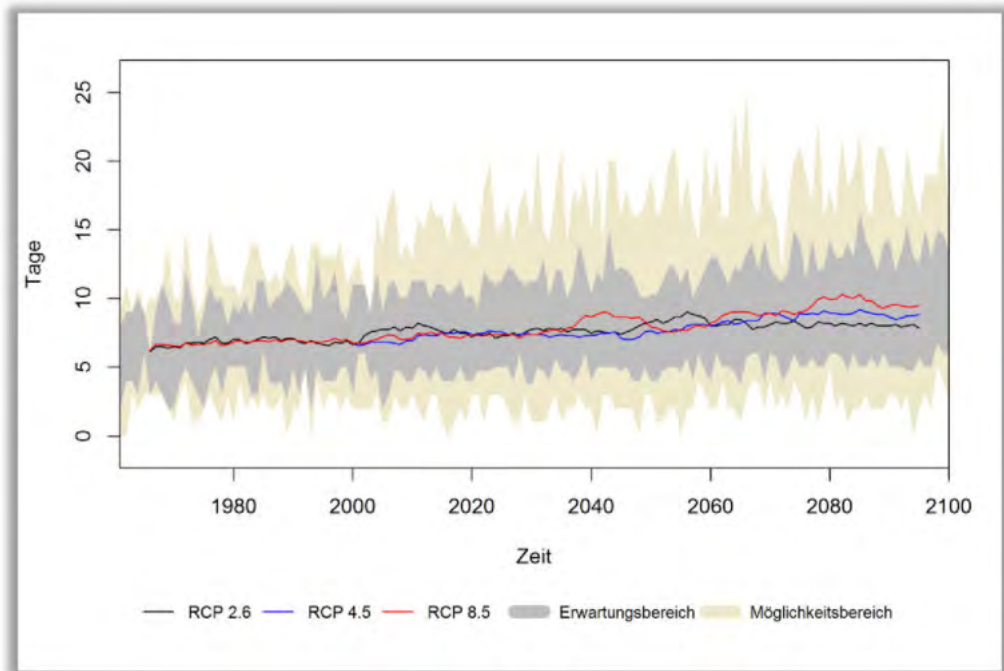


Abb. 22: Zeitlicher Trend der Anzahl an Tagen pro Jahr mit stärkerem Niederschlag ($N \geq 20$ mm/d) in Kaiserslautern, alle Szenarien

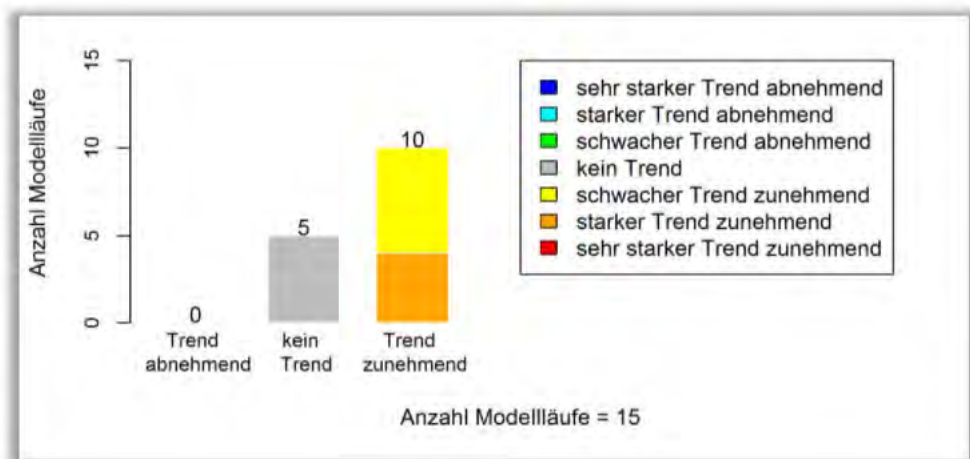


Abb. 23: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Tage mit stärkerem Niederschlag ($N \geq 20$ mm/d), Szenario RCP 8.5

Klimamodelle bei allen Szenarien eine Zunahme der Ereignisse, wobei zum Ende des Jahrhunderts die Zunahmen am größten sind (vgl. Tab. 6 und Abb. 24). Niederschlagsereignisse ≥ 50 mm/d treten sehr selten auf. So wurden an der Station „Kaiserslautern-Dansenberg“ von 1971 bis 2000 nur 6 Niederschlagsereignisse ≥ 50 mm/d registriert. Beim Szenario RCP 8.5 tritt die höchste Zunahme von Starkniederschlagsereignissen im Zeitraum von 2071 bis 2100 mit zusätzlich 15 Ereignissen in 30 Jahren auf. Dies würde eine Zunahme der Auftrittshäufigkeit von 5 auf etwa 1,5 Jahre bedeuten.

Die Zunahme von Tagen mit Niederschlag ≥ 10 mm/d (dies schließt Tage mit $N \geq 20$ mm/d und $N \geq 50$ mm/d mit ein) ist verbunden mit einer Abnahme von Tagen mit Niederschlag < 10 mm/d. Bei wenig veränderten oder gar zunehmenden Jahresniederschlagssummen bedeutet dies, dass die Häufigkeit von Tagen mit Niederschlag im Mittel abnimmt, die Niederschlagsintensität jedoch zunimmt. Mit einfachen Worten: Es regnet weniger, aber wenn, dann stärker als im Referenzzeitraum. Dies wird durch die Zunahme des höchsten täglichen Niederschlags noch untermauert. So kann in der Zukunft, je nach Szenario, die maximale tägliche Niederschlagsmenge 2 mm bis 8 mm höher sein als heute. Der höchste bisher an der Station „Kaiserslautern-Dansenberg“ gemessene tägliche Niederschlag wurde am 15.08.1980 mit 90 mm/d registriert.

Im Kapitel 2.4 wurde bereits darauf hingewiesen, dass der von den Regionalmodellen abgebildete Niederschlag relativ großen Unsicherheiten unterliegt. Dies gilt umso mehr für die Extreme. Deshalb sollten die hier aufgeführten Auswertungen nur unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis interpretiert werden. Prinzipiell wird jedoch offensichtlich, dass die zunehmende Erwärmung mit einer Intensivierung des Niederschlagsgeschehens einhergeht und die Wahrscheinlichkeit der Zunahme von extremen Niederschlagsereignissen in einer allgemein wärmeren Atmosphäre steigt.

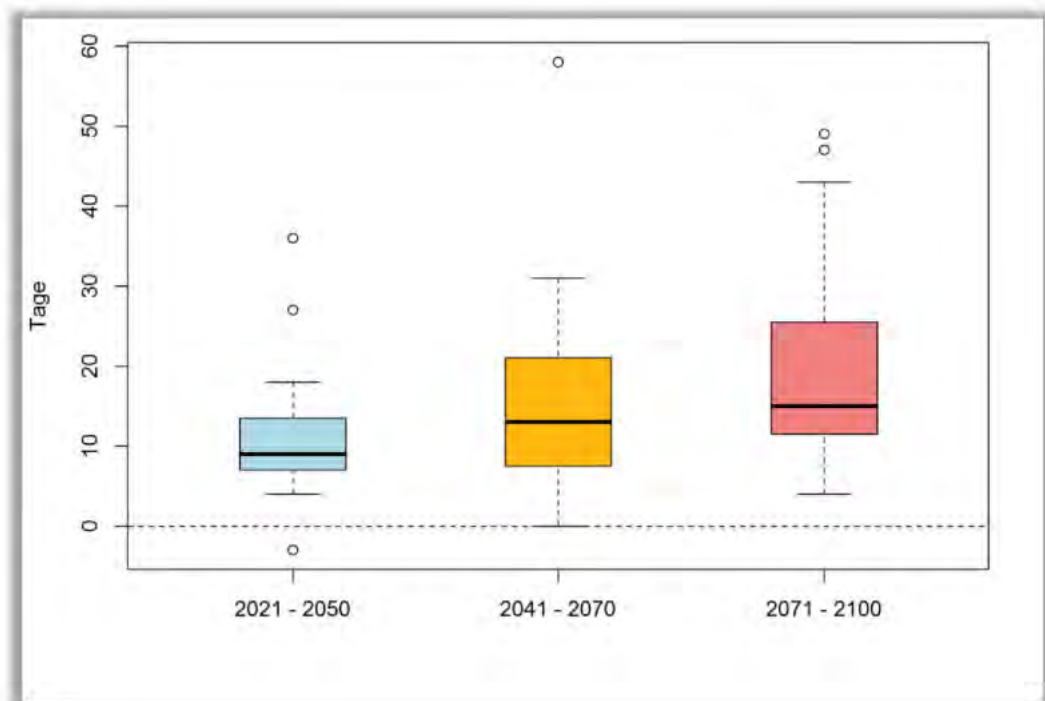


Abb. 24: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen mit $N \geq 50$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5

Tab. 6: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen (Anzahl der Tage pro Jahr) in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil.

| Kenntag | Szenario | Änderung im Zeitraum gegenüber 1971-2000 | | | | | | | | |
|--|----------|--|------|------|-----------|------|------|-----------|------|------|
| | | 2021/2050 | | | 2041/2070 | | | 2071/2100 | | |
| | | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 | P 15 | P 50 | P 85 |
| starker Niederschlag [n/Jahr] (N > 10mm/d) | RCP 2.6 | 0 | 4 | 12 | -1 | 2 | 11 | 0 | 4 | 12 |
| | RCP 4.5 | 0 | 3 | 11 | 0 | 4 | 13 | 2 | 5 | 15 |
| | RCP 8.5 | 1 | 5 | 12 | 3 | 5 | 14 | 4 | 7 | 16 |
| stärkerer Nieder- schlag [n/Jahr] (N > 20mm/d) | RCP 2.6 | 0 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| | RCP 4.5 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| | RCP 8.5 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 | 4 | 6 |
| Starkniederschlag [n/Jahr] (N > 50mm/d) | RCP 2.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | RCP 4.5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | RCP 8.5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |

2.6 Sturmereignisse

Sturmereignisse besitzen, ebenso wie Starkniederschläge, ein sehr hohes Schadenspotenzial. Der DWD definiert Sturm folgendermaßen: „Bezeichnung für Wind von großer Heftigkeit, nach der Beaufort-Skala der Stärke 9 bis 11 (74 bis 117 km/h), der erhebliche Schäden und Zerstörungen anrichten kann“. Folgende Sturmklassen werden anhand ihrer Windstärke eingeteilt (DWD 2018b):

- Sturm: Beaufort 90 (75 bis 88 km/h)
- schwerer Sturm: Beaufort 10 (89 bis 102 km/h)
- orkanartiger Sturm: Beaufort 11 (103 bis 117 km/h)
- Orkan: Beaufort 12 (> 117 km/h)

Auch Stürme gehören zu den seltenen Ereignissen, sodass sie ebenfalls nur bedingt statistisch auswertbar sind. Hinzu kommt, dass Regionale Klimamodelle teilweise nicht in der Lage sind Böen korrekt zu reproduzieren und daher Sturmereignisse oftmals nur unzureichend abbilden können. Es ist jedoch anzunehmen, dass es in einer wärmeren Atmosphäre aufgrund von mehr verfügbarer latenter Wärme, die beim Phasenübergang von Wasserdampf zu Flüssigwasser frei wird, zu besseren Wachstumsbedingungen für starke Zyklonen kommen kann und somit zu potenziell stärkeren Stürmen (Pinto et al. 2009, Fink et al. 2012, Pinto und Ryers 2017). Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über West-

europa zur Folge (Pinto et al. 2009, Donat et al. 2010, McDonald 2011). In diesem Zusammenhang konnte bisher jedoch noch nicht eindeutig wissenschaftlich geklärt werden, ob die Häufigkeit der Sturmereignisse an sich zunimmt oder ob bei gleichbleibender Häufigkeit die Intensität steigt, also die Höhe der auftretenden Windgeschwindigkeiten (vgl. Pinto und Ryers 2017).

Die Trendanalyse für die Anzahl von Sturmereignissen pro Jahr ergab bei allen drei Klimaszenarien für Kaiserslautern keine eindeutige Ab- oder Zunahme bis zum Jahr 2100 (ohne Abbildung). Dementsprechend weist auch kaum eines der Modelle des Ensembles einen signifikanten Trend auf (ohne Abbildung). Somit lassen sich aus den Ergebnissen des Modellensembles keine verwendbaren Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Stürmen ableiten.

2.7 Zwischenfazit Klimaveränderungen

Die Analyse der vom EURO-CORDEX-Modellensemble projizierten klimatischen Änderungen für die Klimaszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 in Kaiserslautern zeigt für die Jahresmitteltemperaturen einen signifikanten Anstieg bis zum Ende des Jahrhunderts. Dieser Anstieg tritt in allen Monaten des Jahres auf, wobei die Temperaturen in den Wintermonaten stärker zunehmen als in den Sommermonaten. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung wirkt sich dementsprechend auf die Veränderung der thermischen Kenntage in Kaiserslautern aus. So wird die Anzahl an Sommertagen, Heißen Tagen und Tropennächten deutlich zunehmen sowie an Frost- und Eistagen abnehmen. Weiterhin gibt es Hinweise, dass die Länge von Hitzeperioden sowie die Anzahl von Hitzewellen vermutlich zunimmt.

Die jährlichen Niederschlagsmengen tendieren zu einem leichten Anstieg in Kaiserslautern. Dabei zeigen sich auffallende Änderungen im Jahresgang mit einer Tendenz zu geringeren Niederschlagsmengen im Sommer und höheren Niederschlagsmengen im Winter und Frühjahr. Einen Anstieg lassen auch die Jahressummen der klimatischen Wasserbilanz erkennen. Wie beim Niederschlag gibt es im Jahresgang nachhaltige Veränderungen. Die Temperaturzunahme bewirkt zunehmende Verdunstungsraten, die vornehmlich in den Sommermonaten zu einer Abnahme der klimatischen Wasserbilanz und somit zu einem Rückgang des natürlichen Wasserdargebots führen können. Im Zusammenhang mit der Temperaturzunahme, der Verlängerung von Hitzeperioden und der erkennbaren Niederschlagsverschiebung muss besonders in den Sommermonaten zunehmend mit erhöhter Trockenheit gerechnet werden. Besonders betroffen dürften dabei Gebiete sein, die bereits heute schon Trockenheitstendenzen aufweisen.

Starkregenereignisse zählen zu den seltenen Ereignissen und sind somit oft statistisch nur unzureichend beschreibbar. Die regionalen Klimamodelle projizieren für die nahe, mittlere und ferne Zukunft in Kaiserslautern eine zunehmende Auftrittshäufigkeit. Dies trifft für Tagesniederschläge ≥ 10 mm/d genauso zu wie für Ereignisse ≥ 20 mm/d. Damit verbunden ist gleichzeitig eine Abnahme von Tagen mit Niederschlag < 10 mm/d. Dies bedeutet, dass bei wenig veränderten oder gar zunehmenden Jahresniederschlagssummen die Häufigkeit

von Tagen mit Niederschlag im Mittel abnimmt, die Niederschlagsintensität jedoch zunimmt. Für extreme Starkniederschlagsereignisse von $N \geq 50$ mm/d zeigen sich zunehmende Tendenzen. Die Aussagen sind jedoch sehr unsicher. Es ist aber anzunehmen, dass auch extreme Starkregenereignisse häufiger auftreten werden.

Stürme können von den regionalen Klimamodellen für kleinräumige Analysen nicht immer ausreichend abgebildet werden und sind, genauso wie Starkniederschläge, aufgrund ihres seltenen Auftretens nur bedingt statistisch auswertbar. Unabhängig davon ist die bereits heute beobachtbare und vor allem auch erfahrbare Sturmtätigkeit ein ernst zu nehmender und nicht zu unterschätzender Faktor. Die Änderungen der Auftrittshäufigkeit von Stürmen sind sehr gering und statistisch nicht signifikant. Dies schränkt die Belastbarkeit der Aussagen deutlich ein.





Eine durch die zunehmende Erwärmung aufgeheizte Atmosphäre deutet jedoch darauf hin, dass es in Zukunft zu besseren Wachstumsbedingungen für starke Zyklonen kommen kann und somit zu potenziell stärkeren Stürmen. Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über Westeuropa zur Folge. Stürme beinhalten ein äußerst hohes Schadenspotenzial und sollten, auch wenn eine Zunahme der Ereignisse auf Basis der EURO-CORDEX Modellsimulationen statistisch nicht nachweisbar ist, bei Klimaanpassungsmaßnahmen angesichts des Ausmaßes der jüngsten Ereignisse mit in Betracht gezogen werden (z.B. Sturmtief „Axel“ im Oktober 2017 oder Orkantief „Friederike“ im Januar 2018).

Von den ausgewerteten klimatischen Veränderungen weisen die Cluster Temperaturzunahme und Hitze sowie Starkregen die stärksten Klimaänderungssignale auf. Niederschlagsverschiebung und Trockenheit und ganz besonders Sturmereignisse zeigen eher unsichere Änderungen.

In Tab. 7 sind die wichtigsten Ergebnisse zum erwarteten Klimawandel in Kaiserslautern noch einmal überblicksartig und zusammenfassend aufgeführt.

.

Tab. 7: Erwartete Klimaänderungen für Kaiserslautern

| Erwartete Klimaveränderungen Indikatoren | |
|---|--|
|  Temperaturzunahme und Hitze | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Zunahme der Jahresmitteltemperaturen → Anstieg der Jahresmitteltemperaturen um 1,0 K bis 1,7 K bei Szenario RCP 2.6 und um 3,2 K bis 4,8 K bei Szenario RCP 8.5 (2071-2100) ✗ Mehr Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte → Anstieg der Heißen Tage pro Jahr von derzeit 9 auf ca. 16 bis 40 in der fernen Zukunft (2071-2100) ✗ Häufigere und länger andauernde Hitzeperioden ✗ Häufigere Hitzewellen → halbjähriges Auftreten von Hitzewellen in der fernen Zukunft (heute etwa alle 10 Jahre) ✗ Abnahme von Frost- und Eistagen → Rückgang der Eistage pro Jahr von aktuell 14 auf ca. 7 bis 0 |
|  Niederschlagsverschiebung und Trockenheit | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Zunahme der Jahresniederschlagsmenge → Zunahme um bis zu 9 % ✗ Trockenere Sommer, feuchtere Winter → Zunahme der Winterniederschläge um bis zu +29 % (2071-2100) → Abnahme der Sommerniederschläge um bis zu -13 % (2071-2100) ✗ Längere Trockenperioden im Sommer ✗ Abnahme der Klimatischen Wasserbilanz im Sommer |
|  Starkregen | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Zunahme des Anteils von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlag ✗ Zunahme der Niederschlagsintensität → Zunahme der Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm/d und < 50 mm/d von derzeit ca. 5 auf ca. 7 bis 9 Tage pro Jahr in der fernen Zukunft (2071 – 2100) |
|  Wind und Sturm | <ul style="list-style-type: none"> ✗ Änderungen nicht sicher nachweisbar ✗ Tendenzen deuten eher auf Zunahme der Anzahl von Sturmereignissen hin ✗ Eine Zunahme der Sturmintensität ist wahrscheinlich ✗ Auch wenn die Projektionen der Auftrittshäufigkeit von Stürmen sehr unsicher sind und sich diese teilweise nicht ändern wird es auch zukünftig starke bis extreme Sturmereignisse geben. |

3 BETROFFENHEITSANALYSE

Im Rahmen der Betroffenheitsanalyse wurde untersucht, inwieweit die Stadt Kaiserslautern konkret von den erwarteten Klimaveränderungen betroffen ist. Hierzu wurde zum einen die räumliche Betroffenheit betrachtet und in entsprechenden Kartenwerk dargestellt (Stadtklima, Starkregenrisiko, Kap. 3.1). Zum anderen wurde eine funktionale Betroffenheitsanalyse im Sinne einer Wirkungsanalyse unter Einbeziehung eines breiten Akteurskreises vollzogen (Fragebögen, Workshop 1, Interviews, siehe Kap. 3.2).

3.1 Räumliche Betroffenheitsanalyse

3.1.1 Stadtklima

Die Auswirkungen des Klimawandels betreffen direkt das Stadtklima in Kaiserslautern. Neben dem Anstieg der Jahresmitteltemperatur haben insb. das häufigere Auftreten von meteorologischen Belastungs-Kenntagen wie bspw. *Heiße Tage* oder *Tropennächte* großen Einfluss auf die Lebensqualität in der Stadt (vgl. Kapitel 2).

Um den Auswirkungen des Klimawandels begegnen zu können, ist eine räumliche Untersuchung des bestehenden Belastungsniveaus hilfreich. Dabei wird unterschieden zwischen der bioklimatischen Situation in der Nacht (Hot-Spots Nachtsituation) und der Hitzebelastung am Tage, die in Zusammenhang mit der Erreichbarkeit von Grünflächen als Rückzugsorten steht. Zudem muss die Verletzlichkeit der Stadtbevölkerung in den Blick genommen werden, da verschiedene Altersgruppen unterschiedlich stark auf Hitzebelastung reagieren bzw. von dieser beeinträchtigt werden.

3.1.1.1 Hot-Spots Nachtsituation

Unter anderem bedingt durch den höheren Versiegelungsgrad sowie geringeren Grünanteil, das Gebäudevolumen und die eingeschränkte Durchlüftung, weist der Stadtkörper nachts eine Überwärmung gegenüber dem Umland auf. Dieser **Stadtklimaeffekt** ist am stärksten während autochthoner Sommernächte ausgeprägt (austauscharme Strahlungswetterlage) und kann durch die Beeinträchtigung der Schlafqualität eine gesundheitliche Belastung für die Stadtbevölkerung darstellen, insb. für vulnerable Bevölkerungsgruppen.

Für die Darstellung der Belastungssituation in der Nacht konnte auf die aktuelle Stadtklimaanalyse Kaiserslautern zurückgegriffen werden (GEO-NET 2012). Aus der Klimaanalysekarte wurden die nächtlichen Belastungs-Hot Spots für die Wohnbevölkerung direkt abgeleitet und zusammen mit dem Luftaustauschprozessgeschehen abgebildet (Abb. 25).

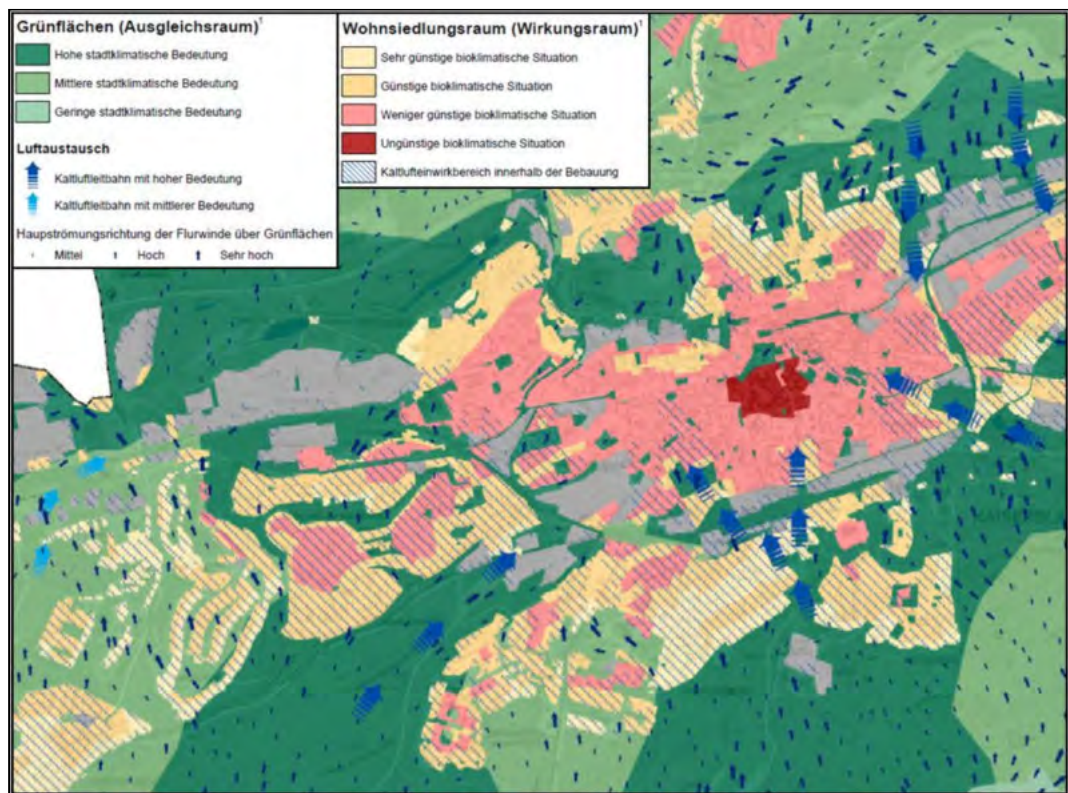


Abb. 25: Hot-Spots der bioklimatischen Belastung in der Nacht in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets mit verkürzter Legende (für die gesamte Karte siehe Kartenanlagen)

Die Ergebnisse der Klimaanalyse beziffern den Stadtklimaeffekt in Kaiserlautern mit einem Temperaturgradienten von etwa 8 °C zwischen Stadtzentrum und Umland. Die stärkste Überwärmung ist im hoch verdichteten Innenstadtbereich zu finden (*ungünstige bioklimatische Situation*). Daran anschließend ist über großen Teilen der Kernstadt eine erhöhte Belastung zu verzeichnen, die ebenfalls für viele Flächen in den Ortsteilen Morlautern und Dansenberg gilt (*weniger günstige bioklimatische Situation*). Zu den Rändern der Kernstadt und in den übrigen Ortsteilen sind überwiegend günstige bis sehr günstige Verhältnisse vorzufinden.

Strukturen, die den Luftaustausch ermöglichen und Kaltluft heranzuführen, sind das zentrale Bindeglied zwischen Ausgleichsräumen (Grünflächen) und bioklimatisch belasteten Wirkungsräumen (Stadtgebiet). Neben Flurwinden als kleinräumige Ausgleichsströmungen, sind für die Durchlüftung des Siedlungskörpers übergeordnete Kaltluftleitbahnen von besonderer Bedeutung. Im Rahmen der Stadtklimaanalyse wurden sechs Kaltluftleitbahnen identifiziert (Bereich Baalborner Weg, Bereich Wartenberger Weg, Östliches Lautertal/Volkspark, Bereich nördlich Hohenecken/5th Avenue, Bereich Hohenecker Straße, Bereich Bremerstraße; vgl. Abb. 25).

3.1.1.2 Hitzebelastung am Tage und Grünerreichbarkeit

Zur Bewertung der Tagsituation wurde die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) herangezogen⁵. Die PET bezieht sich auf den Außenraum (Aufenthalt im Freien) und den Zeitpunkt 14:00 Uhr, der unter den angenommenen Rahmenbedingungen einer Strahlungswetterlage (u.a. wolkenloser Himmel) typischerweise dem Zeitpunkt der maximalen Belastung entspricht. Die Berechnung der PET erfolgte analog zur Stadtklimaanalyse 2012 modellbasiert und beinhaltet dieselbe Flächenkulisse, um die Tag- und Nachtsituation unmittelbar vergleichen zu können.

Hitzebelastung

Die Einteilung der Hitzebelastung im Siedlungsraum folgt der Methodik der Stadtklimaanalyse 2012. Anhand der PET-Werte wurden fünf Klassen ausgewiesen, die von einer *sehr günstigen* bis zu einer *sehr ungünstigen bioklimatischen Situation* reichen. Dargestellt ist nicht nur die Belastung in Wohnsiedlungs- sondern auch in Gewerbeflächen, die in der Tagsituation gleichermaßen im Fokus stehen (Abb. 26). Im Vergleich zur Nachtsituation weist die bioklimatische Belastung am Tage ein anderes Muster auf. Da die PET entscheidend von der Verschattung abhängt, sind die höchsten Werte über hochversiegelten Flächen zu finden (z.B. Gewerbeflächen, Plätze). Im Innenstadtbereich sorgt die dichte und zumeist höhere Bebauung für eine gewisse Verschattung, sodass dort das Belastungsniveau geringer ausfällt. Zu beachten ist, dass die Modellrechnung in 20 m-Auflösung einzelne Straßenbäume nicht berücksichtigen konnte, die jedoch durch ihre Schattenwirkung eine wichtige Ausgleichsfunktion am Tage übernehmen können.

Grünerreichbarkeit

Eine gute Erreichbarkeit öffentlich zugänglicher Grünflächen ist vor allem für die tägliche Kurzzeit- bzw. Feierabenderholung wichtig, da hierfür meist die Wege zu Fuß zurückgelegt werden. Grünräume bieten nicht nur Rückzugsorte an besonders belasteten Tagen, sondern tragen allgemein zur Lebensqualität bei und können ein Faktor für die Wahl des Wohnstandortes sein. Ferner haben Studien gezeigt, dass das physische und psychische Wohlbefinden der Bevölkerung sowie die Zufriedenheit mit der Nähe zu Grünräumen steigen (BBSR 2017).

Die Bewertung der Grünerreichbarkeit bezieht sich auf die Tagsituation und beruht in erster Linie auf dem Einzugsbereich öffentlicher Grünflächen (Entfernung zum Siedlungsraum). Grundgedanke dahinter ist, dass möglichst von jedem Punkt einer Stadt eine Grünanlage in 300 m erreichbar sein sollte (BBSR 2017). Darüber hinaus wird die Einbeziehung von Mindestgrößen als sinnvoll erachtet, da erst ab einer bestimmten Flächengröße eine attraktive Nutzbarkeit der Grünräume möglich ist – allerdings existieren diesbezüglich derzeit noch keine einheitlichen Standards. Abgeleitet u.a. aus Empfehlungen der Europäischen Umweltagentur und internationaler Städtevergleiche schlägt das Bundesinstitut für Bau, Stadt und Raumwesen (BBSR) den vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Leibniz-

⁵ Die PET ist ein humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird (Höppe 1999).

Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) entwickelten Indikator „Erreichbarkeit städtischer Grünflächen“ vor (BBSR 2017). Dieser setzt sich aus der Erreichbarkeit *naher städtischer Grünflächen* (≥ 1 ha) bzw. *größerer städtischer Grünflächen* (≥ 10 ha) in einer Entfernung von 300 m bzw. 700 m Luftlinie zusammen (entspricht ca. 500 m bzw. 1000 m Fußweg). Für die GIS-gestützte automatisierte Analyse von Gründefiziträumen im Kaiserslauterer Stadtgebiet wurden diese Kennzahlen leicht modifiziert übernommen. Als **Entlastungsräume** wurden *Grün- und Parkanlagen, Spielplätze, Restwaldflächen* und *Friedhöfe* aus dem Grünkataster definiert (Stand 2018), für die eine öffentliche Zugänglichkeit angenommen werden kann. Auch aus der Stadtklimaanalyse 2012 abgeleitete *Waldflächen* zählen zu den Entlastungsräumen. Zusätzlich wurden die – zwar kostenpflichtigen – Grünflächen der Gartenschau am Kaiserberg als Entlastungsräume aufgenommen, da sie zentral gelegen sind und eine hohe Aufenthaltsqualität bieten. Für Siedlungs- und Gewerbeflächen wurde eine ausreichende Grünerreichbarkeit gesehen, wenn folgende Kriterien erfüllt sind – im Umkehrschluss wurden außerhalb dieses Bereichs liegende Siedlungs- und Gewerbeflächen als **Gründefiziträume** definiert:

- bis 300 m Entfernung zu Entlastungsräumen (Luftlinie)
- bis 700 m Entfernung zu Entlastungsräumen ≥ 10 ha (insb. Waldflächen; Luftlinie)

Das Kriterium „bis 300 m Entfernung“ verzichtet auf die vorgeschlagene Mindestgröße von 1 ha, da auch kleine Grünflächen wichtige Rückzugsorte für die Bevölkerung sein können (sog. *Pocket Parks*). Bei der Interpretation der Ergebniskarten muss jedoch berücksichtigt werden, dass die „Aufnahmekapazität“ kleiner Grünflächen begrenzt ist. Eine Herausforderung dieser Analyse liegt in der Ermittlung der realen fußläufigen Erreichbarkeit, die sich momentan auf die vereinfachende Annahme von Luftliniendistanzen stützt und somit keine realen Wegebeziehungen abbildet (Straßen, Barrieren). Auch in Bezug auf die öffentliche Zugänglichkeit wurden, wie eingangs beschrieben, Annahmen getroffen, die von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichen können.

Abb. 26 verbindet die Hitzebelastung am Tage (je dunkler der Farbton, desto höher die Belastung) mit den Ergebnisse der Gründefizitanalyse. Große Teile der Kernstadt und sämtliche Ortsteile sind demnach ausreichend mit Grünflächen versorgt (blaue Farbgebung). Aufgrund der methodischen Einschränkungen der Analyse sollte in hoch belasteten und bevölkerungsreichen Quartieren dennoch im Einzelfall geprüft werden, ob die Grünraumversorgung der dortigen Bevölkerung ausreichend ist. Das Kartenbild verdeutlicht, dass im Zentrum der Kernstadt ein relativ großer Bereich um den Stiftsplatz als Gründefizitraum gilt, sodass hier Maßnahmen zur Begrünung empfohlen werden (z.B. *Pocket Parks*). Im Gründefizitraum um die Goetheschule sind private Grünflächen vorhanden, die sicherlich das Defizit zu Teilen aufzufangen vermögen, doch fehlen öffentliche Grünflächen. Gerade der Schulhof bietet in diesem Bereich viel Potential zur Begrünung (siehe auch z.B. Hohenstaufen-Gymnasium oder Theodor-Heuss-Grundschule). Der Gründefizitraum im Gewerbegebiet Nordost erscheint mit Blick auf die angrenzenden Nutzungen dagegen weniger relevant.

Bei Betrachtung der Ergebnisse muss beachtet werden, dass das zugrunde gelegte Grünkataster zwar aktuell ist (Stand 2018), die Auswertung jedoch auf der Siedlungsstruktur von 2012 basiert, d.h. die seitdem erfolgte Entwicklung nicht berücksichtigt.

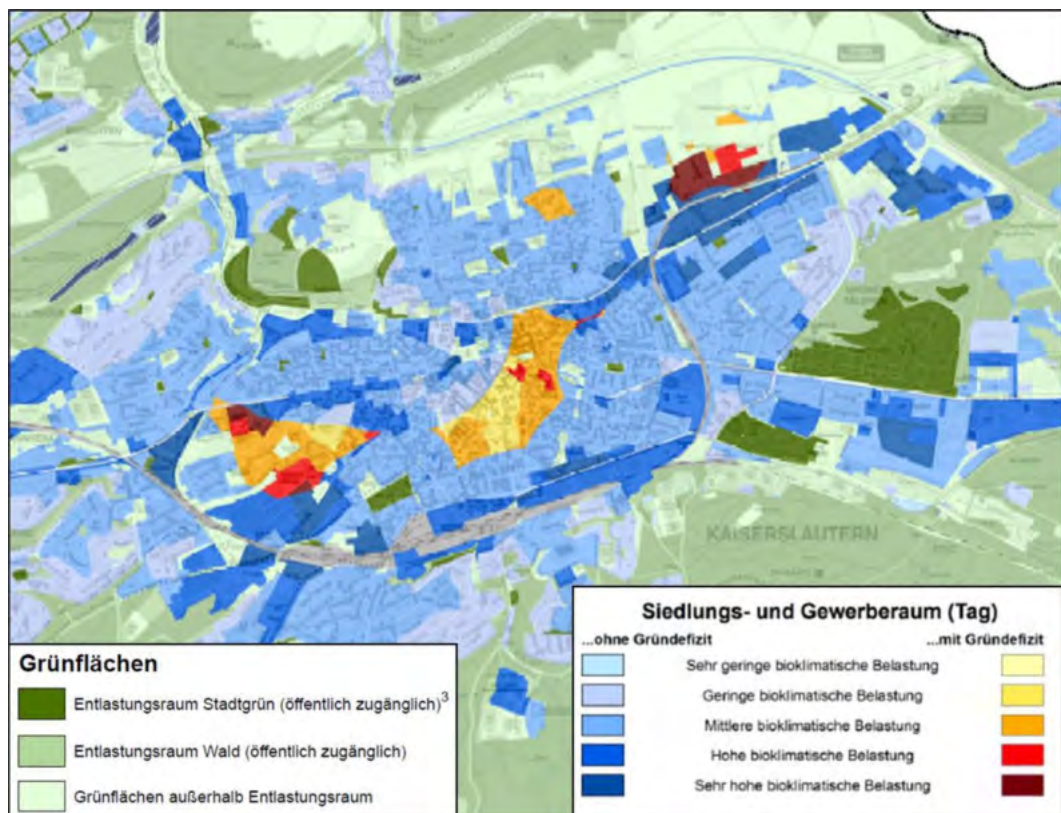


Abb. 26: Hot-Spots der bioklimatischen Belastung am Tage und Grünerreichbarkeitsanalyse in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets mit verkürzter Legende

3.1.1.3 Demographische Verletzlichkeit

Über die Verschneidung mit Informationen zur Bevölkerungsverteilung können die Ergebnisse der Stadtklimaanalyse Hinweise liefern, welche Bereiche im Kaiserslauterer Stadtgebiet besonders in den Blick genommen werden sollten (hohe stadtklimatische Belastung und hohe Bevölkerungsdichte) – insb. vor dem Hintergrund steigender Belastungen durch den Klimawandel.

Die ca. 102.000 Einwohnerinnen und Einwohner der Stadt Kaiserslautern teilen sich zu knapp 80 % auf die Kernstadt und zu etwas mehr als einem Fünftel auf die Ortsbezirke auf (Stand 2015). Neben den Innenstadt-Quartieren sind in den Stadtbezirken „Lämmchesberg / Universitätswohnstadt“ und „Grübentälchen / Volkspark“ die höchsten Einwohnerzahlen zu finden. Kaiserslautern weist für die letzten Jahre sinkende Bevölkerungszahlen auf (-3,9 % zwischen 2005 und 2015⁶), wobei der Trend in der Kernstadt geringer (-2,9 %) und in den Ortsbezirken höher ausfällt (-7,3 %). In Zukunft ist weiterhin mit einer rückläufigen Bevölkerungsentwicklung zu rechnen (-2,6 % bis 2035 bzw. -14,3 % bis 2060), doch sind diese Werte mit Unsicherheiten behaftet und auch Prognosen zunehmender Bevölkerungszahlen vorhanden (Daten zur Bevölkerungsvorausrechnung beziehen sich jeweils auf das Jahr 2013).

⁶ Seit 2015 deutet sich eine Trendumkehr mit wieder leicht steigenden Einwohnerzahlen an.

Es existiert ein wissenschaftlich belegter Zusammenhang zwischen thermischen Stress und Morbidität bzw. Mortalität sowie der Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden einer Stadtbevölkerung. Neben kranken bzw. verletzten Menschen (mit bedingt durch ihre geringere Mobilität) gelten Kleinkinder (bis einschließlich 5 Jahren) sowie Seniorinnen und Senioren (ab 65 Jahren) als besonders verletzlich (vulnerable Bevölkerungsgruppen). In Kaiserslautern gehören gegenwärtig knapp 24.000 Menschen einer der beiden altersbedingten Hauptrisikogruppen an – dies entspricht etwa einem Viertel der Stadtbevölkerung.

Bei Betrachtung des relativen Anteils der Risikogruppen fallen räumliche Unterschiede auf. Diese sind weniger bei Kleinkindern zu verzeichnen, deren Anteil im Mittel 4,8 % der Stadtbevölkerung ausmacht und nur wenig um diesen Wert schwankt, mit den höchsten Anteilen in KL-West (6,1 %) und den geringsten in Mölschbach (3,5 %) bzw. innerhalb der Kernstadt in „Lämmchesb. / Universitätsw.“ (3,8 %). Deutlicher wird die räumliche Variabilität bei der Zahl älterer Menschen (hier: ab 60 Jahren⁷), die beispielsweise in den Stadtbezirken „Bännjerrück / Karl-Pfaff-Siedlung“ und „Betzenberg“ (jeweils ca. 33 %) merklich über dem städtischen Mittel von 26,0 % liegt, während die Innenstadt-Bezirke „Ost“ und „Südwest“, „Lämmchesb. / Universitätsw.“ sowie der Einsiedlerhof mit jeweils ca. 21 % die geringsten Werte aufweisen (Abb. 27).

Abb. 28 zeigt den Anteil vulnerabler Bevölkerungsgruppen auf Ebene von Blockflächen und verdeutlicht, dass es nicht nur zwischen, sondern auch innerhalb der Stadtbezirke Unterschiede in der Verteilung gibt. Zukünftig wird sich der Anteil der vulnerablen Bevölkerung von 25 % in 2013 auf 31 % in 2035 erhöhen, was trotz der rückläufigen Gesamtbevölkerung auch einen Anstieg in absoluten Zahlen bedeutet (von ca. 24.000 auf ca. 29.000 Personen). Dies ist auf den deutlichen Zuwachs älterer Menschen zurückzuführen, darunter langfristig insb. hochaltrige (und besonders hitzesensible) Personen über 80 Jahre, die 2060 mehr als 11 % der Stadtbevölkerung ausmachen – Kleinkinder sowie die jüngeren und mittleren Altersgruppen weisen demgegenüber sinkende Zahlen auf (Abb. 29).

⁷ Die demographischen Daten basieren auf einer Untersuchung der TU Kaiserslautern zur Bevölkerungsentwicklung, in der keine Zahlen für die Altersklasse ab 65 Jahren vorliegen (TU Kaiserslautern 2016).

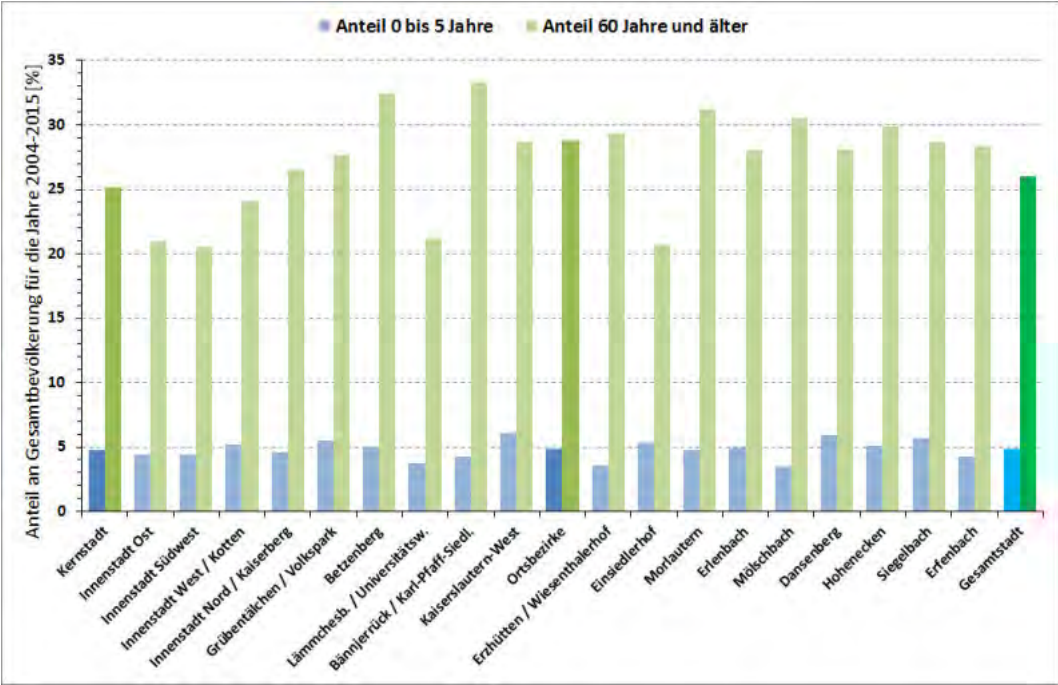


Abb. 27: Anteil vulnerabler Bevölkerungsgruppen nach Stadtteilen (Zeitraum 2004-2015; nach TU Kaiserslautern 2016)

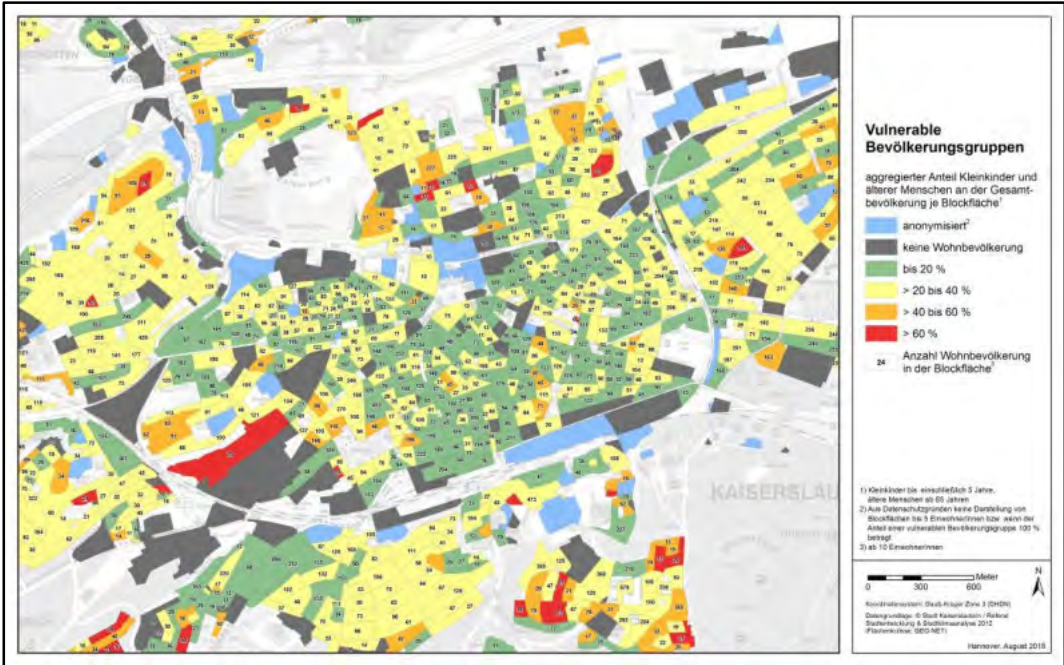


Abb. 28: Anteil vulnerabler Bevölkerungsgruppen je Blockfläche in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets

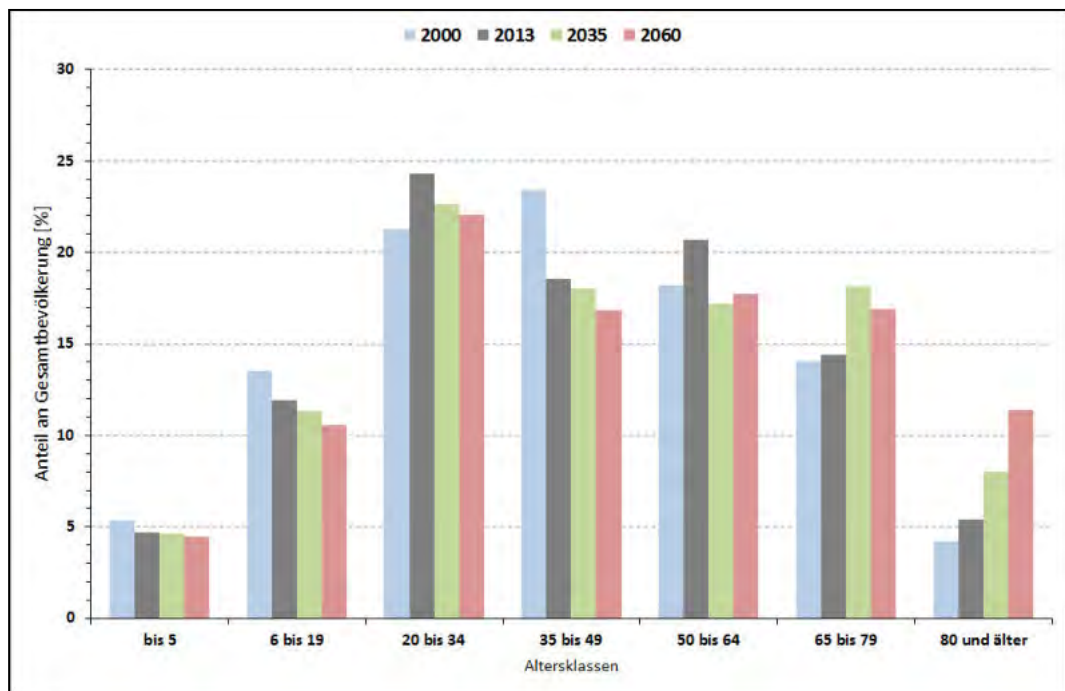


Abb. 29: Anteil Altersklassen an der Stadtbevölkerung und deren Vorausberechnung

Aus der Bevölkerungsverteilung und -entwicklung ergeben sich planerische Anforderungen, deren Notwendigkeit angesichts der klimawandelbedingten erwarteten Zunahme von *Tropennächten* und längeren Hitzeperioden an Bedeutung gewinnt. Bereits heute können Räume besonders starker Betroffenheit über die in Abb. 30 vorgenommene Verschneidung von Einwohnerzahlen (visualisiert über die „Höhe“ der Blockfläche) mit der thermischen Belastung in der Nacht (Farbgebung von gelb bis rot) identifiziert werden. Diese Form der Darstellung veranschaulicht, dass im Stadtkern viele Menschen von weniger günstigen bioklimatischen Bedingungen betroffen sind, während die dicht besiedelten Bereiche des Lämmchesbergs und Betzenbergs eher günstige Bedingungen aufweisen. In den zumeist stark belasteten Gewerbegebieten sind die Einwohnerzahlen sehr gering, sodass hier in der Nacht wenige Konflikte auftreten.

3.1.1.4 Hot-Spots Stadtklima

Zusammenfassend können aus der Stadtklimaanalyse 2012 sowie ergänzenden Untersuchungen im Rahmen des Klimaanpassungskonzeptes die folgenden beiden stadtklimatischen Belastungsschwerpunkte abgeleitet werden:

- Innenstadtbereich um die Kerststraße (Überwärmung in der Nacht)
- Innenstadt um den Stiftsplatz und im Bereich Mozartstraße (Gründefizit und hohe Belastung am Tage)

Besondere Beachtung sollten Siedlungsstrukturen mit hohen Anteilen vulnerabler Bevölkerungsgruppen finden – diese Flächen treten kleinteilig über das gesamte Stadtgebiet auf, innerhalb der vorbelasteten Innenstadt jedoch nur vereinzelt.

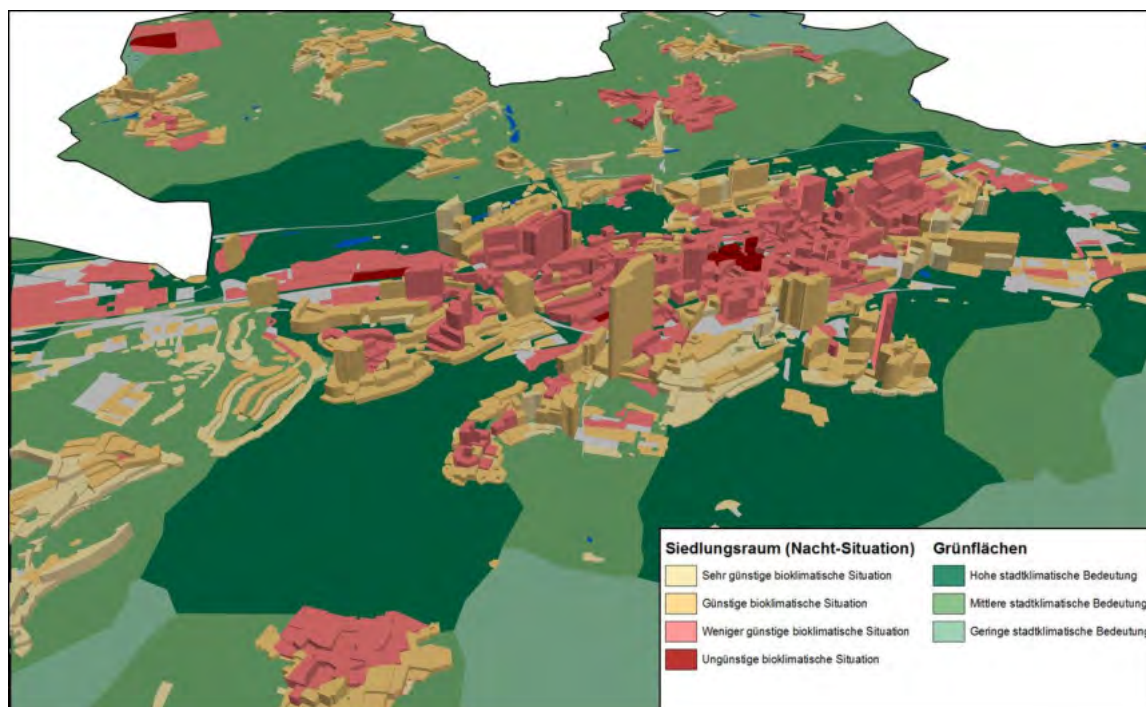


Abb. 30: Thermische Belastung in der Nacht und Einwohnerzahlen je Blockfläche in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets

3.1.2 Starkregen

Die örtlichen Betroffenheiten im Handlungsfeld „Starkregen“ wurden im Rahmen einer stadtgebietsweiten Grobanalyse untersucht. Hierzu wurden zunächst aus der Historie sowie aus vorliegenden Untersuchungen bereits bekannte Bereiche erhöhter Überflutungsgefährdung zusammengetragen (u.a. Erfahrung Betriebspersonal, Ergebnisse aus Kanalnetzberechnungen). Die einzelnen Komponenten, welche in die Plandarstellung eingeflossen sind, werden in den nachfolgenden Abschnitten weiter erläutert.

Zusätzlich wurde ein GIS-gestütztes Grob-Screening auf Basis des vorliegenden Digitalen Geländemodells (DGM) vollzogen. Im Rahmen dieser vereinfachten und grobskaligen Fließweganalyse wurden die Geländetopografie auf oberflächige Hauptfließpfade, neuralgische Senkenlagen und sonstige potenzielle Überflutungsschwerpunkte untersucht. Eine detailliertere Beschreibung ist in den folgenden Abschnitten enthalten.

3.1.2.1 Bekannte Gefährdungsbereiche

Bei der Zusammenstellung der Gefährdungsbereiche wurden verschiedene Kategorien gebildet, die die zukünftige Weiterbearbeitung und Nutzung der Gefahrenkarten insbesondere durch die Stadtentwässerung Kaiserslautern erleichtern sollen, da sie die Art der Gefährdung charakterisieren und genauer spezifizieren (Abb. 31).

„Betriebspunkte“ sind zum Beispiel Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle oder Rechen vor Gewässerverrohrungen. Die Gefährdung bei Starkregen wurde von der Stadtentwässerung Kaiserslautern und dem Umweltreferat an Hand der Erfahrungen und der Betriebsdaten aus der Vergangenheit ermittelt.

Der „rechnerische Überstau“ an Schächten ist nur in der Kernstadt ausgewiesen und bezieht sich auf den Generalentwässerungsplan (GEP) von 2009 mit einem Modellregen der Dauer 60 Minuten und einer Wiederkehrzeit von 3 Jahren. Ein rechnerischer Überstau weist auf die Punkte im Kanalnetz hin, an denen bei Starkregen zuerst mit Überstau aus dem Kanalnetz auf die Oberfläche zu rechnen ist. Dort werden bei Starkregen die Leistungsgrenzen der Kanäle zuerst überschritten. Es kann für einen gewissen Zeitraum kein Wasser mehr dem Kanal zufließen, oder es tritt aus dem Entwässerungssystem sogar auf die Straße aus.

„Problempunkte Grundstücksentwässerung“ sind Punkte, bei denen von Seiten der Grundstückseigentümer der Stadtentwässerung Probleme gemeldet und diese von der Stadtentwässerung in Augenschein geprüft wurden. In den meisten Fällen rühren die Probleme aus nicht ordnungsgemäß errichteten oder betriebenen Grundstücksentwässerungsanlagen wie z. B. nicht korrekt dimensionierte Grundstücksentwässerungsleitungen, nicht vorhandene Rückstausicherung oder unzureichender Objektschutz im privaten Zuständigkeitsbereich.

Neben den o. g. Gefährdungskategorien wurden weitere, mehr betriebsinterne Gefährdungsaspekte erfasst (z. B. zu bestehenden Regenrückhaltebecken), auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

Abb. 31: Darstellung kritischer Betriebspunkte der Stadtentwässerung

3.1.2.2 GIS-gestütztes Grob-Screening

Die Überflutungsgefährdung ist stark von den topografischen Gegebenheiten abhängig. Präferenzielle Fließwege entlang der Tiefenlinien des urban geprägten Geländereiefs und v. a. Geländesenken ohne oberflächige Abflussmöglichkeit stellen Bereiche dar, bei denen im Starkregenfall innerhalb der Bebauung mit erhöhten Wasseraufkommen und entsprechenden Fließ- bzw. Einstautiefen zu rechnen ist. Daher kann bereits die Topografie ein deutliches Indiz auf die lokale Überflutungsgefährdung liefern. Darauf zielt die topografische Analyse ab.

Die topografische Grobanalyse dient der Ermittlung und Visualisierung von oberflächigen Fließwegen, ggf. verbunden mit einer ersten Gefährdungseinschätzung. Hydrologische oder hydraulische Prozesse werden hierbei nicht explizit berücksichtigt. Die topografische Analyse erfolgt GIS-gestützt anhand eines hoch aufgelösten digitalen Geländemodells (DGM). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde die topografische Analyse flächendeckend für das Betrachtungsgebiet mit dem GIS-Werkzeug ArcMap (Version 10.5) der Fa. ESRI unter Verwendung der Erweiterung "Spatial Analyst" sowie einiger selbstentwickelter GIS-Tools vollzogen.

Die Ermittlung der Fließwege anhand des DGM basiert auf der rechnerischen Verfolgung der Fließwege auf der Geländeoberfläche in Richtung des steilsten Gefälles (Fließwegakkumulation). Im Zuge der Fließweganalyse erfolgt zudem eine Abgrenzung der oberflächigen Einzugsgebiete. Sie umfassen jeweils die Flächen, deren Fließweg an einem abflusslosen Geländetiefpunkt gemeinsam endet.

Als Grundlage diente im vorliegenden Fall ein Geländemodell aus Rasterdaten mit einer Auflösung von 1 x 1 m. Zur datentechnischen Abbildung von Gebäuden als Fließhindernis wurden Rasterzellen, auf denen ein Gebäude steht, pauschal um 5 m erhöht.

Ein wesentlicher Schritt vor der Berechnung der Flächenakkumulation ist eine sinnvolle Glättung bzw. Füllung des Geländemodells, um unangemessen kleinteilige Einzugsgebiete zu vermeiden und ein realitätsnahes Fließwegesbild zu erhalten. Hierzu werden kleinteilige Geländesenken, die sich bei Starkregen rasch füllen und ohne größeren Abflussrückhalt durchflossen werden, aus dem Geländemodell eliminiert. Größere bzw. tiefere Geländesenken bleiben hingegen erhalten und bilden jeweils den Endpunkt eines Fließweges. Hierbei wird das originäre Geländemodell bis zu einem Schwellenwert $h_{\text{füll}}$ aufgefüllt und das geglättete Geländemodell als Grundlage für die weiteren Analysen verwendet (Abb. 32).

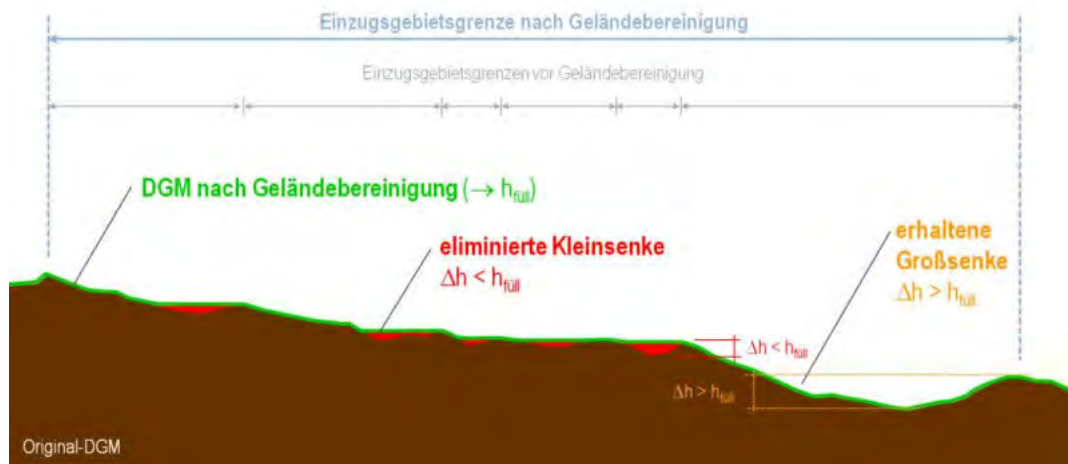


Abb. 32: Prinzip der Geländebereinigung (Füllung für vorgegebenen Schwellenwert $h_{\text{füll}}$)

Mit der Geländeglättung soll erreicht werden, dass kleinere (Zwischen)Senken im DGM rechnerisch überströmt werden können und Fließwege nicht fälschlicherweise dort enden. An tieferen und in Realität abfluss- und überlaufreien Geländesenken sollen hingegen die Fließwege abschließen.

In der Flusshydrologie werden für diesen Arbeitsschritt üblicherweise alle Geländesenken innerhalb des Betrachtungsgebietes gefüllt und ein vollständig "senkenfreies" Geländemodell erzeugt. Für urbanhydrologische Fragestellungen im Bereich der Starkregenthematik ist dieser Ansatz nicht zweckdienlich. Vielmehr muss ein praktikabler Schwellenwert ($h_{\text{füll}}$) für die Füllung der Geländesenken und der Glättung des Geländemodells vorgegeben werden.

Je größer der Schwellenwert gewählt wird, umso größer werden die hydrologischen Einzugsgebiete und umso länger werden die potenziellen Fließwege. Ein zu gering gewählter Schwellenwert führt zu sehr kleinen Einzugsgebieten und bildet eventuell auftretende Fließwege unter Umständen nicht in ihrer vollen Länge ab. Ein zu hoch gewählter Schwellenwert ergibt hingegen unrealistisch lange Fließwege bzw. zu große Teileinzugsgebiete. Um ein klares und möglichst sachgerechtes Bild zu erhalten bieten sich für urbane Gebiete i.d.R. Füll- bzw. Glättungsgrade von 0,20 – 1,00 m an (Abb. 33). Für die weitergehenden hydrologischen Analysen wurde das Fließwegenetz basierend auf einem Geländefüllgrad von 50 cm als repräsentativ erachtet und zugrunde gelegt.



Abb. 33: Teilgebietsdiskretisierung bei unbereinigtem und bereinigtem Geländemodell (Beispiel)

Um die Aussagekraft der akkumulierten Fläche zu schärfen, empfiehlt es sich, die Flächenelemente gemäß ihrer Abflusswirksamkeit über ein sog. Wichtungsraster zu gewichten. Die Geländeoberfläche liefert je nach Beschaffenheit (z.B. Befestigungsgrad, Bebauung, Nutzungsart, Bodenart, Geländeneigung) und Regencharakteristik unterschiedlich große Niederschlagsabflüsse. Dies kann vereinfacht über einen flächenbezogenen Abflussbeiwert quantifiziert werden. Hierzu müssen den einzelnen Flächenelementen (Rasterfeldern) entsprechende Gewichtungsfaktoren zugeordnet werden. Als Ergebnis resultiert die akkumulierte abflusswirksame Fläche (A_u) entlang der Fließwege anstelle der akkumulierten Gesamtfläche (A_E). Im vorliegenden Fall wurde an Hand des Luftbildes in bebaute und nicht bebaute Gebiete unterschieden, wobei nicht bebauten Gebieten ein Abflussbeiwert von 0,3 und bebauten Gebieten ein Wert von 0,85 zugewiesen wurde.

Abb. 34: Fließwege (akkumulierte abflusswirksame Fläche A_u) als Roh-Ergebnis der topografischen Analyse

Die so ermittelten Fließwege lassen sich in Geoinformationssystemen darstellen und von Fachpersonal aus der Siedlungswasserwirtschaft interpretieren (Abb. 34). Für ein breiteres Fachpublikum aus anderen Bereichen der Stadt, sowie für Privatpersonen, ist eine aufbereitete Darstellung einfacher lesbar. Daher wurden die relevanten Fließwege aus der topografischen Analyse schematisch nachgezeichnet und im Linienthema „Gefährdung durch Oberflächenabfluss“ dargestellt (Abb. 35). Dieses Linienthema beinhaltet neben der topografischen Analyse auch Ergebnisse von bereits durchgeführten Detailanalysen in den Bereichen Mölschbach und Siegelbach.

Abb. 35: Schematisch skizzierter Bereich mit Gefährdung durch Oberflächenabfluss auf Basis der Ergebnisse der topografischen Analyse

3.1.2.3 Vereinfachte Starkregenisikokarten und Risiko-Hot-Spots

In der Verknüpfung der beiden Betrachtungsschritte (Betriebserfahrung, Fließweganalyse) wurden schließlich vereinfachte Starkregengefahrenkarten generiert, in denen Bereiche unterschiedlich ausgeprägter Überflutungsgefährdung räumlich abgegrenzt und bewertet dargestellt sind. Der Fokus lag hierbei auf der Identifizierung und räumlichen Verortung potenzieller Überflutungs-Hot-Spots. Risikoobjekte mit besonders hohem Schadenspotenzial wurden anhand gebäude- oder grundstücksbezogener Nutzungsdaten identifiziert und in die vereinfachte Starkregengefahrenkarte integriert. Die Methodik ist im folgenden Abschnitt beschrieben.

Eine oberflächige Überflutung muss nicht immer Schaden anrichten. In manchen Fällen verbleibt das Wasser weitgehend schadlos auf der Geländeoberfläche, ohne Menschenleben zu gefährden, den Verkehr zu beeinträchtigen oder Sachschäden an Gebäuden oder Infrastruktur herbeizuführen. In anderen Fällen treten enorme Sachschäden gerade in bebauten Bereichen auf. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, wurde ein gebäudebezogenes Schadenspotenzial in den Ergebniskarten ausgewiesen.

Im Rahmen der stadtweiten Herangehensweise wurden hierzu die Gebäude anhand ihrer Nutzungsarten klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgte in enger Abstimmung mit der Stadtentwässerung Kaiserslautern. Die Ausweisung von Überflutungsgefährdung und Schadenspotenzial in einer Karte ermöglicht eine integrierte Betrachtungsweise und erleichtert die Identifizierung von Risiko-Hot-Spots, also Bereichen, in welchen sowohl eine hohe Überflutungsgefährdung, als auch ein hohes Schadenspotenzial vorhanden sind.

Die Nutzungsarten lagen nicht gebäudescharf, sondern nur flurstücksscharf vor. Mehrfache Datensätze mit verschiedenen Nutzungsarten pro Flurstück waren bei dem Datensatz von über 40.000 Flurstücken eher die Regel als die Ausnahme, ohne dass ersichtlich war, welche Nutzungsart in welchem Gebäude des Flurstücks tatsächlich vorhanden war. Eine Zuordnung war mit bestehenden Daten nicht möglich, sodass im Sinne einer Worst-Case Betrachtung folgende Vorgehensweise gewählt wurde:

- Jeder Nutzungsart wurde gemäß Tab. 8 eine Klasse zugeordnet
- Bei Flurstücken mit mehreren Nutzungsarten wurde die jeweils höchste innerhalb dieses Flurstücks auftretende Schadenspotenzialklasse allen vorhandenen Gebäuden zugewiesen

Im Rahmen einer Detailanalyse einzelner Bereiche muss somit die tatsächliche Nutzung einzelner Gebäude noch ermittelt werden.

Tab. 8: Klassifizierung des Schadenspotenzials nach Nutzungsarten der Flurstücke

| | |
|---------------------|-----|
| Klasse 1: gering | 1 |
| Klasse 2: mittel | 2 |
| Klasse 3: hoch | 3+4 |
| Klasse 4: sehr hoch | |

| Nutzungsart (Flurstück) | Klasse |
|--|--------|
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Gesundheit, Kur) | 4 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Sicherheit und Ordnung) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Funk- und Fernmeldeanlage) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gaswerk) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage, Elektrizität) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage, Funk- und Fernmeldewesen) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage, Gas) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage, Wärme) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Versorgungsanlage, Wasser) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Kläranlage, Klärwerk) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Kraftwerk) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Raffinerie) | 4 |
| Industrie und Gewerbefläche(Wasserwerk) | 4 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Bildung und Forschung) | 3 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Historische Anlage) | 3 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Kultur) | 3 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Öffentliche Zwecke) | 3 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Religiöse Einrichtung) | 3 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Soziales) | 3 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Verwaltung) | 3 |
| Flugverkehr(Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlagen, Luftfahrt) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Abfallbehandlungsanlage) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Ausstellung, Messe) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Bank, Kredit) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Beherbergung) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Entsorgungsanlage, Abfallbeseitigung) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Entsorgungsanlage, Abwasserbeseitigung) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gebäude- und Freifläche Industrie und Gewerbe) | 3 |

| Nutzungsart (Flurstück) | Klasse |
|--|--------|
| Industrie und Gewerbefläche(Industrie und Gewerbe) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Produktion) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Tankstelle) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Transport) | 3 |
| Industrie und Gewerbefläche(Versorgungsanlage) | 3 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Gebäude- u. Freifläche Erholung, Zoologie) | 3 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Zoo) | 3 |
| Bahnverkehr() | 2 |
| Bahnverkehr(Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlagen, Schiene) | 2 |
| Bahnverkehr(Verkehrsbegleitfläche Bahnverkehr) | 2 |
| Fläche besonderer funktionaler Prägung(Parken) | 2 |
| Fläche gemischter Nutzung(Gebäude- und Freifläche, Mischnutzung mit Wohnen) | 2 |
| Friedhof(Gebäude- und Freifläche Friedhof) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Deponie (oberirdisch)) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Entsorgung) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Gärtnerei) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Handel und Dienstleistung) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Handel) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Handwerk) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Lagerplatz) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Restaurations) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Vergnügung) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Versicherung) | 2 |
| Industrie und Gewerbefläche(Verwaltung, freie Berufe) | 2 |
| Platz(Fußgängerzone) | 2 |
| Platz(Parkplatz) | 2 |
| Platz(Parkplatz) | 2 |
| Platz(Rastplatz) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Campingplatz) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Gebäude- u. Freifläche Erholung, Bad) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Gebäude- u. Freifläche Erholung, Camping) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Gebäude- u. Freifläche Erholung, Sport) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Gebäude- und Freifläche Erholung) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Gebäude- und Freifläche Sport, Freizeit und Erholung) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Safaripark, Wildpark) | 2 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Schwimmbad, Freibad) | 2 |
| Strassenverkehr(Fußgängerzone) | 2 |
| Strassenverkehr(Gebäude- und Freifläche zu Verkehrsanlagen, Straße) | 2 |

| Nutzungsart (Flurstück) | Klasse |
|--|--------|
| | |
| Wohnbaufläche(Offen) | 2 |
| Fläche gemischter Nutzung(Gebäude- und Freifläche Land- und Forstwirtschaft) | 1 |
| Fläche gemischter Nutzung(Landwirtschaftliche Betriebsfläche) | 1 |
| Fliessgewässer(Bach) | 1 |
| Fliessgewässer(Graben) | 1 |
| Fliessgewässer(Kanal) | 1 |
| Gehölz(Latschenkiefer) | 1 |
| Halde(Baustoffe) | 1 |
| Landwirtschaft(Ackerland) | 1 |
| Landwirtschaft(Baumschule) | 1 |
| Landwirtschaft(Brachland) | 1 |
| Landwirtschaft(Gartenland) | 1 |
| Landwirtschaft(Grünland) | 1 |
| Landwirtschaft(Streuobstacker) | 1 |
| Landwirtschaft(Streuobstwiese) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Erholungsfläche) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Garten) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Golfplatz) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Grünanlage) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Kleingarten) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Park) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Reitplatz) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Schießanlage) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Spielplatz, Bolzplatz) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Sportanlage) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Sportplatz) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Tennisplatz) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Verkehrsübungsplatz) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Wochenend- und Ferienhausfläche) | 1 |
| Sport Freizeit und Erholungsfläche(Wochenendplatz) | 1 |
| Stehendes Gewässer(Speicherbecken) | 1 |
| Stehendes Gewässer(Teich) | 1 |
| Strassenverkehr (Verkehrsbegleitfläche Straße) | 1 |
| Sumpf | 1 |
| Tagebau Grube Steinbruch(Erden, Lockergestein) | 1 |
| Unland vegetationslose Fläche(Gewässerbegleitfläche) | 1 |
| Unland vegetationslose Fläche(Vegetationslose Fläche) | 1 |
| Wald(Laub- und Nadelholz) | 1 |

| Nutzungsart (Flurstück) | Klasse |
|-------------------------|--------|
| | |
| Wald(Laubholz) | 1 |
| Wald(Nadelholz) | 1 |
| Weg(Fahrweg) | 1 |
| Weg(Fußweg) | 1 |
| Weg(Rad- und Fußweg) | 1 |
| Weg(Radweg) | 1 |

In Gänze dienen die zusammengetragenen Informationen zu kritischen Betriebspunkten, zu Gefährdung durch Oberflächenabfluss und zum gebäudebezogenen Schadenspotenzial der Darstellung des Überflutungsrisikos durch Starkregen (Abb. 36) und liefern somit wertvolle Hinweise für kommunale Entscheidungsträger. Die erarbeiteten Starkregenrisikokarten liegen dem Bericht als Anlagen bei.

Abb. 36: Ausschnitt der Gesamtkarte mit Gefährdungspunkten, Gefährdung durch Oberflächenabfluss und gebäudebezogenem Schadenspotenzial

Mit den vollzogenen Betrachtungen lassen sich für die Stadt Kaiserslautern die folgenden Risiko-Hot-Spots in Bezug auf Starkregen benennen. Die nachfolgende Liste stellt hierbei keine Priorisierung dar. Diese muss im Rahmen der weiteren Aktivitäten zum kommunalen Starkregenrisikomanagement unter Beteiligung der betreffenden Akteure erfolgen.

- Fruchthallstraße / Burgstraße / Maxstraße
- Lauterstraße / Burggraben
- Königstraße / Fackelrondell
- Königstraße /Friedrich-Engels-Straße / St.-Marien-Platz (Klinikum)
- Engelshof / Kaiserwoog (Lauter / Eselsbach)
- Lauterstraße / Galappmühler Straße
- Morlauterer Straße / Otterberger Straße (Waschmühle)
- Lauterstraße / Ludwigstraße / Mainzer Straße
- Mainzer Straße / Mennonitenstraße / Hertelsbrunnenring
- Hertelsbrunnenring (Außengebiet)
- Bremerstraße / Waldschlösschen
- Tripsstadter Straße / Zollamtstraße
- Hoheneckerstraße (ACO)
- Barbarossastraße / Kantstraße
- Blechhammerweg (Stadtentwässerung)
- Fischerstraße / Altenwoogstraße
- TU-Campus (Außengebiet)
- Johanniskreuzer Straße / Douzystraße / Oberer Rossrück / Eulentalstraße / Am Stromberg (Mölschbach: Rambach, Eulenmühlenbach, Stünebächel)
- Kästenbergstraße / Auf der Brücke (Siegelbach)
- Sauerwiesen (Siegelbach)
- Im Wiesental (Erlenbach)
- Erlenbacher Straße / Im Nauwied (Erlenbach)
- Weiher Straße (Erlenbach)
- Jahnstraße (Erlenbach)
- B270 / Vogelweh
- Opel-Werk
- L503 (Neuer Letzbach)

Neben den genannten Bereichen bestehen auch lokale Überflutungsrisiken in anderen Bereichen des Stadtgebietes.

Auch wenn durch eine topografische Analyse und eine stadtweite Betrachtung Risiko-Hot-Spots recht zuverlässig eingegrenzt werden können, sind der Genauigkeitsanspruch und die Aussagekraft der erstellten Karten aufgrund der vereinfachten Methodik beschränkt.

Die erarbeiteten Karten sind ohne Bezug zu einer konkreten Niederschlagsbelastung. Die mit dem Klimawandel zu erwartende Änderung im Starkregengeschehen ist nur insofern in die Betrachtung eingeflossen, dass aktuelle Überflutungsschwerpunkte auch in Zukunft Bereiche besonders hoher Betroffenheit darstellen werden. Aufgrund der rein topografischen Analyse lassen sich keine Informationen zu Fließgeschwindigkeiten, Wasserständen oder dem zeitlichen Verlauf (Dauer der Überflutung) ableiten.

Für quantitative Aussagen ist die Anwendung hydrodynamischer Detailmodelle erforderlich. Diese können auch als duales 1D/2D-Modell eine gekoppelte Berechnung des Abflusses im Kanalnetz und auf der Oberfläche bewerkstelligen, und stellen für Maßnahmenplanungen wertvolle Werkzeuge dar. In einzelnen Bereichen (Siegelbach, Mölschbach) wurden derartige Detailanalysen bereits erfolgreich durchgeführt.

3.2 Funktionale Betroffenheitsanalyse (Wirkungsanalyse)

Im Rahmen der funktionalen Betroffenheitsanalyse wurden die spezifischen Auswirkungen der Klimawandelfolgen für Kaiserslautern untersucht und bewertet. Ausgehend von den Gegebenheiten vor Ort wurde dabei analysiert, in welchen Handlungsbereichen der Stadt besondere Herausforderungen durch die zu erwartenden langfristigen Klimaveränderungen und (extremen) Wetterereignisse entstehen.

3.2.1 Analyseprozess

In einem ersten Schritt wurden zunächst die für Kaiserslautern relevanten Handlungsfelder identifiziert. Als Referenz diente dabei die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) der Bundesregierung aus dem Jahr 2008, die insgesamt 13 Themenfelder sowie zwei Querschnittsbereiche benennt und für diese auf Bundesebene den politischen Rahmen für die Aktivitäten zur Klimaanpassung setzt.

Das Anpassungskonzept für Kaiserslautern orientiert sich an den Themenfeldern der DAS und modifiziert diese teilweise für den kommunalen Kontext. Insgesamt wurden elf Handlungsfelder betrachtet, die in Kaiserslautern direkt von den Auswirkungen der Klimaveränderungen beeinflusst werden können:

- Menschliche Gesundheit
- Wasser
- Boden
- Natur und Stadtgrün
- Wald- und Forstwirtschaft
- Landwirtschaft
- Bauwesen
- Verkehr
- Energie
- Industrie und Gewerbe
- Tourismus und Naherholung

Für die genannten Handlungsfelder wurde im nächsten Schritt eine Wirkungsanalyse durchgeführt. Die wesentliche methodische Grundlage hierfür bildeten die durch das bundesweite „Netzwerk Vulnerabilität“ 2012 für den Fortschrittsbericht der Deutschen Anpassungsstrategie erarbeiteten „Wirkungsketten“ (UBA 2015b). Diese dienten dazu, die lokal-spezifische Betroffenheit für Kaiserslautern abzuleiten. Sie stellen den Zusammenhang

zwischen klimatischen Veränderungen und den daraus resultierenden zentralen Folgewirkungen für die unterschiedlichen Handlungsfelder dar und zeigen darüber hinaus die jeweiligen Wechselbeziehungen zwischen den Sektoren auf.

Im ersten Schritt der Wirkungsanalyse wurden zunächst im Rahmen einer Befragung für die genannten Handlungsfelder erste Einschätzungen ausgewählter VertreterInnen innerhalb und außerhalb der Stadtverwaltung zu den zukünftig erwarteten Klimawirkungen gesammelt. Hierzu wurden entsprechende Fragebögen entwickelt, versandt und der Rücklauf ausgewertet (siehe Beispielfragebogen im Anhang). Mit ausgewählten Vertretern wurden darüber hinaus Interviews geführt (z.B. Gesundheitsamt). Auf Basis dieser Befragung wurden dann im Rahmen eines interdisziplinären Workshops (siehe Workshop 1, Kap.1.3.4) die für Kaiserslautern relevanten Klimawirkungen in drei unterschiedlichen Wirkungsfeldern (1. „Menschliche Gesundheit“, 2. „Umwelt“, 3. „Gebäude und Infrastrukturen“) ausgewählt und mit Blick auf die folgende Phase der Strategie- und Maßnahmenentwicklung der lokalspezifische Anpassungsbedarf priorisiert.

Im Rahmen der Veranstaltung wurde – zusammen mit VertreterInnen der Stadtverwaltung und externen Akteuren – aus einer großen Zahl möglicher Folgen des Klimawandels eine Auswahl derjenigen Wirkungen vorgenommen, die im Rahmen des Anpassungskonzeptes für Kaiserslautern zutreffend erschienen. Während der Veranstaltung konnten die TeilnehmerInnen in drei Arbeitsgruppen über die Wirkungsketten diskutieren und die für Kaiserslautern besonders relevanten Auswirkungen identifizieren. Dieser Schritt stellte eine entscheidende Weichenstellung für die anschließende Konzeptentwicklung und für die Maßnahmenableitung dar und bot den TeilnehmerInnen die Chance, sich aktiv in den Strategieprozess einzubringen. Die Wirkungsketten erwiesen sich als geeignetes Instrument, um den Akteuren aus den verschiedenen Fachbereichen und mit unterschiedlichen Wissensständen die komplexe Thematik schnell und verständlich näherzubringen. Sie stellten eine gute Grundlage für einen strukturierten, fachübergreifenden Diskussionsprozess dar und zeigten allen Beteiligten die große Bandbreite der möglichen Klimawandelfolgen auf.

Die Ergebnisse der Analysen zu den Auswirkungen des Klimawandels in Kaiserslautern wurden in Form von elf lokalspezifischen Wirkungsketten übersichtlich aufbereitet und – geclustert nach den drei Wirkungsfeldern – zusammengefasst (vgl. nachfolgende Kap.).

3.2.2 Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit

Die möglichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit wurden in einem engen Dialog mit dem Gesundheitsamt Kaiserslautern analysiert. Bereits heute treten in Kaiserslautern regelmäßig heiße Tage auf (Maximaltemperatur > 30 °C), die zu einer extremen humanbioklimatischen Wärmebelastung für die Bevölkerung führen, insbesondere in den dicht besiedelten Innenstadtgebieten. Die extreme Hitzeperiode im vergangenen Sommer 2018 hat jedoch auch in Kaiserslautern gezeigt, dass eine solch langanhaltende Phase hoher Temperaturen, insbesondere verbunden mit fehlender nächtlicher Abkühlung, für alle Bevölkerungsschichten eine erhebliche Belastung darstellt. Sensible Bevölkerungsgruppen wie ältere Menschen leiden stärker unter Hitzestress, da sich mit fortschreitendem Alter der

Prozess zur Regulierung der Körpertemperatur verlangsamt und die Fähigkeit zur körperlichen Wärmeabgabe abnimmt. Die Folgen sind Kreislaufprobleme, Unwohlsein und allgemeine Schwäche. Vor allem Senioren, die bereits unter chronischen Erkrankungen leiden, sind bei hohen Temperaturen besonders davon betroffen. Zusammen mit dem demografischen Wandel muss davon ausgegangen werden, dass das Risikopotenzial hitzebedingter Todesfälle und Erkrankungen steigt.

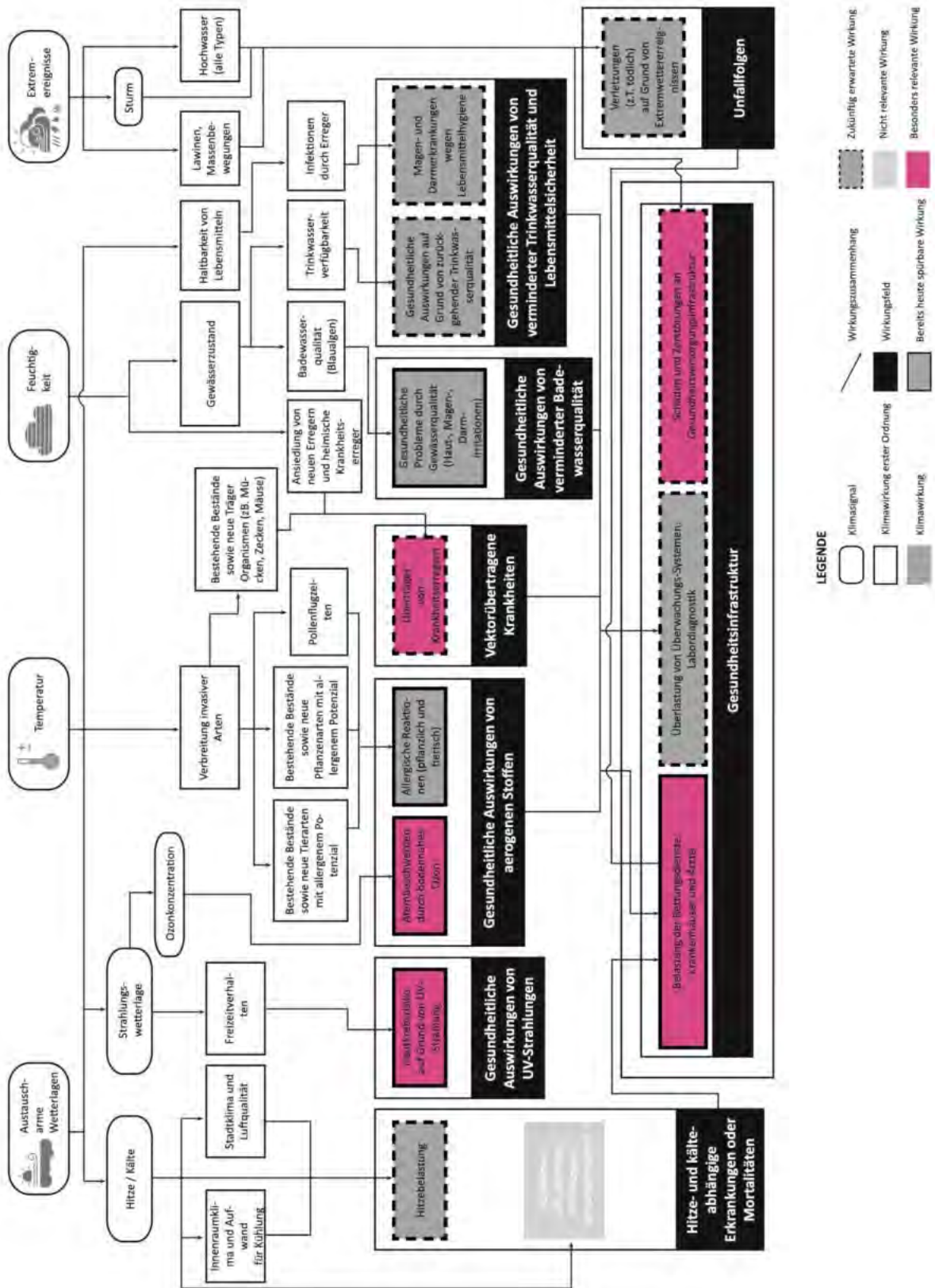
In Zukunft wird nicht nur ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur prognostiziert, sondern auch eine Zunahme humanbioklimatischer Belastungssituationen (Anzahl heiße Tage bzw. Länge von Hitzeperioden). Zusammen mit dem demografischen Wandel wird daher erwartet, dass das Risikopotenzial von hitzebedingten Todesfällen und Erkrankungen steigt. Räumliche Schwerpunkte liegen voraussichtlich in den Innenstadtbereichen von Kaiserslautern, die bereits heute überwärmt sind.

Neben der steigenden Hitzebelastung ist in Kaiserslautern von einer tendenziellen Zunahme anderer Extremereignisse wie Starkregen sowie mindestens gleichbleibender Häufigkeit und Intensität von Stürmen auszugehen, sodass mit einem Anstieg der durch solche Wetterextreme hervorgerufenen Verletzungen und der Betroffenheit von Einrichtungen des Gesundheitswesens (z.B. Westpfalzkrankenhaus) gerechnet werden muss. Zudem können, beispielsweise bedingt durch die Zerstörung von Eigentum oder sonstiger Lebensgrundlagen, häufiger gesundheitliche Belastungen der Betroffenen durch Stress oder psychische Störungen auftreten.

Im Zuge dieser Entwicklung wird erwartet, dass die Anforderungen an den Gesundheitssektor und die Belastung der Krankenhäuser, Rettungs- und Pflegedienste zur Bewältigung von Extremwittersituationen zunehmen wird. Da die Rettungsdienste jederzeit Kapazitäten für Notfälle vorhalten (müssen), bestehen hier Strukturen, die bereits der Anpassung an den Klimawandel dienen. Über die Rettungsdienste hinaus betreffen veränderte Arbeitsbedingungen bei Extremwetterereignissen (darunter auch Hitzeperioden) viele weitere Aufgabenfelder, in denen die Auswirkungen weniger offensichtlich erscheinen, für Kaiserslautern aber als sehr relevant angesehen werden (z.B. Pflege des Stadtgrüns, Arbeit im Außendienst, Pendlerströme etc.).

Geänderte klimatische Rahmenbedingungen beeinflussen die menschliche Gesundheit auf vielfältige Weise. Durch den Klimawandel verlängert sich die Vegetationsperiode, die genau wie ein vermehrtes Auftreten invasiver Arten zu allergischen Reaktionen oder vektorübertragenen Krankheiten führen kann. Dies gilt gerade auch für die Stadtteile mit dörflichem Charakter und einem hohen Anteil an Natur- oder naturnahen Räumen. Weiterhin kann sich die Zunahme von Starkregenereignissen sowie sommerlicher Hitze und Trockenheit künftig auch auf die Qualität von Badegewässern und Trinkwasser sowie auf die Lebensmittelhygiene auswirken, mit möglichen Folgen für die menschliche Gesundheit. Auch wird ein steigendes Hautkrebsrisiko gesehen, das sich als Folge eines geänderten Freizeitverhaltens ergeben könnte (mehr Aufenthalt im Freien bei wärmeren Temperaturen) – zur Frage, ob der Klimawandel zu einem erhöhten Hautkrebsrisiko infolge vermehrter Strahlung führt, liegen bislang keine belastbaren Prognosen vor. Bereits heute bildet jedoch hohe Konzentration bodennahen Ozons bei Strahlungswetterlagen eine Belastung für die Kaiserslauterer Bevölkerung. Daher wird dieser Aspekt als besonders relevant erachtet.

3.2.2.1 Wirkungskette Menschliche Gesundheit (Abb. 37)



3.2.3 Auswirkungen des Klimawandels auf die Umwelt

Ohne zielgerichtete Maßnahmen sind vielfältige Auswirkungen des Klimawandels auf die umweltschutzgutbezogenen Themenkomplexe in Kaiserslautern zu erwarten, wie die aktuellen Erfahrungen aus dem Sommer 2018 beim Stadtgrün und Wald (Hitze- und Trockenschäden) zeigen. Im Folgenden werden die von den beteiligten Akteuren als besonders relevant erachteten Wirkungen in diesen Themenfeldern beleuchtet. Darüber hinaus existieren weitere lokal bedeutsame Effekte, die in den Abbildungen 36-40 dokumentiert sind.

Wasser und Boden

Steigende Jahresmitteltemperaturen und veränderte Niederschlagsmengen mit abnehmenden Werten in den Sommer- und zunehmenden Werten in den Wintermonaten wirken auf alle Größen des Wasserkreislaufs. Die durch die Temperaturzunahme erhöhte Verdunstung, längere Phasen sommerlicher Trockenheit und der durch die veränderte Niederschlagsverteilung beeinflusste Oberflächenabfluss wirken über die Wasserbilanz auf die Grundwasserneubildung und die stehenden Gewässer.

Als besonders relevant werden insbesondere sämtliche Auswirkungen von zunehmenden Starkregen- und auch Trockenereignissen erachtet. Im städtischen Bereich Kaiserslauterns ist insbesondere die Abwasserbewirtschaftung und Entwässerung betroffen, die sich sowohl auf wachsende Ablagerungs-, Korrosions- und Geruchsprobleme im Kanalsystem in Trockenperioden als auch auf kurzzeitige Überlastungen des Kanalnetzes bei Starkregenereignissen vorbereiten müssen. Ein lokales Phänomen in Kaiserslautern ist in diesem Zusammenhang die Gefahr eines erhöhten Zuflusses aus abflusslosen Außengebieten, die in den letzten Jahren bereits zu vielen Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen geführt haben.

Zwischen Boden, Klima und Wasserhaushalt bestehen komplexe Wechselbeziehungen, nicht zuletzt über den Bodenwasserhaushalt. Einerseits sind Böden unmittelbar von künftigen Klimaänderungen betroffen, andererseits haben Veränderungen der Bodenverhältnisse über den Bodenwärmestrom oder die CO₂-Ausgasung auch umgekehrt Auswirkungen auf das Klima. In diesem Zusammenhang sind Schwankungen des Bodenwassergehaltes inner- und zwischenjährlich ein normaler Vorgang, auf den die Natur- und Kulturlandschaft angepasst ist. Gehen Niederschlagsverschiebungen und einzelne Extremereignisse über die natürliche Klimavariabilität hinaus, droht der kurzfristige oder auch dauerhafte Verlust von wichtigen Bodenfunktionen (u.a. Filter/Pufferfunktion, Bodenkühlleistung, Nährstoffspeicher), was in Kaiserslautern als besonders relevant eingestuft wird.

Natur und Stadtgrün

Steigende Temperaturen, längere Vegetationsperioden, veränderte Niederschlagsmuster und längere Trockenperioden – durch den Klimawandel ändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen und auch die Verhaltensweisen der Stadtbevölkerung so nachhaltig, dass damit eine wachsende Belastung der Ökosysteme einerseits sowie städtischer Grünflächen und des Staatsforstes und Stadtwaldes andererseits verbunden sein kann.

Mit Blick auf die natürlichen bzw. naturnahen Systeme im Kaiserlauterer Stadtgebiet wird eine potentielle Einschränkung von Ökosystemleistungen sowie die Gefahr zurückgehender standorteinheimischer Bestände als bedeutsam angesehen. Darüber hinaus werden in Kaiserslautern potentielle Schäden an städtischen Grünflächen als prioritär erachtet, die aus Windwurf sowie Hitze- und Trockenstress resultieren. Insbesondere während der Sommermonate werden diese Auswirkungen durch einen erhöhten Nutzungsdruck bzw. durch eine erhöhte Inanspruchnahme durch die Stadtbevölkerung noch zusätzlich verschärft.

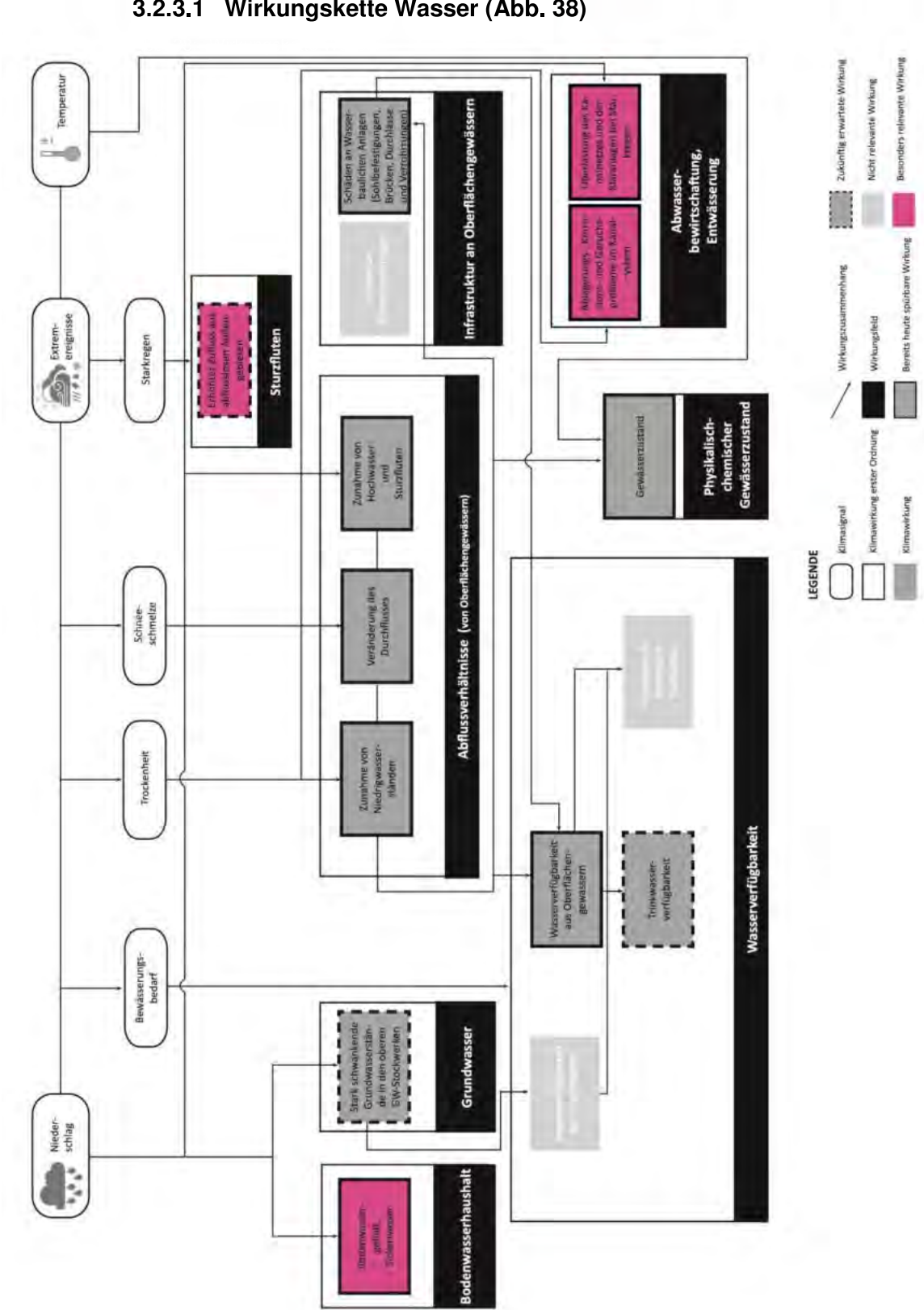
Land- und Forstwirtschaft

Land- und Forstwirtschaft sind in hohem Maße von klimatisch-meteorologischen Gegebenheiten abhängig (Länge der Vegetationsperiode, Klimatische Wasserbilanz, innerjährliche Niederschlagsverteilung, Extremereignisse). Kaiserslautern hat mit 2/3 der Gemarkungsfläche einen sehr hohen Waldanteil, weshalb die Auswirkungen auf die Forstwirtschaft als grundsätzlich relevanter eingeschätzt werden.

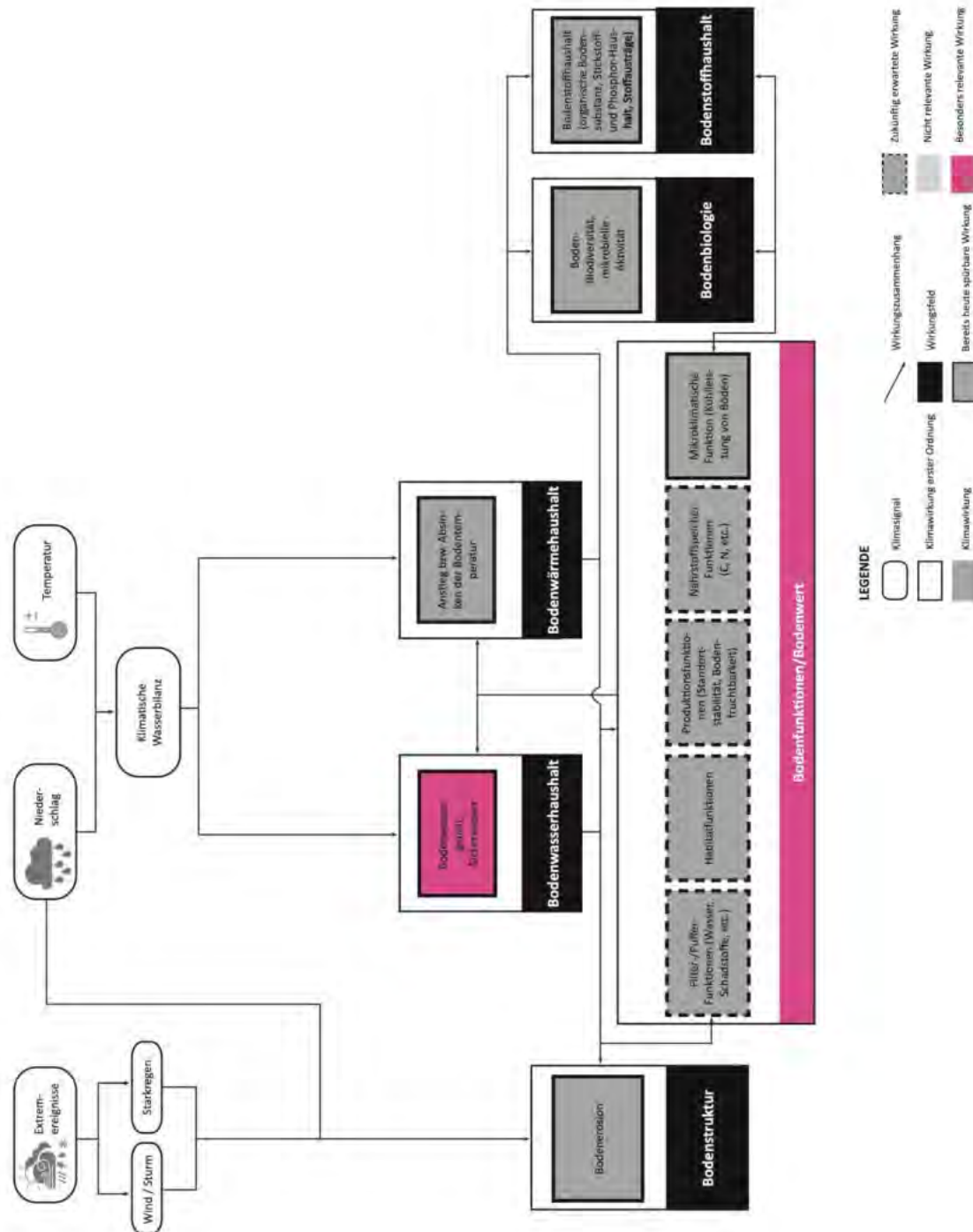
Hierzu gehören zum einen Vitalitäts- und Mortalitätseffekte. Höhere Temperaturen können zu einer Vermehrung von Schädlingen führen, etwa durch bessere Überwinterungsmöglichkeiten, sodass das Risiko für Schädlingsbefall zunimmt. Wärme und Trockenheit begünstigt zudem den Borkenkäfer. Verstärkend kommt hinzu, dass die Immunreaktion der Bäume aufgrund des stärkeren Hitze- und Trockenstress abnimmt und sich somit die Verwundbarkeit der Vegetation gegenüber Schädlingen generell erhöht. Gemäß einem aktuellen Bericht der Landesforsten hat sich der Zustand des Waldes 2018 im Vergleich zum Vorjahr wesentlich verschlechtert. Insgesamt weisen 73% aller Bäume Schäden auf, die u.a. auch auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Besonders betroffen sind die Nadelbaumarten Fichte und Douglasie (MUEEF 2018).

Daraus resultieren veränderte Anforderungen an die Baumartenzusammensetzung, die unter dem Aspekt einer eingeschränkten Habitatfunktion subsummiert werden können, da heutige Jungbäume auch an die Standortbedingungen in mehreren Jahrzehnten angepasst sein müssen. Als zentrale Herausforderung in Kaiserslautern werden darüber hinaus Erosionsschäden an Waldwegen durch Extremniederschläge erachtet, die die Nutzfunktion (Erholung, Ernte) des Waldes beeinträchtigen.

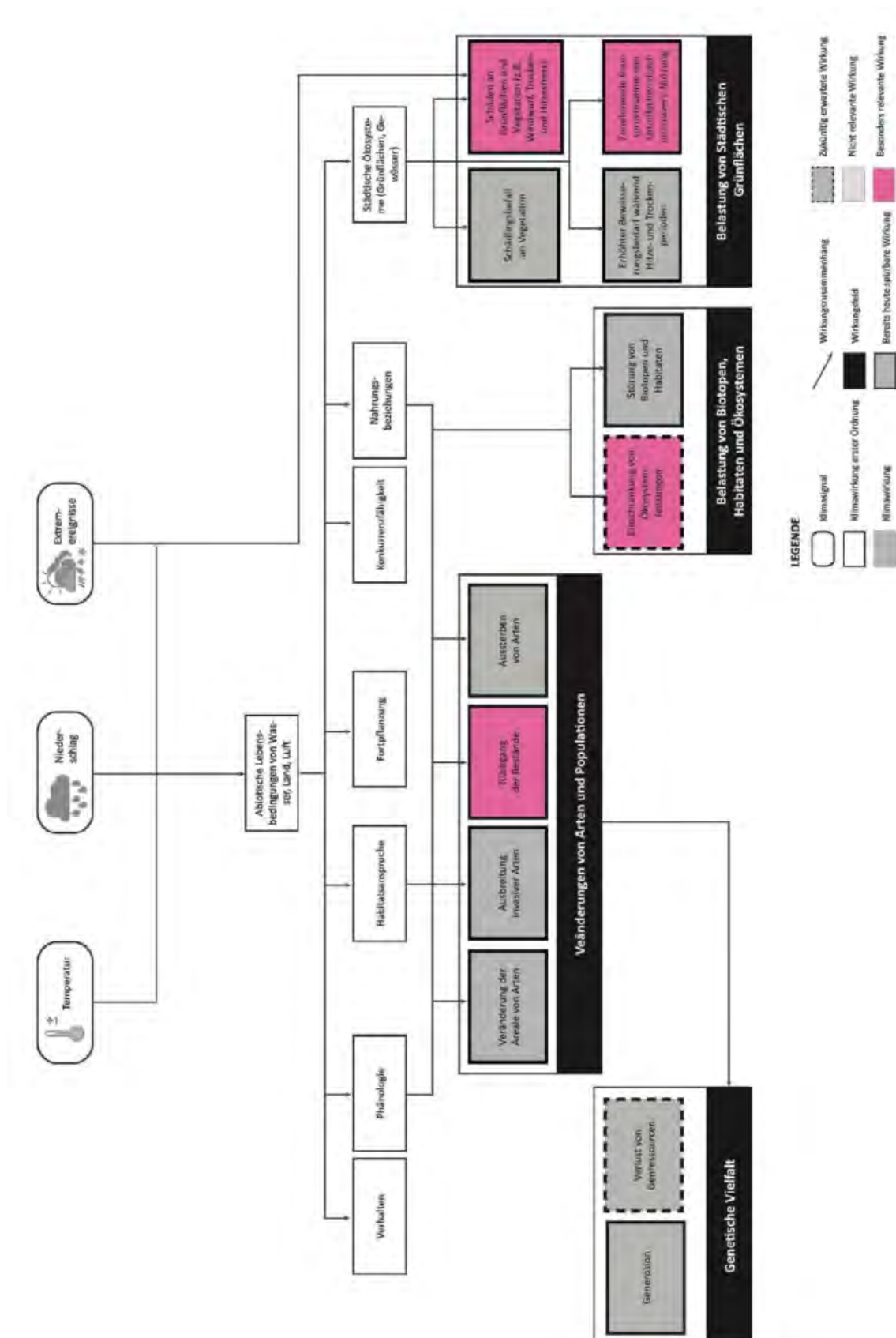
3.2.3.1 Wirkungskette Wasser (Abb. 38)



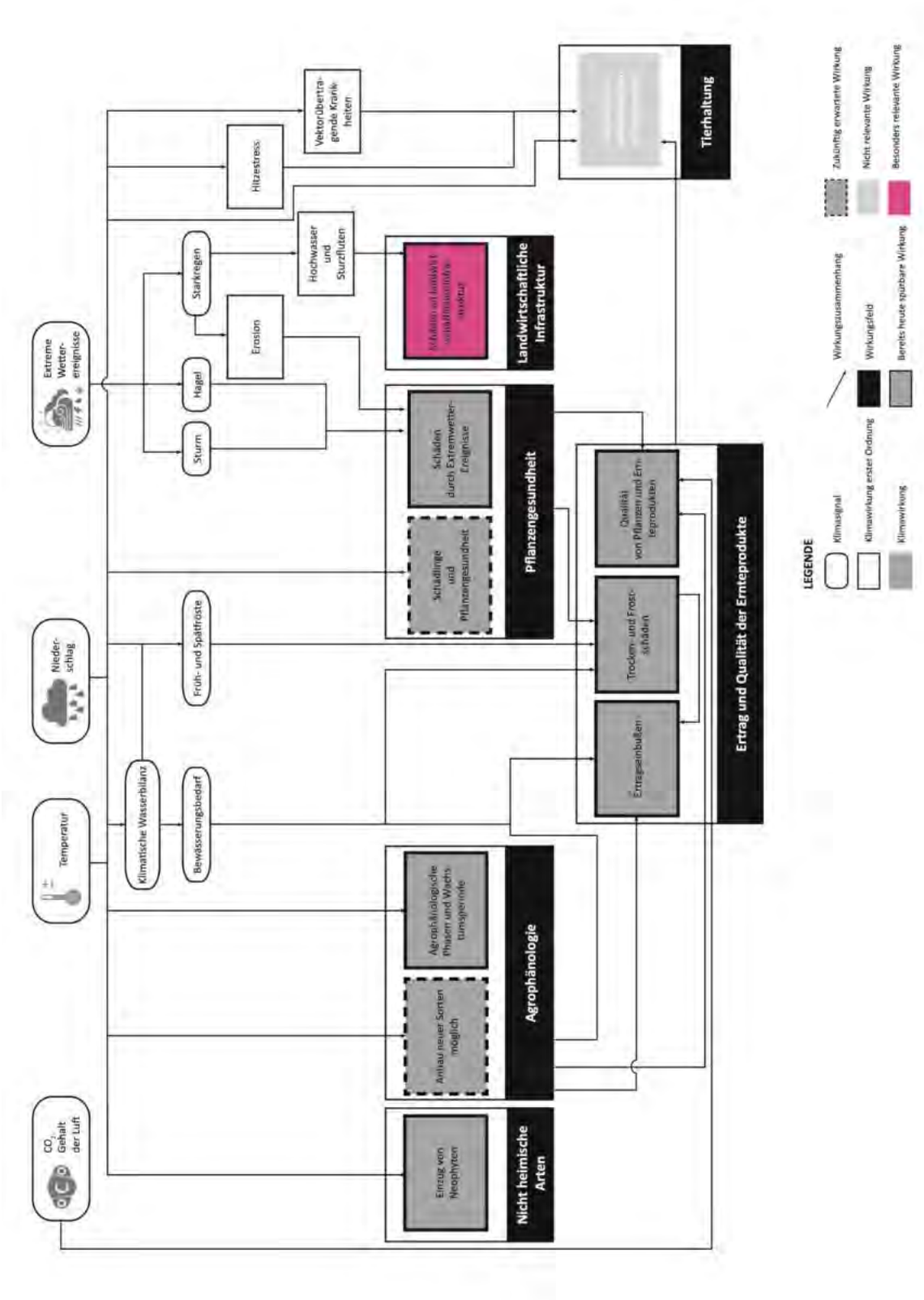
3.2.3.2 Wirkungskette Boden (Abb. 39)



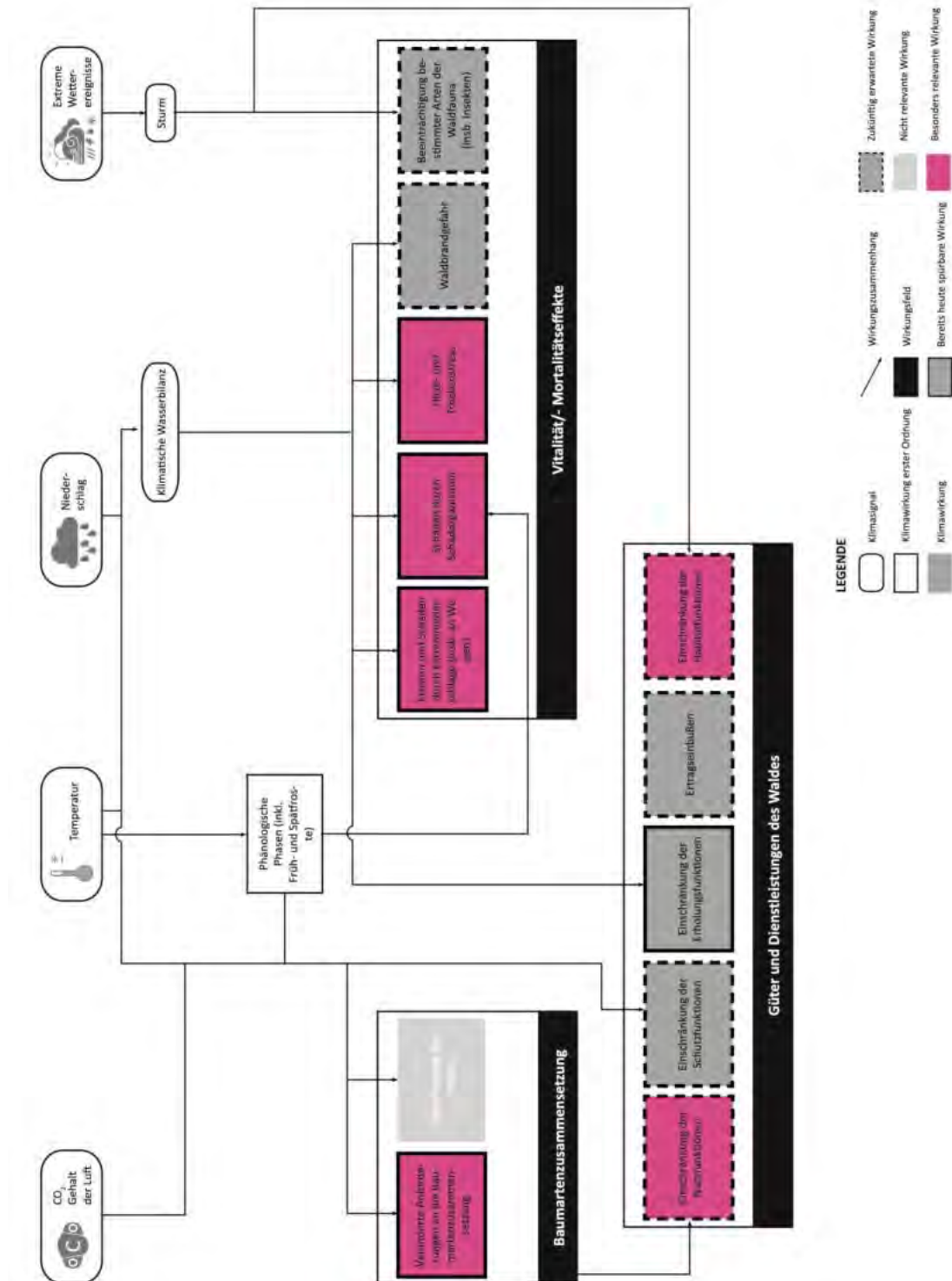
71



3.2.3.4 Wirkungskette Landwirtschaft (Abb. 41)



3.2.3.5 Wirkungskette Wald- und Forstwirtschaft (Abb. 42)



3.2.4 Auswirkungen des Klimawandels auf Infrastrukturen und Gebäude

Bauwesen

Die klimatischen Veränderungen und insbesondere die Extremwetterereignisse wirken in vielfältiger Weise auf die Gebäude und Bauwerke in Stadt Kaiserslautern ein. Gerade in den dicht besiedelten Bereichen der Innenstadt führen schwankende Grundwasserspiegel und der saisonal stark veränderte Bodenwassergehalt vereinzelt bereits heute zu Bauwerksschäden durch Vernässungen und Setzungen. Auch die Zahl der Gebäudeschäden durch Starkregen und daraus resultierende Sturzfluten wird in vielen Gebieten der Stadt voraussichtlich noch weiter zunehmen. Liegen Gebäude in den bereits bekannten und zukünftig zu erwartenden Überflutungshotspots, ist in zunehmendem Maße mit substantiellem Schaden und/oder funktionellem Verlust (Nutzungseinschränkungen) zu rechnen.

Während Hitzeperioden kommt es in einigen städtischen Gebäuden zu deutlich vermehrtem Hitzestress für die dort lebenden bzw. arbeitenden Menschen (vgl. Kap.3.1.1). Da sich die nächtliche Abkühlung verringert, können Wohn- und Bürogebäude weniger abkühlen und es entsteht eine erhöhte Notwendigkeit zum Kühlen. Auch wird davon ausgegangen, dass mit der Temperaturzunahme in Kaiserslautern die Belastung des Innenraumklimas noch weiter zunimmt. Während der Heizwärmebedarf abnimmt, steigt der Stromverbrauch unter Umständen durch zusätzliche Klimaregelungssysteme zukünftig noch weiter an.

Langfristig wird mit einer mindestens gleichbleibenden, tendenziell zunehmenden Sturmaktivität gerechnet und damit potentiell einer Zunahme von Sturmschäden an Bauwerken bzw. einem höheren Gefährdungspotenzial für Bewohner und Personen im Umfeld der Bauwerke. Bereits heute führen Starkwinde zu Konflikten. In Bezug auf die zukünftige Auftretshäufigkeit von – oft mit zahlreichen Schäden verbundenen – Hagelereignissen sind hingegen bislang keine verlässlichen Aussagen möglich.

Die Bauwirtschaft in Kaiserslautern kann von den steigenden Temperaturen durch eine längere Bausaison profitieren. Jedoch können sich die hohen Temperaturen nachteilig auf die Gesundheit und die Produktivität der Arbeiterkräfte auswirken, so dass unter Umständen spezielle Schutzmaßnahmen gegen Hitze und Sonneneinstrahlung erforderlich werden.

Verkehr

Für die Zukunft wird ein zunehmender Erhaltungs- und Instandsetzungsbedarf im Verkehrsnetz sowie ein erhöhter Managementaufwand für die Verkehrslenkung erwartet. In der Vergangenheit haben vor allem Stürme Schäden an hochragenden Anlagen wie Oberleitungen und Signalen verursacht sowie durch umfallende Bäume den Verkehrsablauf erheblich beeinträchtigt. Auch die Zunahme von Temperaturschwankungen und Starkregenereignissen wird – im Zusammenspiel mit anderen Faktoren außerhalb des Klimawandels – für die Zukunft als kritisch für die Funktionsfähigkeit der Kaiserslauterer Verkehrsinfrastruktur angesehen. Durch häufigere Wechsel von Frost- und Nichtfrostdagen kann es zu zusätzlichen Material- und Strukturschäden an Straßenbelägen und Schienen kommen. Starkregenbe-

dingte Überflutungen können zu Beeinträchtigungen von Verkehrswegen und Verkehrsinfrastrukturen führen und die Unfallgefahr z.B. durch Aquaplaning erhöhen. Grundsätzlich führen alle genannten Klimaveränderungen zu einer intensiveren Abnutzung oder gar zu Ausfällen der Infrastruktur, was wiederum verkürzte Lebensdauern, wachsende Instandhaltungskosten und erhöhte Ersatzinvestitionen nach sich zieht. Schäden an Verkehrsinfrastrukturen können sich ferner auf den operativen Betrieb auswirken. Häufigere Verzögerungen im Verkehr erstrecken sich auch auf von der Verkehrsinfrastruktur abhängige Wirtschaftszweige in Kaiserslautern.

Neben der Beeinträchtigung der Verkehrsinfrastruktur und der Verkehrssicherheit können zunehmende Temperaturen und Hitzewellen in Kaiserslautern auch die Gesundheit von Verkehrsteilnehmern belasten und Herz-Kreislauf-Probleme bzw. eine abnehmende Konzentrationsfähigkeit im Straßenverkehr bewirken.

Energie

Allmähliche Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags sowie häufigere Extremwetterereignisse können auch die Energiewirtschaft in Kaiserslautern beeinträchtigen. Die Klimafolgen betreffen dabei die Elektrizitätserzeugung, -übertragung, -verteilung sowie die Nachfrageseite. Zwar werden die Klimaveränderungen eher langfristig wirksam, jedoch sollten sie schon heute in die Planung von Investitionen einbezogen werden.

Sowohl in der Gesamtnachfrage nach Energie als auch im Verbrauchsmuster sind Veränderungen bei Privathaushalten sowie bei Gewerbebetrieben zu erwarten. Während der Heizwärmebedarf tendenziell leicht abnimmt, steigt der Stromverbrauch durch zusätzliche Klimaregelungssysteme im Sommer zukünftig vermutlich noch weiter an. Da diese Effekte von den Maßnahmen zur Gebäudesanierung überlagert werden, ist die mögliche Gesamtwirkung schwer zu quantifizieren.

Angesichts der schon heute auftretenden Schäden an Leitungsnetzen und der erwarteten Zunahme von Leitungsüberlastungen und Spannungsbandverletzungen steht die Energiewirtschaft in Kaiserslautern vor der Herausforderung, die Funktionsfähigkeit von kritischen Infrastrukturen aufrechtzuerhalten und Anpassungsstrategien für den Energiesektor zu entwickeln.

Bei der Elektrizitätsverteilung stellen Netzerhöhung und -ausbau aufgrund der stärkeren Integration erneuerbarer Energien und der infolgedessen zunehmenden Komplexität des Netzes eine wichtige Aufgabe dar. Insbesondere der Anteil der Solarenergie ist durch den intensiven Ausbau von Photovoltaik in den letzten Jahren in Kaiserslautern kontinuierlich gestiegen. Biomasse, Wind und Wasser spielen als Energiequelle dagegen eine eher untergeordnete Rolle. Die erneuerbaren Energien selbst können auch vom Klimawandel betroffen sein. So kann es durch zunehmende Unwetter mit Hagelereignissen zu mehr Schäden an Solarzellen im Kaiserslauterer Stadtgebiet kommen.

Industrie und Gewerbe

Die klimatischen Veränderungen erzeugen bei vielen Unternehmen in Kaiserslautern die Notwendigkeit, die Arbeitsumgebung und Arbeitsprozesse anzupassen. Mit dem Klimawandel erhöht sich für viele Industrie- und Gewerbebetriebe vor allem die Gefahr von Schäden und ökonomischen Wertverlusten. Insbesondere die Zunahme unvorhersehbarer Extremwetterereignisse vergrößert das Risiko, dass die Leistungsfähigkeit von Unternehmen beeinträchtigt wird und dass Wettbewerbsvorteile verloren gehen.

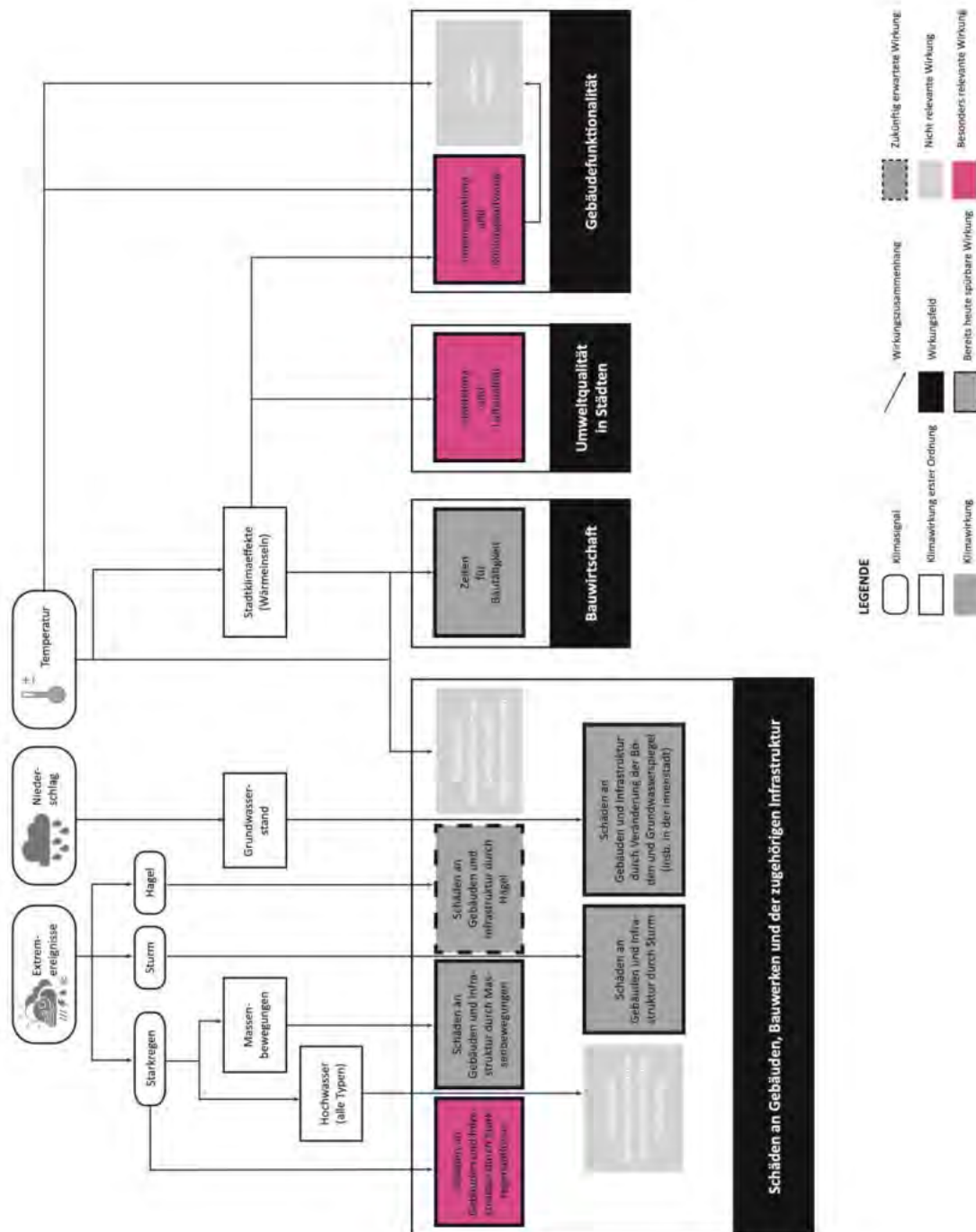
Gewerbliche und industrielle Infrastrukturen können in Kaiserslautern durch klimatische Einflüsse (insb. Starkregen, Sturm) beschädigt, gestört oder verstärkt abgenutzt werden. Zunehmende Hitze im Sommer kann einen sinkenden Temperaturkomfort und Einschränkungen der Leistungsfähigkeit von Arbeitnehmern durch Hitzestress an schlecht klimatisierten Arbeitsplätzen in Kaiserslautern zur Folge haben. Um Arbeitsprozesse aufrecht zu halten, steigt an heißen Tagen die Nachfrage der Unternehmen nach Energie für die Kühlung von Gebäuden und Anlagen.

Durch Witterungseinflüsse auf den Verkehr und auf technische Infrastrukturen der Energieversorgung kann es zu Versorgungsengpässen und dadurch letztlich zur Beeinträchtigung bzw. zum Ausfall von Produktions-, Liefer- und Arbeitsprozessen kommen. Für die Zukunft werden bei brauchwasserabhängigen oder energieintensiven Unternehmensbranchen teilweise Einschränkungen von Produktionsprozessen durch sinkendes Dargebot im Bereich der Wasser- und Stromversorgung erwartet.

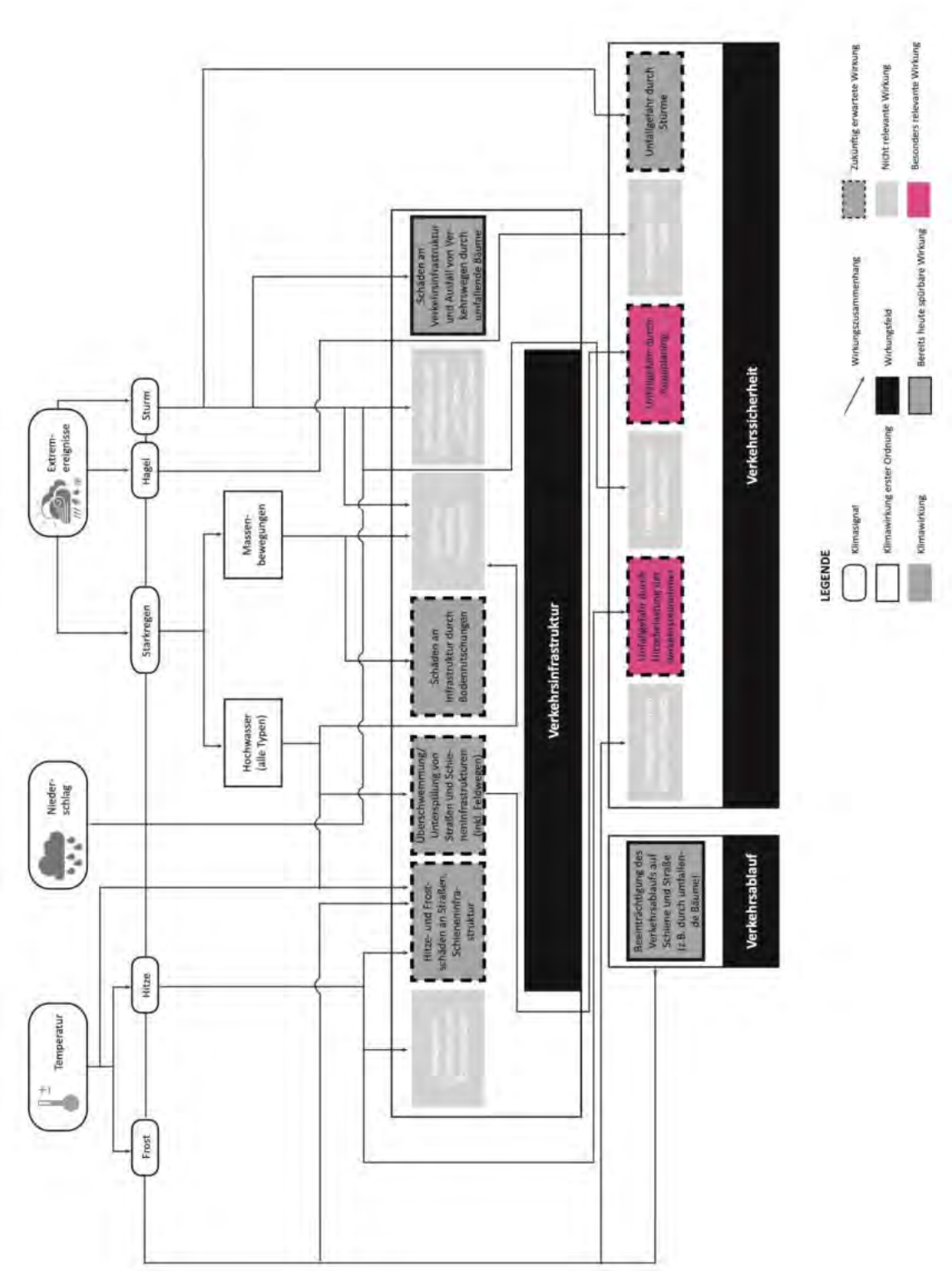
Tourismus und Naherholung

Es ist davon auszugehen, dass der Klimawandel teilweise auch den Tourismus und die Naherholung in Kaiserslautern beeinflussen wird. Insbesondere im Bereich der Naherholung kann es durch die Klimaveränderungen zu Nachfrageverschiebungen und Nachfragesteigerungen kommen. Einerseits ist zu erwarten, dass der Bedarf an klimaangepassten Naherholungsgebieten durch die Kaiserslauterer Bevölkerung zunehmen wird. Andererseits kann es vereinzelt auch zu Schäden oder zum (temporären) Wegfall von Naherholungsangeboten aufgrund von Witterungsverhältnissen und deren Folgen kommen. Eine weitere Auswirkung der klimatischen Veränderungen stellt das zunehmende Risiko der Beeinträchtigung und des Ausfalls von Veranstaltungen aufgrund von häufigeren Extremwettern dar.

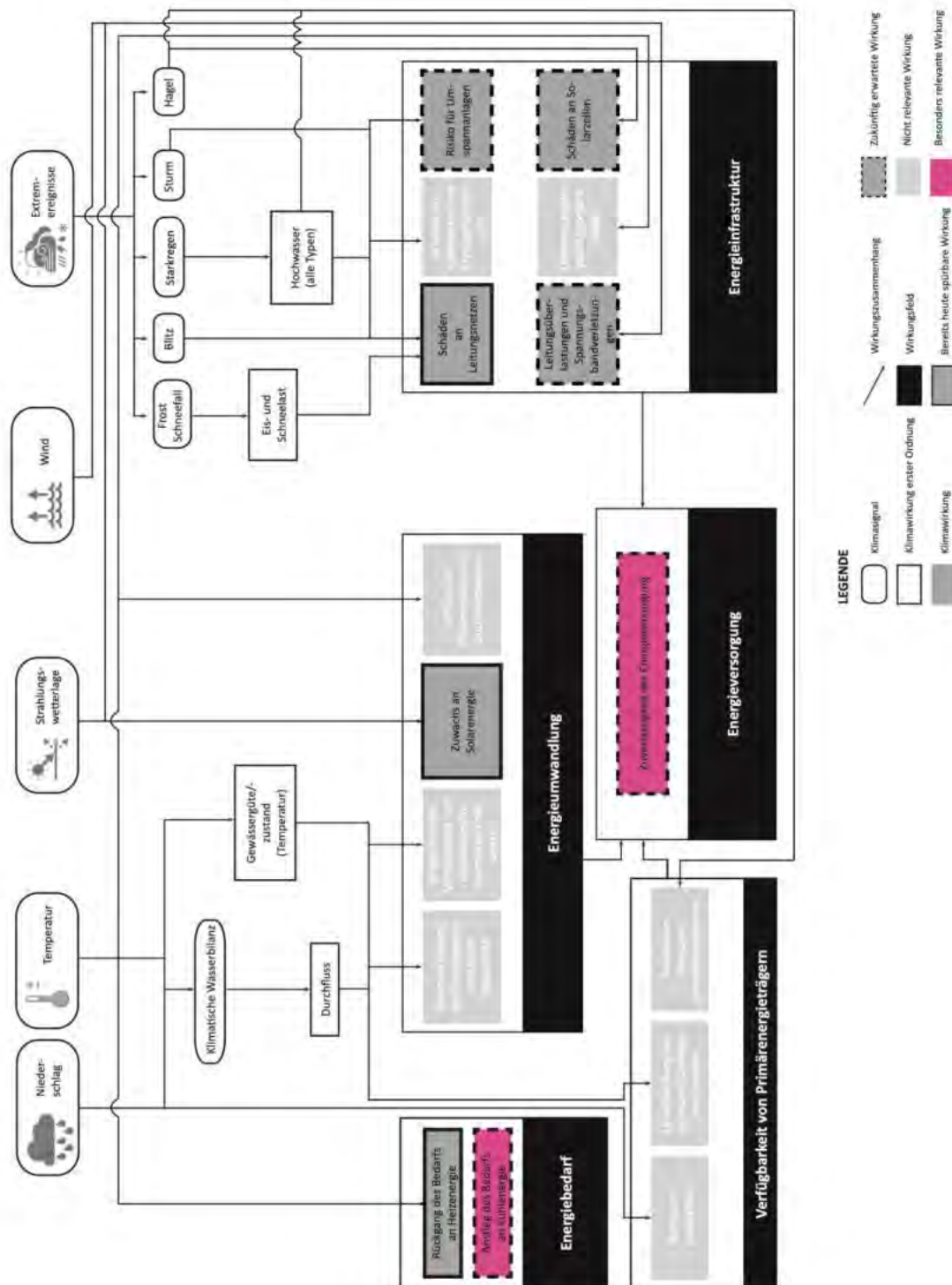
3.2.4.1 Wirkungskette Bauwesen (Abb. 43)



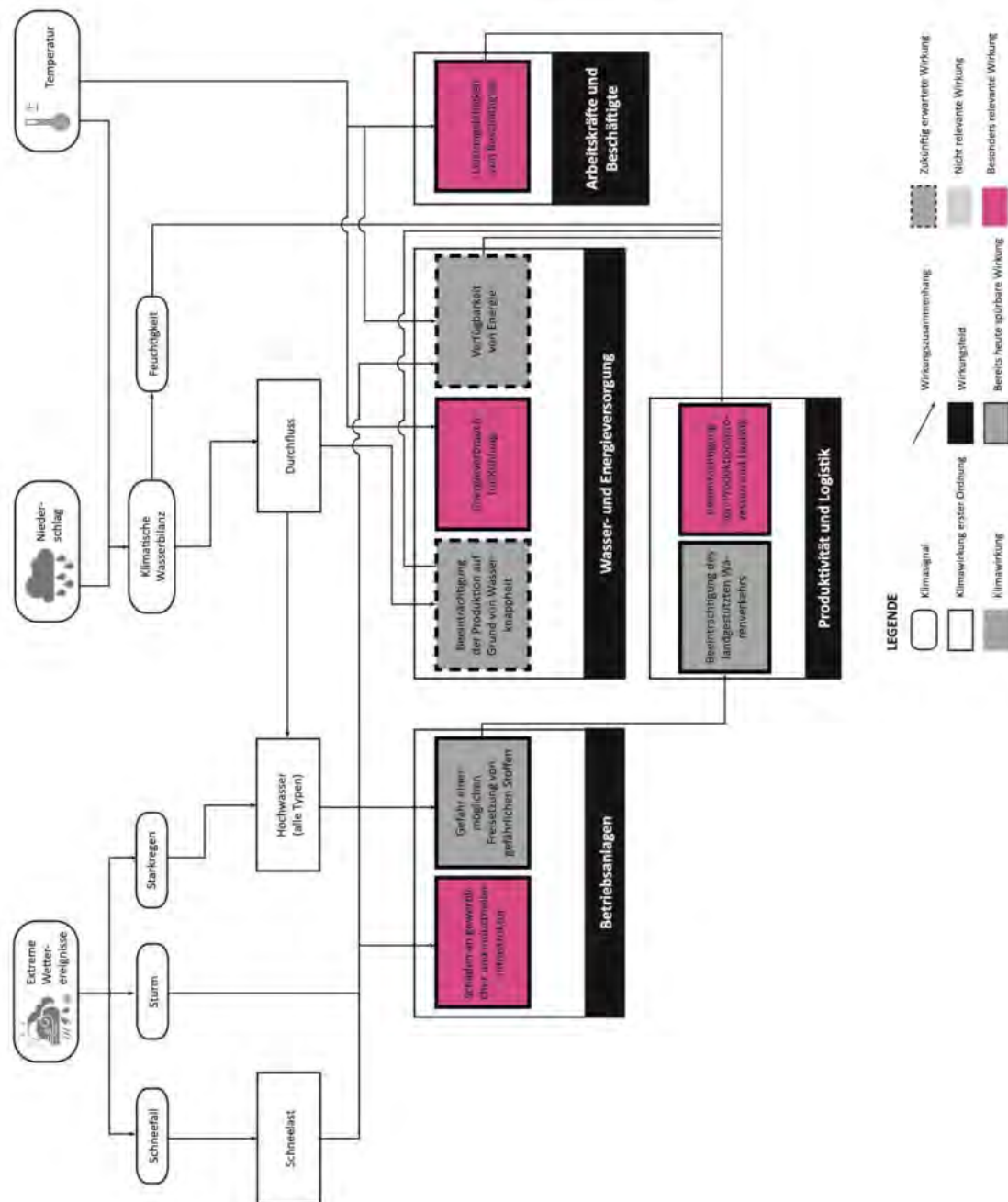
3.2.4.2 Wirkungskette Verkehr (Abb. 44)



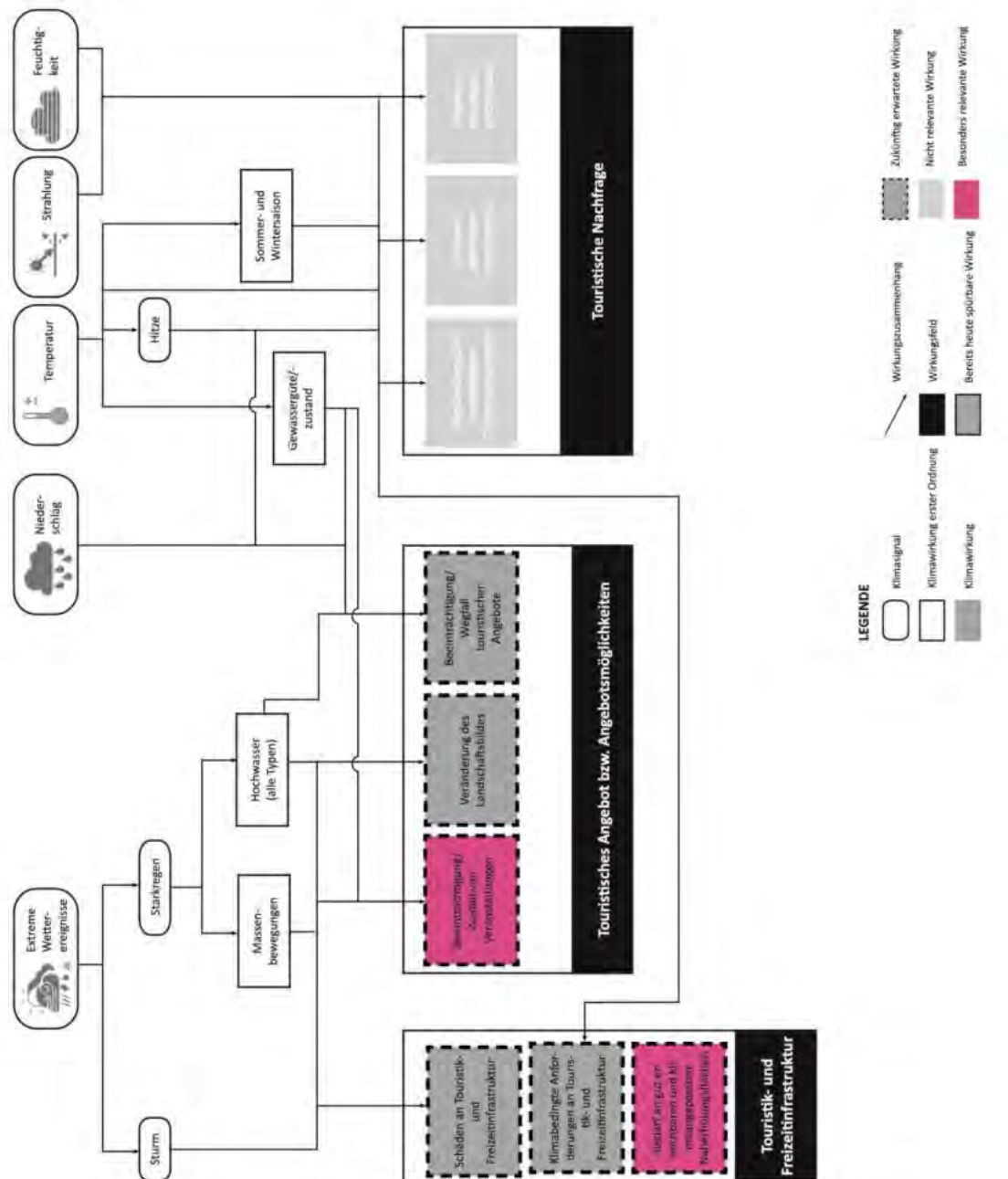
79



3.2.4.4 Wirkungskette Industrie und Gewerbe (Abb. 46)



3.2.4.5 Wirkungskette Naherholung und Tourismus (Abb. 47)



4 GESAMTSTRATEGIE ZUR KLIMAANPASSUNG

4.1 Zielfindung und Konzeptentwicklung

Nachdem im Rahmen der funktionalen Betroffenheitsanalyse (vgl. Kap. 3.2) die für Kaiserslautern relevantesten Wirkungen durch die beteiligten Akteure bewertet und priorisiert wurden, konnten im folgenden Schritt Ziele zur Anpassung an diese Klimafolgen formuliert werden. In einem nächsten Schritt wurden zunächst alle (sowohl laufenden als auch zukünftig denkbaren) Maßnahmen zusammengetragen, die zur Erreichung der anvisierten Ziele beitragen (könnten). Die Sammlung der Maßnahmenoptionen erfolgte dabei anhand der folgenden Leitfragen:

- Wo besteht noch Bedarf an weiterführenden Untersuchungen zum Klimawandel bzw. zu dessen Wirkungen? (→ analytische Maßnahmen)
- Welche organisatorischen Veränderungen (z.B. Zuständigkeiten, Budgets) sind notwendig? (→ organisatorische Maßnahmen)
- Welche Verfahren und Prozessabläufe müssen für die Klimaanpassung geändert werden? (→ prozessuale Maßnahmen)
- Wo bedarf es einer weiteren Sensibilisierung von Akteuren und Institutionen für die Klimaanpassung? (→ kommunikative Maßnahmen)
- Welche baulich-räumlichen bzw. ökologischen Maßnahmen sind für die Klimaanpassung denkbar und zielführend? (→ bauliche und ökologische Maßnahmen)

Darüber hinaus galt es, bestmöglich an die bisherigen Aktivitäten der Stadt Kaiserslautern in Bezug auf Klimaschutz und Klimaanpassung anzuknüpfen. Zu nennen sind hierbei u. a. der „Masterplan 100% Klimaschutz“ (2017) und der Klimafolgen-Dialog.

Für die Zusammenstellung der Maßnahmenoptionen zur Klimaanpassung wurden die vielfältigen Anregungen und Hinweise ausgewertet, die in der ämterübergreifenden Befragung sowie während des ersten Workshops gegeben wurden. Diese Vorschläge wurden fachlich geprüft und den entsprechenden Zielen zugeordnet. Teilweise wurden seitens der Gutachter auf Basis der Erfahrungen aus anderen Städten weitere Maßnahmenvorschläge ergänzt.

Die so entstandenen zielspezifischen Maßnahmenkataloge wurden anschließend intensiv gemeinsam mit der AG Extremwetter abgestimmt und bewertet. Dabei wurden aus der Vielzahl der gesammelten Maßnahmenoptionen diejenigen (prioritären) Maßnahmenpakete ausgewählt, die für die Umsetzung des Anpassungskonzeptes als besonders zielführend angesehen werden und die aus Gründen der Dringlichkeit oder des Leuchtturmeffekts möglichst kurzfristig vorbereitet werden sollten. Die Pakete umfassen zum Teil auch solche Maßnahmen, die bereits laufen und im Sinne der Klimaanpassung fortgeführt oder intensiviert werden sollen.

Die abschließende Auswahl der Maßnahmen erfolgte unter breiter Beteiligung der Fachakteure im Rahmen des 2. Workshops (vgl. Kap. 0). Anschließend wurden die ausgewählten Maßnahmen detailliert in Steckbriefen erläutert. Die Inhalte dieser Steckbriefe wurden von

den Gutachtern in enger Kooperation mit ausgewählten Akteuren aus den jeweils betroffenen Fachämtern formuliert und mit der AG Extremwetterereignisse final abgestimmt.

4.2 Anpassungsstrategie

Aus dem systematischen Analyseprozess sowie der engen Akteursbeteiligung resultiert im Ergebnis die nachstehende grundlegende Anpassungsstrategie mit den genannten Handlungsmaximen:

- Durch die gezielte Anpassung der Stadt an den Klimawandel sollen in den nächsten Jahrzehnten die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualität sowie die allgemeinen Umweltbedingungen erhalten und verbessert werden.
- Die Stadt mit ihrer Bebauung, ihrer Infrastruktur und ihren Naturräumen wird sukzessive so weiterentwickelt und gestaltet, dass die negativen Folgen des Klimawandels minimiert werden. Die Vorsorge gegenüber Hitze, Trockenheit, Starkregen und Sturm steht hierbei im Fokus.
- Der Klimawandel und die Erfordernisse der Anpassung an seine Folgen stellen ein zentrales Planungskriterium bei der städtischen Entwicklung dar. Getragen vom politischen Willen von Verwaltungsspitze und Stadtrat, greift das administrative, planerische und bauliche Handeln die Belange der Klimaanpassung konsequent auf.
- Die Klimaanpassung versteht sich als dauerhafte Querschnittsaufgabe und umfasst vielfältige gemeinschaftliche Aktivitäten, die im Zusammenspiel von Stadtverwaltung, städtischen Beteiligungsunternehmen, Bürgerschaft und lokaler Wirtschaft mit weiteren Akteuren erarbeitet, gebündelt und umgesetzt werden. Auch der einzelne Bürger und Unternehmen sind aufgefordert, im Rahmen der Eigenvorsorge selbst aktiv zu werden.

4.3 Kernziele und Maßnahmen für die Klimaanpassung in Kaiserslautern

In Abstimmung mit den an der Konzepterstellung Beteiligten wurden vier Kernziele für die Klimaanpassung in Kaiserslautern formuliert, die durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden sollen:

- **Hitze mindern – Grün schaffen!**
- **Schäden bei Starkregen minimieren!**
- **Klimaanpassung organisieren!**
- **Bürger und Unternehmen aktiv einbinden!**

Im Folgenden werden diese Kernziele und jeweils daran anschließend die dazugehörigen Maßnahmenpakete als wesentliche kommunale Aktionsfelder zur Klimaanpassung in

Steckbriefen zusammenfassend erläutert. Neben einer Beschreibung der Maßnahme, geben die Steckbriefe an, welchen Akteuren bzw. Dienststellen die Federführung für die konkrete Planung und Umsetzung der Maßnahmen obliegen wird und welche weiteren Akteure beteiligt werden sollten. Zudem wird aufgezeigt, ob durch die Umsetzung der Maßnahme Synergien mit anderen Schlüsselmaßnahmen oder sonstigen Aktivitäten (z. B. Klimaschutz, Nachhaltigkeit) der Stadt Kaiserslautern erzielt werden können.

Die Steckbriefe enthalten auch Einschätzungen zu den wirtschaftlichen Effekten der Maßnahmen. Es wird auch darauf hingewiesen, an welche bestehenden Instrumente und Projekte bei der Realisierung der Maßnahmen angeknüpft werden kann. Zum Teil benennen die Steckbriefe auch bereits konkrete Umsetzungsprojekte, die sich als „Piloten“ zur Maßnahmenumsetzung in Kaiserslautern eignen würden. Zuletzt werden Hinweise auf gute, bereits umgesetzte Beispiele oder auf sonstige Referenzen aus anderen Städten gegeben.

Die Maßnahmenpakete zur Erreichung der vier Kernziele wurden vor dem Hintergrund formuliert, sie möglichst effizient in bestehende Fachplanungen einzugliedern und/oder mit bestehenden Prozessen in Kaiserslautern zu verknüpfen. Sie stellen die übergeordneten Aktivitätsfelder auf kommunaler Ebene dar, nicht jedoch einzelne lokale (Bau)Maßnahmen. Sie bilden vielmehr den grundlegenden Handlungsrahmen zur koordinierten Anpassung an den Klimawandel. Die eigentliche Klimaanpassung erfolgt dann anschließend durch die sukzessive Umsetzung des Konzeptes in entsprechenden Detailprojekten, Baumaßnahmen und Einzelaktivitäten. Um die Maßnahmen weiter konkretisieren, umsetzen, evaluieren und weiterentwickeln zu können, sind zusätzliche finanzielle und personelle Ressourcen erforderlich.

4.3.1 Ziel 1: Hitze mindern – Grün schaffen

4.3.1.1 Zielbeschreibung

Die thermischen Belastungen in Form von häufigeren, längeren und intensiveren Hitzeereignissen werden im Kaiserslauterer Stadtgebiet im Laufe des 21. Jahrhunderts weiter deutlich steigen (vgl. Kap. 0). Die besonders betroffenen Teilräume sind identifiziert (vgl. Kap. 3.1.1). Das bedeutet während Extremereignissen in erster Linie:

- Weniger Lebensqualität für alle Stadtbewohner
- Steigender Stromverbrauch durch die Gebäudeklimatisierung
- Verringerte Produktivität/Effektivität der arbeitenden/lernenden Stadtbevölkerung
- Gesundheitliche Risiken für einen Teil der Stadtbevölkerung

Unterm dem Leitmotiv „Hitze mindern – Grün schaffen“ wird das Ziel verfolgt, diese negativen Auswirkungen zu minimieren und sich ergebende Synergieeffekte (noch besser) zu nutzen. Der Sicherung und zielgerichteten Erhöhung des urbanen Grünvolumens kommt bei der Zielerreichung eine Schlüsselrolle zu. Denn nur das Stadtgrün ist in der Lage, die doppelte Ökosystemdienstleistung der Verschattung und der Verdunstungskühlung zu ge-

nerieren. Darüber hinaus bieten sich u.a. in den kommunalen Handlungsfeldern Bodenschutz, Biodiversität und dezentrale Siedlungswasserwirtschaft vielfältige Synergieoptionen, die es zu identifizieren und zu nutzen gilt, ohne dabei etwaige Zielkonflikte innerhalb der Klimafolgenanpassung (z.B. Vermeidung von Sturm- und Trockenschäden an Stadtbäumen) außer Acht zu lassen.

4.3.1.2 Maßnahmenpakete

Zur Minderung von Hitzerrisiken wurden im Rahmen der Konzepterstellung sechs Maßnahmenpakete formuliert. Diese werden auf den folgenden Seiten in Steckbriefen erläutert. An verschiedenen Stellen bestehen unmittelbare Querbezüge zu Maßnahmenpaketen der Kernziele 2, 3 und 4, die entsprechend ausgewiesen sind.



Maßnahmenpaket HG-01

Entsiegelung und Begrünung

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Versiegelte Flächen tragen zur Aufheizung der Stadt bei und verstärken die negativen Effekte des Stadtklimawandels – Stadtgrün wirkt hingegen kühlend auf die Umgebung und kann zusätzlich als urbane Oase zur Erholung vom Hitzestress fungieren. Kaiserslautern ist eingebettet in eine grüne Umgebung. Auch innerhalb der Stadt existieren insbesondere mit dem Volks- und Stadtpark sowie den Grünanlagen am Kaiserberg einige größere Grünflächen. Hochwertige, kleinere Rückzugsorte mit hoher Aufenthaltsqualität (sog. „Pocket Parks“) existieren jedoch kaum, sodass insbesondere die kernstädtische Bevölkerung für die spontane Hitzeerholung relativ weite Wege ins Grüne in Kauf nehmen muss. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des Maßnahmenpaketes, die Stadt zu entsiegeln und – wo möglich und nötig – gleichzeitig dezentrales „Grün für alle“ zu schaffen. Dieses soll insbesondere in Baulücken sowie auf Brachflächen aber auch auf Schulhöfen, Gewerbeflächen und Parkplätzen realisiert werden. Die nicht ausgelasteten städtischen Parkhäuser bieten Ersatz für etwaig verloren gehenden Parkraum. Aber auch bestehende Grünflächen (z.B. Quartierparks) gilt es unter dem Aspekt der Hitzevorsorge neu zu bewerten und ggf. durch die Anlage von Wasserelementen (z.B. offene Wasserflächen, Brunnen) oder zusätzlichen Schattenräumen ihre Mikroklimavielfalt zu erhöhen. Auf diese Weise kann der Nachverdichtung eine grüne Inwertsetzung der bestehenden Baulücken und Brachflächen an die Seite gestellt werden.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Grünflächen (67)

Zu beteiligende Akteure

- vom konkreten Projekt Betroffene in Verwaltung und Stadtgesellschaft (Flächeneigentümer, Anlieger, BürgerInnen)

Wechselwirkungen

- Es bestehen vielfältige Synergiepotenziale, insbesondere zu den Themenfeldern Biodiversität, Bodenschutz und Starkregenvorsorge
- Als lokale Begegnungsstätte besitzen Pocket Parks zudem auch einen Wert für den sozialen Zusammenhalt innerhalb der Quartiersbevölkerung

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können einmalige Kosten für die Entsiegelungsaktivitäten und Entsorgung des Materials anfallen.
- Es können einmalige Kosten für den Flächenerwerb sowie Investitions- und Pflegekosten für die Anlage von Pocket Parks anfallen.
- Es besteht die Möglichkeit, die vorbereitenden Aktivitäten (Flächenidentifizierung, Maßnahmenplanungen) als „Leuchtturmvorhaben zur Anpassung an den Klimawandel“ durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit fördern zu lassen (<https://www.ptj.de/folgen-klimawandel>).

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Soziales Ökologieprogramm

Mögliches Pilotprojekt

- Pfaff-Gelände
- städtische Schulhöfe
- Campus TU Kaiserslautern (LBB)

Referenzen (best practice)

- Grüne Schulhöfe Paris
- Entsiegelungsprogramm München
- Pocket Park Florastraße Berlin-Pankow
- Pocket Park, Dalmannkai, Hamburg Hafencity
- City-West Frankfurt Pocket Park



Maßnahmenpaket HG-02

Stadtbaumbestand erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Stadtbäumen kommt aufgrund ihres hohen Wirkungsgrades eine Schlüsselrolle bei der proaktiven Anpassung des Kaiserslauterer Stadtkörpers an häufigere und intensivere Hitzeereignisse zu. Das Maßnahmenpaket verfolgt daher das Ziel, den Baumanteil und die Artenzahl in Kaiserslautern zu erhöhen. Dabei soll ein ganzes Maßnahmenbündel umgesetzt werden, das sowohl den Bestandsschutz als auch Neupflanzungen sowie sowohl private und öffentliche Standorte adressiert. Zentraler Erfolgsfaktor zum Erreichen des Ziels ist die Entwicklung fachübergreifender Lösungen, um mögliche Konflikte zu erkennen, aber auch Synergien zu nutzen und ein in der Praxis umsetzbares Konzept zur Schaffung und Unterhaltung von mehr Baumstandorten zu erhalten. Im Einzelnen sollen folgende Maßnahmen vorangetrieben werden:

- Defiziträume identifizieren (auf Basis der Kartierung im Grünflächenkonzept)
- proaktiv neue Baumstandorte entwickeln (insbesondere in den Defiziträumen)
- Überarbeitung der Baumschutzsatzung
- Anpassung der Baumliste für B-Pläne und Information der BürgerInnen
- Vollzugskontrolle für B-Planfestsetzungen verbessern
- Baumpflanzungen über das städtische Ökokonto ermöglichen
- private Patenschaften für Bäume in Anwohnerstraßen initiieren
- ehrenamtliche Beratung von BürgerInnen für BürgerInnen
- Straßenbaumkataster pflegen und weiterentwickeln
- Strategie zum Management von Extremwetterereignissen erarbeiten (Bewässerung bei Trockenperioden, Beseitigung/Minimierung von Sturmschäden,...)

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Grünflächen (67)

Zu beteiligende Akteure

- Referat Tiefbau (66)
- Referat Umweltschutz (15)
- AnwohnerInnen
- Unternehmen
- individuell betroffene Referate/Ämter

Wechselwirkungen

- Es bestehen Querbezüge zur Maßnahme HG-05 (Verschattung im öffentlichen Raum).
- Insbesondere bei der Erschließung neuer Baumstandorte sind viele Interessen gegeneinander abzuwägen. Fachübergreifende Lösungsfindungen im Hinblick auf die Belange Hitzevorsorge, Luftreinhaltung, Parkraum, Stadtbild sowie Ver- und Entsorgungsleitungen sind daher notwendig.
- Berücksichtigung von potentiellen, negativen Auswirkungen auf die spätere Verkehrssicherheit (z.B. Hebungen in Verkehrsflächen durch Wurzelwuchs, Konflikte mit dem freizuhaltenden Lichtraumprofil).
- Stadtbäume können zur Abpufferung von Starkregenereignissen (bei Pflanzung in von Baum-Rigolen) sowie zur Verbesserung der Luftqualität beitragen.
- Verbesserung des Stadtbilds

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es entstehen Investitions- und Folgekosten, die ggf. nicht vollständig aus dem städtischen Haushalt, sondern z.T. auch durch die Stadtgesellschaft getragen werden (z.B. Baumspenden durch den BUND seit 4 Jahren)
- erhöhter Personal-/Mittelbedarf etwa für das generelle Grünflächenmanagement oder die Vollzugskontrolle für B-Planfestsetzungen

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Baumkonzept der Bau AG
- Bestehende Baumliste für B-Pläne (im Internet einsehbar)
- Baumkataster

Mögliches Pilotprojekt

- nächst anstehende Straßenbaumaßnahmen (z.B. Stiftswaldstraße)

Referenzen (best practice)

- Stadtbaumkonzept Jena
- Mein Baum – Meine Stadt Hamburg
- Stadtbaumpatenschaften in Berlin, Dresden und anderen Städten
- 1000-Bäume für...Programm



Maßnahmenpaket HG-03

Anreize für Dach- und Fassadenbegrünung (in Kombination mit PV)

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Verdichtete Gebäudestrukturen sind aufgrund ihres hohen Bauvolumens einer der Hauptfaktoren für die Entstehung städtischer Hitzeinseln. Gleichzeitig besitzt die intensive – insbesondere vertikale – Begrünung dieser Gebäude grundsätzlich ein sehr hohes, aber in Kaiserslautern bisher in nur sehr geringem Umfang gehobenes Potential zur lokalen Abkühlung des Stadtaußen- wie auch Gebäudeinnenraums. Ziel des Maßnahmenpaketes ist es daher, die Dach-/Fassaden- und Innenhofbegrünung deutlich zu intensivieren.

Wie in fast allen deutschen Städten besteht dabei die Herausforderung darin, dass Kaiserslautern eine nahezu „fertig“ gebaute Stadt im überwiegenden Privatbesitz ist. Folglich bedarf es einer Doppelstrategie aus der (pilothaften) Begrünung eigener Liegenschaften einerseits und insbesondere der Schaffung von Anreizen für die Begrünung von Privatgebäuden und Gewerbebauten andererseits. Hierunter fallen zum einen Informations- und Aufklärungskampagnen. Denkbar wäre eine Verknüpfung mit Straßenausbaumaßnahmen, etwa in Form von Anlieger-Informationen über Möglichkeiten zur Fassadenbegrünung, um ggf. während des Ausbaus direkt Maßnahmen vorbereiten zu können (z.B. Freilassen von Pflanzflächen an der Fassade, an Regenrinnen usw.). Zum anderen können finanzielle Förderungen/Erleichterungen für GebäudeeigentümerInnen oder die Durchführung von öffentlichen Ausstellungen/Veranstaltungen (z.B. im Rahmen der Gartenschau oder eine Foto-Dokumentation bestehender Fassadenbegrünungen im Stadtgebiet) dem Ziel dienen, EigentümerInnen als wichtige Multiplikatoren zu gewinnen.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Stadtentwicklung (61)

Zu beteiligende Akteure

- Referat Umweltschutz (15)
- Referat Bauordnung (63)
- Referat Grünflächen (67)
- Referat Gebäudewirtschaft (65)
- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- GebäudeeigentümerInnen
- Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung (LBB)
- Gemeinnützige Baugesellschaft Kaiserslautern (Bau AG)

Wechselwirkungen

- Bei der Dachbegrünung bestehen Querbezüge zur Maßnahme HG-01 (Entsiegelung und Begrünung) und durch die verzögerte Ableitung zur Starkregenvorsorge.
- Es bestehen vielfältige Synergiepotenziale, insbesondere zu den Themenfeldern Biodiversität und Starkregenvorsorge sowie Klimaschutz (Wirkungsgraderhöhung bei PV durch die Kombination mit Dachbegrünung).
- Die Informationen über Anreize zur Dach- und Fassadenbegrünung sollten in die Öffentlichkeitsarbeit (Maßnahme BU-01) sowie die Beratungs- und Dienstleistungsangebote für die Bevölkerung (Maßnahme BU-03) eingeflochten werden.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Für das anvisierte Pilotprojekt zur Begrünung eigener Liegenschaften fallen Kosten für die Planung, Installation und Pflege an. Gleichzeitig bestehen Einsparpotentiale beim Heizen und Kühlen des Gebäudes sowie bei der Abwassergebühr.
- Bei den Anreizprogrammen können Kosten für die Informationskampagne sowie etwaige Förderungen anfallen.
- Es können ggf. Mittel aus der Städtebauförderung verwendet werden.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Flyer "Dach- und Fassadenbegrünung"
- existierende Ausführungsbeispiele aus Kaiserslautern mit Vorzeigecharakter
- bisherige Praxis bei Bebauungsplanfestsetzungen
- Entwässerungs- und Abwassergebührensatzungen
- Bauberatung für BürgerInnen

Mögliches Pilotprojekt

- Pfaff-Gelände

Referenzen (best practice)

- Begrüntes Hannover
- Faltblatt „Bremen fördert Dachbegrünung & Entsiegelung“
- Aufklärungskampagne „Vorteile der Gebäudebegrünung“ München
- Grüne Höfe, Dächer und Fassaden für Karlsruhe



Maßnahmenpaket HG-04

Verbesserung der Informations- und Abwägungsgrundlagen zur Hitzevorsorge

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Die aktuelle Stadtklimaanalyse für die Stadt Kaiserslautern datiert aus dem Jahre 2012. Sie wurde durch ein Klimadienstleistungsbüro auf der Basis eines mesoskaligen Klimamodells erstellt. Wichtigstes Produkt ist die Planungshinweiskarte (PHK) Stadtklima, in der die klimaökologische Bedeutung von Grün-/Freiflächen inkl. des nächtlichen Kaltluftprozessgeschehens („Leitbahnen“) sowie die thermische Situationen in den Siedlungsräumen bewertend dargestellt und allgemeine Planungshinweise formuliert sind. Die PHK wurde in der Praxis bislang vor allem reaktiv zur Ersteinschätzung der Sensitivität einzelner Bau-/Entwicklungsvorhaben eingesetzt. Zwar erfüllt diese Analyse nach wie vor die Anforderungen zum Stand der Technik, wie sie in den einschlägigen VDI-Richtlinien zur Umweltmeteorologie definiert sind. Die proaktive Anpassung des Stadtkörpers an steigende Hitzebelastungen kann auf ihrer Basis jedoch nicht hinreichend gut vorbereitet werden. Ziel der Maßnahme ist daher die Fortschreibung der Stadtklimaanalyse 2012 unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- gesamtstädtische mikroskalige Modellierungen mit expliziter Auflösung von Gebäuden sowie (privaten und öffentlichen) Grünstrukturen
- Berücksichtigung des Klimawandels und der zu erwartenden Stadtentwicklung sowie sozial-ökologischer Indikatoren zur Abbildung der Vulnerabilität
- Entwicklung eines räumlich differenzierten Maßnahmen-Masterplans zur Anpassung des öffentlichen Raumes an zunehmende Hitzebelastungen
- Aktualisierung der Planungshinweiskarte
- Ausweisung multifunktionaler Flächen im Flächennutzungsplan, die von einer Bebauung freigehalten werden sollen

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Umweltschutz (15)

Zu beteiligende Akteure

- Referat Stadtentwicklung (61)
- evtl. wissenschaftliche Begleitung des Projektes (TU Kaiserslautern)

Wechselwirkungen

- Die Maßnahme bildet eine wichtige Grundlage für die Erarbeitung der Leitlinien zur Klimaanpassung für Planungsverfahren (Maßnahme KO-02).
- Die Projektergebnisse liefern Grundlageninformationen zur räumlichen Fokussierung der übrigen Maßnahmenpakete des Kernziels 1 (Hitze mindern – Grün schaffen), insbesondere zu möglichen vorrangigen Förderkulissen für die Gebäudebegrünung, Suchräumen für Entsiegelungen und Pocket-Park Entwicklungen sowie überhitzten öffentlichen Straßen und Plätzen.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können einmalige Kosten für externe gutachterliche Unterstützung entstehen.
- Unter Umständen besteht die Möglichkeit einer Projektförderung als „Leuchtturmvorhaben zur Anpassung an den Klimawandel“ durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit oder im Rahmen anderer Fördermaßnahmen des Bundes oder des Landes Rheinland-Pfalz.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Stadtklimaanalyse 2012
- neu erarbeitetes Kartenmaterial aus dem vorliegenden Projekt (KLAK KL)

Referenzen (best practice)

- Stadtklimaanalyse Berlin
- Stadtklimaanalyse Braunschweig
- Städtebaulicher Rahmenplan Klimaanpassung (Hitze) der Stadt Karlsruhe
- Städtebauliches Konzept zur Klimaanpassung (Hitze) Freiburg
- Masterplan Stadtklima Zürich
- Stadtentwicklungsplan Klima Berlin



Maßnahmenpaket HG-05

Verschattung im öffentlichen Raum

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Straßen, öffentliche Plätze und städtische Grünanlagen sind mit Blick auf den urbanen Klimawandel hochgradig vulnerable Stadtstrukturen. Zugleich besitzen sie als soziale Räume eine hohe Bedeutung für die Lebens- und Aufenthaltsqualität der Lauterer Stadtbevölkerung. Aufgrund der Eigentums- und Zuständigkeitsverhältnisse existieren hier große Potenziale für die Umsetzung kommunaler Klimaanpassungsmaßnahmen.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel des Maßnahmenpaketes, gezielt Maßnahmen im öffentlichen Raum zur Verbesserung der mikroklimatischen Situation vorzubereiten, durchzuführen und deren Wirksamkeit zu evaluieren. Dabei steht insbesondere die Hitzebelastung am Tage im Fokus, ohne jedoch andere klimatischen Faktoren (z.B. Sturmgefährdungen, Windkomfort, Lufthygiene, Trockenheit) außen vor zu lassen.

In einem ersten Schritt soll auf Basis einer Defizitanalyse eine Priorisierung der anzupassenden Stadträume erfolgen. Als besonders wichtig gelten dabei Fußgängerzonen, ÖPNV-Haltestellen, Spielplätze, Schulhöfe, Grünanlagen und Freibäder. Anschließend können individuelle Maßnahmenpakete für diese Pilotprojekte erarbeitet und Finanzierungswege konzipiert werden. Dabei sollen auch temporäre bzw. mobile Lösungen der Verschattung berücksichtigt werden.

Die darauf folgende Umsetzung soll durch ein dauerhaftes Monitoring sowohl etwaiger Instandhaltungs- und sonstiger Folgekosten als auch der Wirkungen auf die Aufenthaltsqualität begleitet und ergänzt werden, um effiziente und kostengünstige Varianten zu ermitteln.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Stadtentwicklung (61)
- Referat Gebäudewirtschaft (65)
- Referat Grünflächen (67)

Zu beteiligende Akteure

- Stadtbildpflege Kaiserslautern
- Einzelhandel, Gastronomie

Wechselwirkungen

- Es bestehen Synergiepotenziale mit allen weiteren Maßnahmen, die auf eine Abkühlung thermisch belasteter Bereiche abzielen, z.B. mit den Maßnahmen HG-02 (Stadtbaumbestand erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln) sowie BU-04 (Trinkwasserbereitstellung im öffentlichen Raum).
- Die Maßnahme HG-04 (Verbesserung der Informations- und Abwägungsgrundlagen zur Hitzevorsorge) kann bei der Identifizierung hitzebelasteter Bereiche unterstützen.
- Maßnahmen zum Hitzeschutz können eine positive touristische Außenwirkung entfalten.
- Durch eine Kombination der Verschattungselemente mit Solarmodulen (Vorbild „Solargate“ IAA Frankfurt) können Synergien mit dem Klimaschutz erzielt werden.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können einmalige Kosten für externe gutachterliche Unterstützung bei der Priorisierung von Räumen und der Planung von Maßnahmen entstehen.
- Es können Investitions- und Folgekosten für die Maßnahmen selbst entstehen.
- Eine Förderung sollte insbesondere im Bereich der Städtebauförderung geprüft werden.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- bisherige Verschattungsmaßnahmen (z.B. KiTas, Spielplätze etc.)

Mögliches Pilotprojekt

- Schillerplatz
- Zentraler Busbahnhof Innenstadt

Referenzen (best practice)

- Grünes Zimmer Ludwigsburg
- Klimzug Nordhessen – Sonnenschutz an Haltestellen
- „Das laufende Band“ Graz
- Sonnensegel Fußgängerzonen Sevilla, Faro etc.



Maßnahmenpaket HG-06

Biodiversität in der Stadt fördern

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Wesentlicher Bestandteil des Maßnahmenpakets ist die Erhaltung und Förderung der Biodiversität in Kaiserslautern, da eine hohe biologische Vielfalt die Widerstandsfähigkeit städtischer Ökosysteme gegenüber der steigenden Belastung durch den Klimawandel stärkt (z.B. Trocken- und Hitzestress, Schädlingsbefall).

Um das Ziel zu erreichen, sind nicht nur die bisherigen Aktivitäten zur Unterstützung der Biodiversität fortzuführen; vielmehr gilt es, die biologische Vielfalt gezielt im gesamten Stadtgebiet zu fördern. Dabei geht es zunächst um die Identifikation räumlicher Handlungsschwerpunkte und die Untersuchung, wo eine gezielte Vernetzung von Grünräumen oder Optimierung der Lebensräume für Tiere und Pflanzen nötig (und machbar) ist. Zum einen sollte bestehendes Stadtgrün im Hinblick auf die Biodiversität aufgewertet werden. Ein hohes Potential dafür bietet das Straßenbegleitgrün („blütenreiches Straßenbegleitgrün“), das bereits heute Lebensraum und Rückzugsgebiet für viele Kleintiere sowie Insekten ist und für diese mit seiner netzartigen Struktur einen Ausbreitungskorridor darstellt, dessen Funktion durch die Anbindung an Biotope gestärkt werden könnte. Zum anderen sind in Defizitgebieten möglichst naturnahe Flächen und Naturerlebnissräumen zu schaffen.

In den naturnahen Flächen sollten heimische bzw. gebietsspezifische Arten verwendet werden, um die Biodiversität zu erhalten und die Ausbreitung invasiver Arten zu verhindern. Konsequenterweise sollte auch die Pflege öffentlicher Grünflächen naturnah erfolgen, u.a. mit Verzicht auf Pestizide und Düngung.

Über Blühinseln in der Innenstadt oder einen Wettbewerb von privaten Gärten mit besonders hoher biologischer Vielfalt könnte das Thema publik gemacht und die Akzeptanz erhöht werden. Denkbar sind auch Patenschaften zur Biodiversität in Anliegerstraßen.

Schließlich sollte das Maßnahmenpaket darauf abzielen, dass die Belange der Biodiversität in sämtlichen Planungsvorhaben Einzug finden – speziell bei Gewerbeflächen könnten entsprechende Vorgaben entwickelt werden, da es sich meist um großflächige Vorhaben handelt.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Grünflächen (67)
- Referat Umweltschutz (15)

Zu beteiligende Akteure

- Vom konkreten Projekt Betroffene in Verwaltung und Stadtgesellschaft (Flächeneigentümer, Anlieger, BürgerInnen)

Wechselwirkungen

- Das Maßnahmenpaket enthält Synergien zum Hochwasser- und Naturschutz sowie ggf. der Naherholung (Naturerlebnisräume).
- Es besteht eine Anknüpfung an das Maßnahmenpaket HG-01 (Entsiegelung und Begrünung).
- Auch sind multifunktionale Flächen mit Maßnahmen zur Wasserrückhaltung (Retentionsflächen) denkbar.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können Investitionskosten für die Aufwertung bzw. Schaffung von Grünflächen anfallen.
- Unterhaltungskosten für die Pflege der Grünflächen

Mögliche Anknüpfungspunkte

- „Aktion Grün“
- Biotopverbundplanung

Mögliches Pilotprojekt

- „Blühstreifen“

Referenzen (best practice)

- Biodiversitäts-Leitfaden „Praxis in städtischen Ballungsräumen“ des NABU

4.3.2 Ziel 2: Schäden durch Starkregen minimieren

4.3.2.1 Zielbeschreibung

Inwiefern Starkregen und die mit ihnen einhergehenden Überflutungsschäden mit dem Klimawandel konkret zunehmen werden, lässt sich nicht zuverlässig prognostizieren (Kap. 2.5). Dies liegt in erster Linie daran, dass heutige Klimamodelle das Starkregengeschehen mit kleinräumigen konvektiven Niederschlägen nicht abzubilden vermögen. Doch sowohl die Beobachtung zunehmender Starkregenereignisse in den vergangenen Jahrzehnten als auch die allgemeine „Wetterphysik“ lassen erwarten, dass sich mit der Zunahme der Durchschnittstemperatur und v. a. ausgedehnter Hitzeperioden auch in Kaiserslautern Starkregenereignisse in Intensität und Häufigkeit in den nächsten Jahrzehnten spürbar zunehmen werden. Dies wird auch durch die Starkregenereignisse der letzten Jahre in Kaiserslautern gestützt. Daher stellt die Vorsorge gegenüber starkregenbedingten Überflutungsschäden ein Kernziel des vorliegenden Klimaanpassungskonzeptes dar.

Urbane Sturzfluten und resultierende Überflutungsschäden

Als urbane Sturzflut bezeichnet man die aus einem oftmals lokal auftretenden Starkregen resultierende Überflutung eines Siedlungsgebietes. Derartige Niederschläge treten überwiegend während der Sommerzeit auf und bringen in kürzester Zeit sehr große Niederschlagsmengen auf Flächen von wenigen Quadratkilometern (DWA, 2016). Sie gehen oftmals einher mit Gewitter und Hagel. Urbane Sturzfluten können generell überall – auch fernab von Gewässern – vorkommen (DWA, 2013). Gerade in den Jahren 2016 und 2018, ebenso wie in früheren Jahren, war dies auch in Kaiserslautern zu beobachten. Genannt seien hier Überschwemmungen im Innenstadtbereich, im Bereich Engelshof oder auch verschiedenen Stadtbezirken.

Die Starkregenabflüsse aus Sturzflutereignissen übersteigen die Leistungsfähigkeiten von Grundstücksentwässerungen, Kanalisation und Gewässern oftmals bei weitem. Regenwasser und Schlämme fließen dann ungeordnet von Landwirtschafts-, Forstwirtschafts- oder sonstigen Außengebietsflächen über Gräben und Wege in das Siedlungsgebiet. Kleine Entwässerungsgräben, Bäche und Straßen werden zu reißenden Strömen und das Oberflächenwasser fließt unkontrolliert zu den Geländetiefpunkten ab (DWA, 2013). Grundstücke und Gebäude werden überflutet; Rettungszufahrten abgeschnitten. Bauwerke, technische Anlagen, ideelle und Vermögenswerte werden innerhalb kürzester Zeit zerstört. Gerade auch Industrie- und Gewerbebetriebe können massiv von Überflutungsschäden betroffen sein, bis hin zur Existenzbedrohung. Über die hohen, rein monetären Schäden hinaus kann sich zudem eine akute Gefahr für Leib und Leben ergeben; beispielsweise im Bereich von kritischen Infrastrukturen wie Elektrizitätsanlagen oder Unterführungen, Tiefgaragen und Tunneln oder in Kinder- und Senioreneinrichtungen sowie Souterrainwohnungen. Besondere Starkregenextreme können gar ein Risiko für die allgemeine öffentliche Ordnung darstellen (DWA, 2016).

Starkregenrisikomanagement zur kommunalen Überflutungsvorsorge

Zielsetzung einer zukunftsorientierten Überflutungsvorsorge auf kommunaler Ebene kann es nicht sein, die enormen Oberflächenabflüsse bei besonders seltenen Starkregen mit den üblichen technischen Entwässerungsbauwerken zu beherrschen. Vielmehr sind die Siedlungsräume und die Infrastruktur so auszurichten, dass die verbleibenden und räumlich erheblich variierenden Überflutungsrisiken hinnehmbar sind. Den Kern einer wirkungsvollen Vorsorge gegenüber urbanen Sturzfluten stellt ein entsprechend ganzheitlich ausgerichtetes Risikomanagement bzgl. Sturzfluten dar, das alle planerischen, technischen und organisatorischen Maßnahmen umfasst, um seltene und extreme Niederschläge besser und schadensärmer bewältigen zu können als bislang (DWA, 2016).

Das Starkregenrisikomanagement bündelt und koordiniert alle zielführenden Vorsorge- und Bewältigungsmaßnahmen auf kommunaler Ebene (→ Maßnahmenpaket SR-01). Es umfasst das Erkennen und Bewerten der bestehenden Risiken gegenüber Niederschlägen jenseits des Bemessungsniveaus der öffentlichen Entwässerungssysteme sowie die Entwicklung und Umsetzung geeigneter Vorkehrungen auf kommunaler (und privater) Ebene. Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der gezielten oberflächigen Wasserführung innerhalb des Siedlungsgebietes, dem Rückhalt von Niederschlagswasser in der Fläche sowie dem objektbezogenen Überflutungsschutz zu (DWA, 2013). Die planerische und technische Überflutungsvorsorge ist hierbei eng verknüpft mit einem retentionsorientierten Regenwassermanagement sowie einer wassersensiblen und klimaangepassten Stadtgestaltung (Illgen et. al, 2018).



Abb. 48: Starkregenrisikomanagement und seine Bausteine

Nur durch die konsequente Umsetzung eines solchen Risikomanagements können Schäden aus sehr seltenen oder gar extremen Sturzfluten mit angemessenem wirtschaftlichen Einsatz wirkungsvoll abgemildert, begrenzt oder gar vermieden werden. Die weitergehende kommunale Überflutungsvorsorge in Bezug auf Starkregen ist eine Querschnittsaufgabe und tangiert eine Vielzahl von Akteuren. Dies resultiert daraus, dass die Möglichkeiten zur Überflutungsvorsorge sehr vielfältig sind und Vorsorgemaßnahmen in den Zuständigkeiten verschiedener Stellen und Akteure liegen. Sie umfassen sowohl technische, bauleitplanerische und städtebauliche als auch administrative Maßnahmen. Hier sind neben der Stadtentwässerung v. a. die angrenzende Referate (Tiefbau, Grünflächen, Umweltschutz, Stadtentwicklung etc.) gefordert, bei der Entwicklung und Umsetzung wirksamer Vorsorgemaßnahmen mitzuwirken (Illgen, 2017). Überdies sind auch die Bürger und Unternehmen Kaiserslauterns aufgefordert, Eigenvorsorge zu betreiben. Dies setzt eine intensive Kommunikation und den Austausch zwischen den Beteiligten voraus, in die auch der Katastrophenschutz und die örtlichen Rettungskräfte einzubinden sind. Die kommunalen Planungsabläufe und Zuständigkeiten sind hierauf anzupassen und ggf. neu auszurichten (→ Anknüpfung an Kernziel 3).

Im Handlungsfeld der Kommunalverwaltung liegt es, nach Möglichkeit (DWA, 2013):

- Oberflächenwasser im Siedlungsgebiet in der Fläche zurückzuhalten,
- Außengebietszuflüsse vom Siedlungsgebiet fernzuhalten,
- unvermeidbares Oberflächenwasser im Straßenraum geordnet und schadensarm abzuleiten und/oder zwischen zu speichern,
- Freiflächen zum schadensarmen Rückhalt von Oberflächenwasser zu aktivieren,
- Gewässer und Gräben rückstaufrei und gefährdungsarm zu gestalten,
- eine angemessene Auslegung und einen bedarfsgerechten Betrieb der Entwässerungsinfrastruktur zu gewährleisten,
- die Überflutungsvorsorge bei der Bauleitplanung und Stadtplanung frühzeitig und angemessen einzubeziehen,
- eine organisatorische Struktur für die ressortübergreifende Koordinierung aller Vorsorge- und Bewältigungsmaßnahmen zu schaffen,
- die Bürger über die bestehenden Risiken und ihre Eigenverantwortung zu informieren sowie bzgl. der Eigenvorsorge zu beraten und
- insgesamt ein ganzheitlich ausgerichtetes Risikomanagement bzgl. urbaner Sturzfluten aufzubauen und zu etablieren.

Lokale Überflutungsrisiken erkennen, bewerten und priorisieren

Grundvoraussetzung für das Einleiten, Planen und Umsetzen von effizienten Vorsorgemaßnahmen und somit für den Einstieg in ein zielgerichtetes Risikomanagement ist es, die kritischen Gefährdungs- bzw. Risikobereiche zu kennen. Die Identifizierung und räumliche Eingrenzung potenzieller Gefährdungsbereiche, die Ermittlung der konkreten Überflutungs-

ursachen sowie die Bewertung der lokalen Überflutungsrisiken müssen stets vorweg laufen, um zielführende planerische, technische und/oder organisatorische Vorsorgemaßnahmen auf kommunaler und privater Ebene ergreifen zu können (DWA, 2013). Die im Rahmen des vorliegenden Projektes erarbeiteten Risikokarten stellen hierzu lediglich eine erste und grobe Basis dar.

Zielsetzung einer qualifizierten Risikobewertung muss es sein, lokal variierende Risiken miteinander abzuwägen, um Handlungsschwerpunkte zu definieren und die verfügbaren Ressourcen möglichst effektiv zu einer Risikominderung einsetzen zu können. Zur Abschätzung oder dezidierten Ermittlung der Überflutungsgefährdung kommen verschiedene Herangehensweisen in Betracht, die sich hinsichtlich der benötigten Datengrundlagen, der eingesetzten EDV-Werkzeuge, der Aussagekraft der Ergebnisse sowie des erforderlichen Bearbeitungsaufwandes und letztlich auch der Kosten unterscheiden (DWA, 2016; Fuchs et al., 2015; Löwe et. al., 2017). Hier muss eine individuelle Abwägung getroffen, wo und welchen Betrachtungen welcher Aufwand betrieben werden soll.

War vor einigen Jahren die modelltechnische Nachbildung von Überflutungsvorgängen in urbanen Räumen noch nicht möglich, stehen heute leistungsfähige EDV-Werkzeuge und hochaufgelöste Grundlagendaten zur Verfügung, die z. B. für hydrodynamische Überflutungssimulationen (Oberfläche, Gewässer, Kanalnetz) genutzt werden können. Zur Bewertung des örtlichen – und letztlich maßgebenden – Überflutungsrisikos ist es erforderlich, die Überflutungsgefährdung mit den zugehörigen Schadenspotenzialen zu überlagern (DWA, 2016).

Infrastrukturbezogene Vorsorgemaßnahmen

Zur Vermeidung oder Minderung von Schäden aus Starkregenereignissen muss neben den Grundstückseigentümern insbesondere die öffentliche Hand einen Beitrag leisten (Illgen, 2017). Dies betrifft v.a. Vorsorgemaßnahmen, die in unmittelbarem Bezug zur kommunalen Infrastruktur stehen und im Aufgabenspektrum kommunaler Träger und Gebietskörperschaften liegen. Hinsichtlich der Zuständigkeit lassen sich die möglichen Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge unterscheiden nach infrastrukturbezogenen Maßnahmen in Regie der Kommune und objektbezogenen Maßnahmen in Regie der Grundstückseigentümer (DWA, 2013).

Mit der Unterhaltung des öffentlichen Entwässerungssystems haben die Kommunen einen definierten Entwässerungskomfort zu gewährleisten und liefern damit im Zusammenspiel mit der Grundstücksentwässerung einen wesentlichen Grundbeitrag zum Überflutungsschutz. Das hierdurch leistbare Schutzniveau hat jedoch seine Grenzen, gerade mit Blick auf sehr seltene und extreme Starkregen, die über den Bemessungsvorgaben der Entwässerungsinfrastruktur liegen (DWA, 2016).

Zur Erreichung eines weitergehenden Überflutungsschutzes bedarf es u.a. der gezielten Einbeziehung der möglichen Ableitungs- und Speicherkapazitäten von Verkehrs- und Freiflächen, die als kommunale Infrastruktur ebenfalls im Zuständigkeitsbereich der Kommunen liegen. Ähnliches gilt für die örtlichen Gewässerläufe, die bei Starkregen recht schnell

ausufern können, zugleich aber auch ein wichtiges Biotop darstellen. Sie spielen im Hinblick auf eine ganzheitliche Überflutungsvorsorge eine wichtige Rolle (→ Maßnahmenpaket SR-03).

Zur Schadensbegrenzung v.a. bei extremen Ereignissen rückt letztlich der gezielte Objektschutz durch die öffentlichen und privaten Grundstückseigentümer in den Vordergrund. Dies gilt insbesondere auch für Anlagen der sog. kritischen Infrastruktur, deren Ausfall bei bzw. nach einem Starkregenereignis besonders schwer wiegt (→ Maßnahmenpaket SR-02). Für ein effizientes Vorsorgekonzept ist es indes erforderlich, dass infrastruktural- und objektbezogene Maßnahmen ineinander greifen und aufeinander abgestimmt sind.

Infrastrukturbezogene Vorsorgemaßnahmen können technischer oder planerischer Natur sein. Technische Vorsorgemaßnahmen zur Vermeidung oder Minderung von Schäden aus urbanen Sturzfluten umfassen vor allem die Errichtung, die Gestaltung und den Betrieb von technischen Anlagen zur gezielten Abflussrückhaltung oder -ableitung im Bereich von

- Straßen und Wegen innerhalb des Siedlungsgebietes,
- Frei- und Grünflächen,
- öffentlichen Entwässerungssystemen (Kanalisationen),
- Gewässern und Entwässerungsgräben sowie
- Grün-, Land- und Forstwirtschaftsflächen außerhalb der Bebauung.

Bei der wassersensiblen Stadtgestaltung kommt insbesondere der Straßenplanung eine gewichtige Rolle zu (DWA, 2013; Davis et al., 2017; Gill et. al., 2007). Straßen bilden bei Starkregen die Hauptabflusspfade des Oberflächenwassers. Daher gilt es, die Bedeutung des Straßenraumes als oberflächiges Ableitungselement sowie als temporären Speicher-raum zu erkennen und bedarfsgerecht als Maßnahme der Überflutungsvorsorge zu nutzen (→ Maßnahmenpaket SR-04). Nach Möglichkeit sollten grüne Elemente, die der Retention wie auch einem verbesserten Lokalklima dienen, in die Straßenplanung integriert werden (→ Kernziel 1).

Bei der Überflutungsvorsorge und insbesondere zur Schadensbegrenzung bei sehr seltenen und außergewöhnlichen Starkregen besteht grundsätzlich die Option, unvermeidbares Oberflächenwasser gezielt in ausgewählte Bereiche mit geringerem Schadenspotenzial zu leiten und die dort entstehenden Schäden anstelle noch größerer Schäden in anderen Bereichen bewusst in Kauf zu nehmen. Solche multifunktionalen urbanen Retentionsflächen erfüllen als überwiegend öffentliche Räume die meiste Zeit ihren Hauptzweck als Verkehrsflächen (Straßen, Parkplätze) oder dienen als Aufenthaltsort und Erholungsflächen für die Bevölkerung (z. B. als Grünflächen, Sport-, Spiel- oder Stadtplätze). Im Fall eines seltenen oder außergewöhnlichen Starkregens übernehmen Sie kurzzeitig die zusätzliche Funktion als Retentionsraum. Grundsätzlich können sich hierzu öffentliche Grünflächen, befestigte öffentliche Plätze ohne Bebauung, großflächige öffentliche Sportanlagen, Parkplätze, Teichanlagen, Brachflächen oder unbebaute Flächen eignen. Ein großer Vorteil einer solchen multifunktionalen Flächennutzung besteht in der sehr hohen Kosteneffizienz. Im Vergleich zu alternativen Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge ist die angepasste Gestaltung von Frei- und Grünflächen oftmals mit relativ geringen Kosten verbunden (Illgen et. al., 2018).

Multifunktionale urbane Retentionsflächen dienen der verbesserten Bewältigung extremer Niederschläge, indem sie schadensträchtiges Oberflächenwasser bei Regenereignissen, die deutlich oberhalb des Bemessungsniveaus öffentlicher Entwässerungssysteme liegen, gezielt aufnehmen und somit Überflutungsschäden an anderer Stelle mindern oder gar vermeiden. Dabei wird bewusst in Kauf genommen, dass die, meist nicht-wasserwirtschaftliche, Hauptnutzung der Fläche in (sehr) seltenen Fällen vorübergehend eingeschränkt oder gar nicht möglich ist und der betroffene Bereich nach dem Ereignis ggf. gereinigt oder instandgesetzt werden muss. Diesen Nutzungseinschränkungen wird jedoch der Vorzug gegenüber wesentlich umfangreicheren Sachschäden, höheren Personenrisiken und/oder einer diffusen Schmutz- bzw. Schadstoffverteilung in der Umwelt eingeräumt, wie sie sich ohne diese gezielte und kontrollierte (Not-)Retention an anderer Stelle ergeben würden. Eine multifunktionale Flächennutzung bietet u. a. folgende Vorteile:

- Verbesserung des Überflutungsschutzes bei minimalem Flächenverbrauch
- Mehrfachnutzung vorhandener bzw. ohnehin geplanter Infrastruktur
- Auflösung von Flächenkonkurrenzen durch Kombination von Nutzungsansprüchen
- geringe bzw. minimale Kosten (Wirtschaftlichkeit) und Bündelung finanzieller Ressourcen
- Eröffnung zusätzlicher Fördermöglichkeiten und Finanzierungsspielräume
- leichte Berücksichtigung bei Neuplanungen und Grundsanierungen
- Verknüpfbarkeit mit Maßnahmen des allgemeinen Regenwassermanagements
- hohes Synergiepotenzial mit anderen Maßnahmen der Klimafolgenanpassung (z. B. zur Hitzeminderung oder Verbesserung der Luftqualität)
- hohes Potenzial zur Flächenaufwertung (z.B. gestalterisch oder ökologisch)

Grundstücks- und gebäudebezogene Vorsorgemaßnahmen

Bei besonders starken Niederschlägen ist immer mit einem sehr hohen Aufkommen an Oberflächenwasser im Siedlungsgebiet zu rechnen – unabhängig davon, ob weiter gehende infrastrukturbezogene Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge umgesetzt wurden oder nicht. Überflutungsschutzmaßnahmen von kommunaler Seite können nur einen begrenzten Schutz bieten. Ergänzend dazu ist es daher erforderlich, dass die Grundstückseigentümer eigenverantwortlich Objektschutz betreiben, um ihre Gebäude wirksam zu schützen und einen Beitrag zum Überflutungsschutz leisten (→ Kernziel 4). Objektschutzmaßnahmen stellen einen elementaren Bestandteil einer ganzheitlichen Überflutungsvorsorge dar (DWA, 2013).

Auch auf Grundstücksebene bieten sich vielfältige Möglichkeiten zur Überflutungsvorsorge. Neben einem richtigen Verhalten im Falle eines Starkregens spielt der technisch-konstruktive Überflutungsschutz eine wichtige Rolle, vor allem in Bestandsgebieten. Dies umfasst alle konstruktiven oder technischen Schutzmaßnahmen vor Überflutungsschäden direkt an gefährdeten Gebäuden und Anlagen sowie in deren unmittelbarem Umfeld. Beispielfhaft

genannte seien an dieser Stelle Rückstauassicherungen in der Gebäudeentwässerung, konstruktive Erhöhungen von Eingängen oder Lichtschächten, wasser- und druckdichte Fenster und Türen sowie selbsttätig schließende Klappschotte oder Schutz Tore. Diese Elemente fungieren meist als letzte Barriere gegenüber zufließendem Wasser und sind im Hinblick auf den wirksamen Überflutungsschutz des Grundstücks von entsprechend herausragender Bedeutung.

Insbesondere bei bereits bestehender Bebauung sind Objektschutzmaßnahmen oftmals wesentlich wirtschaftlicher als großräumiger angelegte Überflutungsschutzmaßnahmen durch die öffentliche Hand. Sie lassen sich in aller Regel auch zügiger umsetzen und bieten somit schneller einen zielgerichteten Überflutungsschutz. Ob sich die entsprechenden Investitionen rentieren, muss vom Grundstückseigentümer mit Blick auf die möglichen Schäden selbst bewertet werden. Bei Industrieunternehmen und Gewerbebetrieben ist die Betroffenheit bzw. das Überflutungsrisiko meist größer. Schutzmaßnahmen sind hier besonders lohnend.

4.3.2.2 Maßnahmenpakete

Zur Minderung starkregenbedingter Überflutungsschäden wurden im Rahmen der Konzepterstellung vier Maßnahmenpakete formuliert, welche die zuvor skizzierten Grundzüge des Starkregenrisikomanagements für Kaiserslautern umsetzen und bündeln. Diese Maßnahmenpakete werden auf den folgenden Seiten in Steckbriefen erläutert. An verschiedenen Stellen bestehen unmittelbare Querbezüge zu Maßnahmenpaketen der Kernziele 1, 3 und 4, die entsprechend ausgewiesen sind.

Maßnahmenpaket SR-01

Starkregenerisikomanagement

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Es wird ein kooperativ ausgerichtetes Starkregenerisikomanagement entwickelt und auf kommunaler Ebene etabliert, um ausgeprägte Starkregenereignisse zukünftig besser bewältigen zu können und resultierende Schäden zu mindern. Dieses aktive Risikomanagement ist als grundlegendes und übergeordnetes Maßnahmenpaket des Maßnahmenkollektivs SR-01 bis SR-04 zum Kernziel 2 anzusehen. Es umfasst die Ausrichtung, Bündelung und Koordination aller zielführenden Vorsorge- und Bewältigungsmaßnahmen, die planerischer, baulich-technischer oder organisatorischer Natur sein können und wahrt dabei den Blick auf die Risikolage über das Stadtgebiet in Gänze (vgl. Kap. 4.3.2.1 und Abb. 48). Zum einen sind hierzu die bislang vorliegenden Starkregengefahrenkarten weitergehend auszuwerten und Schlussfolgerungen für das weitere Handeln zu ziehen. Dies betrifft insbesondere die Priorisierung der bislang erkannten Risiko-Hot-Spots und der Festlegung des weiteren Vorgehens in diesen Gebieten.

Um konkrete Vorsorgemaßnahmen auf kommunaler und privater Ebene anstoßen, planen und umsetzen zu können (\leftrightarrow SR-02, SR-03, SR-04), sind vielfach detailliertere Analysen zu den bestehenden Überflutungsrisiken notwendig (z. B. die neuralgischsten Bereiche der Kernstadt sowie einzelne Stadtbezirke). In der Gesamtschau über das Stadtgebiet sind Vorranggebiete für detailliertere Untersuchungen zu definieren. Die Umsetzung kann dann z. B. im Maßnahmenpaket SR-03 im Rahmen von Örtlichen Hochwasserschutzteilkonzepten erfolgen. Die entsprechenden Untersuchungen sind anzustoßen und die bislang vorliegenden Starkregengefahrenkarten aus der Grobanalyse zielgerichtet zu präzisieren bzw. gebietsweise fortzuschreiben. Die Ergebnisse der Risikobetrachtungen sollen der Bevölkerung zugänglich gemacht werden (z.B. webGIS). Für einen geeigneten Veröffentlichungsmodus sind Informationspflichten und Datenschutzbelange abzuwägen.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)

Zu beteiligende Akteure

- Referat Umweltschutz (15)
- Referat Tiefbau (66)
- Referat Feuerwehr und Katastrophenschutz (37)
- Forstwirtschaft (Stadt, Land)
- Landwirtschaft (LWK)
- Bürgerschaft

Wechselwirkungen

- Das Maßnahmenpaket stellt eine wichtige Grundlage für die Maßnahmenpakete SR-02, SR-03, SR-04 sowie KO-03 dar. Es ist zudem wichtige Grundlage für die Eigenvorsorge durch Bürger und Unternehmen (BU-01/02). Ferner besteht eine Verflechtung mit den organisatorischen Maßnahmenpaketen KO-01/02.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es entstehen Kosten für die analytischen, organisatorischen und ggf. planerischen Arbeiten. Diese sind in angemessenem Umfang aus Abwassergebühren refinanzierbar (Daseinsvorsorge, kommunale Überflutungsvorsorge).
- Mit den gewonnen Informationen können Überflutungsschäden an kommunaler Infrastruktur, von Privateigentum und Wirtschaftsbetrieben sowie etwaiger Folgekosten (z.B. Produktionsausfälle) minimiert bzw. vermieden werden.
- Es können investive und/oder betriebliche Folgekosten für Vorsorgemaßnahmen in kommunaler Regie entstehen (z.B. für Retentionsräume).

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Generalentwässerungsplan
- stadtgebietsweite Grobanalyse zum Überflutungsrisiko
- Detailbetrachtungen/Konzepte für ausgewählte Bereiche (z.B. Mölschbach, Siegelbach, Morlautern etc.)

Referenzen (best practice)

- Merkblatt 119: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen (DWA)
- Leitfaden „Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg“
- Leitfäden für die Aufstellung örtlicher HW-Schutz-/Starkregenkonzepte (ibh)
- Starkregen und urbane Sturzfluten: Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge (DWA Themen T1/2013)
- Praxisleitfaden „Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten und detaillierten hydrodynamischen Modellen“ (KLAS, Bremen)
- Hochwassergefahrenkarten der Stadt Köln (www.hw-karten.de)



Maßnahmenpaket SR-02

Maßnahmen zum Schutz kritischer Infrastruktur

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Bei Infrastrukturanlagen mit besonderer Bedeutung für das Gemeinwesen wiegen Ausfälle oder Beeinträchtigungen durch starkregenbedingte Überflutungen besonders schwer. Es können hierdurch massive Versorgungsengpässe, deutliche Beschränkungen des Wirtschaftstreibens, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten und länger andauern. Zu diesen Infrastrukturanlagen zählen v.a. zentrale Anlagen und Einrichtungen

- der Energieversorgung (Stromerzeugung/-verteilung, Kraftwerke etc.),
- der Trinkwasserversorgung (Wasserwerke, Pumpwerke etc.),
- der Abwasserentsorgung (Kläranlage, Pumpwerke etc.),
- des Gesundheitswesens (Klinikum),
- des Notfall-/Rettungswesens inkl. Katastrophenschutz,
- der Informations- und Telekommunikationstechnik, sowie
- der Verkehrsinfrastruktur.

Für diese sog. „kritischen Infrastrukturanlagen“ Kaiserslauterns soll aufbauend auf den bereits verfügbaren Gefährdungsinformationen eine gezielte Detailanalyse der Gefährdungs- und Ausfallrisiken durch Starkregen durchgeführt werden. Die konkrete örtliche Situation einschließlich der Grundstücksentwässerungsanlagen soll hierbei ebenso berücksichtigt werden wie die möglichen Folgen eines Ausfalls. Für Anlagen mit erkannten Defiziten bzw. nicht akzeptablen Ausfallrisiken werden konkrete Maßnahmen zum Überflutungsschutz bzw. zur Risikominderung erarbeitet und umgesetzt. Dies können z.B. Maßnahmen des baulich-technischen Objektschutzes und Maßnahmen organisatorischer Art sein (z.B. Havariepläne).

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Stadtwerke Kaiserslautern (SWK)

Zu beteiligende Akteure

- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- Referat Feuerwehr und Katastrophenschutz (37)
- Referat Hochbau/Gebäudewirtschaft (65)
- AG Extremwetterereignisse
- Westpfalzkrankenhaus
- Landesbetrieb Mobilität (LBM)
- Telekommunikationsunternehmen
- Deutsche Bahn (DB)

Wechselwirkungen

- Die Maßnahme ist mit Maßnahmenpaket KO-03 (Alarm- und Einsatzpläne) verflochten.
- Es bestehen Querbezüge zu den Maßnahmenpaketen SR-01 (Starkregenrisikomanagement), SR-3 (Hochwasserschutz/Gewässerrenaturierung) und BU-02 (Dialog mit Unternehmen).

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können Kosten für externe Beratung/Planung sowie den Bau von Überflutungsschutzmaßnahmen entstehen. Diese Kosten können z.T. auf Gebühren und Preise umgelegt werden.
- Die entstehenden Kosten sind in Relation zu den möglichen Schäden bzw. Auswirkungen von Ausfällen der kritischen Infrastruktur gering.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- bisheriges anlagenbezogenes Risiko-/Sicherheitsmanagement

Mögliches Pilotprojekt

- Hochwasserschutzkonzept Zentralkläranlage Kaiserslautern

Referenzen (best practice)

- Stadt Köln: Risikoanalyse kritischer Infrastruktur (STEB)
- Stadt Bremen - KLAS: Risikoanalyse zur Stromversorgung bei Starkregen
- KIBEX – Kritische Infrastruktur, Bevölkerung und Bevölkerungsschutz im Kontext klimawandelbeeinflusster Extremwetterereignisse (BBK)
- Leitfaden zur Hochwasserrisikoanalyse für kritische Infrastrukturen (ibh)
- "Schutz Kritischer Infrastrukturen - Risiko- und Krisenmanagement" (BBK)
- „Abschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Hitzewellen und Starkregen (BBK)
- DWA-Regelwerk und -Themenhefte zum Überflutungs-/Objektschutz von Abwasseranlagen und Bebauung



Maßnahmenpaket SR-03

Hochwasserschutz und klimaangepasste Gewässerrenaturierung

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Bei Starkregen können Überflutungen sowohl durch ausufernde Gewässer als auch fernab der Gewässer auftreten. In Kaiserslautern sind überwiegend kleinere Gewässer 2. und 3. Ordnung mit hoher Abflussdynamik und schwacher Strukturgüte anzutreffen (z.B. Lauter, Eselsbach, Erfenbach, Erlenbach-System). Bei Starkregen steigen Abflüsse und Wasserstände bei diesen Gewässertypen auch aufgrund der Vielzahl an genehmigten Niederschlagswasserleitungen bzw. Einleitungen aus Entlastungsbauwerken rasch an und Überflutungen in der Peripherie erfolgen schlagartig. Dieser Problematik soll mit dem vorliegenden Maßnahmenpaket entgegen getreten werden. Hierzu werden die bisherigen Aktivitäten zur Gewässerentwicklung fortgeführt und intensiviert, wobei der Aspekt der Klimaanpassung stärker als bislang Berücksichtigung findet (v.a. Starkregen, aber auch Hitze). Der Hochwasserschutz soll insbesondere im Bereich von Fließgewässern innerhalb der Ortslagen verbessert werden. Zugleich sollen auch weitere wichtige Funktionen und Aufgaben der Fließgewässer bei der klimaangepassten Gewässerentwicklung integriert werden (Naturraum/Ökologie, Gewässerstruktur/Wasserqualität, Stadtbild/Lebensqualität, Hitzeminderung etc.). Für die örtlichen Gewässer soll schritt- bzw. gebietsweise eine Defizitanalyse und Potenzialstudie durchgeführt werden, auf deren Grundlage Entwicklungspläne und konkrete Maßnahmen abgeleitet, geplant und umgesetzt werden. Dabei sind sowohl Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes als auch der naturnahen Gewässerunterhaltung und Gewässerentwicklung/Renaturierung denkbar. Auf der Grundlage der Starkregengefahrenkarten und als Bestandteil des Starkregenrisikomanagements (SR-01) werden zudem konkrete Vorsorgemaßnahmen gegenüber Starkregen geplant und umgesetzt ("örtliche HW-Schutzkonzepte", Landesförderung). Hierbei sind auch abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen im Bereich von land- und forstwirtschaftlichen Außengebietsflächen zu betrachten.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Umweltschutz (15)

Zu beteiligende Akteure

- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- Forstwirtschaft (Stadt, Land)
- Landwirtschaft
- Bürgerschaft (v.a. Gewässeranlieger)

Wechselwirkungen

- Es besteht eine enge Verflechtung mit Maßnahmenpaket SR-01 (Starkregenrisikomanagement).
- Die Maßnahme weist Querbezüge zu den Maßnahmenpaketen SR-03 (Straßen- und Freiraumgestaltung) und HG-04 (Informations-/Abwägungsgrundlagen) auf.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es entstehen Kosten für externe Beratung, Planung, Bau und Unterhaltung. Ein Teil dieser Kosten entfällt auf ohnehin zu vollziehende Gewässerplanungen.
- Es besteht die Möglichkeit der Förderung durch das Land RLP. Einzelmaßnahmen sind z.B. über die Aktion Blau Plus oder als Örtliches Hochwasserschutz(teil)konzepte förderfähig (Land RLP). Hierbei verbleibt ein Eigenanteil.
- Mit den gewonnen Informationen können Überflutungsschäden an kommunaler Infrastruktur, von Privateigentum und Wirtschaftsbetrieben sowie etwaiger Folgekosten (z.B. Produktionsausfälle) vermindert werden.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- bisherige Hochwasserschutzkonzepte und Gewässerentwicklungspläne
- Generalentwässerungsplan
- bereits umgesetzte Gewässerrenaturierungsprojekte (z.B. Renaturierung der Lauter I, 2000)

Mögliches Pilotprojekt

- Hochwasserschutzteilkonzept obere Lauter / unterer Eselsbach
- Gewässerläufe in den Stadtbezirken (z.B. Erlenbach)

Referenzen (best practice)

- Naturnahe Bäche und Flüsse in Ortslagen: Umsetzungsempfehlungen und Beispiele (GFG/DWA)
- Esslingen am Neckar: Integrale Gewässerentwicklung zur Klimaanpassung
- Hochwasserschutzkonzept Dresden-Gorbitz
- Leitfäden für die Aufstellung örtlicher HW-Schutz-/Starkregenkonzepte (ibh)
- örtliche Hochwasserschutzkonzepte diverser Kommunen in Rheinland-Pfalz
- Ahlen/Beckum: Ökologischer Hochwasserschutz an der Werse
- Speyerbach: Renaturierung eines innerstädtischen Abschnitts in Neustadt



Maßnahmenpaket SR-04

Klimaangepasste Straßen- und Freiraumplanung

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Bei Starkregenereignissen sammeln sich innerhalb des Stadtgebietes aufgrund der hohen Versiegelung und der zwangsläufig begrenzten Leistungsfähigkeit von Kanalisation und Gewässern große Regenwassermengen auf der Oberfläche, insbesondere entlang von Straßen hin zu Geländetiefpunkten. Zur Minimierung von Überflutungsschäden im Kontext des Klimawandels ist es geboten, den städtischen Raum klimaangepasst zu gestalten. Straßen, Wege, Plätze und sonstige Freiflächen sollen zukünftig so konzipiert werden, dass sie zusätzlich zu ihrer eigentlichen Funktion möglichst als temporärer (Not)Retentionsraum für Regenwasser dienen und eine hitzemindernde Wirkung entfalten können (Multifunktionsflächen). Hierzu sind bei jeder Planung die Erfordernisse zur Klimaanpassung zu prüfen (Überflutungsgefahr, Fließwege, Hitze Problematik etc.) und die Belange der Klimaanpassung von Beginn an in die Planung zu integrieren. Anstehende Umgestaltungen und Neuplanungen bieten hierzu ein ideales Gelegenheitsfenster, um Klimaanpassung kosteneffizient umzusetzen. Dies erfordert eine enge und kooperative Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Verwaltungsreferaten, insbesondere zwischen Stadtplanung, Tiefbau, Stadtentwässerung und Grünflächen. Die im Maßnahmenpaket KO-02 erarbeiteten Planungsleitlinien werden hierbei in konkreten Einzelprojekten umgesetzt.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Tiefbau (66)

Zu beteiligende Akteure

- Referat Stadtentwicklung (61)
- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- Referat Grünflächen (67)
- Forstwirtschaft

Wechselwirkungen

- Die Maßnahme stellt die Umsetzung von Maßnahmenpaket KO-02 (Planungsleitlinien) dar. Die Maßnahmenpakete HG-04 (Informationsgrundlagen Hitze) und SR-01 (Starkregenrisikomanagement) bilden wichtige Grundlagen.
- Die Maßnahme weist Querbezüge zu den Maßnahmenpaketen HG-01 (Entsiegelung/Begrünung), HG-02 (Stadtbaumbestand) sowie HG-05 (Verschattung) auf und ist mit dem Maßnahmenpaket KO-01 (Klimaanpassungsmanagement) verflochten.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können Mehrkosten gegenüber konventionellen Planungen durch zusätzliche Vorstudien und einen größeren baulichen Aufwand entstehen. Diese Zusatzkosten können durch effiziente Planungsabläufe minimiert werden. Ihnen stehen der Zugewinn beim Überflutungsschutz (bzw. verminderte Schäden) sowie positive ökologische, klimatische und ästhetische Wirkungen gegenüber.
- Ein angemessener Teil dieser Zusatzkosten kann durch Abwassergebühren gedeckt werden, sofern ein enger Bezug zur Abwasserentsorgung und zur kommunalen Überflutungsvorsorge gegeben ist.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- bisherigere Zusammenarbeit/Kooperation bei Straßenplanungen (z.B. 66/STE)
- multifunktionale Retentionsfläche Hohenecken (Spielplatz)

Mögliches Pilotprojekt

- Pfaff-Areal
- Stiftswaldstraße

Referenzen (best practice)

- Leitfaden für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung in Köln
- Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung (Hamburg)
- Arbeitshilfe: Multifunktionale Retentionsflächen (MURIEL)
- RISA-Pilotmaßnahmen "Ohlendorffs Park" und "Regenspielfeld" (Hamburg)
- Wasser- und klimasensible Umgestaltung der Münchner Straße (Bremen)
- Hugo-Bürkner-Park (Dresden-Strehlen)
- Zollhallenplatz (Freiburg)

4.3.3 Ziel 3: Klimaanpassung organisieren (Verstetigungsstrategie)

4.3.3.1 Zielbeschreibung

Eine zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration der Klimaanpassung in die kommunale Verwaltung bilden tragfähige und referatsübergreifende Zusammenarbeitsstrukturen. Ein weiteres Kernziel des Anpassungskonzeptes der Stadt Kaiserslautern ist es daher, die fachübergreifende Zusammenarbeit und den Austausch im Bereich der Klimaanpassung innerhalb der Stadt optimal zu organisieren und zu verstetigen. Um dies zu gewährleisten gilt es, das Thema „Anpassung an den Klimawandel“ in die kommunale Verwaltungsorganisation sowie in gängige Verfahren und Abstimmungsprozesse einzubinden. Dabei soll auf die bereits vorhandenen Zuständigkeiten für die Klimafolgenanpassung in Kaiserslautern aufgebaut werden.

Verankerung der Klimaanpassung in der Verwaltungsstruktur

Die Anpassung an den Klimawandel ist eine Querschnittsaufgabe, die mehrere Referate in der Kaiserslauterer Stadtverwaltung berührt. Allen voran sind hier die Bereiche Stadtentwicklung sowie Umweltschutz zu nennen. Darüber hinaus sind es vor allem die Bereiche Tief- und Hochbau, Bauordnung, Grünflächenplanung, Stadtentwässerung, Gesundheit sowie der Katastrophenschutz, die tangiert sind. Bislang handelt es sich bei der Klimaanpassung jedoch um keine etablierte kommunale Pflichtaufgabe, die in Planungsverfahren (mit Ausnahme der Bauleitplanung) standardmäßig bearbeitet werden muss.

Um die Klimaanpassung im Verwaltungshandeln langfristig zu integrieren, sind geeignete und praktikable Organisationsstrukturen erforderlich. Dabei bietet es sich an, auf vorhandene und bewährte Arbeitsstrukturen in anderen Handlungsfeldern wie insbesondere dem Klimaschutz zurückzugreifen und diese für die Klimaanpassung ggf. anzupassen und zu ergänzen. Der Klimaschutz hat inzwischen in Kaiserslautern als feste Aufgabe Einzug in die Verwaltungsorganisation gehalten, indem für ihn im Referat Umweltschutz eine Koordinierungsstelle geschaffen wurde. Dadurch konnte dem Klimaschutz in der Kaiserslauterner Stadtverwaltung mehr Gewicht und Durchsetzungsvermögen verliehen werden.

Der Belang der Klimaanpassung hat in den letzten Jahren bereits zum Teil als Themen- und Handlungsbereich Eingang in die kommunale Verwaltungsstruktur gefunden. So zum Beispiel wurde das Thema im Aufgabengliederungsplan der Stadtverwaltung im Referat Umweltschutz benannt. Darüber hinaus wurde für die Bewältigung der Gemeinschaftsaufgabe unter Federführung des Referates Umweltschutz und der Stadtentwässerung AÖR die „AG Extremwetterereignisse“ ins Leben gerufen. Dieses Gremium hat den Prozess der Konzepterstellung fachlich begleitet und aktiv mitgestaltet. Nach der Beschlussfassung des Klimaanpassungskonzeptes im Stadtrat soll die interdisziplinär besetzte AG intensiv an der Umsetzung der festgelegten Maßnahmen arbeiten.

Angeichts des hohen Stellenwertes der Klimaanpassung sollte angestrebt werden, analog zum Klimaschutz auch für diesen Belang eine stabile Organisationseinheit in der Kaiserslauterer Stadtverwaltung zu schaffen. Diese könnte an die bereits bestehenden tragfähigen Strukturen des Klimaschutzmanagements im Referat Umweltschutz angedockt werden. Dort sind bereits gut vernetzte Fachkräfte im Einsatz, die dem Thema Klimaanpassung

zudem grundsätzlich offen gegenüberstehen. Durch die personelle Besetzung eines Klimaanpassungsmanagements (vgl. Maßnahmenpaket KO-01) kann eine Koordinierungsstelle innerhalb der Verwaltungsstruktur geschaffen werden, die einerseits den Belang der Klimafolgenanpassung dauerhaft vertritt und andererseits die Beratungs- und Informationsangebote im Umgang mit den Folgen des Klimawandels bündelt.

Einbindung der Klimaanpassung in Planungs- und Entscheidungsprozesse

Neben der institutionellen Verankerung des Klimabelanges innerhalb der Kaiserslauterer Verwaltungsstruktur müssen die bei der Erarbeitung des Anpassungskonzeptes gewonnenen Erkenntnisse zu Klimafolgen und Anpassungspotenzialen künftig in die gängigen Planungs- und Entscheidungsprozesse der Stadt eingespeist werden. Ziel ist es, dass Aspekte der Klimafolgenanpassung künftig bei allen Planungen frühzeitiger und kontinuierlicher als bisher berücksichtigt werden, ohne den Verwaltungsaufwand spürbar zu erhöhen.

Insbesondere die Stadtentwicklung und (im Falle der Umweltberichte zur Bauleitplanung) das Referat Umweltschutz übernehmen dabei eine tragende, koordinierende Rolle. Die Vorsorge vor den Risiken des Klimawandels ist keine alleinige Aufgabe der Fachpolitiken. Vielmehr erfordert sie eine stadtplanerische Koordinierung und Unterstützung. Dabei geht es darum, räumlich konkrete Vermeidungs- und Anpassungsmaßnahmen zu kombinieren und in enger Abstimmung mit den sektoralen Fachpolitiken (Stadtentwässerung, Umwelplanung) zu verfolgen.

Mit der Novelle des Baugesetzbuches 2011 hat der Bund der Klimaanpassung sowohl im „Allgemeinen“ als auch im „Besonderen Städtebaurecht“ einen höheren Stellenwert eingeräumt. Zunächst wurde durch die neue Klimaschutzklausel im § 1a Abs. 5 BauGB den Klimabelangen bei der planungsrechtlichen Abwägung ein zusätzliches rechtliches Gewicht verliehen und die Stadtplanung dazu veranlasst, die Koordinierungs- und Steuerungsfunktion der Bauleitplanung voll auszuschöpfen, um den in § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB geforderten „allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung“ mit Hilfe integrierter zukunftsgerichteter Anpassungskonzepte für die Stadt- und Infrastrukturplanung gerecht zu werden.

Darüber hinaus wurden die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung im Rahmen der Novellierung 2011 auch in die Vorschriften des §171a BauGB zum Stadtumbau integriert. Während bis dato die für Stadtumbaumaßnahmen erforderlichen „erheblichen städtebaulichen Funktionsverluste“ in der Regel insbesondere dann vorlagen, „wenn ein dauerhaftes Überangebot an baulichen Anlagen für bestimmte Nutzungen, namentlich für Wohnzwecke“ bestand oder zu erwarten war, sind solche Verluste seit der Gesetzesänderung auch dann gegeben, „wenn die allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz und die Klimaanpassung nicht erfüllt werden“ (§171a Abs. 2 BauGB). Als Beispiele für derartige Funktionsverluste können in diesem Zusammenhang ein erhöhter Energiebedarf für Gebäude oder eine hohe Anfälligkeit gegenüber Hitze oder Starkregenereignissen genannt werden.

Mit den genannten Zielen und Grundsätzen im BauGB sind die ersten Weichen für eine kontinuierliche Betrachtung der Klimaanpassung im Rahmen der Bauleitplanung und somit für eine klimagerechte Stadtentwicklung in Kaiserslautern gestellt. Ausgehend von den im Rahmen der Konzepterstellung gewonnenen neuen Erkenntnissen zur räumlichen Betroffenheit der Stadt, müssen zukünftig anpassungsrelevante Aspekte (z.B. Starkregengefahrenkarten oder stadtklimatologische Planungshinweiskarten) im Rahmen der planerischen Abwägung ergänzend berücksichtigt werden. Dabei ist zu prüfen, inwieweit die räumlichen Planungen und Maßnahmen den Anforderungen der Klimaanpassung entsprechen, ob klimawirksame Bereiche (Kaltluftentstehungsgebiete, Leitbahnen etc.) beeinträchtigt werden und ob die Wirkungen des Klimawandels durch planerische Modifikationen oder geeignete Maßnahmen minimiert werden können.

Um der Forderung nach einem vorsorgenden planerischen Umgang mit den erwarteten Klimafolgen auch in Planungsverfahren außerhalb der Bauleitplanung nach zu kommen, müssen verwaltungsinterne Verfahrensregeln (vgl. Maßnahme KO-02) für die Kooperation zwischen den beteiligten Fachbereichen erarbeitet werden. Es gilt klar festzulegen, wo und wie die Belange der Klimaanpassung frühzeitig in den Prozessen der städtebaulichen, straßenbaulichen und freiraumplanerischen Planungen und Projekte (z.B. Rahmenpläne, Straßenausbaupläne, Entwicklungskonzepte, städtebauliche Wettbewerbe) berücksichtigt werden können.

Die zentrale Voraussetzung für ein einheitliches Vorgehen bei der Klimaanpassung innerhalb der Stadtverwaltung ist dann gegeben, wenn das Thema auch auf politischer Ebene hoch angesiedelt und explizit kommuniziert wird. Politische Beschlüsse als Ausgangspunkt erleichtern die Etablierung zusätzlicher für den Anpassungsprozess wirkungsvoller Strukturen. Wesentlich für die Umsetzung des Anpassungskonzeptes der Stadt Kaiserslautern ist daher auch, dass die Regeln zum vorsorgenden Umgang mit Klimawandelfolgen in Planungsprozessen in der kommunalen Politik verankert werden.

Deutlich eingeschränkter sind die Einflussmöglichkeiten der Stadt bei Baugenehmigungsverfahren außerhalb von Bebauungsplänen. Obwohl in diesem Handlungsfeld erhebliche Potenziale für die Klimaanpassung (Hitzevorsorge, Objektschutz) liegen, bleiben die Steuerungsmöglichkeiten der Kommune hier sehr beschränkt. In der rheinland-pfälzischen Landesbauordnung sind stadtklimatische Aspekte oder die Überflutungsgefährdung von Gebäuden (anders als z.B. der Brandschutz) bislang kein Prüfkriterium für Genehmigungsverfahren. Während die baurechtliche Genehmigung klaren Regeln unterliegt, werden Fragen der Klimaanpassung bislang nicht behandelt. Lediglich bei Bauvorhaben auf Grundstücken größer 800 m² wird ein Überflutungsnachweis eingefordert. Im Kontext der aktuellen bauordnungsrechtlichen Bestimmungen kann die Stadt derzeit lediglich über informelle Bauberatung (z.B. Hinweise über Überflutungsgefahren, Empfehlungen zur Hitzevorsorge und zum Objektschutz) Einfluss auf klimaangepasste Bauweisen nehmen. Von entscheidender Bedeutung für eine Verstetigung ist es, dass das Bauordnungsamt und alle bei Baugenehmigungen im Umlaufverfahren beteiligten Referate zukünftig das Thema verstärkt berücksichtigen. Hierzu ist es erforderlich, dass allen Stellen in der Stadtverwaltung die klimarelevanten Grundlagendaten (z.B. die Karten zu Starkregen und Hitze) auf dem GEOserver

der Stadt Kaiserslautern bereitgestellt werden. Ebenso wichtig ist es, eine intensive Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen, um für die Folgen des Klimawandels und für die Anpassungsmöglichkeiten zu sensibilisieren (vgl. Kap. 4.2.4).

4.3.3.2 Maßnahmenpakete

Im Zusammenhang mit der Organisation und Verstetigung der Klimaanpassung innerhalb der Stadtverwaltung wurden im Rahmen der Konzepterstellung drei Maßnahmenpakete formuliert, die auf den folgenden Seiten in Steckbriefen erläutert werden.



Maßnahmenpaket KO-01

Klimaanpassungsmanagement

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Um zu gewährleisten, dass die Klimaanpassung als Querschnittsbelang kontinuierlich in der Kaiserslauterer Stadtverwaltung implementiert wird, soll sie innerhalb der täglichen Verwaltungspraxis verankert und personell besetzt werden. Es soll eine „KlimaanpassungsmanagerIn“ benannt werden, die eine ämterübergreifende Koordination und Organisation des Themenfelds Klimaanpassung übernimmt und die Fachämter in Fragen der Klimaanpassung koordinierend unterstützt.

Die Klimaanpassungsstelle unterstützt die städtischen Ämter und Eigenbetriebe bei der Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen. Darüber hinaus entwickelt sie Beteiligungsstrukturen zur Vermittlung an die Kaiserslauterer Bürgerinnen und Bürger. Hierzu stellt sie ihnen Informationen bereit, verbreitet Best-Practice-Beispiele und fördert den interdisziplinären Austausch.

Die KlimaanpassungsmanagerIn akquiriert Bundes- oder Landesfördermittel für geeignete Projekte und Maßnahmen. Darüber hinaus betreibt sie Netzwerkarbeit zum Wissenstransfer und zum Erfahrungsaustausch mit der Klimaforschung und mit anderen Kommunen. Nicht zuletzt übernimmt das Klimaanpassungsmanagement das Monitoring der Maßnahmenumsetzung sowie die zukünftige Fortschreibung des Klimaanpassungskonzeptes.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Umweltschutz (15)

Zu beteiligende Akteure

- Referate innerhalb der Stadtverwaltung
- Eigenbetriebe
- Unternehmen
- Bevölkerung

Wechselwirkungen

- Durch eine dauerhafte Institutionalisierung der Klimaanpassung in der Verwaltung kann die Umsetzung aller anderen Maßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes koordiniert und unterstützt werden.
- Das Klimaanpassungsmanagement kann insbesondere bei der Verbreitung und Umsetzung der Leitlinien zur Klimaanpassung (Maßnahme KO-02) unterstützen.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Akquise von Fördermitteln für Projekte
- Schadensbegrenzende Maßnahme

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Vorbild 1: MasterplanmanagerIn 100% Klimaschutz
- Vorbild 2: KoordinatorIn für Tiefbaumaßnahmen in Kaiserslautern

Referenzen (best practice)

- Deutscher Städtetag: Positionspapier Anpassung an den Klimawandel - Empfehlungen zur Einrichtung einer Koordinationsstelle Klimaanpassung
- Interkommunale Koordinierungsstelle Klimaanpassung der Metropolregion Nord-west (InKoKA)



Maßnahmenpaket KO-02

Klimaanpassung in Bau- und sonstigen Planungsverfahren

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Es sollen Leitlinien erarbeitet und politisch beschlossen werden, um die Klimaanpassung künftig zu einem festen Bestandteil in räumlich und stadtklimatisch relevanten Planungs- und Entscheidungsprozessen in Kaiserslautern werden zu lassen. Neben formellen (bauleitplanerischen) Verfahren sollen diese Leitlinien auch für sonstige Planungsverfahren wie z.B. Rahmenpläne, Gewerbekonzepte, Städtebau- und Hochbauwettbewerbe, öffentliche Bauvorhaben und Ausschreibungen, Genehmigungsverfahren sowie für die Gebäudewirtschaftung herangezogen werden.

Die Leitlinien sollen Perspektiven aufzeigen und ein einheitliches, abgestimmtes und politisch legitimates Vorgehen in Bezug auf Klimaanpassung innerhalb der Verwaltung und in der Zusammenarbeit mit externen Akteuren (z. B. Planungsbüros) erleichtern. Dazu sollen – aufbauend auf vorhandene Leitfäden – greifbare Planungsanforderungen und Vereinbarungen formuliert werden, die im Sinne einer Praxis- und Argumentationshilfe aufzeigen, wie Klimaanpassungsbelange konkret in Planungsverfahren berücksichtigt und argumentiert werden können. Die Anwendung der Leitlinien soll keinen starren Rahmen vorgeben, sondern weiterhin einen flexiblen Umgang mit den unterschiedlichsten planerischen Rahmenbedingungen ermöglichen. In erster Linie sollen die Leitlinien zu einer Sensibilisierung für das Thema Klimaanpassung auf allen Arbeitsebenen beitragen.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Stadtentwicklung (61)

Zu beteiligende Akteure

- AG Extremwetterereignisse
- Referat Umweltschutz (15)
- Referat Liegenschaften (20.3)
- Wirtschaftsförderungsgesellschaft (WFK)
- Stadtwerke Kaiserslautern (SWK)
- Referat Bauordnung (63)

Wechselwirkungen

- Die Leitlinien zur Klimaanpassung können alle Maßnahmen des Klimaanpassungskonzeptes (mit Raumrelevanz) unterstützen.
- Das Klimaanpassungsmanagement (siehe Maßnahme KO-01) kann bei der Verbreitung und Umsetzung der Leitlinien unterstützen.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Die Ausarbeitung der Leitlinien erfordert u. U. personelle Kapazitäten (AG Extremwetter) und ggf. Finanzmittel für eine externe Unterstützung und/oder für gutachterliche Einschätzungen.
- Durch die frühzeitige konsequente Berücksichtigung Klimaveränderungen (z. B. der Zunahme von Extremwetterereignissen) im Planungsstadium, können Schäden a priori vermieden bzw. reduziert werden. Nachträgliche bauliche Maßnahmen sind in der Regel kostenintensiver und weniger effektiv.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Arbeiten der AG Extremwetterereignisse
- Leitbilddiskussion zur nachhaltigen Entwicklung in Kaiserslautern
- Vorbild: Einzelhandelskonzeption Kaiserslautern
- Teilnahme der Stadt Kaiserslautern im Projekt „Planer im Dialog (DIFU)“
- Kap. 9.5 des Umweltberichts zum FNP2025 (Planungshinweise aus stadtklimatischer Sicht)

Mögliches Pilotprojekt

- Pfaff-Gelände

Referenzen (best practice)

- Stadtentwicklungsplan Klima Konkret – Klimaanpassung in der wachsenden Stadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin)
- Kommunale Überflutungsvorsorge - Planer im Dialog (DIFU)
- Leitfaden für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung in Köln (StEB Köln/Stadtplanungsamt Köln)
- Hitze in der Stadt und kommunale Planung (Fachzentrum Klimawandel Hessen)
- KLIMPRAX Stadtklima Wiesbaden/Mainz



Maßnahmenpaket KO-03

Erstellung abgestimmter Alarm- und Einsatzpläne

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Um Extremwetterereignisse in Zukunft gemeinsam in Kaiserslautern noch besser bewältigen zu können, soll - ergänzend zu bestehenden Notfallstrategien - ein integriertes Konzept entwickelt und erprobt werden, das im Zusammenhang mit dem Klimawandel auf eine Optimierung der Daseinsvorsorge und auf einen verstärkten Austausch zwischen Einsatzkräften, Behörden und freiwilligen Helfern abzielt.

Für verschiedene Ereignisszenarien mit Bezug zum Klimawandel (Stromausfall, Überflutungen, lange Trockenheit, extreme Hitze etc.) sollen die Arbeitsweisen, Handlungsabläufe und die notwendigen Grundvoraussetzungen der jeweiligen Akteure für die Ereignisbewältigung kommuniziert und in einem ressortübergreifenden Handlungskonzept abgestimmt werden. Hierzu zählen beispielsweise:

- Objektschutzmaßnahmen an sensiblen und kritischen Infrastrukturen in gefährdeten Bereichen
- Weiterentwicklung und Etablierung von (Früh-)Warnsystemen und den Verbreitungswegen, über die Warnungen herausgegeben werden
- Abstimmung der Anforderungen zum Umgang mit Extremwettern in kommunalen Freiräumen (Grünflächen, Friedhöfe) und bei Veranstaltungen im Freien (z.B. Stadtfeste, Konzerte, Bundesjugendspiele etc.)
- Einsatz von Notstromaggregaten in Gefahrensituationen bei Extremwetter
- Notfallmanagement für verkehrsrelevante Unterführungen und Rettungsrouten fachübergreifende Koordinierung der Aufräum- und Reparaturmaßnahmen nach einem Extremwetterereignis

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Projektgruppe Alarmpläne (Stadtentwässerung und Referat Feuerwehr und Katastrophenschutz)

Zu beteiligende Akteure

- Referat Grünflächen (67)
- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- Referat Gebäudewirtschaft (65)
- Stadtwerke Kaiserslautern (SWK)
- Referat Recht und Ordnung (Marktmeister, 30.8)
- THW

Wechselwirkungen

- Es bestehen Querbezüge zu den Maßnahmen SR-01 (Starkregenrisikomanagement) sowie SR-02 (Schutz kritischer Infrastrukturen).
- Über die Öffentlichkeitsarbeit (vgl. Maßnahme BU-01) können die Bevölkerung und die Unternehmen in Kaiserslautern über Möglichkeiten der Selbst- und Freiwilligenhilfe im Falle von Extremwetterereignissen informiert werden.
- Durch alle präventiven Maßnahmen, die einer Vermeidung bzw. einer Minderung der Folgen von Extremwetterereignissen (Starkregenvorsorge, Hitzevorsorge) dienen, kann der Bewältigungsaufwand im Ereignisfall gemindert werden.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Monetäre Schäden und Personenschäden können durch den effizienten Einsatz von Personal und Gerät sowie den zielgerichteten Objektschutz im Rahmen der Ereignisbewältigung verhindert werden. Investive Kosten sind nicht zu erwarten.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Regelmäßige Übungen der technischen Einsatzleitung (Akteurskreis erweitern)
- Vorarbeiten der AG Extremwetterereignisse

Referenzen (best practice)

- Projekte aus dem BMBF-Forschungsfeld "Zivile Sicherheit - Erhöhung der Resilienz im Krisen- und Katastrophenfall"

4.3.4 Ziel 4: Bürger und Unternehmen aktiv einbinden (Kommunikationskonzept)

4.3.4.1 Zielbeschreibung

Neben der Festlegung von Verfahrensregeln innerhalb der Verwaltung und der Einbindung der politischen Ebene ist es ebenso wichtig für die Verstetigung der Klimaanpassung in Kaiserslautern, eine intensive Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen, um die Bevölkerung und die lokale Wirtschaft für die Folgen des Klimawandels und für die Anpassungsmöglichkeiten zu sensibilisieren. Derzeit ist der Begriff der Klimaanpassung für die breite Bevölkerung noch sehr abstrakt. Es sollte darauf hingearbeitet werden, dass die Notwendigkeit zum Umgang mit Klimafolgen klar und deutlich kommuniziert wird. Dabei sollte immer darauf hingewiesen werden, dass Klimaanpassung letztlich für den Erhalt und die Verbesserung von Lebensqualität in Kaiserslautern steht.

Die Information und die aktive Einbindung der Öffentlichkeit ist ein unverzichtbarer Bestandteil des Kaiserslauterer Klimaanpassungskonzeptes. Die erarbeiteten Ziele und Maßnahmen müssen daher einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden (vgl. Maßnahme BU-01). In der Bevölkerung, der Politik, der lokalen Wirtschaft und bei weiteren relevanten Akteuren muss ein Bewusstsein für die Handlungsanforderungen geschaffen werden, die sich durch die klimatischen Veränderungen sowohl für Stadt Kaiserslautern als auch individuell für jeden/jede Bürger/Bürgerin ergeben.

Für eine dauerhafte Sensibilisierung bedarf es Kontinuität. Das gilt insbesondere in Hinblick auf das Bewusstsein über die Folgen des Klimawandels sowie über die Notwendigkeit zur Eigenvorsorge. Die Information der Bevölkerung und der lokalen Unternehmen muss daher wiederholt und auf unterschiedlichen Wegen erfolgen, um die Adressaten immer wieder neu zu erreichen. Die bestehenden und neu zu entwickelnden Informations- und Beratungsangebote sollen zwischen den Fachreferaten sowie den sonstigen beratenden Institutionen abgestimmt werden. Dadurch wird eine umfassende, widerspruchsfreie Information mit hoher Qualität ermöglicht. In der Beratung sollen insbesondere solche Themen aufgegriffen werden, bei denen die Stadt Hilfestellung zu Vorsorgemaßnahmen geben kann, die außerhalb der städtischen Zuständigkeit liegen (vgl. Maßnahmen BU-03). Da diese eigenverantwortlich und in der Regel freiwillig von den Bürgerinnen und Bürgern sowie Unternehmen umzusetzen sind, sollen die Beratungsangebote insbesondere die individuellen und gesamtgesellschaftlichen Vorteile von privaten Klimaanpassungsmaßnahmen (z.B. Objektschutz, Verhalten bei Hitze, privates Grün etc.) herausstellen und über die Betroffenheit informieren. Auch im Rahmen der allgemeinen Bauberatung sollen vermehrt klimaanpassungsrelevante Hinweise gegeben werden.

Für die Verbreitung der Ergebnisse und Ziele des Kaiserslauterer Anpassungskonzeptes sowie zur Information über geplante Maßnahmen sollen unterschiedliche Medien in Kombination genutzt werden, um eine möglichst große Zielgruppe kontinuierlich zu den verschiedenen Aspekten der Klimaanpassung zu erreichen. Neben den klassischen Kommunikationsmedien, bei denen die reine Informationsvermittlung im Mittelpunkt steht, kommt vor allem den sozialen Medien eine Schlüsselrolle zu: Sie erreichen ein großes Publikum

in allen Altersklassen und Gesellschaftsebenen, sie sind im Vergleich zu den traditionellen Medien sehr kostengünstig und sie bieten die Möglichkeit, in einen Dialog mit den Nutzern zu treten. Das ermöglicht wiederum, unmittelbar Informationen über die Bedürfnisse und Interessen der Bevölkerung zu erhalten. Daher eignen sich die sozialen Medien besonders gut, um die Konsensfindung, Akzeptanz und Mitwirkungsbereitschaft positiv zu beeinflussen.

Die bereits in Kaiserslautern vorhandenen Informationskanäle sollen genutzt und ausgebaut werden. Hierzu zählen zum einen das bereits existierende Internetangebot zur Klimaanpassung (Referat Umweltschutz) und zur Starkregenvorsorge (Stadtentwässerung). Beide Webseiten können als zentrale Informationsplattform für die Klimaanpassung in Kaiserslautern dienen. An dieser Stelle empfiehlt sich auch eine Verlinkung zu den Beratungsangeboten des Landes Rheinland-Pfalz und des Bundes. Hierzu zählen vor allem die Seiten des Kompetenzzentrums für Klimawandelfolgen, , das neue Klimavorsorgeportal des Bundes (KLIVO), der Klimascout des Klima-Bündnis sowie die KomPass-Tatenbank (best practices) und der Klimatote des Umweltbundesamtes.

Im Amtsblatt der Stadt Kaiserslautern wurde bereits während der Konzepterstellung über die Aktivitäten zur Klimaanpassung informiert. Diese Reihe sollte weitergeführt werden, um die Öffentlichkeit kontinuierlich über Fortschritte bei der Umsetzung der Klimaanpassung in Kaiserslautern zu informieren. Die Lokalzeitung Rheinpfalz hat in der Vergangenheit in mehreren Artikeln über die Klimaschutzaktivitäten in der Stadt berichtet. Eine ähnliche Reihe wäre auch für das Thema der Klimaanpassung wünschenswert.

Eine Kurzfassung zum Klimaanpassungskonzept soll die wichtigsten Ergebnisse in wenigen kurzen Texten und anhand vieler Bilder, Übersichten und Karten in einer Broschüre und einem Flyer dokumentieren. Ergänzend zu dem vorliegenden fachlichen Bericht, wird damit ein niederschwelliges Informationsangebot zur Verfügung stehen, welches die Inhalte und Ziele des Klimaanpassungskonzeptes schnell und anschaulich auch für Nutzer ohne fachliche Vorkenntnisse zugänglich macht.

Auch Informationsveranstaltungen stellen zukünftig ein zentrales Element der Öffentlichkeitsarbeit zum Klimaanpassungskonzept dar. Veranstaltungen bieten die Möglichkeit, Aufmerksamkeit herzustellen und den Teilnehmerkreis aktiv in die Informationsvermittlung einzubinden. Durch einen Dialog mit der Bevölkerung und mit lokalen Unternehmen lassen sich Informationen besonders nachhaltig vermitteln (vgl. z.B. Maßnahme BU-02). Langfristig denkbare Formate sind beispielsweise:

- Stadtführungen , Wanderausstellungen
- „Tag des...“ (z.B. Gründaches)
- Marktplätze und Kooperationsbörsen der lokalen Wirtschaft
- thematische Stadtgespräche/ Bürgerforen (Kammern, Verbände, VHS etc.)
- „Transition Towns“ (Netzwerkbildung, Lokale Agenda 21)

Die Veranstaltungen sollen so ausgelegt sein, dass die Stadt Kaiserslautern diese in Zusammenarbeit mit anderen Akteuren initiieren und durchführen kann.

Die Stadt und auch diverse andere Akteure betreiben schon viele Aktivitäten, die als Maßnahmen zur Klimaanpassung bezeichnet werden können (z.B. Maßnahmen zur Begrünung von Freiräumen und Gebäuden, Verschattung von Spielflächen, Betreuung von Alten bei Hitze, Überflutungsschutz etc.). Sie werden jedoch nur selten als solche betitelt und beworben. Die umgesetzten Maßnahmen und die erzielten Resultate sind öffentlichkeitswirksam zu präsentieren (vgl. Maßnahme BU-05).

4.3.4.2 Maßnahmenpakete

Im Zusammenhang mit der Kommunikation und der aktiven Einbindung der Öffentlichkeit wurden im Rahmen der Konzepterstellung fünf Maßnahmenpakete formuliert, die auf den folgenden Seiten in Steckbriefen erläutert werden.



Maßnahmenpaket BU-01

Öffentlichkeitsarbeit zur Klimaanpassung

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Es sollen geeignete Kommunikationsstrukturen und Instrumente geschaffen werden, um öffentliches Bewusstsein zu schaffen sowie Wissen über Klimafolgen und Anpassungsmöglichkeiten aufzubauen. Bereits laufende Kommunikationsmaßnahmen zum Klimawandel in Kaiserslautern sollen fortgeführt, intensiviert und untereinander abgestimmt werden.

Über eine zielgruppenspezifische und allgemeinverständliche Ansprache soll dabei einerseits die Notwendigkeit und die Bedeutung der Klimaanpassung für die Lebensqualität in Kaiserslautern hervorgehoben werden. Darüber hinaus soll in der Öffentlichkeit sowie in Politik und Verwaltung ein Bewusstsein für die Risiken durch Klimaveränderungen geschaffen werden, aber auch der Nutzen von Klimaanpassungsmaßnahmen vermittelt werden. Hierzu gilt es, vorhandene Kommunikationsansätze weiter auszubauen und zu ergänzen, d. h. die fachbezogene Kommunikation zu unterstützen, vor allem um Bürgerinnen und Unternehmen zur Eigenvorsorge zu motivieren.

Der Wissenstransfer soll generell über unterschiedliche Medien und Methoden erfolgen. Denkbar sind beispielsweise auch Bildungs- und Schulungskonzepte, Informationsveranstaltungen, Beratungsdienstleistungen, Handlungsleitfäden etc. Einen weiteren Aspekt der Informationskampagne stellt die Implementierung der Klimaanpassung in die Bildung (Kitas, Schulen, außerschulische Angebote) dar.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Umweltschutz (15)

Zu beteiligende Akteure

- Stadtentwässerung Kaiserslautern (STE)
- Pressestelle
- Verbraucherzentrale des Landes Rheinland-Pfalz
- Referat Schulen (40)
- Gesundheitsberatung (Referat Gebäudewirtschaft)
- Referat Feuerwehr und Katastrophenschutz
- Kompetenzzentrum Klimawandelfolgen Rheinland-Pfalz

Wechselwirkungen

- Es bestehen Querbezüge zu den Maßnahmen BU-05 (Leuchtturmprojekte Klimaangepasstes Bauen), BU-03 (Beratungsangebote und Dienstleistungen für die Bevölkerung), BU-04 (Trinkwasserbereitstellung im öffentlichen Raum) sowie SR-01 (Starkregenisikomanagement) und SR-03 (Hochwasserschutz und klimaangepasste Gewässerrenaturierung).
- Die Aktualisierung der Klimaanalysen (Maßnahme HG-04) sowie die Starkregengefahrenkarte (Maßnahme SR-01) können die Maßnahme unterstützen.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es entstehen einmalige Kosten für die Erstellung von Informationsmaterialien (Leitfäden, Apps, Websites etc.).
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht können durch die Schaffung eines breiten Bewusstseins für die Risiken des Klimawandels und für die Notwendigkeit der Anpassung zukünftige Schäden bzw. Folgekosten vermieden werden.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Kaiserslautern App
- Flyer des BUND zu Grünmaßnahmen (Ausgabe bei Bauanträgen)

Mögliches Pilotprojekt

- Bündelung und übersichtliche Bereitstellung der vorliegenden Informationen zum Klimawandel und zu Anpassungsmaßnahmen auf der Website der Stadt
- Erstellung einer Plakette „Klimaanpassung“, die auf gute Beispiele aufmerksam machen soll (z.B. an entsprechenden Gebäuden oder als Logo auf Projekten, Leitfäden, Informationsmaterialien)
- Einbindung Schulen, Hans Stauffenberg Gymnasium (Film-AG und Erdkunde LK)

Referenzen (best practice)

- StEB Köln: Onlineportal, Leitfaden und Informationsveranstaltungen Starkregen
- Öffentlichkeitsarbeit der Stadt Stuttgart zum Verhalten bei Hitze
- KlimaWandelWeg Rheinland-Pfalz (Schulen/Kitas)
- Schulungsangebot „BauGB - Klimawandel lernen“ des Landes Rheinland-Pfalz
- Klimawandelvorsorgeportal (KLIVO) des Bundes



Maßnahmenpaket BU-02

Klimaanpassungsdialog mit Unternehmen

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Die klimatischen Veränderungen erzeugen bei vielen Unternehmen in Kaiserslautern die Notwendigkeit, die Arbeitsumgebung und Arbeitsprozesse anzupassen. Mit dem Klimawandel erhöht sich für viele Unternehmen vor allem die Gefahr von Schäden und ökonomischen Wertverlusten. Insbesondere die Zunahme unvorhersehbarer Extremwetterereignisse vergrößert das Risiko, dass die Leistungsfähigkeit von Unternehmen und ganzen Gewerbebranchen beeinträchtigt wird und dass Wettbewerbsvorteile verloren gehen. Um das Risiko irreversibler Schäden und Ausfälle zu vermindern, sollten Anpassungsmaßnahmen realisiert werden.

Im Umgang mit den prognostizierten und unvermeidbaren Klimaveränderungen bedarf es in vielen Kaiserslauterer Unternehmen eines besseren Verständnisses und einer Bewertung der Risiken sowie der wirtschaftlichen Potenziale und Bedingungen für die Anpassung an Klimafolgen. Aufbauend auf die bisherigen Aktivitäten im Projekt „KlimaFolgenDialog in Kaiserslautern“ sollen in Kooperation mit Kaiserslauterer Unternehmen die Klimafolgen für die lokale Wirtschaft und deren Wettbewerbsfähigkeit analysiert und praktische Maßnahmen zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an die Folgen des Klimawandels entwickelt werden. In einem kontinuierlichen und Informations- und Erfahrungsaustausch sollen Chancen und Risiken des Klimawandels gleichermaßen thematisiert werden.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Umweltschutz (15)

Zu beteiligende Akteure

- Wirtschaftsförderung (WFK)
- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- Stadtwerke Kaiserslautern (SWK)
- Industrie- und Handelskammer (IHK)
- Kreishandwerkerschaft (KHS)

Wechselwirkungen

- Für den Dialog ist eine gute Informationsgrundlage förderlich. Die Aktualisierung bzw. Verfeinerung der Klimaanalysen (Maßnahme HG-04) sowie die Starkregengefahrenkarte (SR-01) können die Beratungsmöglichkeiten verbessern.
- Es bestehen inhaltliche Querbezüge zu den Maßnahmen BU-01 (Öffentlichkeitsarbeit) BU-03 (Beratungsangebote) sowie zu den Maßnahmen SR-01 und SR-03 (Starkregenrisikomanagement/Hochwasserschutz).

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es entstehen Personalkosten für die Durchführung der Unternehmergespräche.
- Durch die frühzeitige konsequente Berücksichtigung Klimaveränderungen (z. B. der Zunahme von Extremwetterereignissen), können kostenintensive Schäden in Betrieben a priori vermieden bzw. reduziert werden.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Projekt Klimafolgendialog in Kaiserslautern (Kommunale Kompetenz- Netzwerke zur Anpassung der Wirtschaft an den Klimawandel)
- Maßnahmen Klimaschutz und Anpassung an Klimawandel zusammen thematisieren

Mögliches Pilotprojekt

- Erstellung einer Datenbank mit bereits durch Unternehmen realisierten Anpassungsmaßnahmen (best practice)

Referenzen (best practice)

- klimAix Leitfaden für eine klimagerechte Gewerbeflächenentwicklung
- nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg



Maßnahmenpaket BU-03

Beratungsangebote und Dienstleistungen für die Bevölkerung

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Es soll eine Anlaufstelle bei der Stadt Kaiserslautern geschaffen werden, die Bürger und Unternehmen, die aktiv Anpassungsmaßnahmen durchführen wollen, beratend zur Seite steht. Die Beratungsstelle soll als Wegweiser dienen, um weiterführende Informationen zu erhalten und geeignete Dienstleister für die Planung und Umsetzung von Maßnahmen (z.B. Objektschutz Starkregen) zu finden.

Im Zuge der Einrichtung der Beratungsstelle sollen der grundsätzliche Beratungsbedarf spezifiziert und die in Kaiserslautern zur Verfügung stehenden Dienstleistung analysiert werden, um einen Überblick über das bestehende Angebot sowie über eventuelle Defizite zu erhalten. Bei Bedarf soll geprüft werden, ob innerhalb der Kommune oder extern (z.B. durch das Land Rheinland-Pfalz oder durch Dritte) neue Dienstleistungsangebote geschaffen werden müssen, um dem Ziel einer breiten Anpassung gerecht zu werden. Zugleich soll das stadteigene Beratungs- und Dienstleistungsangebot bedarfsgerecht ausgebaut werden.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)
- Referat Umweltschutz (15)
- Referat Tiefbau (66)

Zu beteiligende Akteure

- Verbraucherzentrale Rheinland Pfalz
- Referat Bauordnung (63)

Wechselwirkungen

- Es bestehen Querbezüge zu den Maßnahmen BU-01 (Öffentlichkeitsarbeit Klimaanpassung), BU-02 (Dialog mit Unternehmen) sowie zu den Maßnahmen SR-01 und SR-03 (Starkregenmanagement/Hochwasserschutz).

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können u.U. Kosten für neu zu schaffende Dienstleistungen der Kommune entstehen. Als kostenpflichtige Dienstleistungen können hierbei Einnahmen generiert werden.
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht können durch die Sensibilisierung Privater für Anpassungsmaßnahmen Anpassung zukünftige Schäden bzw. Folgekosten vermieden werden.

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Energieberatung

Mögliches Pilotprojekt

- Objektbetreuung im Rahmen von Hochwasserschutzteilkonzepten
- Erstellung einer Liste von gewerblichen Dienstleistern

Referenzen (best practice)

- Hochwasser-Pass (Hochwasser Kompetenz Centrum e.V.)



Maßnahmenpaket BU-04

Trinkwasserbereitstellung im öffentlichen Raum

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Bei Hitze ist eine ausreichende Flüssigkeitsaufnahme von großer Bedeutung, um eine Dehydrierung zu vermeiden. Besonderer Aufmerksamkeit bedürfen vor allem sensible Bevölkerungsgruppen wie z. B. ältere Menschen, chronisch Kranke, Kleinkinder oder Obdachlose. Zur besseren Bewältigung von Hitzeperioden soll der Kaiserslauterer Bevölkerung künftig im öffentlichen Raum, insbesondere in öffentlich zugänglichen Gebäuden (z. B. städtischen Gebäuden, Schulgebäuden, Kindertagesstätten, im Einzelhandel, ggf. auf öffentlichen Plätzen sowie in Gebäuden, die auch an Wochenenden zugänglich sind) kostenloses Trinkwasser bereitgestellt werden.

Die Folgen des Klimawandels und die steigende Anzahl älterer Menschen in der Bevölkerung machen es erforderlich, weitere Standorte in Kaiserslautern auf ihre Eignung für Trinkwasserspender oder öffentlich zugängliche Wasserhähne zu prüfen. Es soll ein Konzept erarbeitet werden, wie, wo und in welcher Anzahl öffentlich zugängliche Trinkwasserspender im Stadtraum eingerichtet werden und wie die Einrichtungs- und Folgekosten, insbesondere durch Spenden, Patenschaften und/oder Sponsoring, finanziert werden können.

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Stadtbildpflege (70)
- Citymanagement
- Referat Gebäudewirtschaft (65)

Zu beteiligende Akteure

- Stadtwerke (SWK)
- Referat Grünflächen (67)
- Gesundheitsamt
- Einzelhandel
- Krankenversicherungen
- Kirchliche Institutionen

Wechselwirkungen

- Durch die Öffentlichkeitsarbeit zur Klimaanpassung (Maßnahme BU-01) kann die Bevölkerung auf das Trinkwasserangebot aufmerksam gemacht werden
- Die Trinkwasserstrategie kann einen positiven Einfluss auf das Stadtmarketing und den lokalen Tourismus ausüben.
- Es können Synergien mit dem Umwelt- und Klimaschutz durch Reduzierung des Gebrauchs von Plastikflaschen erzielt werden.
- Evtl. kann es bei der Standortsuche für die Trinkwasserspender zu Raumnutzungskonflikten im öffentlichen Raum kommen.

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es entstehen Kosten für die Herrichtung sowie für die regelmäßige Überprüfung und Instandsetzung der Trinkwasserspender oder der öffentlich zugänglichen Wasserhähne.
- Durch die Einbindung privater Partner (z.B. Lokale Wirtschaft, Krankenversicherungen) können u.U. öffentliche Kosteneinsparungen für den Bau der Trinkanlagen erzielt werden (z.B. Sponsoring, Patenschaften).

Mögliche Anknüpfungspunkte

- „Refill“ (z.B. „Cupcakes K-Town“ oder „Der Rucksack“)
- „Nette Toilette“ Kaiserslautern

Mögliches Pilotprojekt

- Trinkwasserspender in/an Einrichtungen der Stadtverwaltung und/oder in Einkaufspassagen

Referenzen (best practice)

- Trinkwasserbrunnen Dortmund, Nürnberg, Wien etc.



Maßnahmenpaket BU-05

Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen

Ziel- und Maßnahmenbeschreibung

Im Rahmen kommunaler Bauvorhaben sollen exemplarisch innovative Maßnahmen einer klimagerechten Gebäude- und Freiraumplanung umgesetzt werden, die gewissen Standards hinsichtlich der Vorsorge vor extremen Wetterereignissen wie Hitze, Starkregen und Sturm erfüllen. Dadurch soll die Stadt Kaiserslautern Ihrer Vorbildfunktion gegenüber der Öffentlichkeit und Unternehmen gerecht werden. Die Leuchtturmprojekte sollen privaten Bauherren, Eigentümern, Architekten, Planern und Handwerkern als Anreiz dienen, sich mit der Thematik des klimaangepassten Bauens und insbesondere Sanierens zu befassen. Außerdem soll diese Maßnahme die Wahrnehmung von Klimaanpassungserfordernissen in der Öffentlichkeit fördern.

Ziel der Maßnahme ist zunächst die Verbesserung der Resilienz der Gebäude und der angrenzenden Freiräume unter den Bedingungen des Klimawandels. Um das Arbeitsklima in den Gebäuden zu optimieren und gleichzeitig die Kühllast zu verringern, sollen einerseits Maßnahmen zur energiesparenden Gebäudekühlung (z.B. Solarthermie zur Gebäudekühlung, Dach- und Fassadengrün, Erhöhung der Albedo, Einrichtung eines Kühlwasserkreislaufes, Erdsondenpumpe, Verschattung mit klimawandelgerechter Vegetation etc.) geprüft und umgesetzt werden. Darüber hinaus sollen zielgerichtete Maßnahmen zum Objektschutz vor Extremwetterereignissen wie Starkregen oder Stürmen geprüft und bei Bedarf ergriffen werden (z.B. Retentionsdächer, Notabflusswege, erweiterte dezentrale Regenwasserbewirtschaftung etc.).

Federführung/Koordinierung der Maßnahme

- Referat Gebäudewirtschaft (65)
- Stadtentwässerung (STE)
- Stadtbildpflege (70)
- Bau AG

Zu beteiligende Akteure

- Referat Umweltschutz (15)
- Architektenkammer
- evtl. wissenschaftliche Begleitung des Bauvorhabens (Hochschule etc.)
- Träger (bei nicht städtischen Gebäuden)

Wechselwirkungen

- Es bestehen Querbezüge zur Maßnahme BU-01 (Öffentlichkeitskampagne).
- Durch das Projekt eröffnen sich Synergiepotenziale mit den Klimaschutzaktivitäten der Stadt Kaiserslautern
- Es können Konflikte mit dem Denkmalschutz entstehen, die es zu lösen gilt

Kosten/Wirtschaftlichkeit

- Es können einmalige Kosten für externe gutachterliche Unterstützung und/oder Mehrkosten für die Erprobung innovativer Systeme entstehen.
- Aus volkswirtschaftlicher Sicht können durch Maßnahmen der Klimafolgenanpassung (Objektschutz) zukünftige Schäden bzw. daraus resultierende Folgekosten vermieden werden.
- Unter Umständen besteht die Möglichkeit einer Projektförderung als „Leuchtturmvorhaben zur Anpassung an den Klimawandel“ durch den Bund (<https://www.ptj.de/folgen-klimawandel>).

Mögliche Anknüpfungspunkte

- Neubau des Campus Kammgarn der Hochschule Kaiserslautern

Mögliches Pilotprojekt

- Verwaltungsneubau der Stadtentwässerung Kaiserslautern AÖR (STE)

Referenzen (best practice)

- Experimentier- und Demonstrationsgebäude „Energy-Efficiency-Center“ des ZAE Bayern in Würzburg (Kälteerzeugung durch "Passive Infrarot Kühlanlage") Ein mit Regenwasser gefüllter Löschwassertank dient als Kühlwasserspeicher
- ÖkoZentrum NRW: „Max Kelvin“ - Entwicklung und Erprobung eines modularen Curriculums zur passiven und aktiven Kühlung von Gebäuden
- Wassersensibel planen und bauen in Köln - Leitfaden zur Starkregenvorsorge für Hauseigentümer, Bauwillige und Architekten

4.3.5 Ergänzende Maßnahmen

In Ergänzung der vorgenannten Maßnahmenpakete wurden im Rahmen der Akteursbeteiligung weitere Maßnahmenoptionen und Ansätze vorgeschlagen (Fragebögen zur Betroffenheitsanalyse, Zielkatalog und Maßnahmensammlung (AG Extremwetterereignisse, 03.07.2018), Workshops).

Hitzevorsorge

- vermehrte aktive Kühlung von Verwaltungs- und Unterrichtsräumen sowie Sporthallen
- Einsatz von Zerstäubersystemen zur Kühlung während Hitzeperioden in stark frequentierten Fußgängerbereichen (evtl. im Rahmen von Standortgemeinschaften)
- Sicherung und Schaffung von öffentlich zugänglichen Räumlichkeiten zur Abkühlung bei Hitze (nach Vorbild der „cooling center“)
- Gezielte Entsiegelung langfristig freierwerdender Straßenflächen (z.B. durch Car-sharing, E-Mobilität etc.)
- Etablierung von Schutz- und Warnsysteme an hitzesensiblen sozialen Einrichtungen (Kindergärten, Altenheime, Sportplätze, Freizeitanlagen)
- Erarbeitung eines Katasters „klimawertiger“ Böden: Identifizierung und Freihaltung von Böden, die sich für eine effektive Aufwertung von Bodenfunktionen (z.B. Kühlung,) durch konkrete Maßnahmen zur Entsiegelung, Rekultivierung, Bodenauftrag, Erosionsschutz, Wiedervernässung etc. eignen.
- Einsatz energieeffizienter Systeme zur Kühlung von Fahrzeugen des ÖPNV
- Erarbeitung eines Hitzeaktionsplanes

Starkregenvorsorge

- Detailfokus auf Außengebiete inkl. Maßnahmen zum Abflussrückhalt, zur gezielten Wasserführung und zur Erosionsminderung (z.B. retentionsorientierte Flächenbewirtschaftung)
- Bau und Optimierung von Einlaufbauwerken (Geröllfänge, 3D-Rechen etc.)
- Intensivierung der Unterhaltung der land- und forstwirtschaftlichen Wegeentwässerung
- verstärkte Umsetzung und Überwachung von Einleitbegrenzungen für Privatgrundstücke
- Entwicklung und Einsatz von Strategien und Verfahren zur Vermeidung bzw. Eindämmung der biogener Schwefelsäure-Korrosion (z.B. verstärkte Spülung von Kanälen in Trockenzeiten zur Vermeidung von Ablagerungen, Be- und Entlüftungssysteme, Auswahl resistenter Baustoffe insb. in Kurven-, Verbindungs- und Absturzbauwerken)
- Einführung von Unwetterwarnsystemen (Apps etc.) und verstärkte Kooperation mit Anbietern von Navigationsdienstleistungen
- Ermittlung von neuralgischen Punkten im Verkehrsnetz bei der Ableitung von Starkregen oder Sturmereignissen (z. B. Senken, verstopfte Straßenabläufe)

- gezielte Kontroll- und Reinigungsstrategien für wichtige Straßenabläufe bei Unwetterwarnungen

Organisation, Kommunikation und Beteiligung

- erhöhte Ressourcenausstattung (Personal und Technik) für Krankenhäuser, Rettungs- und Pflegedienste
- stärkere Ausrichtung des Gesundheitswesens auf klimawandelbedingte Auswirkungen (Fortbildungen, Erhöhung der Versorgungskapazitäten)
- Anpassung der Baumpflege (differenzierte Intervalle für Baumkontrollen und Totholzzuschnitt)
- abgestimmte Pläne für die Aufräum- und Reparaturarbeiten nach Extremwetterereignissen (Stadtreinigung, Stadtentwässerung, Grünpflege)
- Unterstützung der Eigenvorsorge bei Hitze durch Sensibilisierung und Netzwerkbildung auf Quartiersebene (Vorbild Trinkpaten, Hitzetelefon, Infoflyer)
- Mobilisierung und Organisation von Freiwilligenhilfe und "Hilfe zur Selbsthilfe" (z.B. in Form von Checklisten) bei Wetterkatastrophen
- Aufruf zur Bewässerung von Stadtbäumen während Hitzeperioden durch Bürger
- Bürger-Information zur Erhöhung der Resistenz von Anpflanzungen in Privatgärten gegenüber Extremwettern und klimabedingten Krankheiten
- Sensibilisierung und Aufklärung der Bevölkerung bzgl. der Waldnutzung und zunehmender Waldbrandgefahren
- Etablierung eines umfassenden Monitoringsystems über die Ausbreitung von invasiven Tier- und Pflanzenarten (unter Einbeziehung der Bevölkerung)
- Einführung einer Zertifizierung "Klimaangepasstes Gebäude" bzw. Integration der Hitzevorsorge (und anderer Aspekte der Klimaanpassung) in die Zertifizierungssysteme zum nachhaltigen und energieeffizienten Bauen (z.B. über Wettbewerb).

4.4 Kosten und Nutzen

Mit dem Klimawandel und der Notwendigkeit zur Klimaanpassung kommen – auch unabhängig vom vorliegenden Klimaanpassungskonzept – neue und z.T. zusätzliche Aufgaben auf die Stadtverwaltung zu, die sich in einem erhöhten Mittel- und Personalbedarf niederschlagen und denen im städtischen Haushalt Rechnung zu tragen sein wird. Das Klimaanpassungskonzept sorgt für eine koordinierte und effiziente Nutzung dieser Ressourcen. Es umfasst dabei sowohl Maßnahmen, die ohne Zusatzkosten bzw. weitgehend kostenneutral vollzogen werden können, als auch Maßnahmen, die mit zusätzlichen Personal-, Investitions- und Unterhaltungskosten verbunden sind. Diesen Kosten stehen die Verminderung von Schäden an Bebauung und Infrastruktur, die Vermeidung oder Dämpfung von Gesundheits- und Umweltbeeinträchtigungen sowie die Sicherung und Verbesserung von Lebens-, Wohn- und Arbeitsqualität gegenüber. Diese positiven Wirkungen der Klimaanpassung entziehen sich einer rein monetären Bewertung.

Weder die Kosten, die für die Stadt Kaiserslautern mit der Klimaanpassung verbunden sind, noch die eingesparten Schäden lassen sich derzeit fundiert quantifizieren. Sie hängen auch von der letztlichen Umsetzungsintensität und den realisierten Maßnahmen ab. Generell gilt es, bestehende finanzielle Fördermöglichkeiten konsequent auszuschöpfen und kostensparende Synergien mit ohnehin vollzogenen Aktivitäten und Maßnahmen zu schaffen (Huckepack-Lösungen), wo immer dies möglich ist. Die Umsetzung der Maßnahmen muss zudem im Einklang mit dem städtischen Haushalt erfolgen (Haushaltsvorbehalt).

4.5 Controllingkonzept

Die Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes ist eine Daueraufgabe. Dabei gilt es einerseits, den Fortschritt der Umsetzung fortlaufend im Blick zu behalten, Maßnahmen zu evaluieren, Anwendungserfahrungen zu dokumentieren und in den weiteren Umsetzungsprozess einfließen zu lassen. Damit soll sichergestellt werden, dass der Umsetzungsprozess zeitlich nicht ins Stocken gerät und bei Bedarfs die Umsetzung intensiviert werden kann; aber ebenso sollen positive Erfahrungen für zukünftige Umsetzungsprojekte genutzt bzw. bestehende Hemmnisse frühzeitig erkannt und wenn möglich ausgeräumt werden. Auf der anderen Seite soll der Controllingprozess pragmatisch ausgerichtet und mit möglichst geringem personenbezogenem Aufwand verbunden sein.

Die Umsetzung der einzelnen Maßnahmenpakete in entsprechenden Projekten soll in einem zentralen Controlling-Bogen nachverfolgt werden. Der erste Entwurf hierzu wurde im Rahmen des Projektes erarbeitet und mit der Steuerungsgruppe auf Seiten der Stadtverwaltung vorabgestimmt. In dem Controlling-Bogen (einfache Excel-Tabelle, siehe Anhang) sind die Maßnahmenpakete nach den Kernzielen des Klimaanpassungskonzeptes geclustert. Für jedes Maßnahmenpaket werden die einzelnen Umsetzungsprojekte fortlaufend dokumentiert. Hierzu werden durch die jeweils zuständigen Akteure der einzelnen Projekte die wichtigsten Informationen notiert, z. B.:

- (Teil)Maßnahme eines Maßnahmenpaketes (Arbeitstitel Projekt)
- Zuständigkeit (Federführung)
- bestehender Klärungsbedarf
- Projektkosten
- Fördermittel und Mittelgeber
- Haushaltsrelevanz (Haushaltsjahr)
- geplantes Projektende
- Zeitplanung (Ist ↔ Soll, Kennzeichnung Ampelfarben)
- Sachstand Projekt (allgemein)
- Hemmnisse / Probleme bzgl. Umsetzung
- Umsetzungserfahrungen / Projekterkenntnis (für weiteren Umsetzungsprozess)
- Bemerkungen

Auf diese Weise entsteht eine kompakte und einfach zu handhabende Übersicht über den Umsetzungsprozess. Die Pflege der Tabelle liegt in den Händen des Klimaanpassungsmanagements, das beim Referat Umweltschutz angesiedelt werden soll. Der Umsetzungsfortschritt soll regelmäßig (mind. einmal jährlich) in der AG Extremwetterereignisse (oder einer etwaigen Nachfolge-AG Klimaanpassung) thematisiert und jährlich dem Stadtrat sowie den betreffenden Gremien (Umwelt-Ausschuss, Bauausschuss etc.) berichtet werden. Damit wird das Controlling der Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes auf eine breite Basis gestellt.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, in regelmäßigen Abständen (z.B. alle 5-10 Jahre), das Klimaanpassungskonzept in Gänze auf den Prüfstand zu stellen. Dabei soll in der Gemeinschaft der zentralen Akteure die Grundausrichtung des Konzeptes einschließlich der enthaltenen Maßnahmenpakete überprüft und bedarfsweise eine Anpassung bzw. Überarbeitung vorgenommen werden. So ist z.B. davon auszugehen, dass manche Maßnahmen, die heute als vglw. leicht realisierbar erscheinen, zu einem späteren Zeitpunkt anders bewertet werden und sich entsprechend die Priorisierung von Maßnahmen ändert. Im Zuge dieser grundsätzlichen Prüfung sollen auch die im Rahmen des vorliegenden Projektes erarbeiteten Wirkungsketten einer Kontrolle unterzogen werden. Dabei soll geprüft werden, ob sich die heute als besonders relevant eingestuften Klimawirkungen bewahrheiten oder ob hier eine Neubewertung vorgenommen werden muss, aus der sich eine Veränderung bei den Zielen und Maßnahmenpaketen des Klimaanpassungskonzeptes ergibt. Es wird empfohlen, auf diesen Grundlagen einen entsprechenden Fortschrittsbericht bzw. eine Aktualisierung des Klimaanpassungskonzeptes zu verfassen.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit dem Klimawandel werden sich die klimatischen Bedingungen in den nächsten Jahrzehnten weiter verändern – weltweit. Das Ausmaß und die Folgen des Klimawandels sind jedoch von Region zu Region, von Ort zu Ort unterschiedlich. Neben der Bekämpfung des Klimawandels mittels entsprechender Klimaschutzmaßnahmen kommt der Anpassung an den Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten eine besondere Bedeutung zu. Hier sind v.a. die Kommunen gefordert, effiziente Strategien und Maßnahmen, mit denen den negativen Folgen des Klimawandels wie bspw. mehr Hitzetage und mehr Starkregen entgegengetreten werden kann, auf lokaler Ebene anzustoßen und kontinuierlich umzusetzen. Die Stadt Kaiserslautern geht diesen Weg und hat 2017 die Entwicklung einer kommunalen Klimaanpassungskonzeptes mit Förderung des Bundes auf den Weg gebracht.

Ein unkoordiniertes Vorgehen wird bei der Klimaanpassung kaum zum Erfolg führen. Daher ist es bedeutsam, dass die vielfältigen Aktivitäten in den verschiedenen Ressorts der Stadtverwaltung zielgerichtet, abgestimmt und effizient erfolgen. Sie müssen auf die wesentlichen lokalen Betroffenheiten durch den Klimawandel ausgerichtet sein und es bedarf einer klaren, intern abgestimmten Vorgehensweise im Sinne einer grundlegenden Strategie, die dann konsequent verfolgt und umgesetzt wird. Die Entwicklung eines solchen, ganzheitlich ausgerichteten Anpassungskonzeptes war Gegenstand des vorliegenden Vorhabens.

Im Zuge der Entwicklung dieses kommunalen Klimaanpassungskonzeptes wurden u. a. folgende Fragen für die Stadt Kaiserslautern beleuchtet:

- Welche Klimaveränderungen sind in den nächsten Jahrzehnten zu erwarten?
- Wie wirken sich diese Klimaveränderungen aus und welche Sektoren (Gesundheit, Umwelt, Wirtschaft, Infrastruktur etc.) und welche lokalen Bereiche innerhalb der Stadt (Innenstadt, Randbebauung, Stadtteile) sind besonders betroffen?
- Welchen negativen Wirkungen des Klimawandels sollte versucht werden entgegenzutreten und welche Maßnahmen bzw. Aktivitäten sind hierzu geeignet?
- Wie lassen sich diese Maßnahmen in einer Gesamtstrategie bündeln und mit welchen Pilotprojekten kann ihre Umsetzung beginnen?
- Wie können die Bevölkerung und Unternehmen in die Klimaanpassung einbezogen werden?
- Wie kann es gelingen, die Klimaanpassung dauerhaft im Verwaltungshandeln zu etablieren und zu verstetigen?

Die Erarbeitung des Klimaanpassungskonzeptes erfolgte in den folgenden Arbeitsschritten:

- Analyse des erwartenden Klimawandels (Kap. 2)
- Analyse der räumlichen und funktionalen Betroffenheiten (Kap. 3) sowie
- Entwicklung der Gesamtkonzeptes zur Klimaanpassung (Kap. 4).

Das Klimaanpassungskonzept setzt sich dabei aus der Formulierung der zentralen Ziele, den wesentlichen Handlungsmaximen (Strategie) sowie den umzusetzenden Maßnahmenpaketen (Aktionsfelder) zusammen. Sie wird ergänzt durch ein Controllingkonzept.

Die kommunale Klimaanpassung geht über den Handlungsbereich einer öffentlichen Stadtverwaltung hinaus und erfordert eine breite Mitwirkung vieler gesellschaftlicher Stakeholder. Während der Konzepterstellung lag daher ein Schwerpunkt in der frühzeitigen Beteiligung wichtiger Akteure, die die Konzeptergebnisse mittragen und damit auch einen dauerhaften Umsetzungsprozess nach der Konzeptphase unterstützen.

Im Zuge der Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes für Kaiserslautern wurden verschiedene Fachgremien, Referate und stadteigene Betriebe von Beginn an aktiv beteiligt (Steuerungsrunde, AG Extremwetterereignisse). Darüber hinaus wurde eine Reihe von offenen Veranstaltungen durchgeführt (Auftaktveranstaltung, zwei Workshops, Abschlussveranstaltung). In den politischen Gremien (Umwelt-/Bauausschuss, Verwaltungsrat der Stadtentwässerung, Stadtrat) wurde regelmäßig über den Fortgang des Projektes berichtet. Die Bevölkerung bzw. die allgemeine Öffentlichkeit wurden über entsprechenden Pressemitteilungen und Bekanntmachungen regelmäßig über das Projekt und den aktuellen Projektstand informiert sowie zur Beteiligung am Projekt eingeladen und aufgefordert. Ergänzend wurde u. a. auf der Internetpräsenz der Stadt Kaiserslautern über das Vorhaben informiert und eine direkte Beteiligungsmöglichkeit über ein Online-Formular geschaffen.

Begleitend zur ohnehin vorgesehenen Akteursbeteiligung wurde im Rahmen des Projektes eine separate Initiative gestartet, um Schüler der lokalen Gymnasien einzubeziehen. Hieraus ist u. a. ein Film des Hohenstaufen-Gymnasiums über das Klimaanpassungsprojekt entstanden.

Die Analyse der vom EURO-CORDEX-Modellensemble projizierten klimatischen Änderungen für verschiedene Klimaszenarien lässt für Kaiserslautern bis zur Periode 2071-2100 folgende Klimaveränderungen erwarten:

- Zunahme der Jahresmitteltemperaturen (um ca. 1,1 K bis 3,7 K)
- mehr Sommertage, mehr Heiße Tage und mehr Tropennächte (Anstieg der Heißen Tage pro Jahr von derzeit 9 auf 16-40)
- häufigere und länger andauernde Hitzeperioden sowie häufigere Hitzewellen (halbjähriges Auftreten von Hitzewellen, die heute etwa alle 10 Jahre auftreten)
- Abnahme von Frost- und Eistagen (von aktuell 14 auf 7 bis 0 pro Jahr)
- Zunahme des Jahresniederschlages um bis zu 9 % mit trockeneren Sommern und feuchteren Wintern (Winter: um bis zu +29 %, Sommer: um bis zu -13 %)
- längere Trockenperioden im Sommer
- Zunahme des Anteils von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlag
- Zunahme der Niederschlagsintensität
- Tendenz zu mehr Sturmtagen und höheren Sturmintensitäten

Im Rahmen der Betroffenheitsanalyse wurde untersucht, wie sich die erwarteten Klimaveränderungen konkret auf die Stadt Kaiserslautern auswirken. Hierzu wurde zum einen die räumliche Betroffenheit betrachtet und in entsprechenden Kartenwerk dargestellt (Stadtklima, Starkregenrisiko). Zum anderen wurde eine funktionale Betroffenheitsanalyse im Sinne einer Wirkungsanalyse unter Einbeziehung eines breiten Akteurskreises vollzogen (Fragebögen, Workshop 1, Interviews).

Für die räumliche Betroffenheitsanalyse zum Aspekt Stadtklima/Hitze wurden die Ergebnisse der erwarteten Klimaentwicklung mit den Ergebnissen der bereits vorliegenden Stadtklimaanalyse (GEO-NET 2012) verknüpft. Auf diese Weise wurden u. a. Kartenwerke zu den bioklimaökologischen Belastungshotspots in der Nacht und am Tage (inkl. Grünerreichbarkeit) sowie zur Betroffenheit der Bevölkerung (Einwohnerzahl, Bevölkerungsgruppen) erarbeitet.

Die örtlichen Betroffenheiten durch Starkregen wurden im Rahmen einer stadtgebietsweiten Grobanalyse untersucht. Hierzu wurden zunächst aus der Historie sowie aus vorliegenden Untersuchungen bereits bekannte Bereiche erhöhter Überflutungsgefährdung zusammengetragen. Zusätzlich wurde ein GIS-gestütztes Grob-Screening auf Basis des vorliegenden Digitalen Geländemodells (DGM) vollzogen. Im Rahmen dieser vereinfachten und grobskaligen Fließweganalyse wurden die Geländetopografie auf oberflächige Hauptfließpfade, neuralgische Senkenlagen und sonstige potenziellen Überflutungsschwerpunkte untersucht. In der Verknüpfung der beiden Betrachtungsschritte wurden schließlich vereinfachte Starkregengefahrenkarten generiert, in denen Bereiche unterschiedlich ausgeprägter Überflutungsgefährdung räumlich abgegrenzt und bewertet dargestellt sind. Der Fokus lag hierbei auf der Identifizierung und räumlichen Verortung potenzieller Überflutungs-Hotspots. Risikoobjekte mit besonders hohem Schadenspotenzial wurden anhand gebäude- oder grundstücksbezogener Nutzungsdaten identifiziert und in die vereinfachte Starkregengefahrenkarte integriert.

Im Rahmen der funktionalen Betroffenheitsanalyse wurden die spezifischen Auswirkungen der Klimawandelfolgen für Kaiserslautern untersucht und bewertet. Ausgehend von den Gegebenheiten vor Ort wurde dabei analysiert, in welchen Handlungsbereichen der Stadt besondere Herausforderungen durch die zu erwartenden langfristigen Klimaveränderungen und (extremen) Wetterereignisse entstehen. Dabei wurde sich an den Themenfeldern der Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) der Bundesregierung orientiert. Insgesamt wurden elf Handlungsfelder betrachtet, die in Kaiserslautern direkt von den Auswirkungen der Klimaveränderungen beeinflusst werden können; im Einzelnen: menschliche Gesundheit, Wasser, Boden, Natur und Stadtgrün, Wald- und Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Bauwesen, Verkehr, Energie, Industrie und Gewerbe sowie Tourismus und Naherholung.

Für die genannten Handlungsfelder wurde im nächsten Schritt eine Wirkungsanalyse anhand sog. Wirkungsketten durchgeführt. Sie stellen den Zusammenhang zwischen klimatischen Veränderungen und den daraus resultierenden zentralen Folgewirkungen für die unterschiedlichen Handlungsfelder dar und zeigen darüber hinaus die jeweiligen Wechselbeziehungen zwischen den Sektoren auf. Ausgehend von einer Vorab-Befragung per Fragebogen und im Rahmen eines interdisziplinären Workshops wurden die für Kaiserslautern relevanten Klimawirkungen in drei unterschiedlichen Wirkungsfeldern (1. „Menschliche Gesundheit“, 2. „Umwelt“, 3. „Gebäude und Infrastrukturen“) ausgewählt und mit Blick auf die folgende Phase der Strategie- und Maßnahmenentwicklung der lokalspezifische Anpassungsbedarf priorisiert.

Im Rahmen der Veranstaltung wurde – zusammen mit VertreterInnen der Stadtverwaltung und externen Akteuren – aus einer großen Zahl möglicher Folgen des Klimawandels eine

Auswahl derjenigen Wirkungen vorgenommen, die im Rahmen des Anpassungskonzeptes für Kaiserslautern zutreffend und relevant erscheinen. Dieser Schritt stellte eine entscheidende Weichenstellung für die anschließende Konzeptentwicklung und für die Maßnahmenableitung dar und bot den TeilnehmerInnen die Gelegenheit, sich aktiv in den Strategieprozess einzubringen.

Die Wirkungsketten erwiesen sich dabei als geeignetes Instrument, um den Akteuren aus den verschiedenen Fachbereichen und mit unterschiedlichen Wissensständen die komplexe Thematik schnell und verständlich näherzubringen. Sie stellten eine gute Grundlage für einen strukturierten, fachübergreifenden Diskussionsprozess dar und zeigten allen Beteiligten die große Bandbreite der möglichen Klimawandelfolgen auf. Die Ergebnisse der Analysen zu den Auswirkungen des Klimawandels in Kaiserslautern wurden in Form von elf lokalspezifischen Wirkungsketten übersichtlich aufbereitet und – geclustert nach den drei o. g. Wirkungsfeldern – zusammengefasst.

Nachdem im Rahmen der funktionalen Betroffenheitsanalyse die für Kaiserslautern relevantesten Wirkungen durch die beteiligten Akteure bewertet und priorisiert wurden, konnten im folgenden Schritt Ziele zur Anpassung an diese Klimafolgen formuliert werden. Hierzu wurden zunächst alle (sowohl laufenden als auch zukünftig denkbaren) Maßnahmen zusammengetragen, die zur Erreichung der anvisierten Ziele beitragen könnten. Die Sammlung der Maßnahmenoptionen erfolgte dabei anhand der folgenden Leitfragen:

- Wo besteht noch Bedarf an weiterführenden Untersuchungen zum Klimawandel bzw. zu dessen Wirkungen? (→ analytische Maßnahmen)
- Welche organisatorischen Veränderungen (z.B. Zuständigkeiten, Budgets) sind notwendig? (→ organisatorische Maßnahmen)
- Welche Verfahren und Prozessabläufe müssen für die Klimaanpassung geändert werden? (→ prozessuale Maßnahmen)
- Wo bedarf es einer weiteren Sensibilisierung von Akteuren und Institutionen für die Klimaanpassung? (→ kommunikative Maßnahmen)
- Welche baulich-räumlichen bzw. ökologischen Maßnahmen sind für die Klimaanpassung denkbar und zielführend? (→ bauliche und ökologische Maßnahmen)

Darüber hinaus galt es, bestmöglich an die bisherigen Aktivitäten der Stadt Kaiserslautern in Bezug auf Klimaschutz und Klimaanpassung anzuknüpfen. Zu nennen sind hier u. a. der "Masterplan 100% Klimaschutz" (2017) und der Klimafolgen-Dialog.

Für die Zusammenstellung der Maßnahmenoptionen zur Klimaanpassung wurden die vielfältigen Anregungen und Hinweise ausgewertet, die in der ämterübergreifenden Befragung sowie während des ersten Workshops gegeben wurden. Diese Vorschläge wurden fachlich geprüft und den entsprechenden Zielen zugeordnet. Teilweise wurden seitens der Gutachter auf Basis der Erfahrungen aus anderen Städten weitere Maßnahmenvorschläge ergänzt.

Die so entstandenen zielspezifischen Maßnahmenkataloge wurden anschließend intensiv mit der AG Extremwetterereignisse abgestimmt und bewertet. Dabei wurden aus der Viel-

zahl der gesammelten Maßnahmenoptionen diejenigen (prioritären) Aktionsfelder ausgewählt, die für die Umsetzung des Anpassungskonzeptes als besonders zielführend angesehen werden und die aus Gründen der Dringlichkeit oder des Leuchtturmeffekts möglichst kurzfristig vorbereitet werden sollten. Die Pakete umfassen zum Teil auch solche Maßnahmen, die bereits laufen und im Sinne der Klimaanpassung fortgeführt oder intensiviert werden sollen. Die abschließende Auswahl der Maßnahmenpakete erfolgte unter breiter Beteiligung der Fachakteure im Rahmen des 2. Workshops. Anschließend wurden die ausgewählten Maßnahmenpakete detailliert in Steckbriefen erläutert. Die Inhalte dieser Steckbriefe wurden von den Gutachtern in enger Kooperation mit ausgewählten Akteuren aus den jeweils betroffenen Fachämtern formuliert und mit der AG Extremwetterereignisse final abgestimmt.

Aus dem systematischen Analyseprozess sowie der engen Akteursbeteiligung resultiert im Ergebnis die nachstehende grundlegende **Anpassungsstrategie** mit den genannten Handlungsmaximen:

Durch die gezielte Anpassung der Stadt an den Klimawandel sollen in den nächsten Jahrzehnten die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualität sowie die allgemeinen Umweltbedingungen erhalten und verbessert werden.

Die Stadt mit ihrer Bebauung, ihrer Infrastruktur und ihren Naturräumen wird sukzessive so weiterentwickelt und gestaltet, dass die negativen Folgen des Klimawandels minimiert werden. Die Vorsorge gegenüber Hitze, Trockenheit, Starkregen und Sturm steht hierbei im Fokus.

Der Klimawandel und die Erfordernisse der Anpassung an seine Folgen stellen ein zentrales Planungskriterium bei der städtischen Entwicklung dar. Getragen vom politischen Willen von Verwaltungsspitze und Stadtrat, greift das administrative, planerische und bauliche Handeln die Belange der Klimaanpassung konsequent auf.

Die Klimaanpassung versteht sich als dauerhafte Querschnittsaufgabe und umfasst vielfältige gemeinschaftliche Aktivitäten, die im Zusammenspiel von Stadtverwaltung, städtischen Beteiligungsunternehmen, Bürgerschaft und lokaler Wirtschaft mit weiteren Akteuren erarbeitet, gebündelt und umgesetzt werden. Auch der einzelne Bürger und Unternehmen sind aufgefordert, im Rahmen der Eigenvorsorge selbst aktiv zu werden.

In Abstimmung mit den an der Konzepterstellung Beteiligten wurden vier Kernziele für die Klimaanpassung in Kaiserslautern formuliert, die durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden sollen. Das Gesamtkonzept beinhaltet die nachfolgenden Maßnahmenpakete als wesentliche kommunale Aktionsfelder zur Klimaanpassung.

Ziel 1: Hitze mindern – Grün schaffen!

Den zu erwartenden Belastungen für Mensch, Natur und Infrastruktur durch eine zunehmende sommerliche Hitze wird durch die Erhaltung und vor allem die gezielte Neuschaffung von Grünräumen mit positivem lokalklimatischem Effekt in enger Verknüpfung mit weiteren hitzemindernden und ökologiefördernden Maßnahmen begegnet:

- HG-01: Entsiegelung und Begrünung
- HG-02: Stadtbaumbestand erhalten und klimaangepasst weiterentwickeln
- HG-03: Anreize für Dach- und Fassadenbegrünung (in Kombination mit PV)
- HG-04: Verbesserung der Informations- und Abwägungsgrundlagen zur Hitzevorsorge
- HG-05: Verschattung im öffentlichen Raum
- HG-06: Biodiversität in der Stadt fördern

Ziel 2: Schäden durch Starkregen minimieren!

Der Verwundbarkeit der Stadt gegenüber Starkregen wird durch ein aktives Starkregenrisikomanagement begegnet. Dieses Starkregenrisikomanagement bündelt und koordiniert alle zielführenden Vorsorge- und Bewältigungsmaßnahmen auf kommunaler Ebene. Es umfasst das Erkennen und Bewerten der bestehenden Risiken gegenüber Niederschlägen jenseits des Bemessungsniveaus der öffentlichen Entwässerungssysteme sowie die Entwicklung und Umsetzung geeigneter Vorkehrungen. Die planerische und technische Überflutungsvorsorge ist hierbei eng verknüpft mit einem retentionsorientierten Regenwassermanagement, einer naturnahen Gewässerentwicklung sowie einer wassersensiblen und klimaangepassten Stadtgestaltung:

- SR-01: Starkregenrisikomanagement
- SR-02: Maßnahmen zum Schutz kritischer Infrastruktur
- SR-03: Hochwasserschutz und klimaangepasste Gewässerrenaturierung
- SR-04: Klimaangepasste Straßen- und Freiraumplanung

Ziel 3: Klimaanpassung organisieren!

(→ Verstetigungsstrategie)

Die Klimaanpassung wird in der täglichen Verwaltungspraxis verankert und innerhalb der Stadtverwaltung koordiniert. Hierzu werden die organisatorischen Rahmenbedingungen geschaffen und fachliche Leitlinien erarbeitet. Das Maßnahmenbündel bildet die Verstetigungsstrategie des KLAK.

- KO-01: Klimaanpassungsmanagement
- KO-02: Klimaanpassung in Bau- und sonstigen Planungsverfahren
- KO-03: Erstellung abgestimmter Alarm- und Einsatzpläne

Ziel 4: Bürger und Unternehmen aktiv einbinden!

(→ Kommunikationskonzept)

Bürger und Unternehmen werden zur aktiven Wahrnehmung ihrer Eigenverantwortung in Bezug auf die Klimaanpassung und den Überflutungsschutz durch die Stadtverwaltung zielgerichtet informiert und unterstützt. Das Maßnahmenbündel bildet das Kommunikationskonzept des KLAK.

- BU-01: Öffentlichkeitsarbeit zur Klimaanpassung
- BU-02: Klimaanpassungsdialog mit Unternehmen
- BU-03: Beratungsangebote und Dienstleistungen für die Bevölkerung
- BU-04: Trinkwasserbereitstellung im öffentlichen Raum
- BU-05: Leuchtturmprojekte für klimaangepasstes Bauen

Die Maßnahmenpakete stellen die übergeordneten Aktivitätsfelder auf kommunaler Ebene dar, nicht jedoch einzelne lokale (Bau)Maßnahmen. Sie bilden vielmehr den grundlegenden Handlungsrahmen zur koordinierten Anpassung an den Klimawandel. Die eigentliche Klimaanpassung erfolgt dann anschließend durch die sukzessive Umsetzung des Konzeptes und der Maßnahmenpakete in entsprechenden Detailprojekten, Baumaßnahmen und Einzelaktivitäten. Diese sind zunächst zu definieren. Einen ersten Anstoß geben die in den Steckbriefen genannten Pilotprojekte.

Für die einzelnen Maßnahmenpakete wurden Maßnahmensteckbriefe erstellt, in denen jeweils die Ziele und der Gegenstand der Maßnahme sowie die Federführung, die Beteiligten, die Wechselwirkungen zu anderen Maßnahmenpaketen, Kostenaspekte, bestehende Anknüpfungspunkte, mögliche Pilotprojekte sowie Referenzen im Sinne von Best-Practice-Beispielen kompakt zusammengestellt und benannt sind.

Die Umsetzung der einzelnen Maßnahmenpakete in entsprechenden Projekten soll in einem zentralen Controlling-Bogen nachverfolgt werden (→ Controllingkonzept). Für jedes Maßnahmenpaket werden die einzelnen Umsetzungsprojekte fortlaufend tabellarisch dokumentiert und evaluiert, um den Umsetzungsfortschritt im Blick zu behalten und die gemachten Erfahrungen in den weiteren Umsetzungsprozess einzuspeisen. Die Koordination der Tabelle liegt in den Händen des Klimaanpassungsmanagements, das beim Referat Umweltschutz angesiedelt werden soll. Der Umsetzungsfortschritt soll regelmäßig (mind. einmal jährlich) in der AG Extremwetterereignisse (oder einer etwaigen Nachfolge-AG Klimaanpassung) thematisiert und jährlich dem Stadtrat sowie den betreffenden Gremien (Umwelt-Ausschuss, Bauausschuss etc.) berichtet werden. Damit wird das Controlling der Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes auf eine breite Basis gestellt.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, in regelmäßigen Abständen (z.B. alle 5-10 Jahre), das Klimaanpassungskonzept in Gänze auf den Prüfstand zu stellen. Dabei soll in der Gemeinschaft der zentralen Akteure die Grundausrichtung des Konzeptes einschließlich der enthaltenen Maßnahmenpakete überprüft und bedarfsweise eine Anpassung bzw. Überarbeitung vorgenommen werden. Im Zuge dieser grundsätzlichen Prüfung sollen auch die im

Rahmen des vorliegenden Projektes erarbeiteten Wirkungsketten einer Kontrolle unterzogen werden. Es wird empfohlen, auf diesen Grundlagen einen entsprechenden Fortschrittsbericht bzw. eine Aktualisierung des Klimaanpassungskonzeptes zu verfassen.

Mit dem Klimawandel und der Notwendigkeit zur Klimaanpassung kommen – auch unabhängig vom vorliegenden Klimaanpassungskonzept – neue und z.T. zusätzliche Aufgaben auf die Stadtverwaltung zu, die sich in einem erhöhten Mittel- und Personalbedarf niederschlagen und denen im städtischen Haushalt Rechnung zu tragen sein wird. Das Klimaanpassungskonzept sorgt für eine koordinierte und effiziente Nutzung dieser Ressourcen. Es umfasst dabei sowohl Maßnahmen, die ohne Zusatzkosten bzw. weitgehend kostenneutral vollzogen werden können, als auch Maßnahmen, die mit zusätzlichen Personal-, Investitions- und Unterhaltungskosten verbunden sind. Diesen Kosten stehen die Verminderung von Schäden an Bebauung und Infrastruktur, die Vermeidung oder Dämpfung von Gesundheits- und Umweltbeeinträchtigungen sowie die Sicherung und Verbesserung von Lebens-, Wohn- und Arbeitsqualität gegenüber. Diese positiven Wirkungen der Klimaanpassung entziehen sich einer rein monetären Bewertung.

Weder die Kosten, die für die Stadt Kaiserslautern mit der Klimaanpassung verbunden sind, noch die eingesparten Schäden lassen sich derzeit fundiert quantifizieren. Sie hängen auch von der letztlichen Umsetzungsintensität und den realisierten Maßnahmen ab. Generell gilt es, bestehende finanzielle Fördermöglichkeiten konsequent auszuschöpfen und kostensparende Synergien mit ohnehin vollzogenen Aktivitäten und Maßnahmen zu schaffen (Huckepack-Lösungen), wo immer dies möglich ist. Die Umsetzung der Maßnahmen muss zudem im Einklang mit dem städtischen Haushalt erfolgen (Haushaltsvorbehalt).

Gerade auch veranlasst durch die schweren Starkregenereignisse im Mai und Juni sowie die langanhaltende sommerliche Hitzeperiode sind während der Entwicklungsphase des Klimaanpassungskonzeptes bereits erste Pilotprojekte zur Klimaanpassung angestoßen worden. Damit ist die wichtige Umsetzungsphase des Klimaanpassungskonzeptes bereits eingeläutet – ganz im Sinne des im Rahmen des Projektes entstanden Slogans:

KAISERSLAUTERN IM KLIMAWANDEL – WIR GESTALTEN UNSERE ZUKUNFT!

Projektteam im Auftrag der Stadt Kaiserslautern

Prof. Dr.-Ing. Marc Illgen [DAHLEM, Projektleitung] + Dr.-Ing. Jan Benden [MUST, stellv. Projektleitung] + Dr. Björn Büter [GEO-NET] + Dr. Dirk Pavlik [GEO-NET] + Janko Löbig, M.Sc. [GEO-NET] + Dr.-Ing. Ulla Leinweber [DAHLEM] + Dipl.-Ing. Tim Schneider [DAHLEM]

6 LITERATUR

- BBSR (2017) - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.): Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte.
- BMUB (2014) – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Merkblatt Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten - Hinweise zur Antragsstellung. Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative vom 15.09.2014. www.klimaschutz.de/sites/default/files/page/downloads/140912_MB_TK_0.pdf
- Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels. www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/deutsche-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel/
- Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/aktionsplan-anpassung-zur-deutschen-anpassungsstrategie-an-den-klimawandel/
- Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_fortschrittsbericht_bf.pdf
- Cubasch U., Wuebbles D., Chen D., Facchini M.C., Frame D., Mahowald N., Winther J.-G. (2013): Introduction. In: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Davis M, Naumann S (2017) Making the case for sustainable urban drainage systems as a nature-based solution to urban flooding. In: Kabisch N, Korn H, Stadler J, Bonn A (eds) Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas, Springer International Publishing, Cham, doi: 10.1007/978-3-319-56091-5, p 123-137
- Deutscher Städtetag (2012): Positionspapier Anpassung an den Klimawandel - Empfehlungen und Maßnahmen der Städte www.staedtetag.de/imperia/md/content/dst/positionspapier_klimawandel_juni_2012.pdf
- Deutschländer T., Mächel H. (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In: Brasseur G., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland.
- Donat M. G., Leckebusch G. C., Pinto J. G., Ulbrich U. (2010): European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multi-model ensemble of GCM simulations. Climate Research 42:27–43.

- DWA (2013) Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), DWA-Themen T1/2013, ISBN 978-3-944328-14-0.
- DWA (2016) Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Merkblatt M 119, Hennef, Germany
- DWD (2016) – Deutscher Wetterdienst: Nationaler Klimareport 2016.
- DWD (2018a) - Deutscher Wetterdienst: Wetterlexikon.
<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102572> (abgerufen am 29.01.2018).
- DWD (2018b) - Deutscher Wetterdienst: Wetterlexikon.
<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102646> (abgerufen am 24.01.2018).
- EU-Kommission (2007): Grünbuch. Anpassung an den Klimawandel – Optionen für Maßnahmen der EU.
- EU-Kommission (2009): Weissbuch. Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen.
- EU-Kommission (2013): Eine EU-Strategie zur Anpassung an den Klimawandel.
http://ec.europa.eu/clima/events/articles/0069_de.htm
- Fink A. H., Pohle S., Pinto J. G., Knippertz P. (2012): Diagnosing the influence of diabatic processes on the explosive deepening of extratropical cyclones. *Geophysical Research Letters* 39:L07803
- Fischer A. M., Weigel A. P., Buser C. M., Knutti R., Künsch H. R., Liniger M. A., Schär C., Appenzeller C. (2012): Climate change projections for Switzerland based on a Bayesian multi-model approach. *Int. J. Climatol.*
- Fuchs L, Schmid N (2015) Comparison of three different modeling approaches for the simulation of flooding in urban areas. *Proc 10th UDM Mont-Saint-Anne, Quebec, Canada*
- GEO-NET (2012): Aktualisierung der gesamtstädtischen Klimaanalyse und deren planungsrelevante Inwertsetzung für die Stadt Kaiserslautern. Im Auftrag der Stadtverwaltung Kaiserslautern – Referat Umweltschutz.
- Gill SE, Handley JF, Ennos AR, Pauleit S (2007) Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built Environ* 33, p 115–133
- Giorgi F., Jones C., Asrar G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, *WMO Bulletin*, 58(3):175-183.
- Höppe, P. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int. Journal of Biometeorology* 43 (2): 71-75.

- IPCC (2014): Climate Change 2014 - Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC (2018): Global Warming of 1,5°C, Special Report – Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ISBN 978-92-9169-151-7, 32 pp.
- Illgen M (2017) Starkregen und urbane Sturzfluten: Handlungsempfehlungen zur kommunalen Überflutungsvorsorge. In: Porth M, Schüttrumpf H: Wasser, Energie und Umwelt, Springer Vieweg, ISBN 978-3-658-15922-1, p 20-30
- Illgen M, Benden J, Scheid C, Lennartz G, Broesi R, Leinweber U und Schmitt TG (2018): Multifunktionale urbane Retentionsräume - Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem praxisorientierten Forschungsprojekt MURIEL. In KW Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2/2018, p 94-99
- Knutti R., Abramowitz G., Collins M., Eyring V., Gleckler P.J., Hewitson B., Mearns L. (2010): Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.
- Linke C. et al. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam, 56 S.
- Löwe R, Urich C, Sto. Domingo N Mark O, Deletic A, Arnbjerg-Nielsen K (2017) Assessment of urban pluvial flood risk and efficiency of adaptation options through
- McDonald R. E. (2011): Understanding the impact of climate change on Northern hemisphere extra-tropical cyclones. *Climate Dynamics* 37:1399–1425
- Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R. J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756.
- Peters G.P., Andrew R.M., Boden T., Canadell J.G., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M.R., Wilson C. (2012): The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nat. Clim. Change* 3, 4–6.
- Piani C., Haerter J.O., Coppola E. (2010): Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe. *Theor Appl Climatol* 99:187–192
- Pinto J. G., Ryers M. (2017): Winde und Zyklonen. In: Brasseur G., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland.
- Pinto J. G., Zacharias S., Fink A. H., Leckebusch G. C., Ulbrich U. (2009): Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones and their relationship with the NAO. *Climate Dynamics* 32:711–737

- Rauthe M., Malitz G., Gratzki A., Becker A. (2014): Starkregen. In: Becker P., Hüttl R. F. (Hrsg.): Forschungsfeld Naturgefahren. Potsdam und Offenbach, S. 112.
- ReKliEs-De (2017): Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland - Nutzerhandbuch. doi: 10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Nutzerhandbuch
- RPKK – Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen (2018): Themenheft Klimawandel - Entwicklungen bis heute. Trippstadt
- Themeßl M.J., Gobiet A., Leuprecht A. (2011): Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. Int J Climatol 31(10):1530–1544
- TU Kaiserslautern (2016) – Spellerberg, A. (Fachgebiet Stadtsoziologie): Sozialstrukturelle und demografische Entwicklung in Kaiserslautern 2005-2015.
- UBA (2015a) – Umweltbundesamt: Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Dessau-Roßlau. S. 258.
- UBA (2015b) - adelphi / PRC / EURAC: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015, Dessau-Roßlau.
- UBA (2018): Climate Change 03/2018: Klimaanpassung im Raumordnungs-, Städtebau- und Umweltfachplanungsrecht sowie im Recht der kommunalen Daseinsvorsorge - Grundlagen, aktuelle Entwicklungen und Perspektiven. Umweltbundesamt, ISSN 1862-4359.
- UN (1992): Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 1: | Schematischer Projektablauf | 7 |
| Abb. 2: | Konzeptentwicklung und Umsetzung (Begriffe und Beispiele) | 8 |
| Abb. 3: | Auftaktveranstaltung am 12. März 2018 im Großen Ratssaal | 10 |
| Abb. 4: | Workshop 1 am 26. April 2018 bei der Stadtentwässerung Kaiserslautern | 12 |
| Abb. 5: | Workshop 2 am 13. September 2018 bei der Stadtentwässerung Kaiserslautern | 13 |
| Abb. 6: | Einbindung von SchülerInnen des Hohenstaufen-Gymnasiums Kaiserslautern (Projekt-Workshops, Junior-Workshop, Filmbeitrag) | 15 |
| Abb. 7: | Entwicklung der Temperatur in Kaiserslautern (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de) | 16 |
| Abb. 8: | Entwicklung der Sommertage in Kaiserslautern (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de) | 17 |
| Abb. 9: | Entwicklung des Niederschlags im Kaiserslautern (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de) | 18 |
| Abb. 10: | Entwicklung der Starkniederschlagstage (20mm) im Naturraum Saar-Nahe-Bergland (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de) | 19 |
| Abb. 11: | Entwicklung des geostrophischen Windes über Rheinland Pfalz (Quelle: RLP Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, www.kwis-rlp.de) | 20 |
| Abb. 12: | Methode der Adjustierung von Schwellenwerten für Kenntage. Die blaue Zahl auf der y-Achse zeigt das berechnete Perzentil des Schwellenwertes und die rote Zahl auf der x-Achse zeigt den adjustierten Schwellenwert. | 23 |
| Abb. 13: | Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013) | 24 |
| Abb. 14: | Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Kaiserslautern, alle Szenarien | 27 |
| Abb. 15: | Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 8.5 | 28 |
| Abb. 16: | Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Kaiserslautern (RCP 8.5) | 29 |
| Abb. 17: | Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) in Kaiserslautern Szenario RCP 8.5 | 32 |
| Abb. 18: | Zeitlicher Trend der jährlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, alle Szenarien | 33 |
| Abb. 19: | Langjährige mittlere Änderungen der jährlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5 | 34 |
| Abb. 20: | Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5 | 34 |

| | | |
|----------|---|----|
| Abb. 21: | Änderung der langjährigen mittleren monatlichen klimatischen Wasserbilanz in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5 | 35 |
| Abb. 22: | Zeitlicher Trend der Anzahl an Tagen pro Jahr mit stärkerem Niederschlag ($N \geq 20$ mm/d) in Kaiserslautern, alle Szenarien | 37 |
| Abb. 23: | Trendbewertung des zeitlichen Trends der Tage mit stärkerem Niederschlag ($N \geq 20$ mm/d), Szenario RCP 8.5 | 37 |
| Abb. 24: | Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen mit $N \geq 50$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5 | 38 |
| Abb. 25: | Hot-Spots der bioklimatischen Belastung in der Nacht in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets mit verkürzter Legende (für die gesamte Karte siehe Kartenanlagen) | 44 |
| Abb. 26: | Hot-Spots der bioklimatischen Belastung am Tage und Grünerreichbarkeitsanalyse in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets mit verkürzter Legende | 47 |
| Abb. 27: | Anteil vulnerabler Bevölkerungsgruppen nach Stadtteilen (Zeitraum 2004-2015; nach TU Kaiserslautern 2016) | 49 |
| Abb. 28: | Anteil vulnerabler Bevölkerungsgruppen je Blockfläche in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets | 49 |
| Abb. 29: | Anteil Altersklassen an der Stadtbevölkerung und deren Vorausberechnung | 50 |
| Abb. 30: | Thermische Belastung in der Nacht und Einwohnerzahlen je Blockfläche in einem Ausschnitt des Lauterer Stadtgebiets | 51 |
| Abb. 31: | Darstellung kritischer Betriebspunkte der Stadtentwässerung | 53 |
| Abb. 32: | Prinzip der Geländebereinigung (Füllung für vorgegebenen Schwellwert hfüll) | 54 |
| Abb. 33: | Teilgebietsdiskretisierung bei unbereinigtem und bereinigtem Geländemodell (Beispiel) | 55 |
| Abb. 34: | Fließwege (akkumulierte abflusswirksame Fläche Au) als Roh-Ergebnis der topografischen Analyse | 56 |
| Abb. 35: | Schematisch skizzierter Bereich mit Gefährdung durch Oberflächenabfluss auf Basis der Ergebnisse der topografischen Analyse | 56 |
| Abb. 36: | Ausschnitt der Gesamtkarte mit Gefährdungspunkten, Gefährdung durch Oberflächenabfluss und gebäudebezogenem Schadenspotenzial | 61 |
| Abb. 37: | Wirkungskette Menschliche Gesundheit | 66 |
| Abb. 38: | Wirkungskette Wasser | 69 |
| Abb. 39: | Wirkungskette Boden | 70 |
| Abb. 40: | Wirkungskette Natur und Stadtgrün | 71 |
| Abb. 41: | Wirkungskette Landwirtschaft | 72 |
| Abb. 42: | Wirkungskette Wald- und Forstwirtschaft | 73 |
| Abb. 43: | Wirkungskette Bauwesen | 77 |
| Abb. 44: | Wirkungskette Verkehr | 78 |
| Abb. 45: | Wirkungskette Energie | 79 |
| Abb. 46: | Wirkungskette Industrie und Gewerbe | 80 |

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 47: | Wirkungskette Naherholung und Tourismus | 81 |
| Abb. 48: | Starkregenrisikomanagement und seine Bausteine | 99 |

8 TABELLENVERZEICHNIS

| | | |
|---------|--|----|
| Tab. 1: | Für das verwendete Modellensemble verfügbare Ensemblemitglieder (Modellkombinationen) und Szenarien (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5). GCM - Globales Klimamodell (Global Climate Model), RCM - Regionales Klimamodell (Regional Climate Model). | 21 |
| Tab. 2: | Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses | 26 |
| Tab. 3: | Langjährige Änderung der Temperatur (in °C) in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil. | 29 |
| Tab. 4: | Langjährige Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil. | 31 |
| Tab. 5: | Langjährige Änderung der Niederschlagssumme (in mm/Jahr) in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil. | 33 |
| Tab. 6: | Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen (Anzahl der Tage pro Jahr) in Kaiserslautern. P 15 = 15. Perzentil, P 50 = Median, P 85 = 85. Perzentil. | 39 |
| Tab. 7: | Erwartete Klimaänderungen für Kaiserslautern | 42 |
| Tab. 8: | Klassifizierung des Schadenspotenzials nach Nutzungsarten der Flurstücke | 58 |

9 BILDNACHWEIS

Sämtliche Grafiken wurden durch das Konsortium DAHLEM | MUST | GEO-NET als Verfasser für das vorliegende Projekt erstellt (Schemabilder, Diagramme, Karten etc.).

Darüber hinaus wurde Fotomaterial aus folgenden Quellen verwendet:

Titelbild: Stadt Kaiserslautern

Abb. 3: Illgen, Stadt Kaiserslautern

Abb. 4: Illgen, Stadtentwässerung Kaiserslautern

Abb. 5: Illgen

Abb. 6: Stadtentwässerung Kaiserslautern, Hohenstaufen-Gymnasium Kaiserslautern

Abb. 7: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Abb. 8: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Abb. 9: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Abb. 10: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Abb. 11: Rheinland-Pfalz Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen

Maßnahmenpakete (Kap. 4.3):

HG-01: MUST

HG-02: pixabay

HG-03: Stadt Kaiserslautern

HG-04: GEO-NET

HG-05: Stadt Kaiserslautern

HG-06: GEO-NET

SR-01: DAHLEM Beratende Ingenieure

SR-02: Anhamm

SR-03: Stadt Kaiserslautern

SR-04: Stadt Kaiserslautern

KO-01: MUST

KO-02: MUST

KO-03: pixabay

BU-01: MUST

BU-02: pixabay

BU-03: Stadt Kaiserslautern

BU-04: pixabay

BU-05: pixabay

10 ANHANG

10.1 Anhang 1: Klimawandel in Kaiserslautern

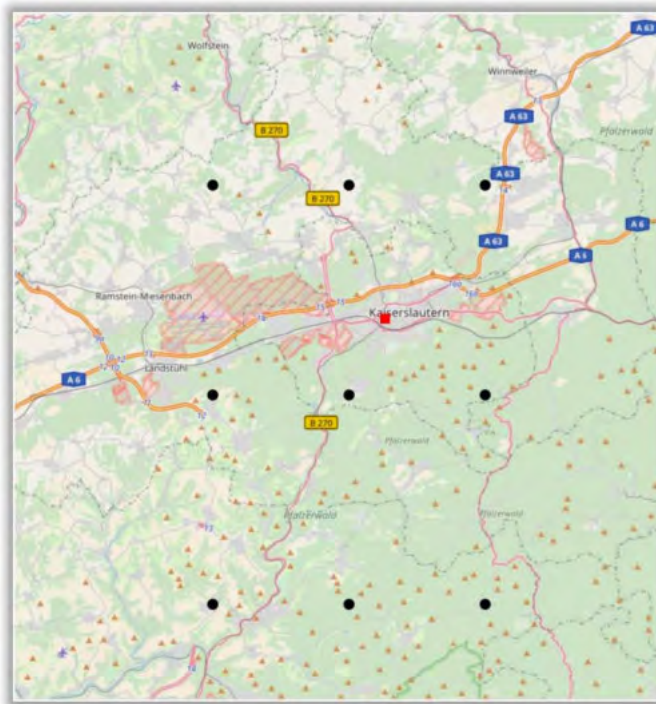


Abb. A 1: Für die Analyse des Klimawandels in Kaiserslautern ausgewählte Gitterpunkte aus dem EURO-CORDEX-Modellgitter (Hintergrund: © OpenStreetMap contributors, Open Database www.opendatacommons.org/licenses/odbl)

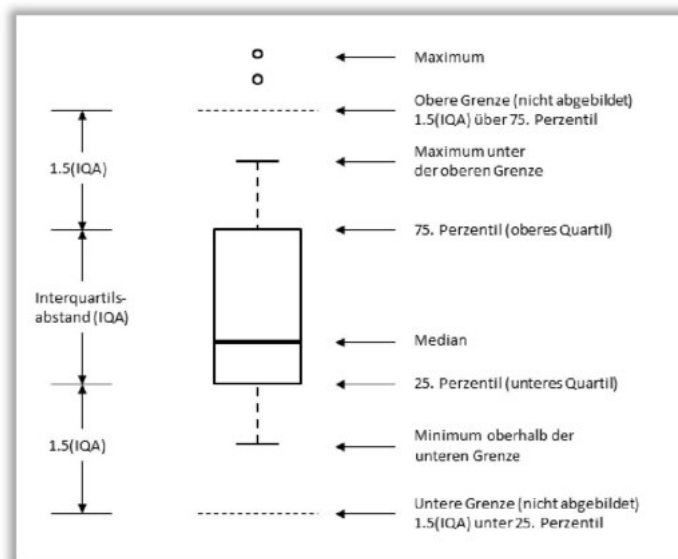


Abb. A 2: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots

10.1.1 Temperaturzunahme und Hitze

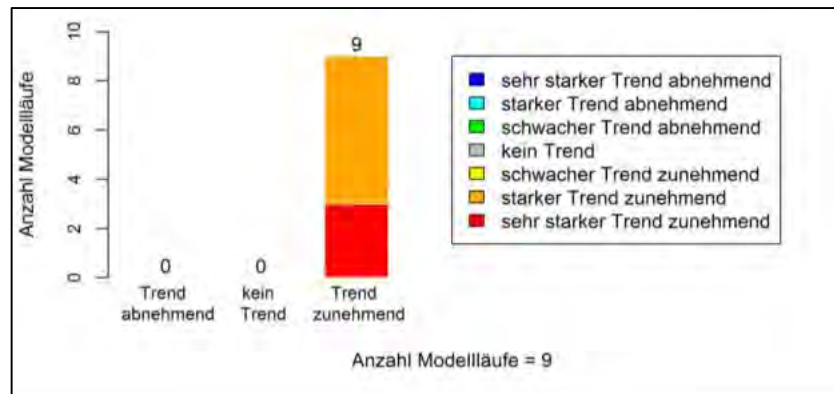


Abb. A 3: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 2.6

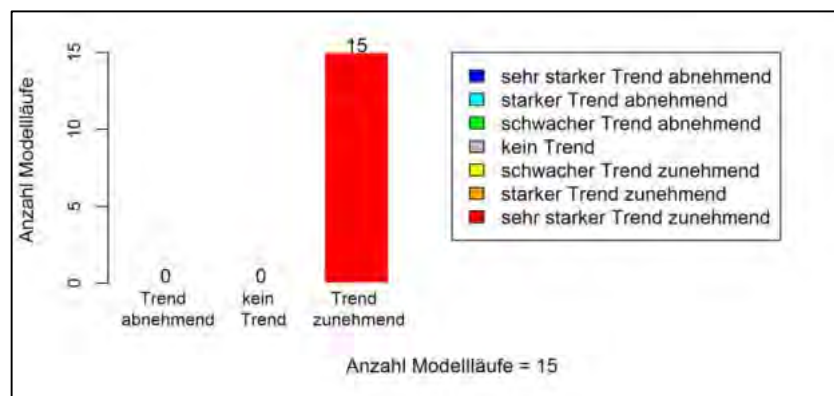


Abb. A 4: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, RCP 4.5

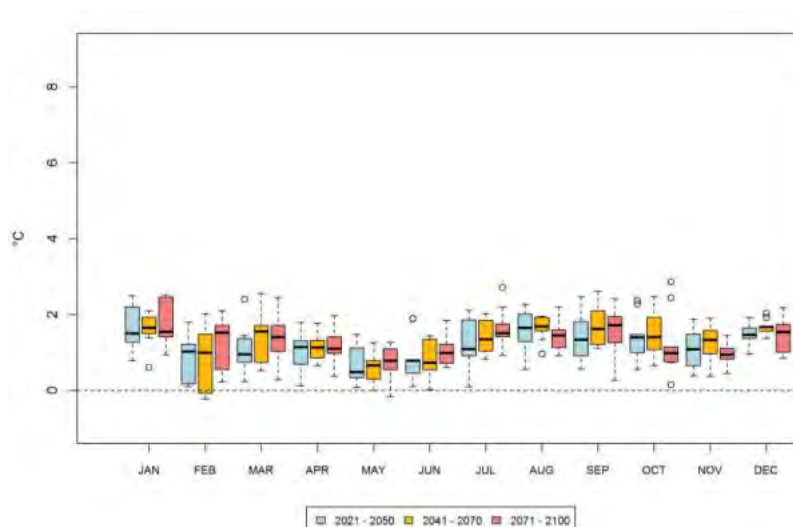


Abb. A 5: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Kaiserslautern (RCP 2.6)

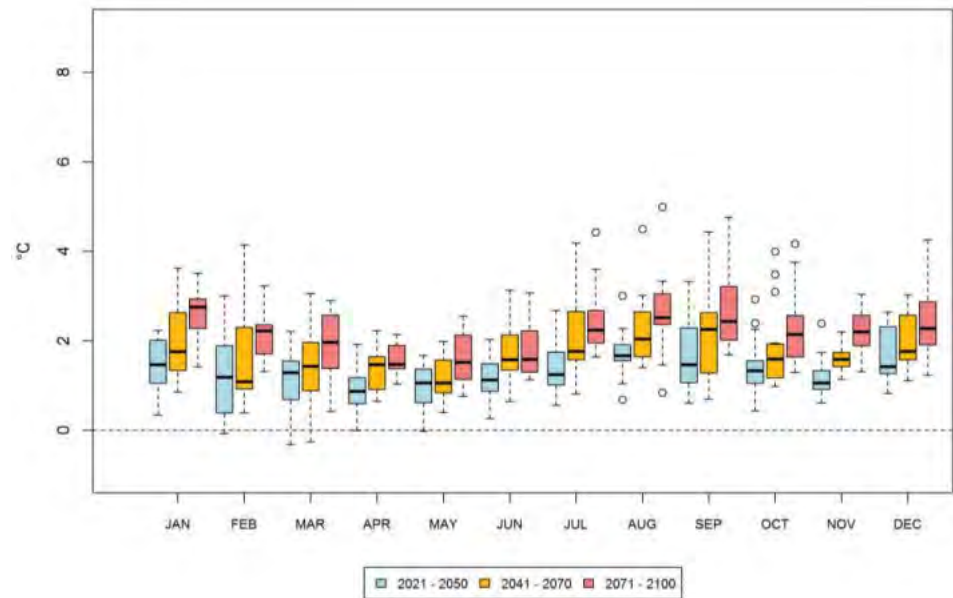


Abb. A 6: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Kaiserslautern (RCP 4.5)

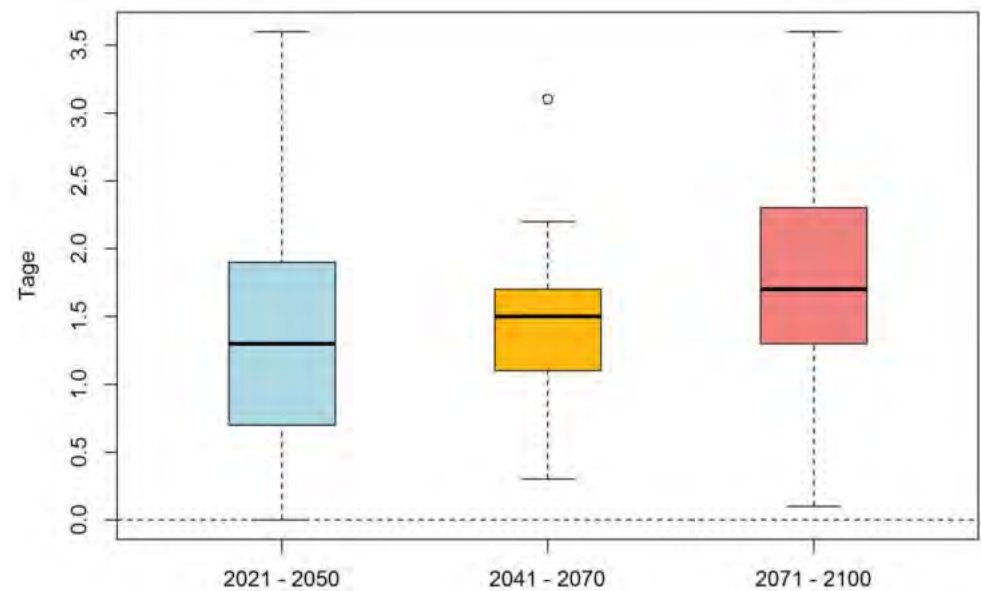


Abb. A 7: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30^\circ\text{C}$) in Kaiserslautern. Szenario RCP 2.6

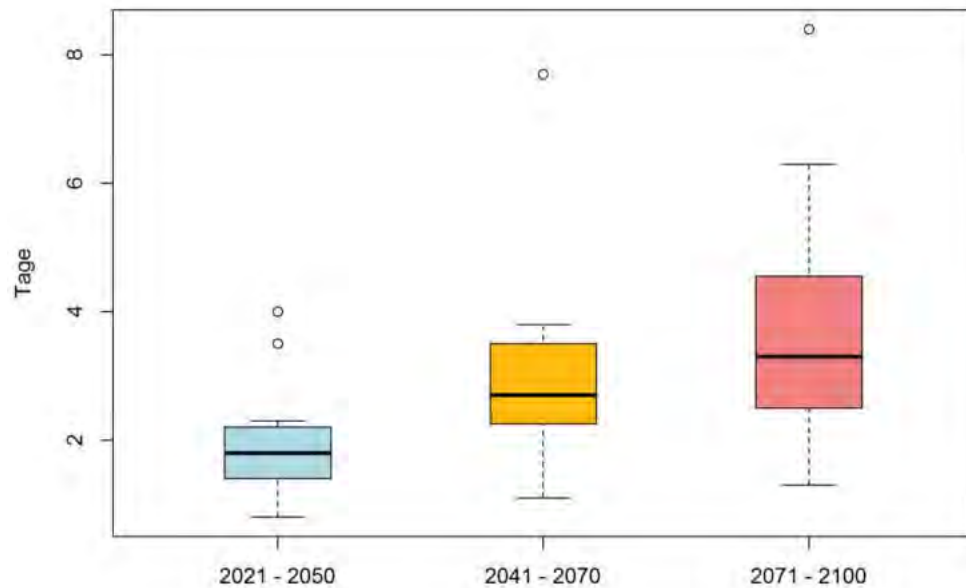


Abb. A 8: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30 \text{ °C}$) in Kaiserslautern. Szenario RCP 4.5

Tab. A 1: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Temperaturänderung projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 9 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 15 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 15 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 9 | 9 | 9 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| signifikante Zunahme | 9 | 9 | 9 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| Abnahme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| signifikante Abnahme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

10.1.2 Niederschlagsverschiebung

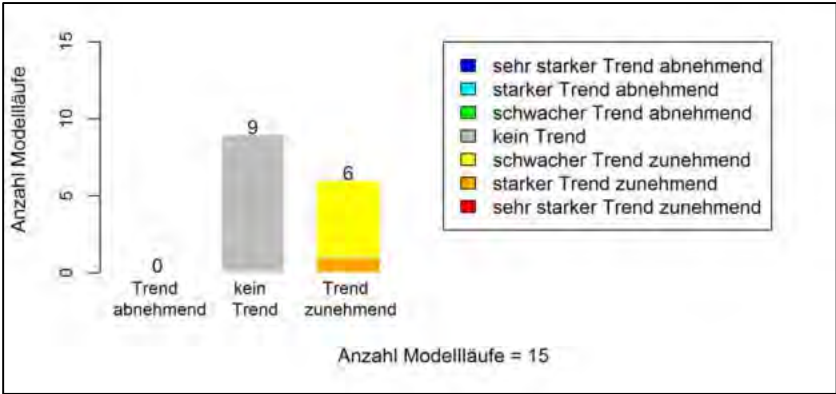


Abb. A 9: Trendbewertung des zeitlichen Trends der jährlichen Niederschlagssummen (RCP 8.5)

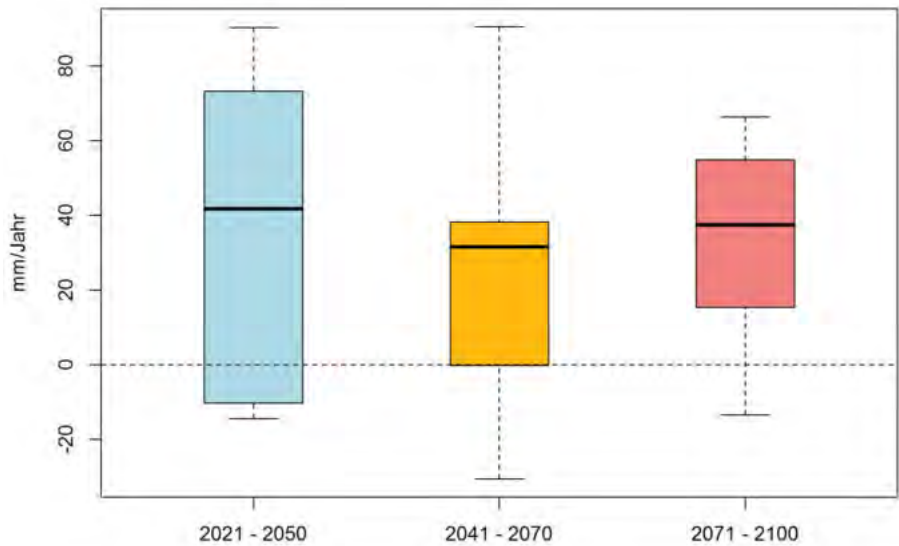


Abb. A 10: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

Tab. A 2: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der jährlichen Niederschlagssumme projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 9 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 15 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 15 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 6 | 6 | 8 | 12 | 12 | 15 | 14 | 14 | 13 |
| signifikante Zunahme | 4 | 1 | 2 | 6 | 4 | 9 | 7 | 8 | 9 |
| Abnahme | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| signifikante Abnahme | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

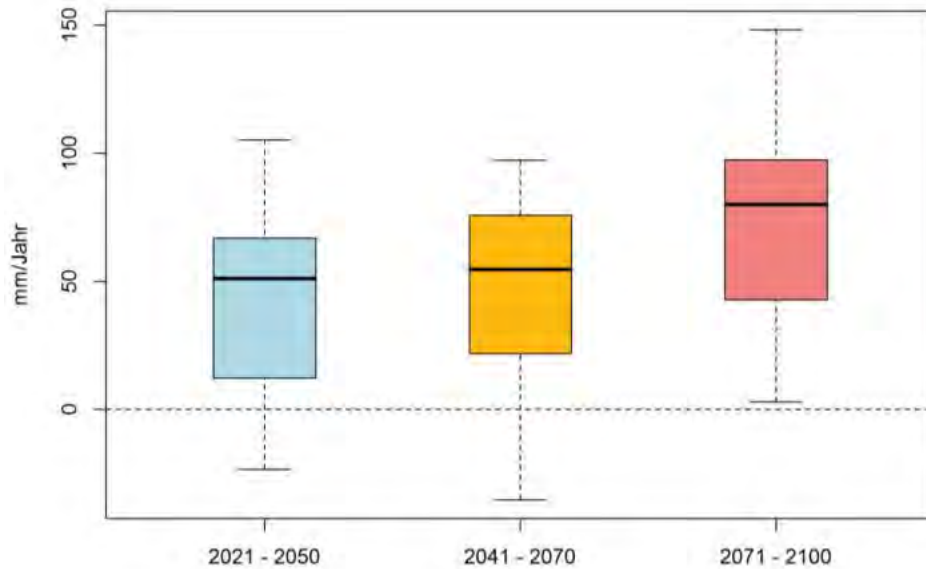


Abb. A 11: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

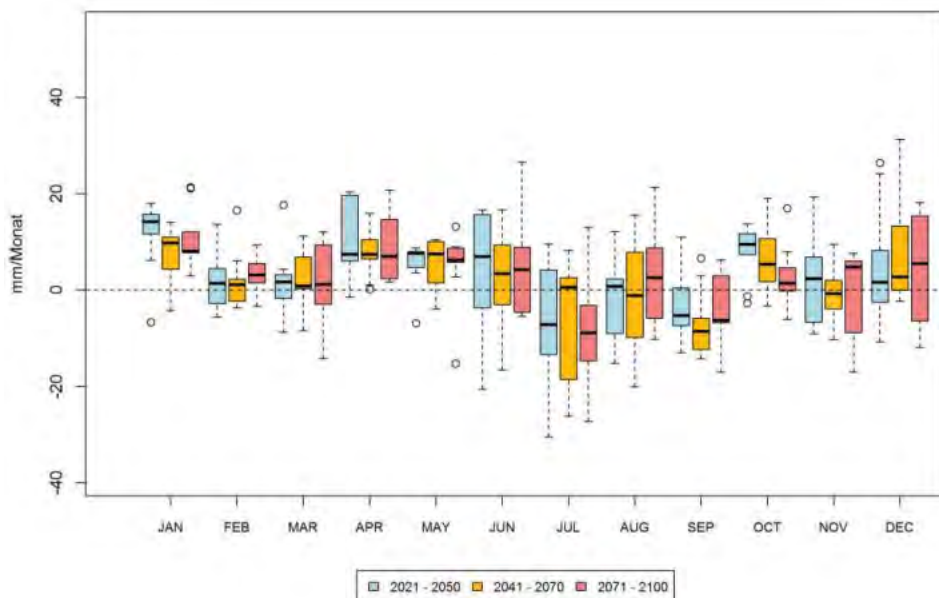


Abb. A 12: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

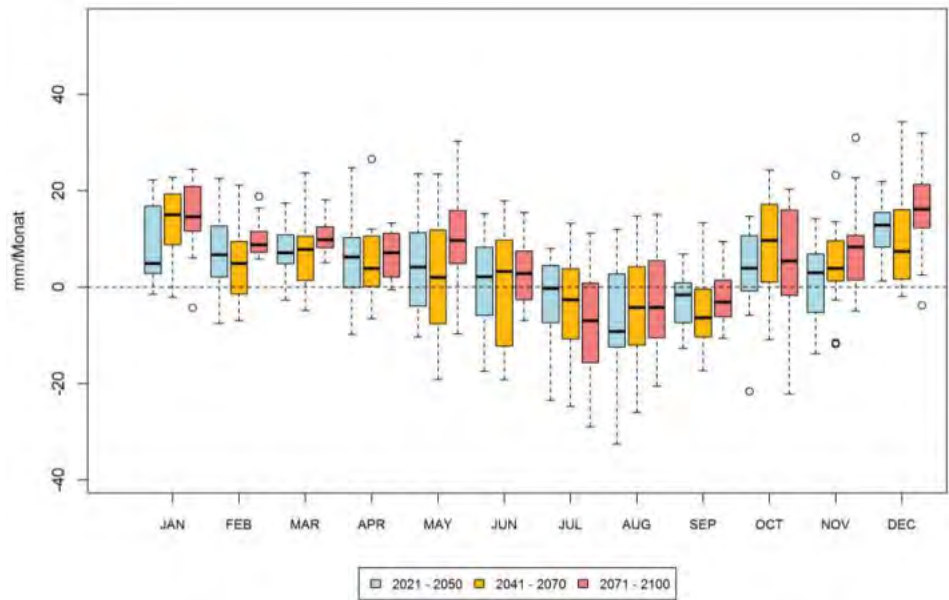


Abb. A 13: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

10.1.3 Trockenheit

Tab. A 3: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der jährlichen Klimatischen Wasserbilanz projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 7 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 13 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 13 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 10 | 12 | 9 | 9 |
| signifikante Zunahme | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| Abnahme | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 | 1 | 4 | 4 |
| signifikante Abnahme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

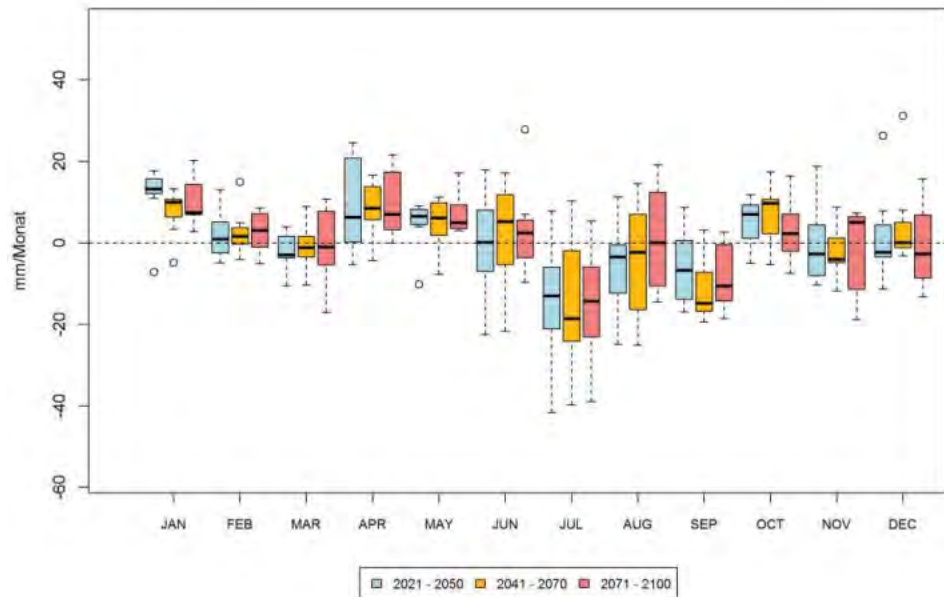


Abb. A 14: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Klimatischen Wasserbilanz in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

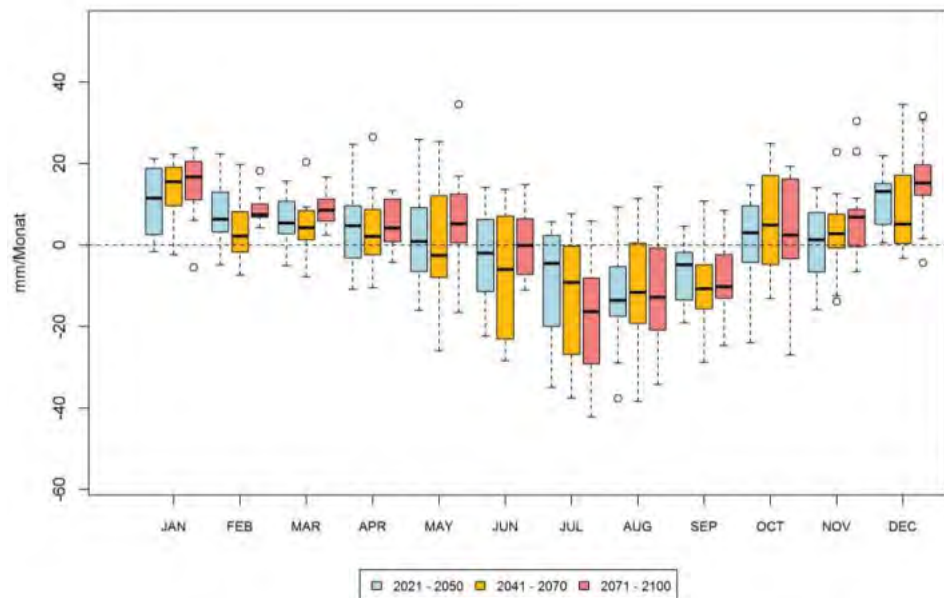


Abb. A 15: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Klimatischen Wasserbilanz in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

10.1.4 Starkniederschläge: Starker Niederschlag ($N \geq 10$ mm/d)

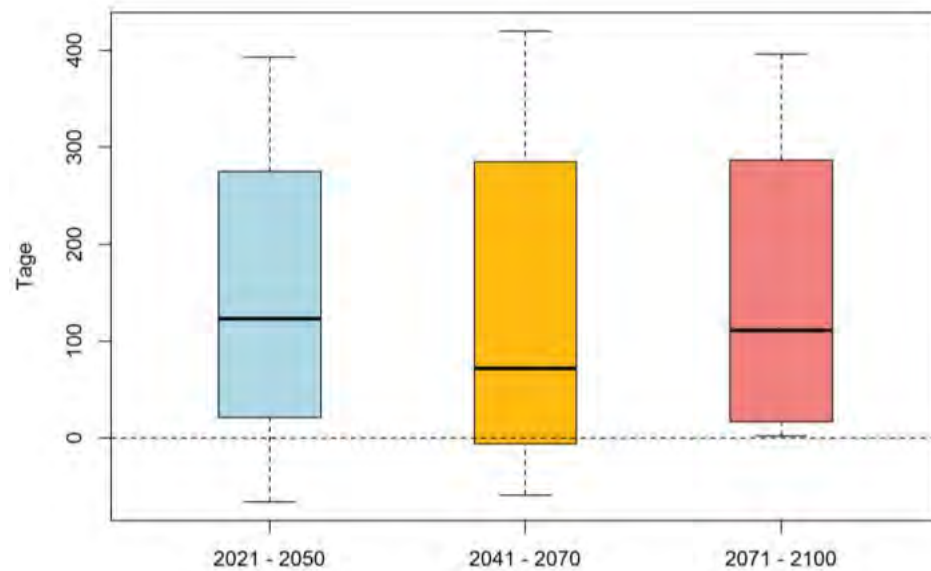


Abb. A 16: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 10$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

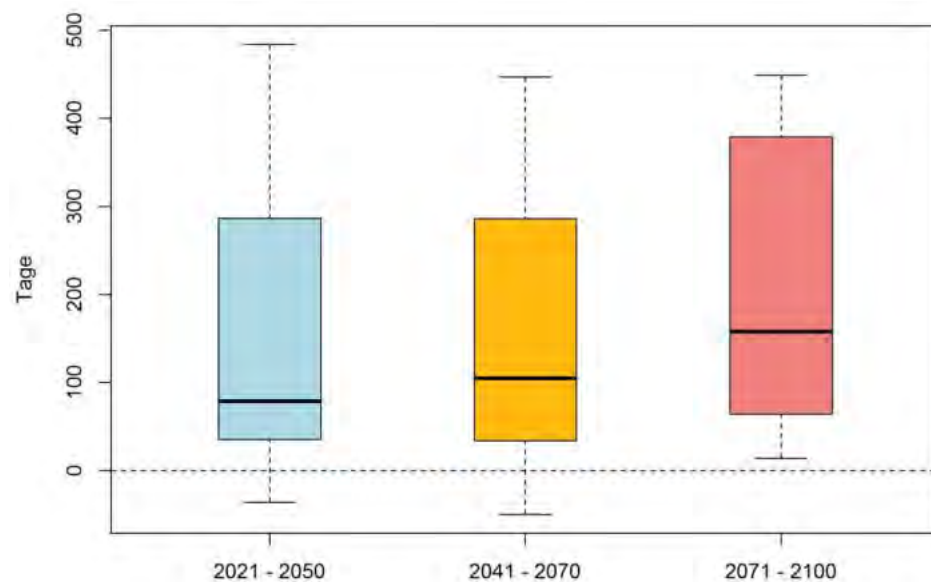


Abb. A 17: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 10$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

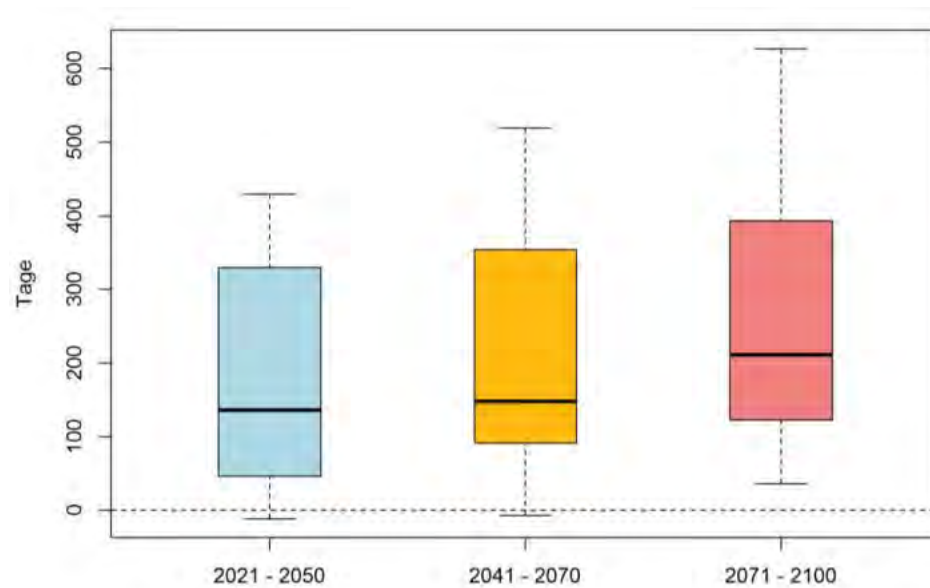


Abb. A 18: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 10$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5

Tab. A 4: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 10$ mm/d projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 9 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 15 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 15 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 7 | 6 | 9 | 12 | 12 | 15 | 13 | 14 | 15 |
| signifikante Zunahme | 4 | 2 | 4 | 4 | 8 | 9 | 8 | 10 | 12 |
| Abnahme | 2 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| signifikante Abnahme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

10.1.5 Starkniederschläge: Stärkerer Niederschlag ($N \geq 20$ mm/d)

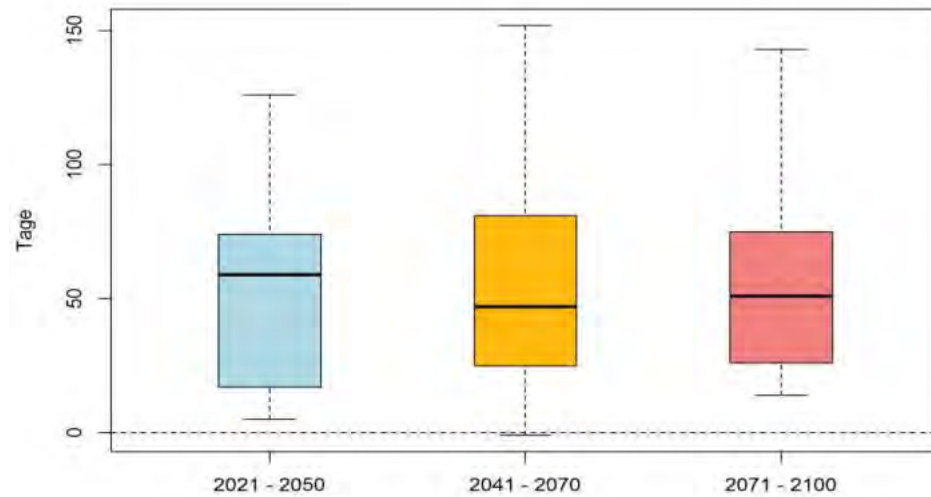


Abb. A 19: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 20$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

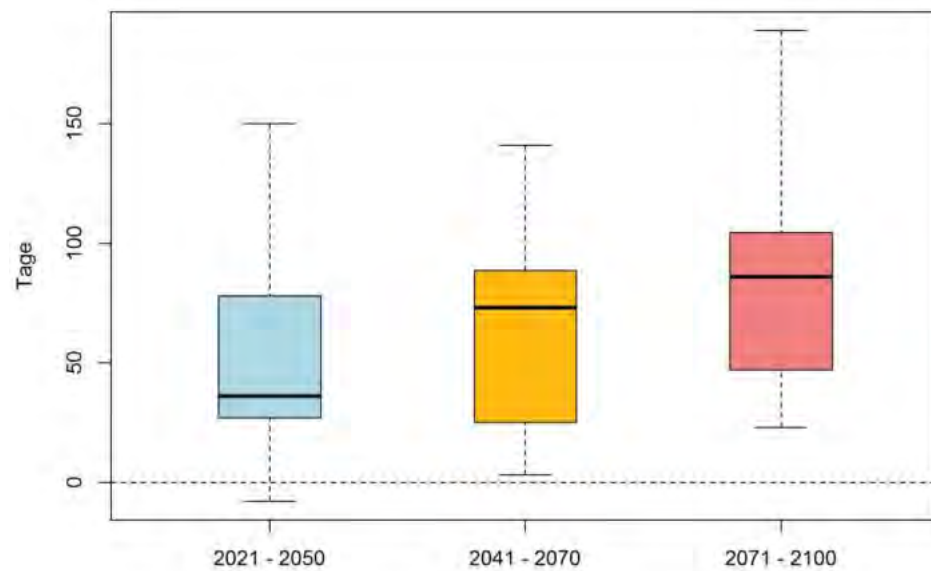


Abb. A 20: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 20$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

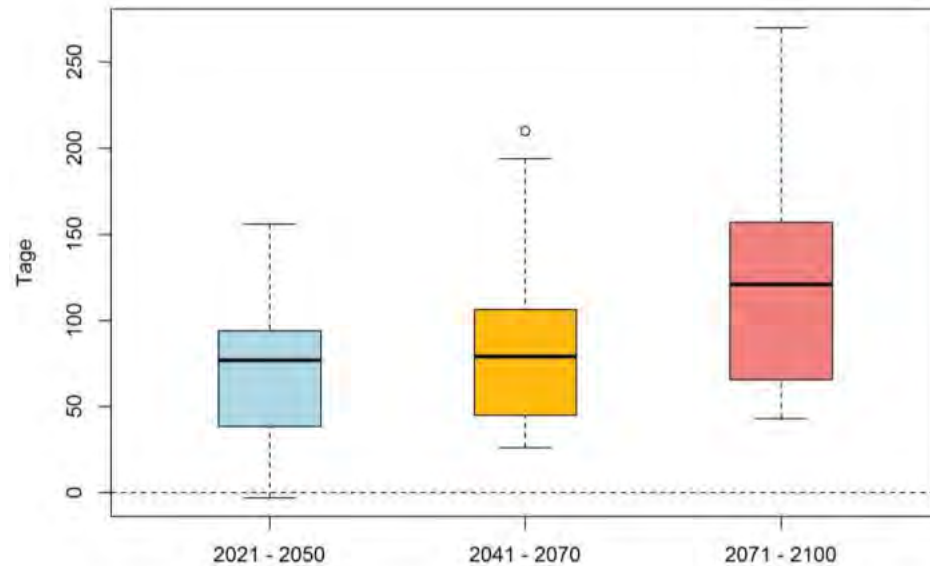


Abb. A 21: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 20$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 8.5

Tab. A 5: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 20$ mm/d projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 9 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 15 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 15 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 9 | 8 | 9 | 14 | 15 | 15 | 14 | 15 | 15 |
| signifikante Zunahme | 5 | 3 | 3 | 3 | 7 | 10 | 8 | 9 | 14 |
| Abnahme | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| signifikante Abnahme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

10.1.6 Starkniederschläge: Starkniederschlag ($N \geq 50$ mm/d)

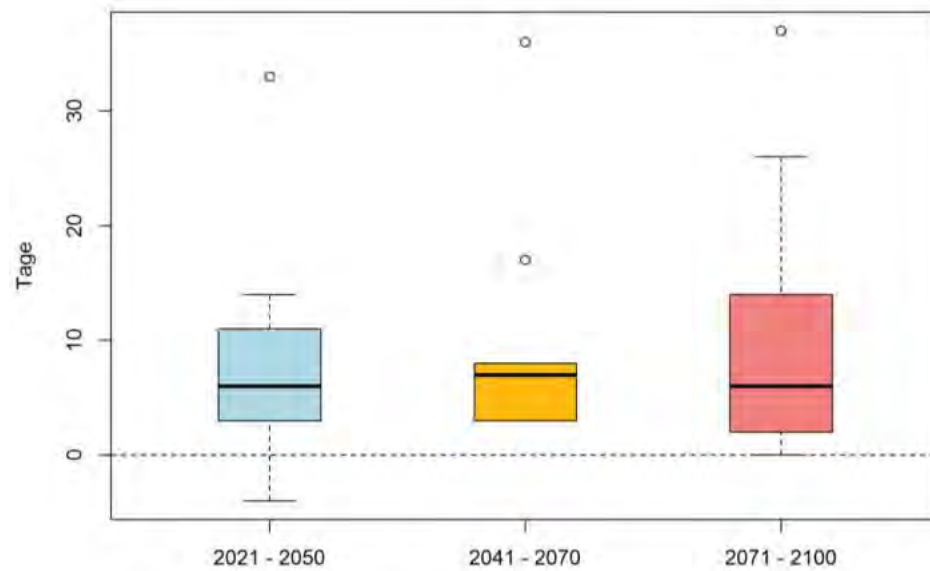


Abb. A 22: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 50$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

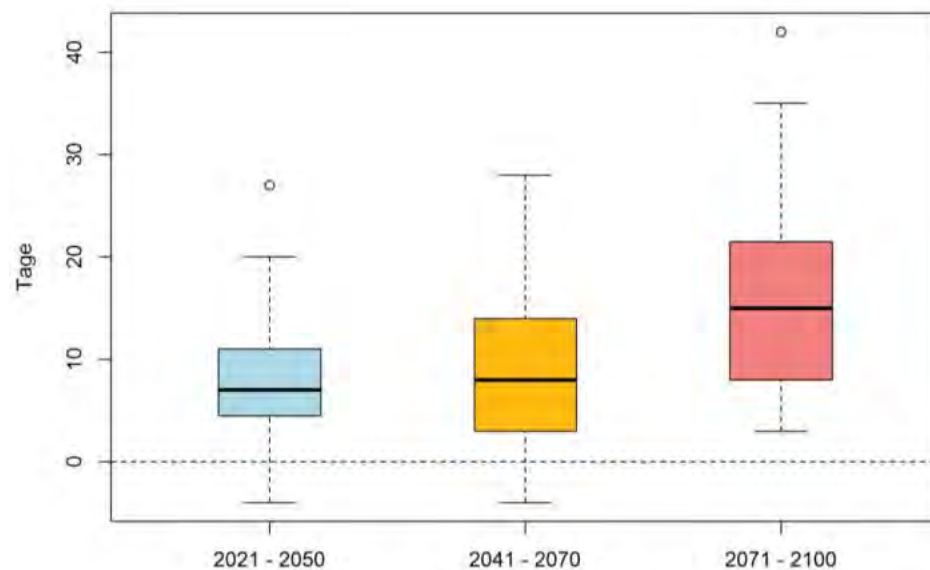


Abb. A 23: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 50$ mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

Tab. A 6: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 50$ mm/d projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 9 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 15 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 15 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 7 | 9 | 8 | 12 | 12 | 15 | 14 | 12 | 15 |
| signifikante Zunahme | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 6 | 4 | 6 | 8 |
| Abnahme | 2 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| signifikante Abnahme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

10.1.7 Sturm: Sturmereignisse (Bft 9)

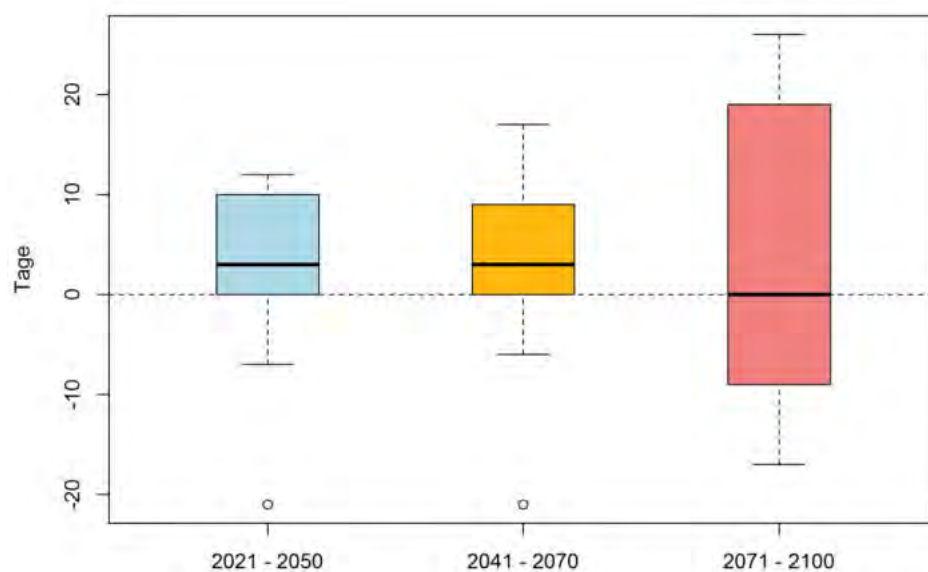


Abb. A 24: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Sturmereignissen (Bft 9) innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 2.6

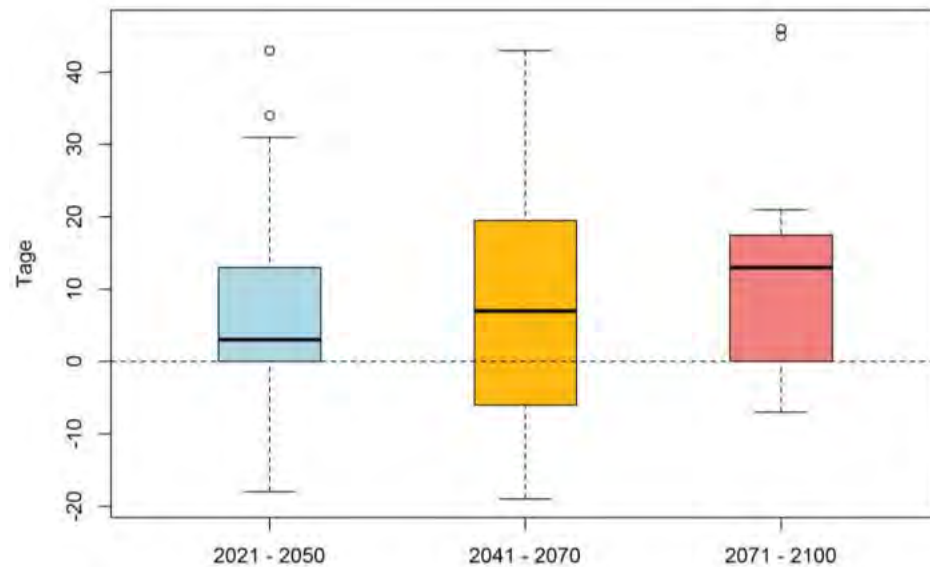


Abb. A 25: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Sturmereignissen (Bft 9) innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Kaiserslautern, Szenario RCP 4.5

Tab. A 7: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Sturmereignissen (Bft 9) projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 9 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 15 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 15 Modellkombinationen).

| | RCP 2.6 | | | RCP 4.5 | | | RCP 8.5 | | |
|----------------------|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 | P1 | P2 | P3 |
| Zunahme | 5 | 6 | 3 | 10 | 9 | 10 | 8 | 11 | 9 |
| signifikante Zunahme | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| Abnahme | 2 | 2 | 4 | 3 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 |
| signifikante Abnahme | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

10.1.8 Sturm

Die Auswertungen zum Thema Sturm erbrachten aufgrund der hohen Unsicherheit der Ergebnisse keine vertrauensvollen Aussagen. Aus diesem Grund sind die betreffenden Abbildungen und Tabellen an dieser Stelle nicht mit aufgeführt.

10.2 Anhang 2: Fragebogen Betroffenheitsanalyse (Beispiel Wasser)

Klimaanpassungskonzept Kaiserslautern –
Fragebogen

Name
Fachbereich
Datum

I. Was sind aus Ihrer Sicht (mögliche) Auswirkungen des Klimawandels auf das Handlungsfeld Wasser in Kaiserslautern?

| Auswirkungen | Bereits heute spürbar | Zukünftig erwartet | Nicht relevant | Erläuterungen (bei Bedarf) |
|--|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Grundwasser | | | | |
| Stark schwankende Grundwasserstände (Gefahr von Setzungen und Vernässungen) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Wasserverfügbarkeit | | | | |
| Eingeschränkte Wasserverfügbarkeit aus dem Grundwasser | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Eingeschränkte Wasserverfügbarkeit aus Oberflächengewässern | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Eingeschränkte Trinkwasserverfügbarkeit | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Mangel an Kühlwasser für thermische Kraftwerke | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Bodenwasserhaushalt | | | | |
| Veränderung des Bodenwassergehalts bzw. der Sickerwassermenge | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |



| | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Abflussverhältnisse (von Oberflächengewässern) | | | |
| Veränderung des Durchflusses durch Niederschlag und Schneeschmelze | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Veränderung des Durchflusses durch Trockenheit | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Zunahme von Flusshochwasser und Sturzfluten | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Infrastruktur an Oberflächengewässern | | | |
| Schäden an Wasserkraftanlagen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Schäden an wasserbaulichen Anlagen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Physikalisch-chemischer Gewässerzustand | | | |
| Beeinflussung des Gewässerzustands durch Schadstoffeinträge (z.B. aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Abwasserbewirtschaftung, Entwässerung | | | |
| Überlastung des Kanalnetzes und der Kläranlagen bei Starkregen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ablagerungs-, Korrosions- und Geruchsprobleme im Kanalsystem bei langen Trockenperioden | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Weitere Auswirkungen (bei Bedarf bitte ergänzen) | | | |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |



STADT
NÜRNBERG

10.3 Anhang 3: Controlling-Bogen

[illegible]

