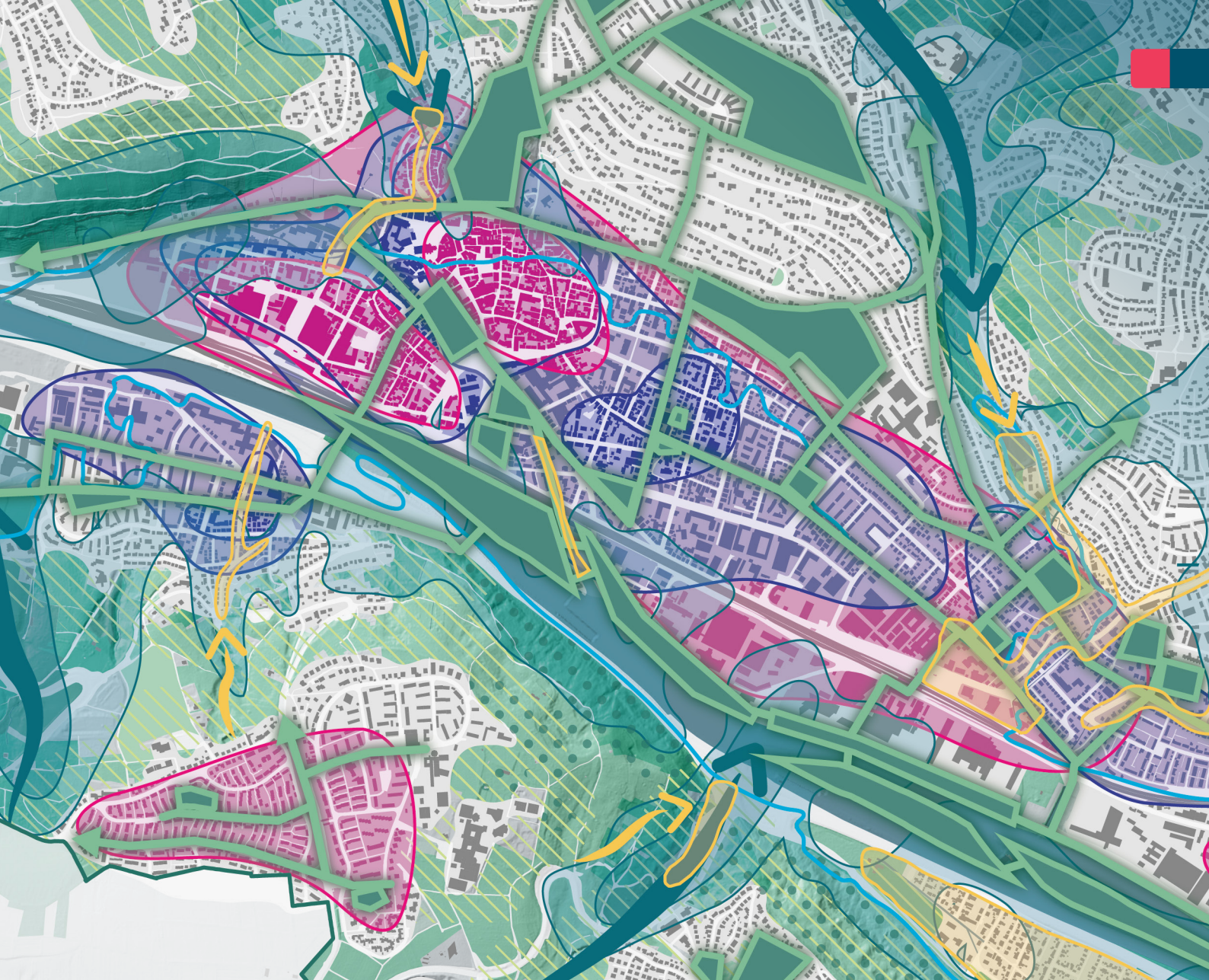




Fortschreibung Integriertes Klimaschutzkonzept

Klimaschutz und Klimaanpassung

www.esslingen.de

 **Stadt Esslingen
am Neckar**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Klimaschutz in Esslingen	7
1.1	Klimaschutzziele und Klimaneutralität	7
1.2	10 Jahre Energie- und Treibhausgasbilanz	7
1.3	Szenarien im Klimaschutz: Trend 2030, Klima 2030, Klimaneutralität	8
1.4	Pfad zur Klimaneutralität	10
1.5	Entwicklung des Energieverbrauchs nach Sektoren	10
1.6	Aktuelle Entwicklungen	11
2	Endenergie- und Treibhausgasbilanz Stadt Esslingen	13
2.1	Endenergiebilanz nach Sektoren 2017	13
2.2	Endenergie nach Energieträgern	14
2.3	Treibhausgase nach Sektoren 2017	15
2.4	Entwicklung der erneuerbaren Energien	16
2.5	Lokale Energieerzeugung	17
3	Die Sektoren im Einzelnen	18
3.1	Private Haushalte	18
	3.1.1 Heizwärme	18
	3.1.2 Strom	18
3.2	Verkehr	20
3.3	Wirtschaft	21
3.4	Städtische Liegenschaften	22

4	Potenziale	24
4.1	Erneuerbare Energien	24
4.1.1	Entwicklung der Photovoltaik	24
4.1.2	Installierte Leistung und Funktion von Gebäuden	26
4.1.3	Dachflächenpotenziale der Photovoltaik	26
4.1.4	Solarthermie	28
4.1.5	Biomasse	28
4.1.6	Umweltwärme, Oberflächengeothermie	29
4.1.7	Zusammenfassung Potenziale lokaler erneuerbarer Energien	29
4.2	Haushalte	30
4.2.1	Energieeffiziente Haushaltsgeräte	30
4.2.2	Stromverbrauch und Effizienzpotenziale	31
4.2.3	Heizwärmebedarfe Haushalte	32
4.2.4	Sanierungspotenziale Wohngebäude	33
4.3	Reduktionsszenarien Wirtschaft	34
4.4	Verkehr	35
4.5	Zusammenfassung Energieeinsparung Sektoren	37
5	Szenarien	38
5.1	Trend-Szenario und Klima Szenario 2030, Klimaneutralität	38
5.1.1	Szenarien Endenergie	38
5.1.2	Szenario Treibhausgase	40
5.1.3	Emissionsfaktoren für die Szenarien	41
5.2	Pfad zur Klimaneutralität	42
5.3	Sektorziele Klimaneutralität	43

6	Klimawandel und Klimaanpassung in Esslingen	46
6.1	Vorhandene Grundlagen mit Bezug zur Klimafolgenanpassung	46
6.2	Klimawandel in Esslingen: Zusammenfassung	47
6.3	Klimawandel in Esslingen: Datengrundlagen und Methodik	48
6.3.1	Beobachteter Klimawandel	48
6.3.2	Erwarteter Klimawandel	48
6.4	Beobachteter Klimawandel in Esslingen	53
6.5	Erwarteter Klimawandel in Esslingen	57
6.5.1	Temperaturzunahme und Hitze	57
6.5.2	Niederschlagsverschiebung und Trockenheit	61
6.5.3	Starkniederschlag	64
6.5.4	Wind und Sturm	67
6.6	Betroffenheit durch den Klimawandel	68
7	Maßnahmen	70
8	Synthese	76
8.1	Visuelle Darstellung (Entwurf)	76
8.2	Synergien und Betroffenheit zwischen Klimaanpassung und Klimawandel	79
	Literatur- und Quellennachweis	83
	Anhang I: Klimawandel in Esslingen	87
	Anhang II: Auswertung der Expert*innen-Befragung	97

1 Einleitung: Klimaschutz in Esslingen

1.1 Klimaschutzziele und Neutralität

Die fortschreitende Klimakrise fordert eine rasche Reduktion der fossilen Treibhausgasemissionen weltweit. Um die schlimmsten Auswirkungen der Klimaerhitzung zu verhindern, haben sich die meisten Nationen auf der Weltklimakonferenz 2015 in Paris auf eine Begrenzung des mittleren, globalen Temperaturanstiegs auf unter 2°C, möglichst 1,5°C bis zum Ende des Jahrhunderts verständigt. Viele Nationen wollen bis zum Jahre 2050 nahezu Klimaneutralität erreichen, was in den verbleibenden 3 Jahrzehnten eine ambitionierte Anstrengung bedeutet, die jetzige Treibhausgasemissionen auf nahe Null zu bringen. Dafür sind realistische Zwischenziele, z.B. bis 2030 und ein Szenario zur Erreichung Klimaneutralität nötig. In der Novellierung des Klimaschutzgesetzes 2021 hat sich die Bundesregierung als Ziel die Treibhausgasneutralität bis 2045 gesetzt. Die Reduktionsziele für 2030 wurden von 55% auf 65% gegenüber 1990 angehoben und ein weiteres Zwischenziel 2040 mit 88% weniger CO₂-Emissionen wurde eingefügt. Auch das Land Baden-Württemberg hat 2021 eine Novelle des Klimaschutzgesetzes verabschiedet. Als Ziel ist auch hier bis 2030 eine Reduktion der Treibhausgasemission von 65% festgelegt und bis 2040 soll "Klimaneutralität" erreicht werden. Die Stadt Esslingen am Neckar hat ihr erstes integrierte Klimaschutzkonzept 2010 erstellen lassen, mit einem Klimaschutzziel für das Jahr 2020 von 25% Treibhausgasminderung im Vergleich zu 2007. Das Jahr 2007 als Referenzjahr des Klimaschutzkonzeptes war auch die erste detaillierte Energie- und Treibhausgasbilanzierung der Stadt. In dieser Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes wird als Referenzjahr 2017 gesetzt und für

2020 eine Prognose abgegeben, da die Bilanzierungssoftware BICO₂-BW für die Jahre ab 2018 noch nicht aktualisiert wurde (Stand Dezember 2021). Die Bilanzen wurden seit 2007 jährlich fortgeschrieben, so dass über 10 Jahre die Entwicklung der Endenergieverbräuche und der Treibhausgasemission vorliegt. In der Fortschreibung des integrierten Klimaschutzkonzeptes wird evaluiert, ob die Klimaziele für 2020 erreicht werden, welche neuen Ziele für 2030 aufgestellt werden können und wie der Pfad zur Klimaneutralität aussehen könnte. Weiterhin werden die Potenziale für eine weitere CO₂-Reduktion nach Sektoren aufgestellt und die Maßnahmen überprüft und aktualisiert, mit denen zukünftige Klimaziele erreicht werden können.

1.2 10 Jahre Energie- und Treibhausgasbilanz

Seit 2007 wurde die Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Esslingen jährlich vom IFEU, Heidelberg fortgeschrieben. Die Ausgangsbilanz 2007 im ersten Klimaschutzkonzept der Stadt, wurde 2012 aufgrund einer neuen Datenlage aktualisiert. Als Software wurde das Bilanzierungswerkzeug vom IFEU BiCO₂-BW verwendet, das überwiegend im Land Baden-Württemberg zur Treibhausgasbilanzierung im kommunalen Klimaschutz eingesetzt wird. Anpassungen an die Datenlage durch einen neuen Forschungsstand sind bei der Treibhausgasbilanzierung üblich. Der Trend der Abnahme bei der Emission von Treibhausgasen über ein Jahrzehnt ist in Abb. 1 sehr gut ersichtlich. Auffällig sind die konjunkturellen Schwankungen im Sektor Industrie, wie ein Rückgang der Emissionen nach der Weltwirtschaftskrise 2008. In den Jahren 2019

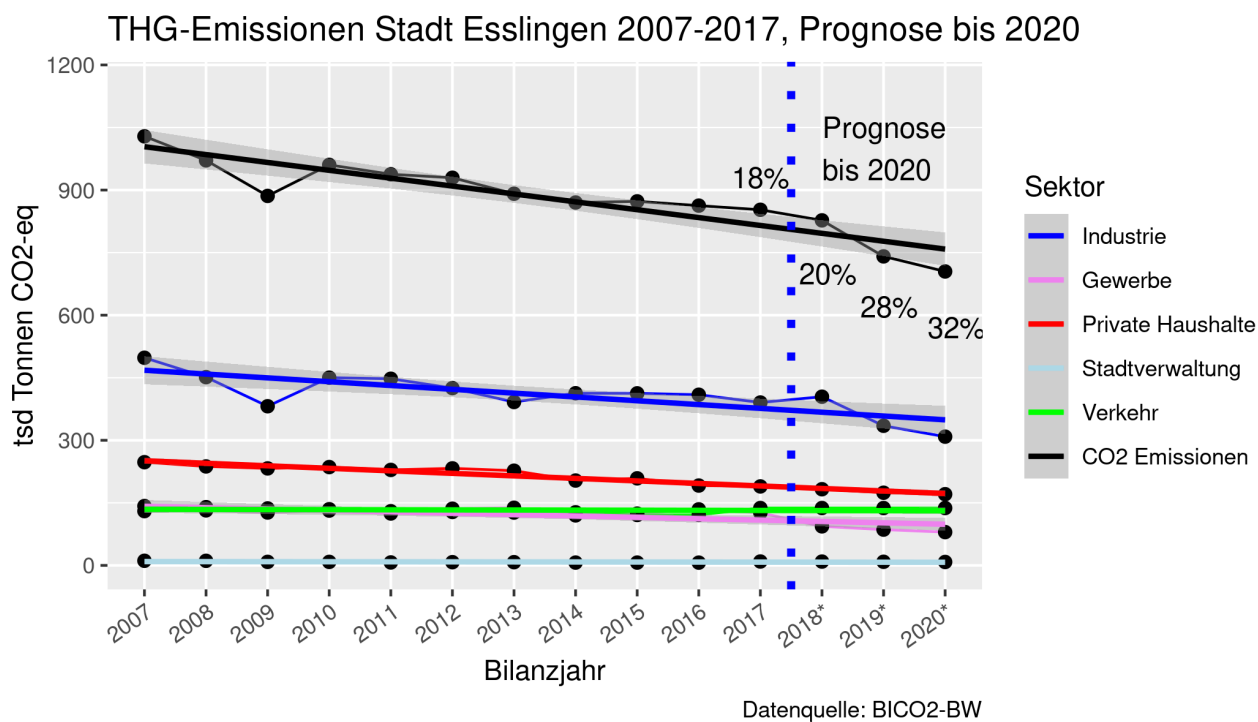


Abb. 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen

und 2020 sind Effekte durch den Lockdown in der Coronapandemie zu erwarten, die sich auf die Gesamtemissionen auswirken, aber in ihrer Größenordnung schwer zu beziffern sind. Weiterhin zeigt sich deutlich der Anteil der einzelnen Sektoren an der Gesamtemission. Der Sektor Industrie ist mit rund 47% an der Treibhausgasemission beteiligt. Es folgen die privaten Haushalte mit 23%, Gewerbe mit 15% und Verkehr mit 14%. Der Anteil der Stadtverwaltung macht etwa 1% an der Gesamtemission aus. Über die Jahre ist der Anteil der einzelnen Sektoren recht konstant, es ergeben sich nur Verschiebungen um einzelne Prozentpunkte.

In dem integrierten Klimaschutzkonzept von 2010 wurde für das Jahr 2020 zwei Szenarien aufgestellt. In dem Trendszenario wurde eine

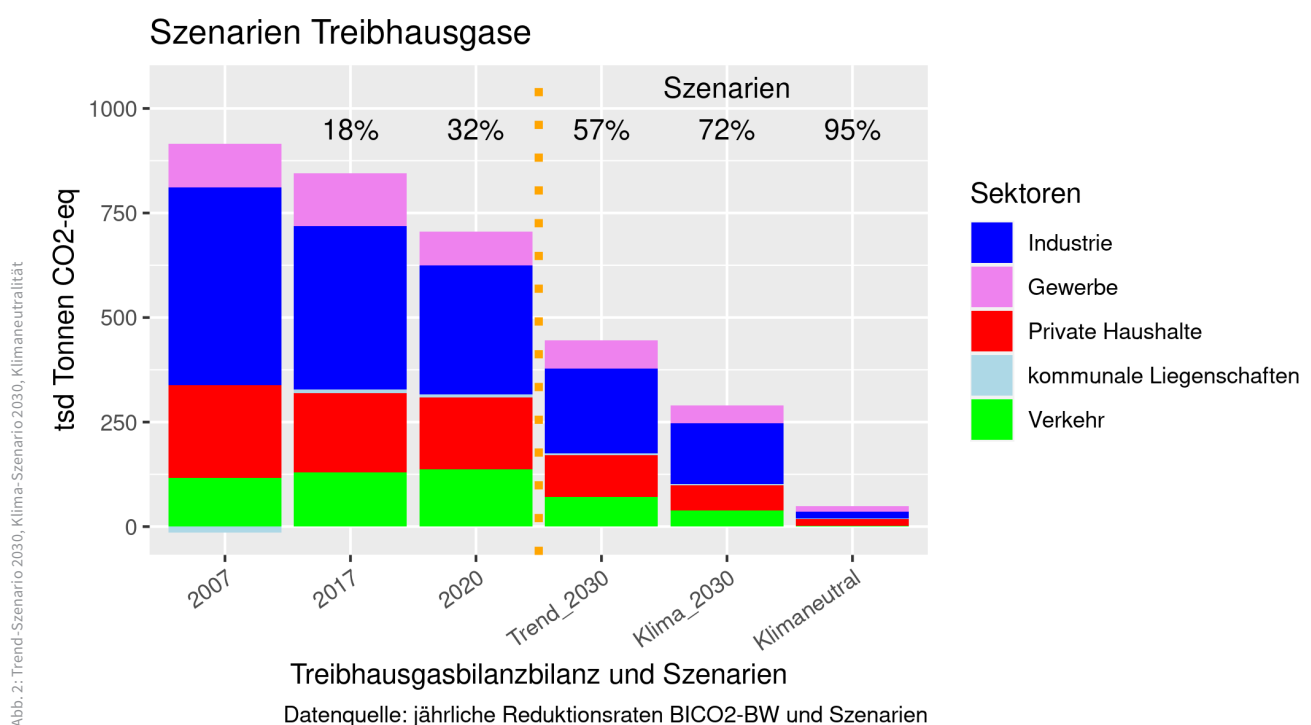
Reduktion der Treibhausgase von 12% und in dem Klimaszenario eine Reduktion von 27% prognostiziert. Daraus wurde für die Stadt Esslingen ein Klimaziel für 2020 mit einer Reduktion von 25% der Treibhausgase gegenüber 2007 abgeleitet. Das Klimaziel für 2020 wird somit erreicht. Die prognostizierte Treibhausgasreduktion für 2020 liegt voraussichtlich bei 32% gegenüber 2007.

1.3 Szenarien im Klimaschutz: Trends 2030, Klima 2030, Klimaneutralität

In der hier vorliegenden Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes im Jahr 2021 werden neue Szenarien im Klimaschutz für die Stadt Esslingen aufgestellt, die sich aus der Potenzialanalyse in Kapitel 4 in diesem Bericht ergeben. Wie schon

im ersten Klimaschutzkonzept wird eine Trend und ein Klima-Szenario aufgestellt (Kapitel 5). Weiterhin wird ein Ausblick auf eine zukünftige Klimaneutralität gegeben (Kapitel 5.2). Der Zeitpunkt dafür ist eine politischen Entscheidung der Stadt und gibt vor, wie ambitioniert Maßnahmen im Klimaschutz umgesetzt werden müssen. Bund und Länder streben zurzeit unterschiedliche Zeithorizonte an, in denen die Treibhausgasemission auf Nahe Null gesenkt werden soll. Die Bundesregierung setzt 2045 als Ziellinie, das Land Baden-Württemberg gibt in dem neuen Klimaschutzgesetz von 2021 an, dass 2040 Klimaneutralität erreicht werden soll. Eine klimaneutrale Landesverwaltung soll in Baden-Württemberg 2030 erreicht werden.

In den Klima-Szenarien (Abbildung 2) für Esslingen für 2030 wird in dem Trendszenario eine Reduktion der Treibhausgase von 57% und für das Klimaszenario eine Reduktion von 72% gegenüber 2007 prognostiziert. In dem Szenario für die Klimaneutralität wird von einer Reduktion der Treibhausgase von 95% gegenüber 2007 ausgegangen. Bei einer gleichbleibenden Bevölkerung bis 2030 bedeutet das eine pro Kopf Treibhausgasemission von 4,7 Tonnen CO₂-eq im Trendszenario und 3,1 im Klimaszenario. Im Falle der Klimaneutralität werden pro Kopf 0,5 Tonnen CO₂-eq erreicht. Die Berechnungswege und Annahmen für die Szenarien werden in Kapitel 5 vertieft dargestellt.



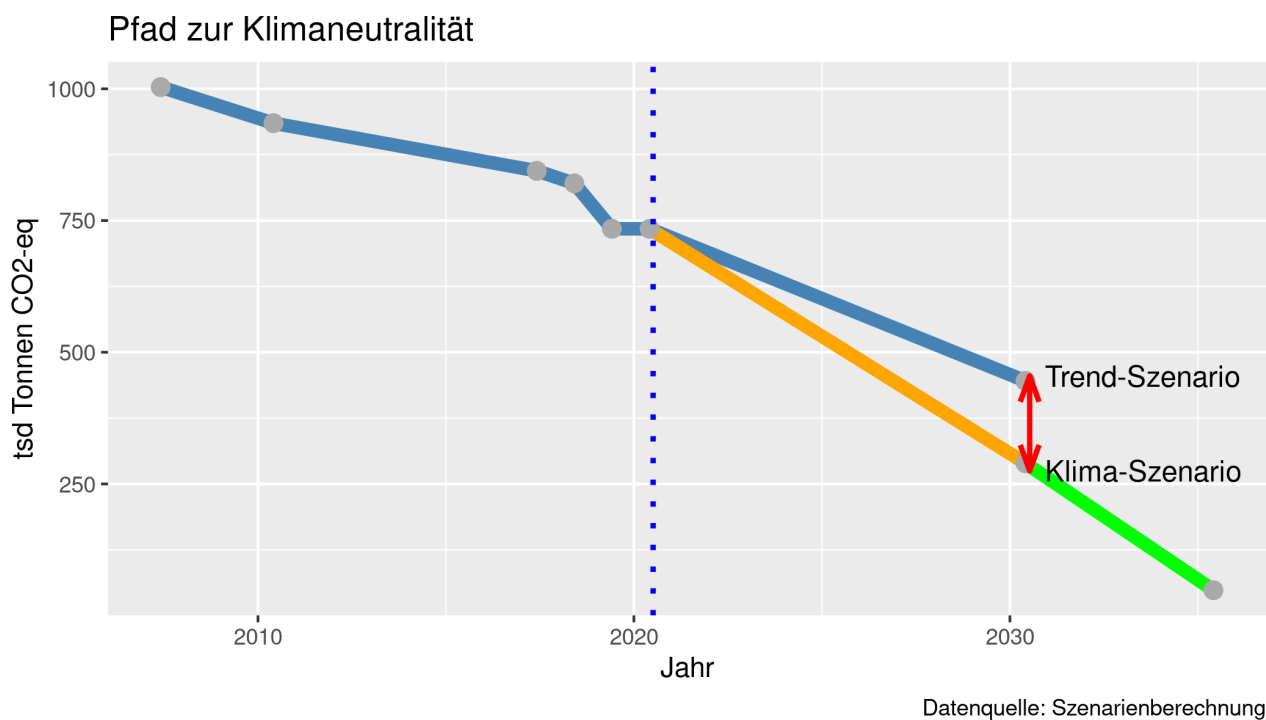


Abb. 3: Pfad zur Klimaneutralität Stadt Esslingen

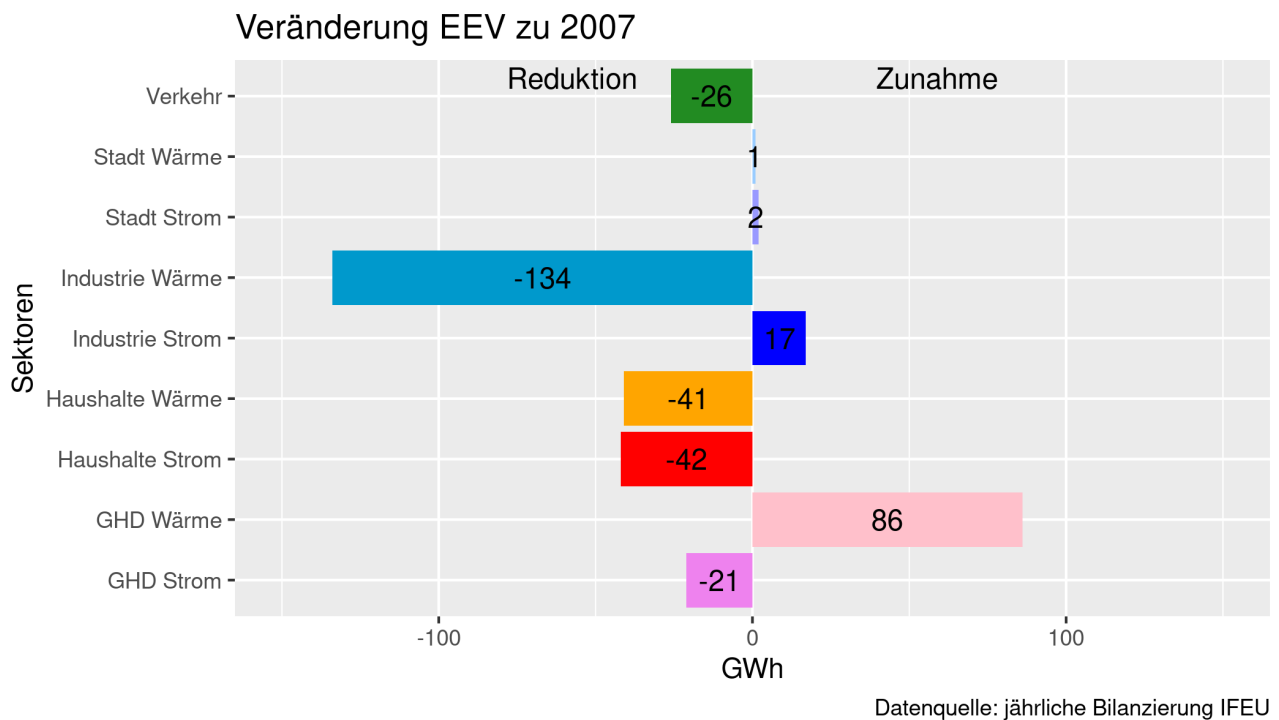
1.4 Pfad zur Klimaneutralität

Klimaneutralität kann schneller erreicht werden, wenn in den nächsten Jahren verstärkt Maßnahmen in allen Sektoren angegangen werden, die die Treibhausgasemissionen stark senken. Diese Entwicklung gemäß des Klimaszenarios vereinfacht es zukünftig auf den Pfad der Klimaneutralität einzuschwenken. Schematisch wird der Sachverhalt in Abbildung 3 gezeigt. Zwischen Trend- und Klimaszenario ergibt sich eine Differenz von ca. 176 Tsd Tonnen CO₂-eq. Vom Niveau des Klimaszenarios ist die Klimaneutralität einfacher zu erreichen. Strategisch und auch wirtschaftlich lohnt sich eine schnelle Reduktion der Treibhausgase hin zum Klimapfad.

1.5 Entwicklung des Energieverbrauchs nach Sektoren

In der Abbildung 4 mit der Veränderung des Endenergieverbrauchs gegenüber 2007 ist zu sehen, dass der Wärmeverbrauch im Sektor Industrie 2017 mit -134 GWh stark zurückgegangen ist, während der Stromverbrauch mit 17 GWh leicht angestiegen ist. Im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) steigt hingegen der Wärmeverbrauch um 86 GWh und der Stromverbrauch geht um -21 GWh zurück. Der Rückgang des Endenergieverbrauchs insgesamt, geht maßgeblich auf die Verringerung des Wärmeverbrauchs der Industrie zurück. Das wird zu einem erheblichen Anteil von der Zunahme des Wärmeverbrauchs im Sektor GHD kompensiert. Im Sektor Haushalte ist ein Rückgang zu etwa

Abb. 4: Veränderung der Endenergie nach Sektoren 2017 gegenüber 2007



gleichen Teilen beim Strom und der Wärme (-42 bzw. -41 GWh) zu verzeichnen. Auch ist im Sektor Verkehr ein Rückgang des Endenergieverbrauchs mit -26 GWh sichtbar. Im integrierten Klimaschutzkonzept von 2010 werden die Reduktionspotenziale für den Endenergieverbrauch für die Sektoren private Haushalte, GHD und Industrie abgeschätzt. Insgesamt wird vom IFEU ein Potenzial von 479 GWh als wirtschaftliches Potenzial ermittelt. Bis 2017 kommt es real zu einer Reduktion der Endenergie von insgesamt 158 GWh.

1.6 Aktuelle Entwicklungen

Der Endenergieverbrauch der Industrie macht in Esslingen ca. 39% und des Sektors GHD ca. 17% des gesamten Endenergieverbrauchs aus. Daher

beeinflussen konjunkturelle Schwankungen der Wirtschaft sehr stark die Energiebilanz. Bei der Erstellung des Klimaschutzkonzeptes 2021 liegen Energieverbrauchsdaten von Daimler vor, die auch die Jahre 2019 und 2020 umfassen. Der Daimlerstandort in Esslingen macht dort etwa 80% des Endenergieverbrauchs des Sektors Industrie aus. In Jahre 2019 gab es Umstellungen in der Gießerei, was den Energieverbrauch um etwa 14% reduzierte. Das Jahr 2020 ist geprägt durch den Lockdown in der Corona Pandemie mit ca. 27% weniger Energieverbrauch gegenüber 2017, durch eine verminderte Produktion und Kurzarbeit. Wegen des starken Rückgangs des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie in den Jahren 2019 und 2020 wurde eine Prognose für 2020 in der Fortschreibung berechnet. Die Prognose bezieht nur die rückläufigen

Energieverbräuche bei Daimler mit ein. Durch die Corona Pandemie ist auch der Sektor Verkehr betroffen, da im Lockdown die Mobilität stark eingeschränkt war. Bei der Prognose 2020 ist ein Rückgang der Treibhausgasemission von mindestens 32% zu verzeichnen. Aktuelle Entwicklungen in der Energiepolitik durch das CO₂ Handelssystem auf EU Ebene und günstige Wetterbedingungen für Windkraft haben 2019 zu Veränderungen im Strommix geführt. Wodurch auch die Bundesdeutschen Klimaziele für 2020 erreicht wurden. Auch das Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg verkündigte in einer Pressemitteilung (BW 2021) am 09.02.2021, dass das Klimaschutzziel des Landes nach den ersten Prognosen für das Jahr 2020 erreicht wurden. Hier ist aber auch davon auszugehen, dass verminderte Energieverbräuche durch den ersten Corona Lockdown eine Rolle spielten.

2 Endenergie- und Treibhausgasbilanz Stadt Esslingen

Das integrierte Klimaschutzkonzept der Stadt Esslingen am Neckar von 2010 bezog sich bei der Energie- und Treibhausgasbilanzierung auf 2007 als Referenzjahr Hertle H. (2010). Die Bilanzen wurden seither jährlich vom IFEU weitergeschrieben und in unregelmäßigen Abständen als Klimabilanzberichte veröffentlicht Esslingen (2011), Esslingen (2012), Esslingen (2013) und Walther (2016). Die Datengrundlage des integrierten Klimaschutzkonzeptes wurde im Klimabilanzbericht von 2012 Esslingen (2012) aufgrund von neuen Daten korrigiert und aktualisiert. Aus diesem Grund weicht die Energie- und Treibhausgasbilanz von 2007 als Ausgangsbilanz von der Bilanzierung im integrierten Klimaschutzkonzept von 2010 ab. In der Fortschreibung wird mit den korrigierten Werten gearbeitet.

Die Daten für die Treibhausgasbilanzierung stammten bis 2016 vom IFEU, Heidelberg. Für die Grunddaten für 2017 wurde der kommunale Datenservice der KEA (Energieagentur des Landes Baden-Württemberg) in Anspruch genommen. Diese Zusammenstellung von statistischen Daten umfasst Datenquellen des statistischen Landesamtes Baden-Württemberg und des Landesamtes für Umwelt LUBW. Endenergieverbräuche für Strom und Gas lieferten die Stadtwerke Esslingen (SWE). Erneuerbare Energieanlagen wurden über das Marktstammdatenregister ermittelt. Weitere Daten zu Energieverbräuchen der städtischen Liegenschaften lieferte die Abteilung Städtische Gebäude Esslingen (SGE). Die Daimler AG steuerte Energiedaten für die Gemarkung Esslingen bis von 2007 bis 2020 bei.

Das IFEU erstellte ab 2007 eine jährliche Endenergiebilanz und Treibhausgasbilanz für die Stadt Esslingen, somit können die Reduktionen im Energieverbrauch und der THG-Emissionen über einen Zeitraum von 10 Jahren betrachtet werden. Im Folgenden Abschnitt wird zunächst die aktuelle Bilanz 2017 mit der Bilanz von 2007 verglichen und die daran abzuleitenden Entwicklungen hervorgehoben. Es folgt eine Betrachtung der Entwicklung der Energieverbräuche und der THG-Emissionen über die letzte Dekade.

2.1 Endenergiebilanz nach Sektoren 2017

Die Summe der verbrauchten Endenergie der betrachteten Sektoren für die aktuelle Bilanzierung beläuft sich 2017 auf 2275 GWh. Im Klimabilanzbericht von 2012 (Korrektur der Bilanz des Klimaschutzkonzeptes 2010) wird ein Wert für die gesamte Endenergie von 2462 GWh für 2007 berechnet. Hieraus ergibt sich eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um rund 7,6%. In Jahr 2017 war der Sektor Industrie (Verarbeitendes Gewerbe) mit insgesamt 877 GWh und einem Anteil von 39% am Endenergieverbrauch beteiligt. Der Anteil dieses Sektors betrug für 2007 entsprechend 995 GWh mit einem Anteil von 40%. Den zweithöchsten Endenergieverbrauch weisen 2017 die privaten Haushalte mit 582 GWh und 26% auf. Der Wert für 2007 liegt bei 674 GWh und 27%. Es folgt der Sektor Verkehr, der 2017 mit 409 GWh und 18% am Endenergieverbrauch beteiligt ist, während der Anteil 2007 etwa 18% und 451 GWh ausmachte. Es folgt der Sektor GHD (Gewerbe und Sonstiges) mit 378 GWh einem Anteil 2017 von 16%, wobei der entsprechende Anteil 2007 bei 13% und 313 GWh lag. Der kommunale Bereich mit den kommunalen

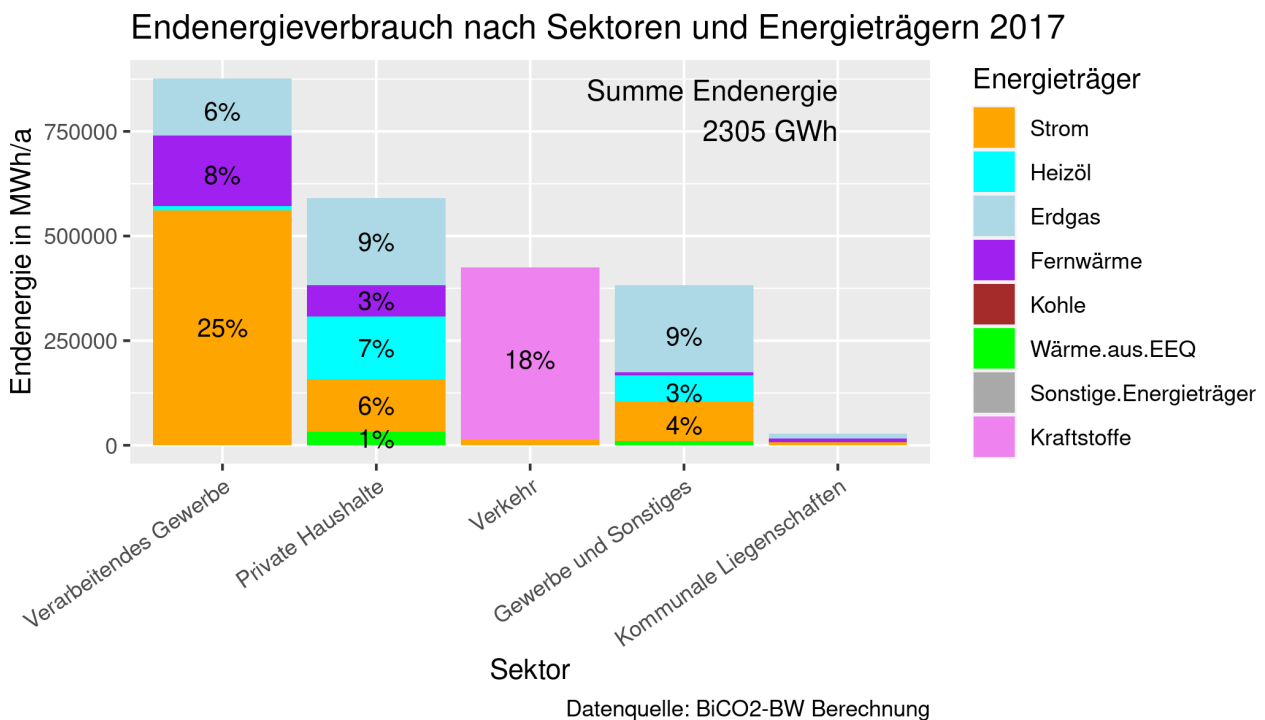


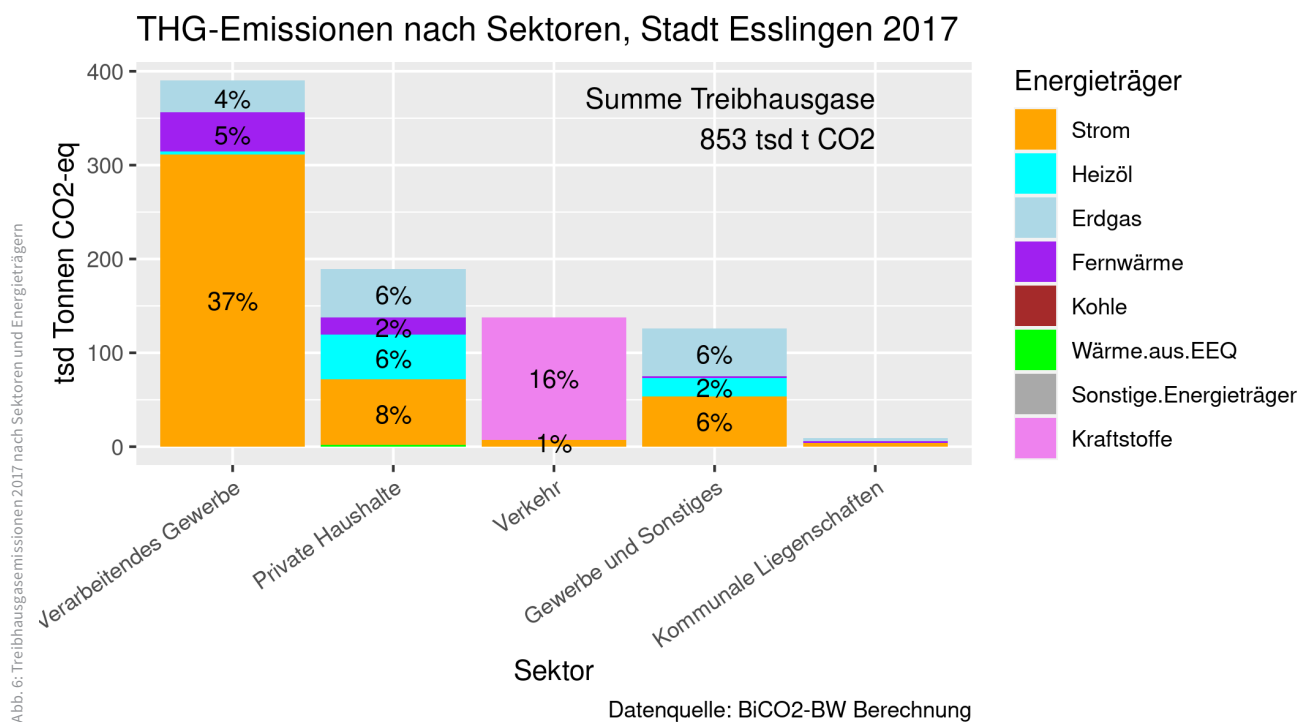
Abb. 5: Endenergieverbrauch nach Sektoren

Liegenschaft verbrauchte 2017 28 GWh und 2007 29 GWh, was in beiden Jahren etwa 1% am Endenergieverbrauch ausmacht (Abbildung 5).

2.2 Endenergie nach Energieträgern

Der Endenergieverbrauch wird auch nach Energieträgern aufgeschlüsselt. Dabei ergibt sich für 2017, dass Strom mit 791 GWh und 43% den größten Anteil übernimmt. Im Jahr 2007 wurden 836 GWh Strom verbraucht mit einem Anteil von 42%. Bei der verbrauchten Wärme führt Erdgas 2017 mit 565 GWh und einem Anteil von 30%, gegenüber 2007 mit 509 GWh und einem Anteil von 25%. Der Energieträger Heizöl ist 2017 mit 222 GWh und einem Anteil von 12% jeweils zur Hälfte in dem Sektor private Haushalte und GHD vertreten. Im Jahr 2007 wurden 265 GWh Heizöl

und 146 GWh Kohle zum Heizen verbraucht (jeweils 13% und 7%). Der Anteil der Fern- und Nahwärme macht 2017 258 GWh mit einem Anteil von 14% aus. Im Jahr 2007 lag der Anteil der Nah- und Fernwärme mit 245 GWh bei 12%. Im Sektor Verkehr wurden 2017 409 GWh als Treibstoffe und 10 GWh als Strom verbraucht mit einem Anteil von 18% gegenüber einer Gesamtenergiemenge im Verkehrsbereich (Treibstoffe und Strom) von 451 GWh in dem Jahr 2007 und einem Anteil von 18%. Die folgende Abbildung 5 zeigt den Endenergieverbrauch der einzelnen Sektoren der Stadt Esslingen für 2017 mit den prozentualen Anteilen der Energieträgern.



2.3 Treibhausgase nach Sektoren 2017

Die gesamten Treibhausgasemissionen 2017 in der Stadt Esslingen belaufen sich auf 844 tausend Tonnen CO₂-Äquivalente. Zehn Jahre zuvor wurden noch 1028 tausend Tonnen Treibhausgase ausgestoßen, was einer Reduktion von 18% gegenüber 2007 entspricht. Der Sektor mit dem höchsten Ausstoß stellt die Industrie (als verarbeitendes Gewerbe) mit rund 391 tausend Tonnen THG-Emission dar, was 47% der Gesamtemission ausmacht. Im Jahre 2007 trug dieser Sektor mit 498 tausend Tonnen der THG-Emission bei. Als nächstes kommen die privaten Haushalte mit 189 tausend Tonnen und einem Anteil von 22% an der Gesamtemission. Vor 10 Jahren wurden noch 247 tausend Tonnen durch den Sektor private Haushalte verursacht

mit einem Anteil von 24%. Der Sektor Verkehr macht 2017 etwa 129 tausend Tonnen und 16% der THG-Emission aus. Im Jahr 2007 lag dieser Wert noch bei 142 tausend Tonnen mit einem Anteil von 14%. Der Sektor GHD (Gewerbe und Sonstiges) trug 2017 rund 126 tausend Tonnen zur gesamten THG-Emission bei und hatte dabei einen Anteil von 14% gegenüber 130 tausend Tonnen und 13% im Jahre 2007. Die städtischen Liegenschaften machen weniger als 1% der Gesamtemission mit rund 9285 Tonnen THG aus. Der entsprechende Wert lag 2007 bei 11048 Tonnen CO₂-Äquivalente. Wird die pro Kopf THG-Emission betrachtet, so verringerte sie sich von 10,9 Tonnen pro Kopf in 2007 auf 9,0 Tonnen pro Kopf in 2017. Die folgende Abbildung 6 zeigt die gesamten Treibhausgasemissionen nach Sektoren der Stadt Esslingen für 2017.

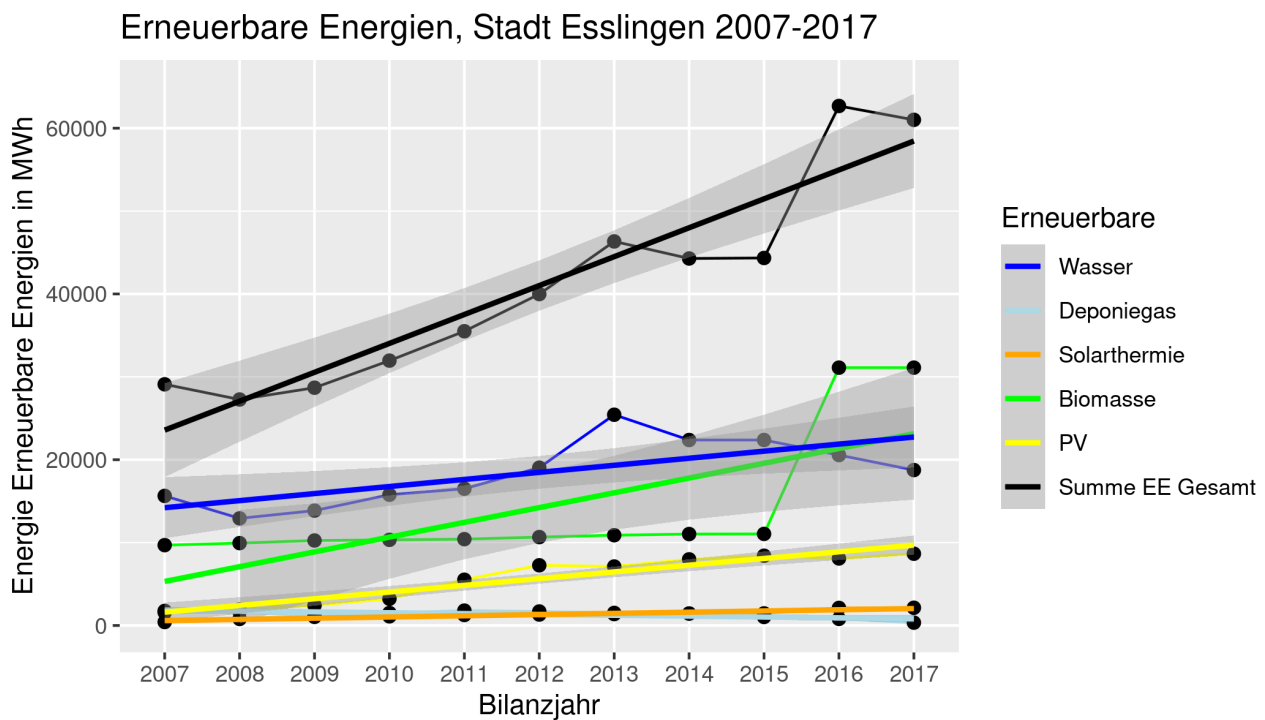


Abb. 7: Erneuerbare Energie, zeitliche Entwicklung

2.4 Entwicklung der erneuerbaren Energien

Die folgende Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der erneuerbaren Energien in Esslingen anhand des erzeugten Stroms und der gewonnen Wärme. Die Wasserkraft macht den größten Anteil des erzeugten Stroms mit Schwankungen zwischen 13 und 25,4 GWh (höchster Wert in 2013) über die Jahre 2007 bis 2017 aus. Bei der Wärme dominiert die Biomasse mit einer Wärmeerzeugung

zwischen 9,6 und 11 GWh zwischen 2007 und 2015 und einer Erzeugung von 31 GWh ab 2016. Die Stromgewinnung aus Photovoltaik erfuhr eine Steigerung von 1,5 GWh in 2007 auf 8,6 GWh in 2017. Auch die Wärmegewinnung aus der Solarthermie stieg im gleichen Zeitraum von 0,4 GWh auf 4,5 GWh. Die Nutzung von Deponiegas zur Wärmegewinnung ging von 1,7 GWh in 2007 auf 0,3 GWh in 2017 zurück.

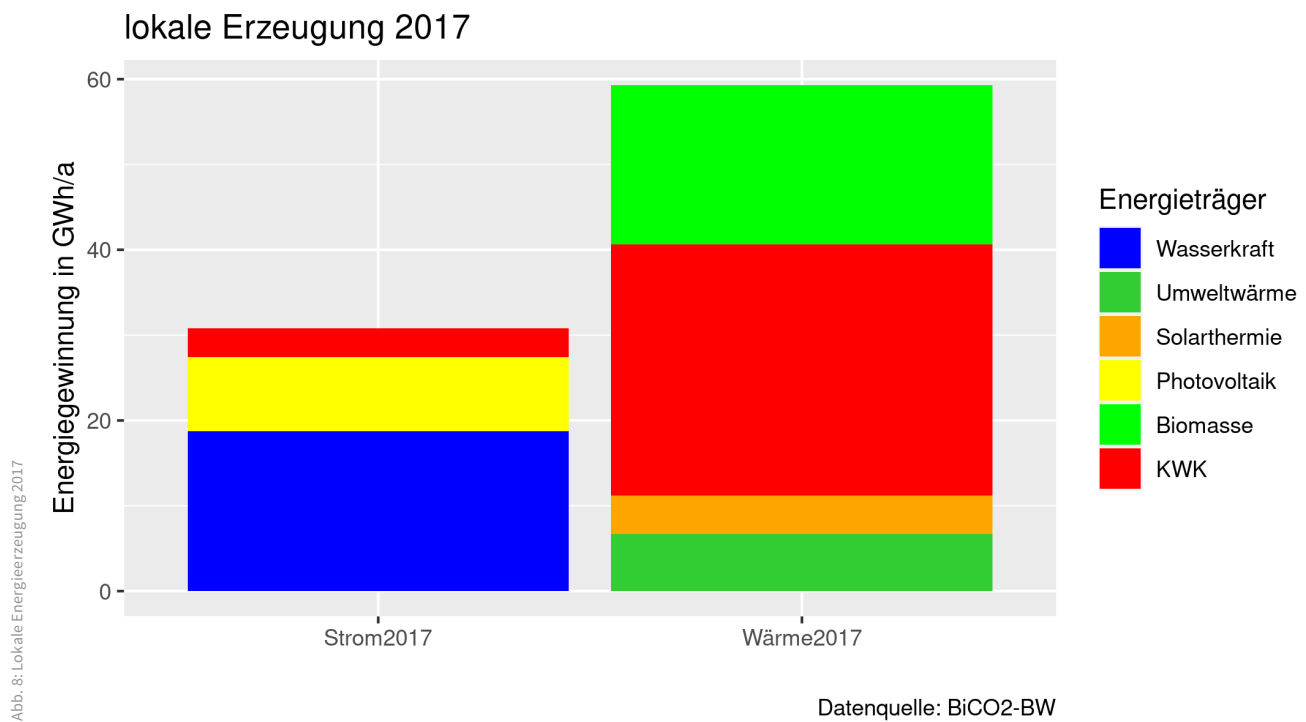


Abb. 8: Lokale Energieerzeugung 2017

2.5 Lokale Energieerzeugung

Über lokale Anlagen mit erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) werden im Jahre 2017 in Esslingen 30,8 GWh Strom und 71,6 GWh Wärme erzeugt. Der Anteil der erneuerbaren Energien beim Gesamtstromverbrauch macht

3% und bei der Wärmebereitstellung 4% aus. Der Anteil der Energieerzeugung durch KWK ist beim Strom 1% und bei der Wärme 3%. Durch die lokale Energieerzeugung kommt es zu einer Treibhausgaseinsparung von insgesamt 25 tausend Tonnen CO₂-Äquivalente, mit 15,8 tausend Tonnen im Strombereich und 9,2 tausend Tonnen im Wärmebereich (Abbildung 8).

3 Die Sektoren im Einzelnen

3.1 Private Haushalte

3.1.1 HEIZWÄRME

Als Energieträger bei der Heizwärme in privaten Haushalten hat Erdgas mit rund 46% den größten Anteil, gefolgt von Heizöl mit einem Anteil von 33% und Fernwärme mit 16%. Die Heizung aus erneuerbaren Quellen macht ca. 5% aus (Abbildung 9).

Energieträger Heizwärme Haushalte 2017

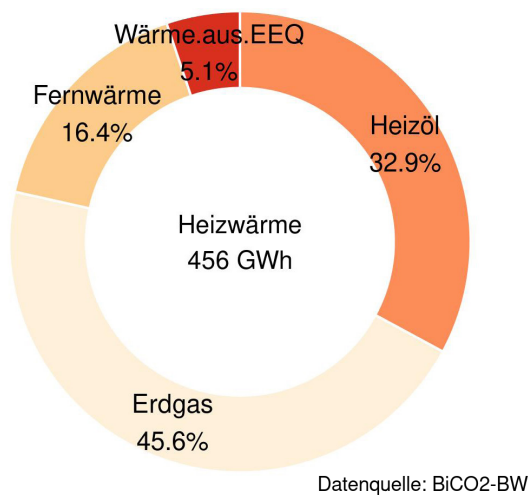


Abb. 9: Heizwärme, Sektor Haushalte

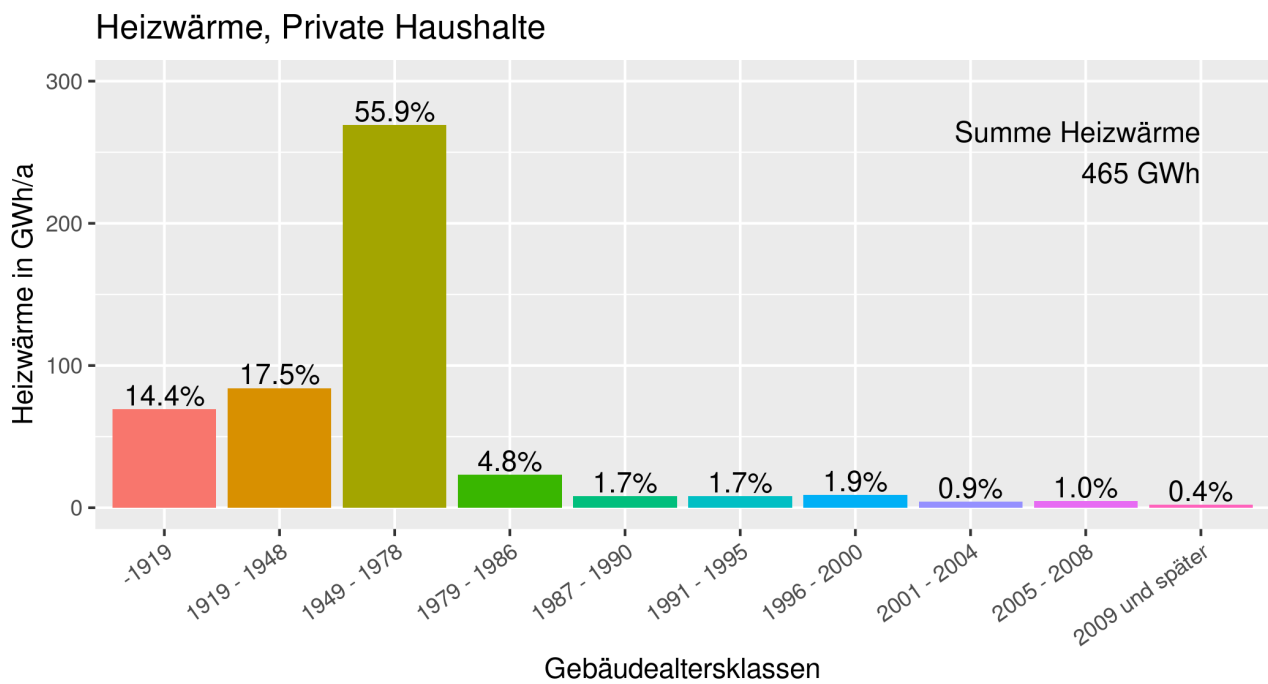
Im Folgenden wird der Heizwärmebedarf der privaten Haushalte anhand der Baualtersklassen analysiert (Abbildung 10). Der Bedarf an Heizwärme kann den einzelnen Gebäudealtern zugeordnet werden. Dafür werden die Gebäudealter aus dem Zensus 2011 Daten herangezogen. An die 56% des Heizwärmeverbrauchs entfallen auf die Klasse mit dem Gebäudealter 1949-1978, die auch zahlenmäßig die meisten Gebäude aufweist. Es folgt die Baualterklasse davor

(1919-1948) mit rund 18% des Heizwärmebedarfs. Gebäude die vor 1919 gebaut wurden benötigen 14% der Heizwärme. Gebäude, die nach 1979 gebaut wurden, sind insgesamt zu 12,4% am Heizwärmeverbrauch beteiligt.

3.1.2 STROM

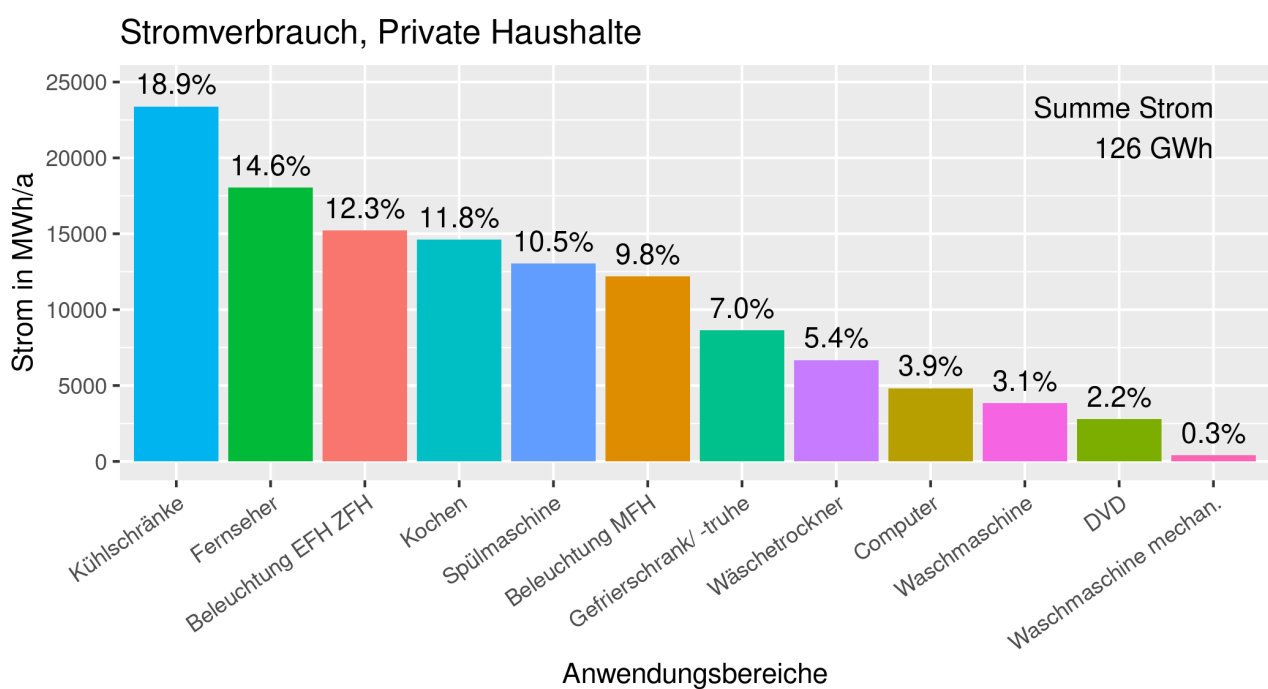
Nach den Anwendungsbilanzen des RWi Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (2019), kann der Stromverbrauch in privaten Haushalten weiter differenziert werden und den einzelnen Anwendungsbereichen und Geräten zugeordnet werden (Abbildung 11). Rund 19% des Stromverbrauchs wird von der Nutzung von Kühlschränken verursacht. Es folgt der Strombedarf von Fernsehern mit rund 15% des Stromverbrauchs. Die Beleuchtung hat einen Anteil von ca. 12% in Einfamilienhäusern (EFH) und ca. 10% in Mehrfamilienhäusern (MFH). Das Kochen verbraucht um die 12% des Stroms und die Spülmaschinen um die 11%. Es folgt mit 7% die Gefrierschränke und mit 5% die Wäschetrockner. Die Nutzung von Computern macht etwa 4% des Stromverbrauchs in privaten Haushalten aus. Bei der Waschmaschine wird differenziert zwischen dem Aufheizen des Wassers mit etwa 3% und der mechanischen Energie mit 0.3% des Stromverbrauchs. Unterhaltungsmedien, wie DVD und Stereoanlagen liegen bei rund 2% des gesamten Stromverbrauchs. Die Aufteilung der Strommengen nach den einzelnen Geräten wird hier vorgenommen, um die Einsparpotenziale im nächsten Schritt abschätzen zu können (Kapitel 4.2.2).

Abb. 10: Heizwärme, Sektor Haushalte nach Gebäudetypen



Datenquelle: Zensus 2011, Gebäudetypologie

Abb. 11: Stromverbrauch, Sektor Haushalte

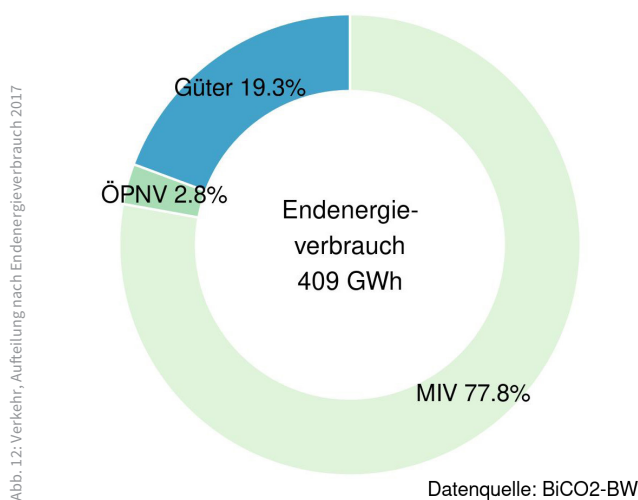


Datenquelle: Fortschreibung Zensus, BiCO2-BW, RWI-Anwendungsbilanzen 2017

3.2 Verkehr

Der Endenergieverbrauch des Sektors Verkehr betrug 2017 insgesamt 409 GWh, während 2007 dieser Wert bei 451 GWh lag. Einen Anteil von rund 78% hatte 2017 dabei der motorisierte Individualverkehr (MIV), auf den Güterverkehr entfielen 19,3% und auf den öffentlichen Nahverkehr 2,8%. In der Bilanz 2007 findet sich eine Aufteilung mit 75% für den MIV, 17% Güterverkehr, 3,3% Bus und 4% für den Schienenverkehr.

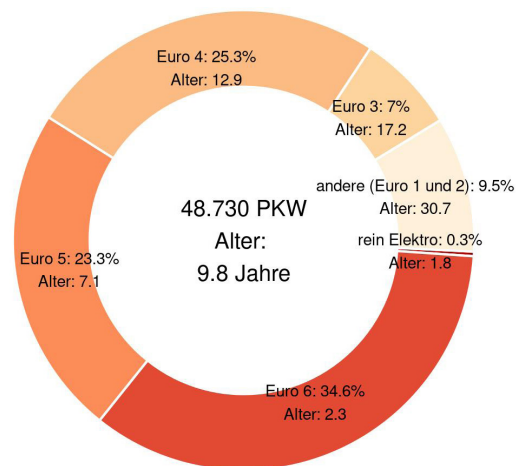
Endenergieverbrauch Verkehr 2017



Aus der Zulassungsstatistik des Kraftfahrtbundesamtes lassen sich die PKW nach Schadstoffklassen und Alter analysieren. Das durchschnittliche Alter aller PKW in Esslingen beläuft sich auf knapp 10 Jahre (Abbildung 13). Somit kann angenommen werden, dass es etwa 10 Jahre dauert, bis die gesamte PKW Flotte erneuert wird. In Hinblick auf die Verkehrswende

und die Zunahme von Elektromobilen ist das ein relevanter Zeitraum, mit dem bei neuen Mobilitätskonzepten gerechnet werden muss. Bisher fahren nur rund 0,3% aller Fahrzeuge in Esslingen rein elektrisch. Den größten Anteil, mit etwa einem Drittel der PKW mit Verbrennungsmotor, machen Fahrzeuge der Euro Norm 6 aus. Sie sind im Schnitt 2,3 Jahre alt. Etwa je ein Viertel der PKW sind den Euro Normen 5 und 4 zuzurechnen mit einem durchschnittlichen Alter von 7 und 13 Jahren. PKW unterhalb der Euro Norm 3 machen rund 17% der Fahrzeuge aus mit einem Alter von 17 bis zu 31 Jahren.

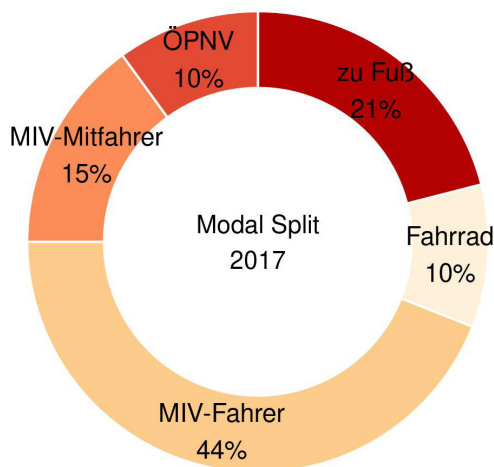
PKW nach Schadstoffklassen 2019



Der Modal Split im Verkehrsbereich gibt an, mit welchem Verkehrsmittel die alltäglichen Wege zurückgelegt werden. Die regionalen Unterschiede werden von der regelmäßig erscheinenden Studie "Mobilität in Deutschland" Follmer (2019) untersucht. Für

Baden-Württemberg ergibt sich die folgende Aufteilung. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) mit einem Fahrer macht 44% des privaten Verkehrsaufkommens aus. Zu Fuß werden 21% der alltäglichen Wege zurückgelegt. Es folgt mit 15% das Mitfahren in einem PKW. Je 10% der Wege wird mit dem Nahverkehr und mit dem Fahrrad zurückgelegt.

Modal Split, Baden-Württemberg 2017



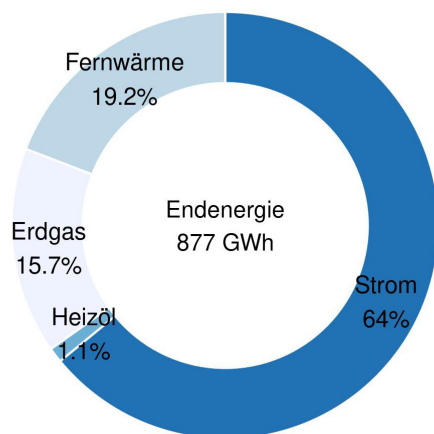
Datenquelle: Mobilität in Deutschland MiD 2017

Zukünftige Mobilitätskonzepte sollten darauf ausgelegt sein, den aktiven Verkehr zu Fuß und mit dem Fahrrad und den öffentlichen Nahverkehr zu fördern und somit deren Anteil am Modal Split zu erhöhen. Dem hohe Anteil an der individuellen Nutzung des PKWs kann mit Sharing-Konzepten und attraktiven Angeboten zum Umstieg auf den ÖPNV und das Fahrrad begegnet werden.

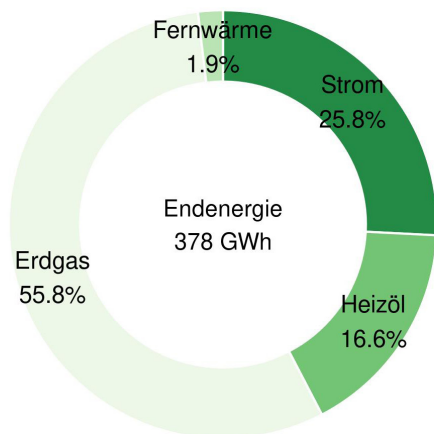
3.3 Wirtschaft

Die Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) machen etwa 56% des Endenergieverbrauchs der Stadt Esslingen aus. Die Energieträger sind aber innerhalb der Sektoren sehr unterschiedlich verteilt (Abbildung 15). Strom macht im Sektor Industrie etwa zwei Drittel des Endenergieverbrauchs aus, während im Sektor GHD der Anteil bei 26% liegt. Im Bereich der Wärme wird in der Industrie mit 19% mehr Fernwärme, als im Gewerbe mit 2% Anteil genutzt. Dafür ist mit einem Anteil von 56% Erdgas im Gewerbe höher als mit 16% in der Industrie. Der mit Abstand größte Energieverbraucher in der Industrie ist das Daimler Werk Esslingen, mit mehr als 80% der genutzten Endenergie des Sektors Industrie. Die Daimler AG stellt zur Bilanzierung eigene Daten über den Verbrauch der einzelnen Energieträger zur Verfügung.

Energieträger Industrie



GHD



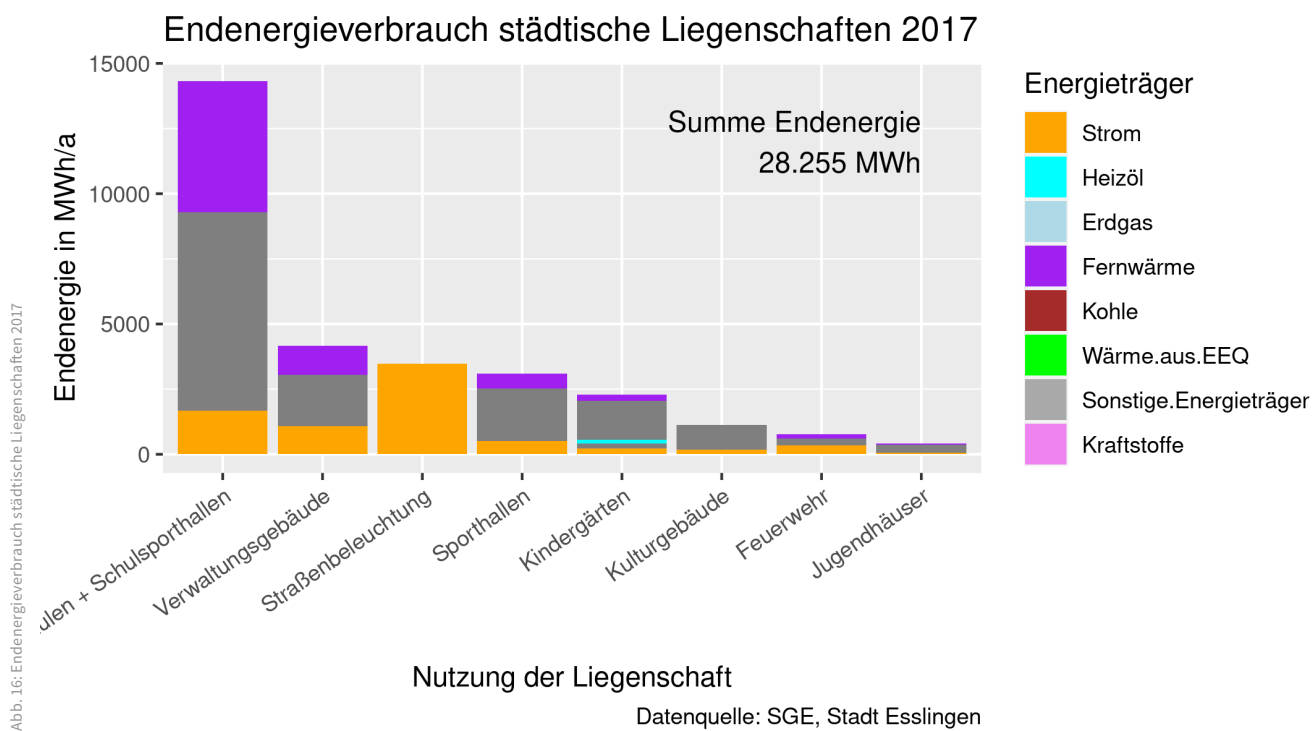
Datenquelle: BiCO2-BW

GWh aus, wovon 20,7 GWh aus dem Wärmebereich und 7,5 GWh aus dem Strombereich stammen. Den größten Teil der Endenergie verbrauchen die Schulen und Schulsportanlagen, wobei für die Heizwärme ein hoher Anteil an Fernwärme eingesetzt wird. Es folgen die Verwaltungsgebäude und der Strombedarf für die Straßenbeleuchtung. Einsparpotenziale bei den städtischen Liegenschaften können durch ein Energiemanagement gezielt identifiziert werden. Die Auswertung in der Bilanzierungssoftware BiCO2-BW, unterscheidet nur unterschiedliche Nutzungsarten und lässt keine Analyse auf Gebäudeebene zu. An der gesamten Treibhausgasemission der Stadt ist der Bereich der städtischen Liegenschaften mit 1% und 9.285 Tonnen CO₂-Äquivalenten beteiligt.

Abb. 15: Sektor Wirtschaft, Endenergie

3.4 Städtische Liegenschaften

Energieverbrauchsdaten der städtischen Liegenschaften wurden von der Stelle Städtische Gebäude Esslingen (SGE) in die Energie- und Treibhausgasbilanzierung einbezogen. Die Summe der Endenergie macht 2017 rund 28,2



4 Potenziale

4.1 Erneuerbare Energien

4.1.1 ENTWICKLUNG DER PHOTOVOLTAIK

Die Entwicklung der installierten Photovoltaikleistung kann aus dem Marktstammdatenregister abgeleitet werden. In der folgenden Abbildung 17 ist die installierte Leistung von Solaranlagen kumulativ für jedes Jahr dargestellt. Der stärkste Zubau an Solaranlagen kann im Jahr 2011 mit 2614 kWpeak festgestellt werden, danach flacht sich die Kurve des Zubaus wieder ab. Ende 2019 waren in Esslingen Solaranlagen mit einer Gesamtleistung von rund 11.300 kWpeak installiert.

Im Marktstammdatenregister sind auch die Akteure der Solarstromerzeugung verzeichnet. Es

wird dabei in private Betreiber von Solaranlagen und gewerbliche Betreiber unterschieden. Die folgende Abbildung 18 zeigt den Anteil der unterschiedlichen Akteure an der installierten Leistung von Solaranlagen. Über 46% der installierten Leistung geht auf private Betreiber zurück. Etwa 25% der Solaranlagen nach installierter Leistung wird von Energieunternehmen betrieben, die sich auf erneuerbare Energien spezialisiert haben. Auf Betriebe mit gewerblicher Nutzung gehen etwa 13% der installierten Leistung zurück. Die Solaranlagen der Stadtwerke Esslingen machen einen Anteil von 9% an der gesamten Solarnutzung aus. Der Anteil der städtischen Anlagen liegt bei ca. 2%, während bei 1% oder unter 1% der Anteil von Genossenschaften, Vereinen, Kirchen und Sonstige liegt.

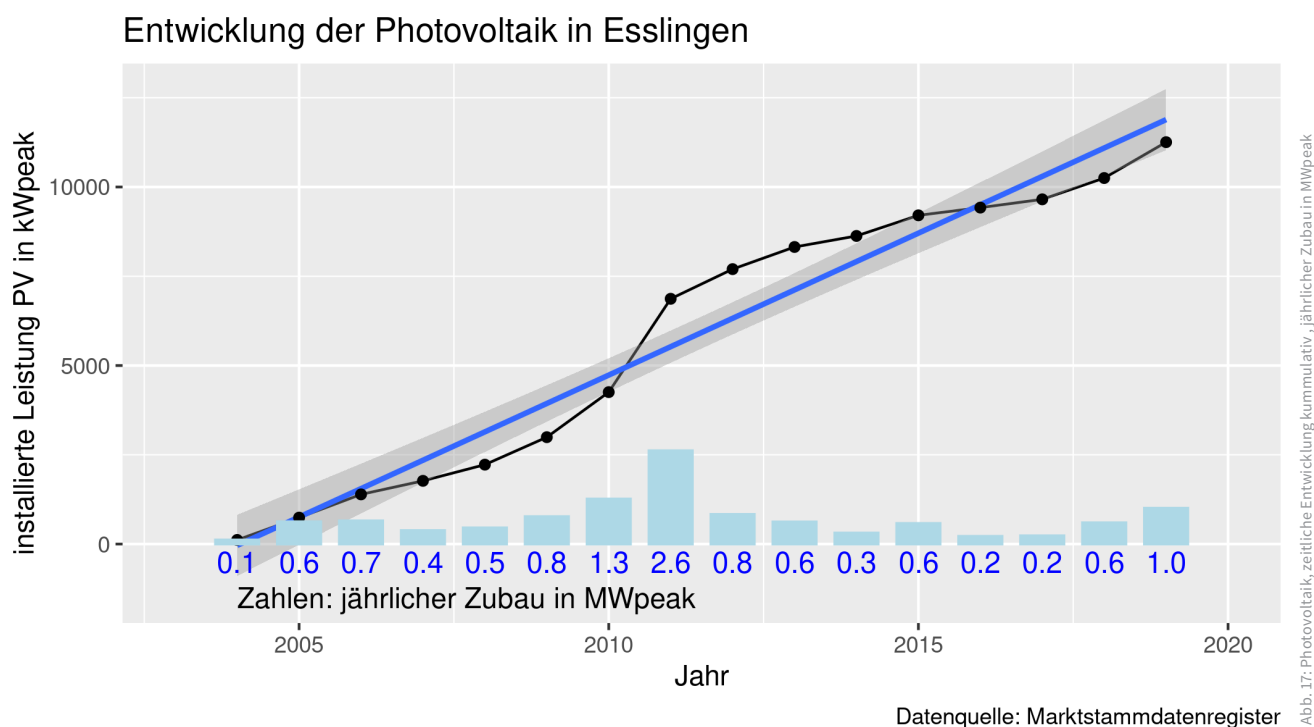
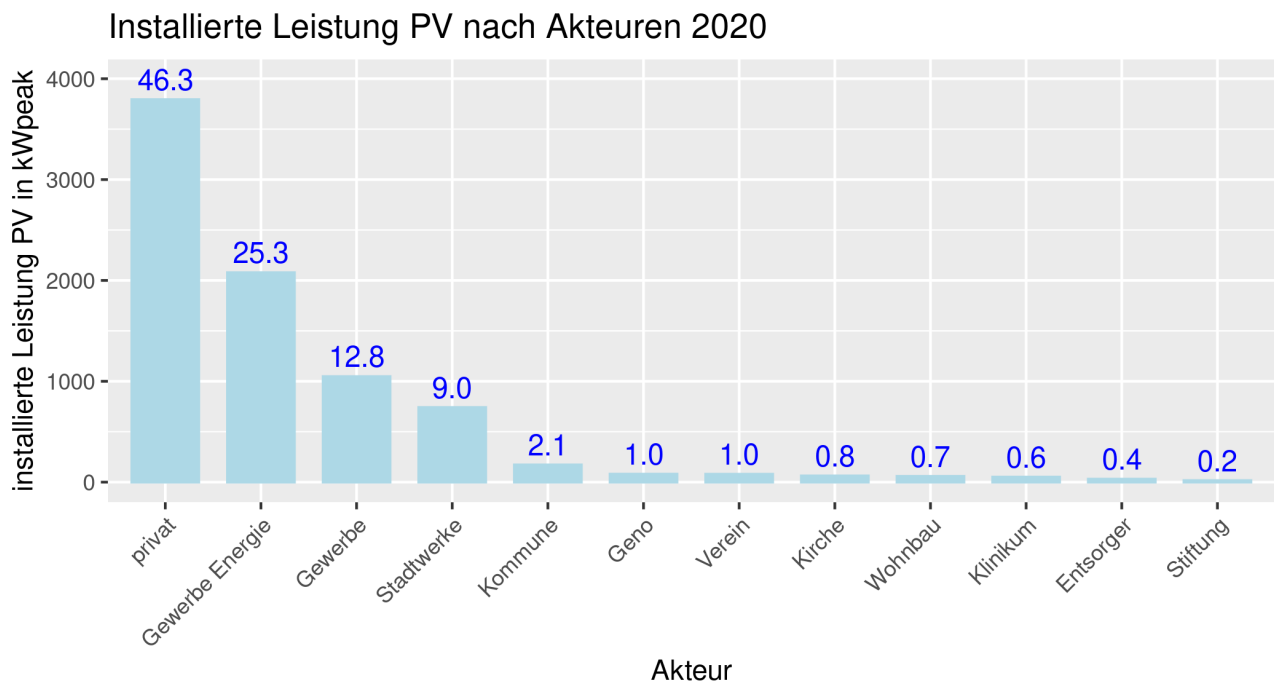
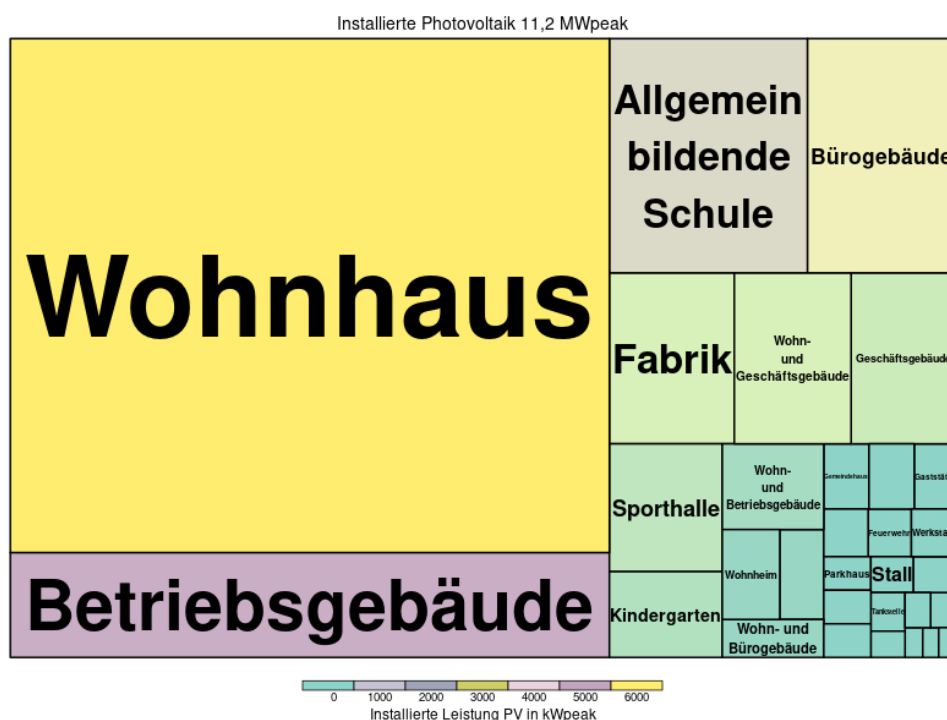


Abb. 18: Photovoltaik, Akteure



Datenquelle: Marktstammdatenregister

Abb. 19: Photovoltaik, installierte Leistung nach Gebäudefunktion



4.1.2 INSTALLIERTE LEISTUNG UND FUNKTION VON GEBÄUDEN

Die Daten zu erneuerbaren Energien aus dem Markstammdatenregister könnten georeferenziert und somit den einzelnen Gebäuden in Esslingen zugeordnet werden. Somit können die Informationen der Solaranlagen mit den Gebäudeparametern verknüpft werden. Die folgende Abbildung 18 wertet die installierte Leistung der Solaranlagen nach der Funktion des Gebäudes aus. Etwa die Hälfte der installierten Leistung lässt sich auf Wohnhäusern finden, gefolgt von Betriebsgebäuden und allgemeinbildenden Schulen.

4.1.3 DACHFLÄCHENPOTENZIALE DER PHOTOVOLTAIK

Das Potenzial der Nutzung der Photovoltaik auf Dachflächen der Stadt Esslingen wurde über ein Solardachkataster berechnet. Hierfür wurden hochauflösende Höhendaten (25cm) aus einem Laserscan der Stadtoberfläche für die Berechnung der solaren Einstrahlung verwendet. In

einem ersten Schritt wurden die Dachflächen nach Himmelsrichtung und der Dachneigung extrahiert. Für die Dachflächen konnte nun die jährliche solare Einstrahlung bestimmt werden. Diese dachflächengenaue Analyse ermöglicht eine differenzierte Betrachtung der Dachflächenpotenziale nach Eignung der Dachfläche nach solarer Einstrahlung, Funktion des Gebäudes und weiteren örtlichen oder spezifischen Gebäudeparametern, wie z.B. Lage der Dachfläche in bestimmten Stadtteilen oder Gebieten mit einer restriktiven Nutzung der Photovoltaik, wie der Gesamtanlage. Die solare Einstrahlung wurde mit dem GRASS GIS Modul r.sun berechnet. Im Folgendem werden die Ergebnisse mit Werten des PVGIS Tools des European Joint Research Centers (<https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>) für den Standort Esslingen verglichen. Auf den PVGIS Seiten werden Werte für die solar Einstrahlung in Europa über Satellitenaufnahmen dargestellt und dienen hier zur Validierung der Berechnungen des Solardachkatasters.

Die solare Einstrahlung auf eine horizontale Fläche am Standort Esslingen wird im PVGIS mit

Vergleich der Werte der solare Einstrahlung European JRC PVGIS und Solarkataster Esslingen				
	solare Einstrahlung (kWh/m ² /a)	% vom PVGIS	Ertrag (kWh/kWpeak*a)	% vom PVGIS 1
PVGIS horizontale Fläche	1144	100	888	100
PVGIS optimal geneigte Fläche 36 Grad	1318	100	1049	100
Solarpotenzial Esslingen horizontale Fläche	1068	93	807	91
Solarpotenzial Esslingen Südfläche, optimal geneigt	1201	91	1016	97

Tabelle 1: Vergleich der Werte der solare Einstrahlung European JRC PVGIS und Solarkataster Esslingen

1144 kWh/m²/a angegeben. Die entsprechende Einstrahlung im Solarkataster wird auf 1068 kWh/m²/a berechnet, was 93% des Werte aus dem PVGIS entspricht. Ähnlich verhält es sich mit den Werten für die solare Einstrahlung auf die optimal geneigte Flächen mit einem Winkel von 36° mit einer Solarstrahlung von 1318 kWh/m²/a im PVGIS und 1201 kWh/m²/a im Solarkataster. Im Solarkataster werden Verschattungseffekte in die Berechnung über das Jahr mit einbezogen, was eine Erklärung für die etwas geringeren Zahlen sein kann. Über die Solarstrahlung wird auch der spezifische Ertrag kWh/kWpeak einer Solaranlage in Esslingen berechnet. Auch hier sind die Werte aus dem PVGIS höher als die Berechnungen aus dem Solarkataster, wobei die Einstrahlungsmengen auf der optimal geneigten Fläche nur um 3% abweichen. Die Berechnungen

des Solarkatasters fallen somit etwas konservativer aus und könnten je nach Jahr auch höher liegen. Das technische Dachflächenpotenzial gibt das Potenzial für die Nutzung der Photovoltaik aus, dass sich für alle Dachflächen mit einer ausreichenden solaren Einstrahlung ergibt. In dieser Berechnung wurde als unterer Grenzwert 900 kWh/m²/a gewählt. Alle Dachflächen mit einer höheren Einstrahlung wurden als sehr gut geeignet bewertet. Ob das Dach aus gebäude-technischen Gründen geeignet ist, kann dabei nicht betrachtet werden. Weiterhin wurde für das technische Dachflächenpotenzial eine Mindestgröße der Dachfläche angenommen, die bei 3 kWpeak installierten Leistung liegt, was einer Dachfläche von etwas mehr als 17m² entspricht (Wirth 2021). Das technische Dachflächenpotenzial für die Stadt Esslingen beläuft sich insgesamt

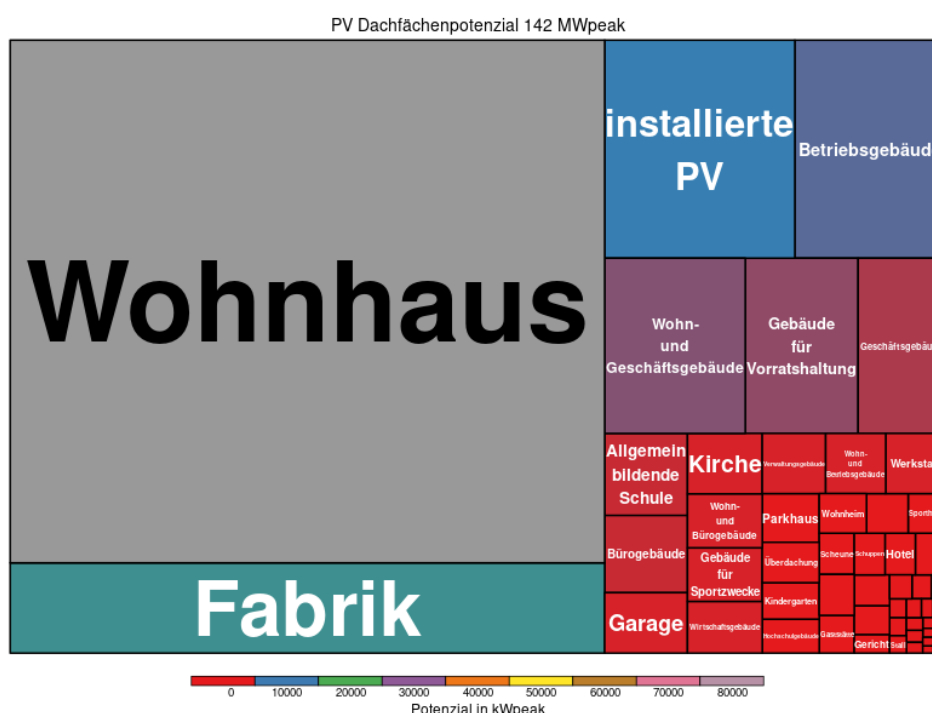


Abb. 20: Photovoltaik, solares Dachflächenpotenzial nach Gebäudefunktion

auf 142 MWpeak installierbare Leistung anhand der Eignung nach solarer Einstrahlung und einer Mindestgröße der Dachfläche. Die installierte Leistung aller Solaranlagen belief sich Ende 2019 auf 11,36 MWpeak, womit 8% des technischen Potenzials der Dachflächen ausgenutzt ist. In der folgenden Abbildung 20 wird das technische Potenzial nach der Gebäudedefunktion aufgeschlüsselt, wie schon für die bereits installierten Solaranlagen. Das große Potenzial lässt sich demnach auf Wohnhäusern finden, gefolgt von geeigneten Flächen auf Fabrikgebäuden. Weiterhin werden die Flächen gezeigt, auf denen bereits Solaranlagen installiert sind, was den drittgrößten Anteil an dem gesamten Potenzial des Solardachkatasters ausmacht.

4.1.4 SOLARTHERMIE

Die solare Wärme aus Solarthermie, kann zur Warmwasserbereitung und auch zur Heizungsunterstützung verwendet werden. Für diese beiden Anwendungszwecke wurde im folgenden die Potenziale der Solarthermie auf Dachflächen bei Ein- und Zweifamilienhäusern (EFH, ZFH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) abgeschätzt.

Die Flächen stehen in einer Flächenkonkurrenz zur Photovoltaik. Allerdings kann mit der gleichzeitigen Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik der Energieautarkiegrad von Ein- und Zweifamilienhäusern gesteigert werden.

Die Erhebung zu den Potenzialen Erneuerbarer Energien für Esslingen (ebök 2014) ermittelt ein zur Hälfte geringeres Potenzial für die Warmwasserbereitung für die Solarthermie. Es wird davon ausgegangen, dass etwa 50% der Dachflächen die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für die Installation von Solarthermieanlagen erfüllen. Die hier vorliegende Beurteilung in der Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes bezieht nur die Eignung der Dachfläche über die solare Einstrahlung mit ein.

4.1.5 BIOMASSE

In einer Erhebung der Potenziale erneuerbarer Energien in Esslingen (ebök 2014) wird erklärt, dass die holzartige Biomasse schon weitgehend zur thermischen Verwertung genutzt wird. Auch bei der halmartigen Biomasse sind keine technisch und wirtschaftlichen Mengen zu erwarten.

Flächenpotential der Solarthermie und prognostizierter Wärmeertrag in Esslingen			
Gebäudetyp	Wärmenutzung	Kollektorfläche.m ²	Wärmeertrag.GWh/a
EFH, ZFH	Warmwasser	43788.8	10.1
EFH, ZFH	Heizungsunterstützung	115105.0	13.2
MFH	Warmwasser	34734.2	8.0
MFH	Heizungsunterstützung	91303.7	10.5
Genutzte Fläche	Warmwasser	6117.0	1.4

Tabelle 2: Flächenpotential der Solarthermie und prognostizierter Wärmeertrag in Esslingen

Eine detaillierte Untersuchung und Aufnahme der Mengen wäre für eine Nutzung der lokal anfallenden Biomasse nötig.

4.1.6 UMWELTWÄRME, OBERFLÄCHENGEOthermie

Die Nutzung von Umweltwärme und der Oberflächegeothermie spielt strategisch für die zukünftige Wärmeversorgung der Haushalte und der Wirtschaft eine entscheidende Rolle. Die Erhebung der Potenziale für die Geothermie (ebök 2014) kommt zu einer nutzbaren Leistung von rund 300 MW. Dieser Wert stellt allerdings das technische Flächenpotenzial dar. In dieser Potenzialanalyse wird davon ausgegangen, dass ca. 10% des Potenzials auch genutzt werden können. In einer strategischen Wärmeplanung

müsste das ermittelte Potenzial mit den potenziellen Abnehmern in Gebäuden verrechnet werden, um abschätzen zu können, ob die Wärmeleistung für die Heizwärmeversorgung von Haushalten ausreicht. Eine kommunale Wärmeplanung kann hier Potenziale und Nutzungsstrategien aufzeigen.

4.1.7 ZUSAMMENFASSUNG POTENZIALE LOKALER ERNEUERBARER ENERGIEN

In der folgenden Abbildung 21 sind die Potenziale der erneuerbaren Energien, wie zuvor beschrieben zusammengefasst. Mit der Ausschöpfung der Potenziale der Photovoltaik auf Dachflächen, der Solarthermie und einem 1/10 des technischen Potenzials der Geothermie und Umweltwärme, können lokal rund 470 GWh/a

Erneuerbare Energien 2019 und Potenziale

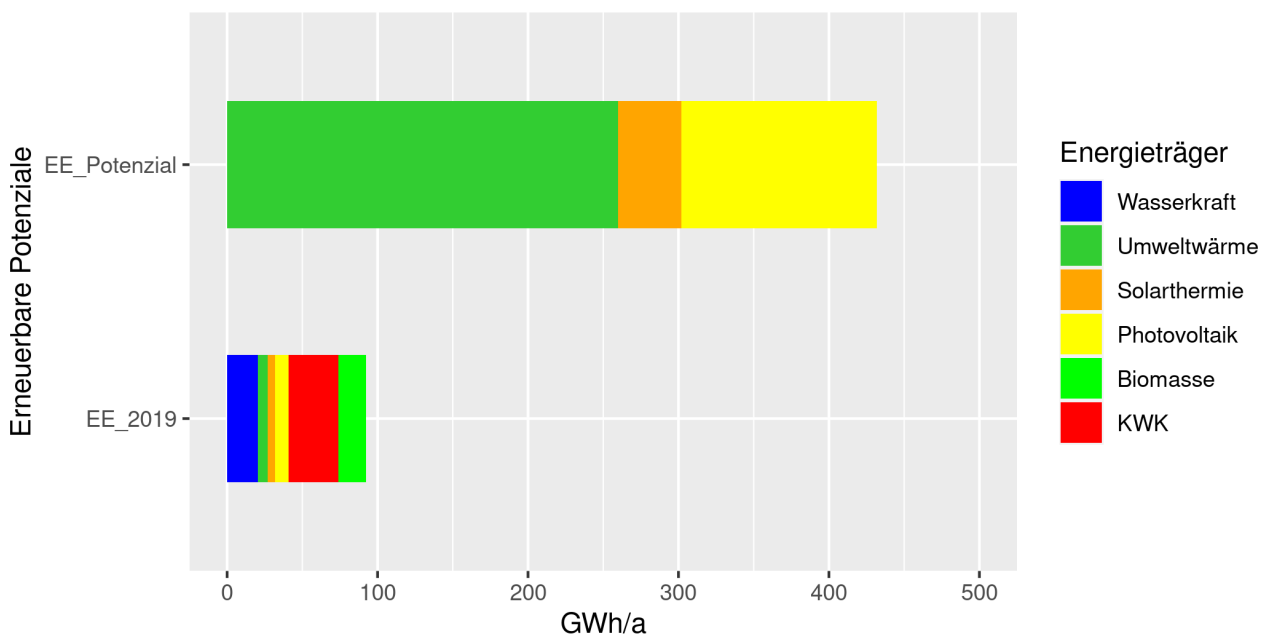


Abb. 21: Potenziale Erneuerbarer Energien und aktuelle Nutzung

Datenquelle: Potenzialanalyse, BICO2-BW

regenerativ erzeugt werden. Dem gegenüber steht eine Energieerzeugung aus regenerativen Quellen im Jahre 2019 (EEG Daten) von rund 92 GWh mit einem hohen Anteil der Nutzung der Kraftwärmekopplung mit 33 GWh/a, die aktuell noch mit überwiegend fossilen Energieträgern betrieben wird. In Zukunft kann aber eine Umstellung der KWK Anlagen auf regenerative Energieträger erfolgen.

4.2 Haushalte

4.2.1 ENERGIEEFFIZIENTE HAUSHALTSGERÄTE

Der Stromverbrauch in Haushalten kann durch den Einsatz energieeffizienter Haushaltsgeräte reduziert werden. Die Stromverbräuche von

unterschiedlichen Gruppen von Haushaltsgeräten werden in den Anwendungsbilanzen des RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (2019) erfasst (Tabelle 3). In den Anwendungsbilanzen sind die Stromverbräuche auch nach Haushaltsgrößen differenziert. Für Esslingen wurden die Anzahl der Haushaltsgrößen nach dem Zensus 2011 mit den Daten der Anwendungsbilanzen für die privaten Haushalte verrechnet. Die Tabelle zeigt die Stromverbräuche von Elektrogeräten nach den jeweiligen Haushaltsgrößen.

Anwendungsbilanzen RWI: Stromverbrauch in kWh/a im Haushalt					
Personen im Haushalt	1	2	3	4	>4
Kühlschränke	480	598	578	628	820
Gefrierschrank/-truhe	120	253	275	279	312
Spülmaschine	215	333	397	448	494
Waschmaschine	44	88	143	188	192
Wäschetrockner	80	141	269	286	413
Fernseher	350	454	514	531	571
DVD	66	59	71	71	103
Computer	106	96	125	168	192
Waschmaschine mechan.	10	10	11	11	11
Beleuchtung EFH, ZFH	365	365	365	365	365
Beleuchtung MFH	292	292	292	292	292
Kochen	198	396	440	595	595

Tabelle 3: Anwendungsbilanzen RWI: Stromverbrauch in kWh/a im Haushalt

4.2.2 STROMVERBRAUCH UND EFFIZIENZPOTENZIALE

Das Reduktionspotenzial für die einzelnen Gruppen von Haushaltsgeräten wurde über die Verbraucherinformationsseite Ecotopten ermittelt. Es wurde dabei das energieeffizienteste Gerät mit den jeweiligen Stromverbrauchsdaten pro Jahr gewählt (Tabelle 4).

Die Stromverbräuche der energieeffizienten Geräte wurde dann mit den Haushaltsgrößen verrechnet. Die Differenz zwischen dem aktuellen Stromverbrauch im Haushalt und dem potenziellen Verbrauch mit den jeweils energieeffizientesten Geräten ergibt das Einsparpotenzial in den Haushalten. Es beläuft sich auf rund 88

GWh pro Jahr als technisches Potenzial. Die folgende Abbildung 22 zeigt das Einsparpotenzial durch energieeffiziente Haushaltsgeräte.

Energiekennwerte: energieeffizienter Haushaltsgeräte www.ecotopten.de		
Energieeffiziente Geräte	Eco.Top.Ten	kWh/a
Kühlschränke	A+++	62
Gefrierschrank/-truhe	A+++	130
Spülmaschine	A+++	194
Waschmaschine	A+++	122
Wäschetrockner	A+++	158
Fernseher	A+++	22
DVD	Schätzung	25
Computer	Tipps	40
Beleuchtung EFH, ZFH	LED	80
Beleuchtung MFH	LED	80
Kochen	Prosa/Ökoinst	270

Tabelle 4: Energiekennwerte energieeffizienter Haushaltsgeräte www.ecotopten.de

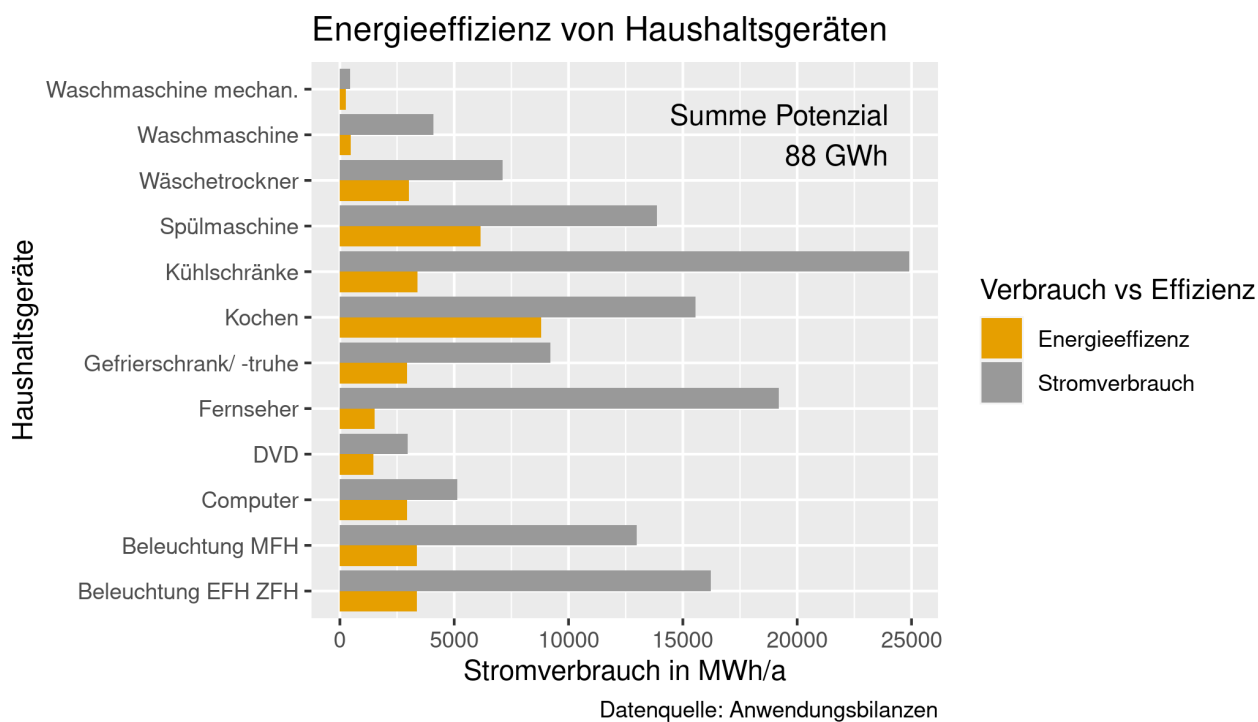


Abb. 22: Energieeffizienz in Haushalten

4.2.3 HEIZWÄRMEBEDARFE HAUSHALTE

Der Heizwärmebedarf für die privaten Haushalte wird nach der Studie "Sanierungsbedarf im Gebäudebestand" BMWi (2014) abgeschätzt. Der Wärmemonitor 2018 Singhal (2019) weist für die Region Stuttgart einen durchschnittlichen Heizwärmebedarf für Haushalte von 125,9 kWh/m²/a aus. Daraus lassen sich die folgenden Kennwerte für den Heizwärmebedarf nach Gebäudealtern für die Stadt Esslingen ableiten. Die Energiekennwerte für den Bestand geben dabei den aktuellen Wert des durchschnittlichen

Wärmebedarfs der Gebäudetypen an. Die Kennwerte für die sanierten Gebäude stammen aus der BMWi Studie und beschreiben den Heizwärmebedarf eines sanierten Gebäudes der jeweiligen Altersklasse.

Tabelle 5: Kennwerte für Heizwärme in kWh/m²/a

Kennwerte für Heizwärme in kWh/m²/a		
Gebäudealter	Bestand	saniert
1919	199	89
1919–1948	132	66
1949–1978	146	51
1979–1986	103	46
1987–1990	103	46
1991–1995	103	46
1996–2000	72	50
2001–2004	72	40
2005–2008	50	40
2009 und später	35	32

4.2.4 SANIERUNGSPOTENZIALE WOHNGEBÄUDE

Mit den Kennwerten für sanierte Gebäude kann der zukünftige Heizwärmebedarf für die Gebäudealtersklasse in Esslingen abgeschätzt werden. Dabei wird der aktuelle Wärmebedarf dem Heizwärmebedarf im sanierten Zustand gegenüber gestellt. Die Differenz ergibt das Einsparpotenzial für Heizwärme im Gebäudebestand, das hier auf 255 GWh abgeschätzt wird. Für die Ausnutzung dieses Potenzials sind die jährlichen Sanierungsraten ausschlaggebend. Meistens wird lokal nur eine Sanierungsrate von 1% erreicht, was bedeutet, dass der Gebäudebestand erst in 100 Jahren

vollständig saniert wird. Durch die Förderung von Sanierungsmaßnahmen soll eine Erhöhung der Sanierungsraten erreicht werden. Das größte Potenzial findet sich in der Gebäudealtersklasse 1949-1978, die auch die meisten Gebäude enthält (Abbildung 23).

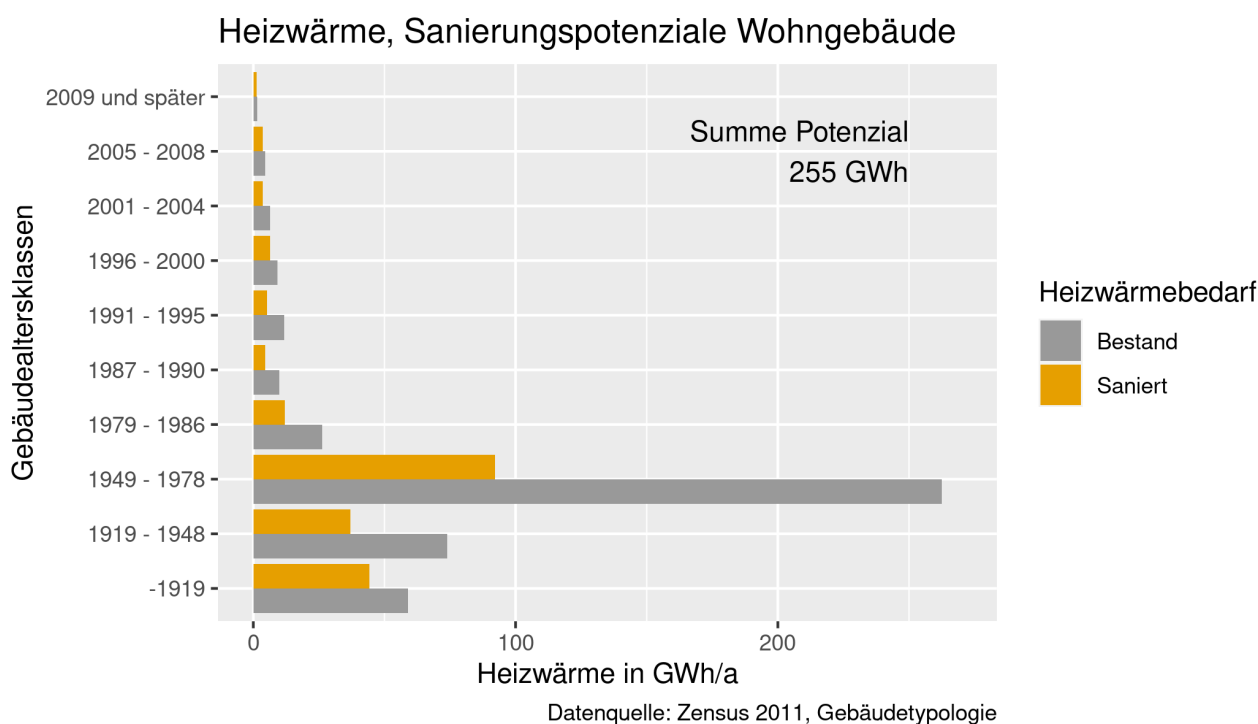


Abbildung 23: Sanierungspotenzial Gebäude

4.3 Reduktionsszenarien Wirtschaft

Voraussagen für die Entwicklung der Treibhausgasemission im Sektor Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) sind schwer zu machen, da der Energieverbrauch stark von konjunkturellen Schwankungen abhängt. Die Weltwirtschaftskrise 2008 z.B. und aktuell die Corona Pandemie lassen die Wirtschaft kurzfristig schrumpfen. Die hier gemachten Annahmen beziehen sich auf die Politikszenerien VIII des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt 2020). Als Szenario wurde das "Mit erweiterten Maßnahmen Szenario - MEMS" gewählt. Die Sektoren Industrie und GHD werden hier zusammen als Sektor "Wirtschaft" betrachtet. Für das Trend-Szenario 2020 wurden die jährlichen Reduktionsraten aus Esslingen

über den Zeitraum 2007 bis 2017 angewendet. Für die Trend-Szenarien 2025 und 2030 werden die Politikszenerien des Umweltbundesamtes aus Tabelle 6 angenommen. Die Reduktionen der Treibhausgase werden immer auf das Referenzjahr 2017 bezogen. Somit ist im Trend-Szenario 2020 (anders als zu der Prognose 2020 mit vorhanden Zahlen für den Sektor Industrie) mit einer Reduktion der Treibhausgase um 5% und 2030 mit einer Reduktion von 25% gegenüber 2017 zu rechnen (Abbildung 24).

Tabelle 6: Jährliche Reduktionsraten im Sektor Wirtschaft nach MEMS, UBA Politiksszenarien

Jährliche Reduktionsraten im Sektor Wirtschaft nach MEMS, UBA Politiksszenarien					
MEMS.Reduktion.pro.Jahr	ESS_2007-2017	2014-2020	2020-2025	2025-2030	2020-2030
Industrie	2.1	1.2	1.3	1.9	1.5
GHD	0.3	-1.0	3.4	5.3	3.9
Industrie und GHD	1.2	0.6	1.9	2.8	2.2

Szenarien Wirtschaft

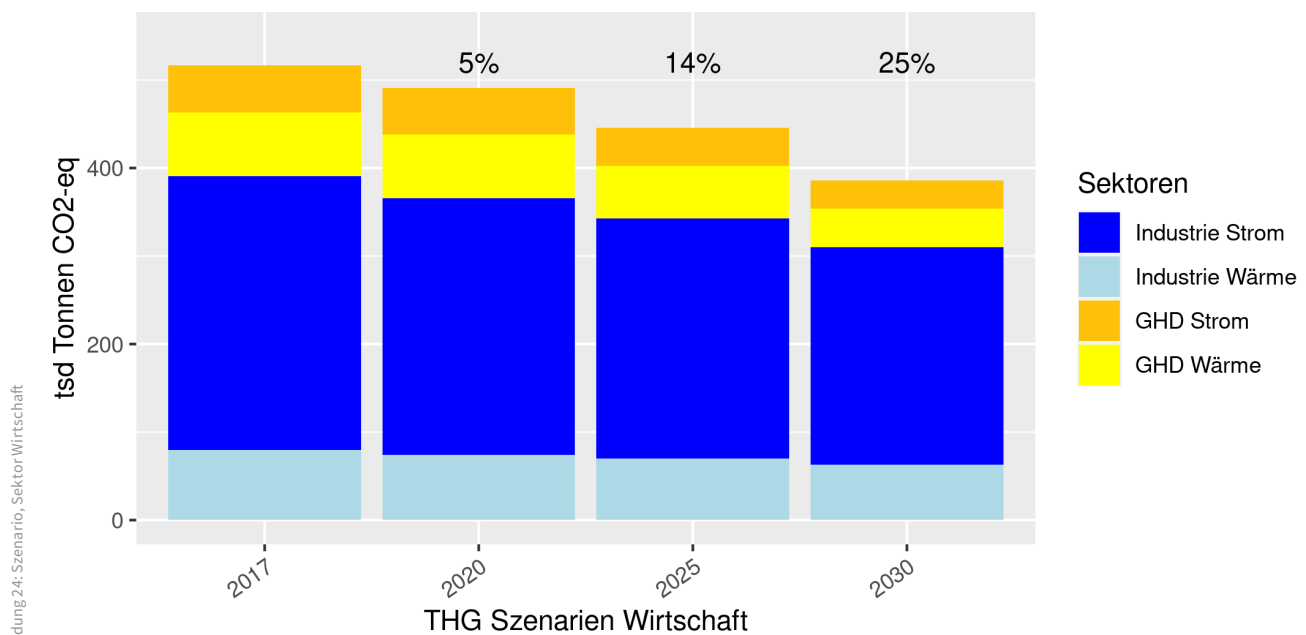


Abbildung 24: Szenario, Sektor Wirtschaft

Datenquelle: jährliche Reduktionsraten BICO2-BW und UBA Politiksszenarien MEMS

4.4. Verkehr

Zur Reduktion der Treibhausgase im Sektor Verkehr werden verschiedene Maßnahmen diskutiert, die sich in den folgenden Szenarien widerspiegeln. Die Verbrennungsmotoren werden nach und nach durch Elektromotoren und alternative Antriebe aus erneuerbaren Energien ersetzt. Es gibt eine Verlagerung im Modal Split hin zu klimafreundlichen Verkehrsmitteln.

Weiterhin kann durch eine gezielte Stadtplanung und Veränderungen in Arbeits- und Lebensweisen eine Reduktion von Strecken und Wegen erreicht werden.

Die Szenarien im Sektor Verkehr wurden in drei Varianten entworfen (Abbildung 25):

1. Entwicklung der Elektromobilität bis 2030 auf 50% des Fahrzeugbestandes „E-mobil“: Für den

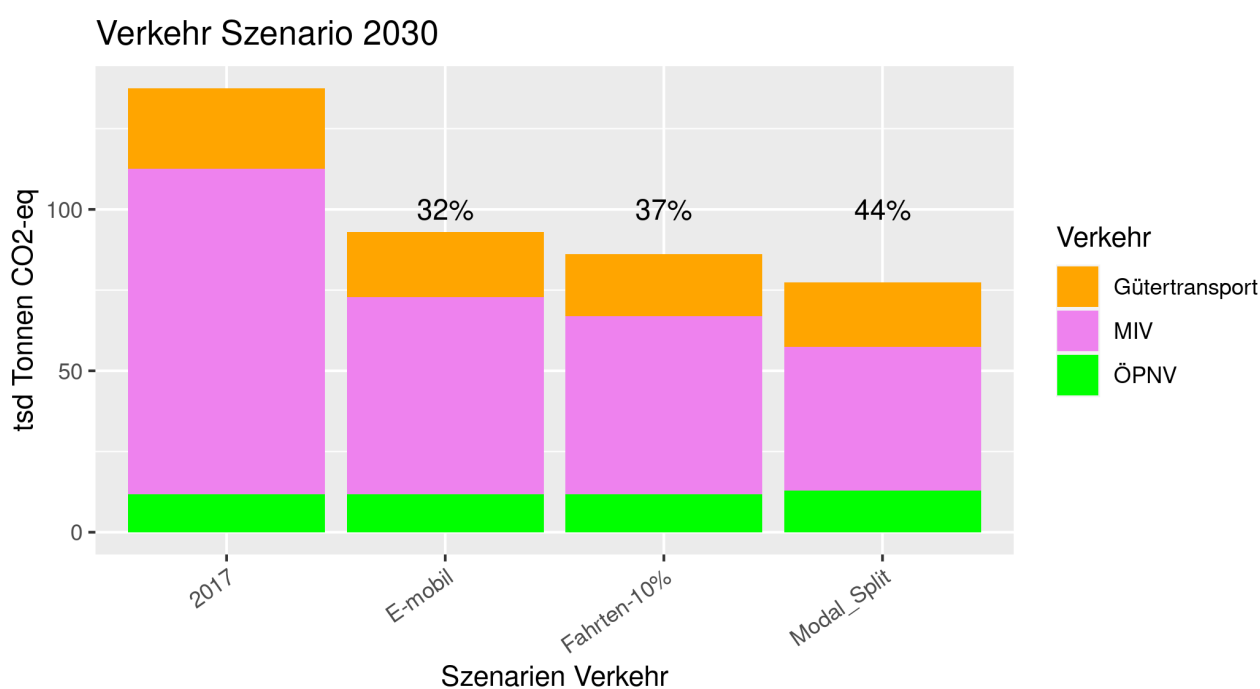
Bereich MIV wurden ein Anteil von 50% Elektromobilen an den privaten PKW angenommen. Im Bereich des Gütertransports wurde für die leichten Nutzfahrzeuge auch eine Anteil von 50% Elektronantrieben gewählt. Bei den LKW erfüllen 50% der Fahrzeuge die EURO Norm 5.

2. Weniger Verkehrsaufkommen „Fahrten-10%-weniger“: In diesem Szenario wurde das Szenario Elektromobilität mit 10% weniger Verkehrsaufkommen in 2030 kombiniert. Es wurde die Anzahl der Fahrzeugkilometer 2017 für die Berechnung zugrunde gelegt.

3. Veränderung des Modal Split „Modal Split“: In diesem Szenario werden die täglichen Fahrten mit dem privaten PKW zu 10% auf den aktiven

Verkehr, wie zu Fuß oder mit dem Fahrrad verlagert. Weiterhin werden weiter 10% der Wege mit dem privaten PKW mit dem öffentlichen Personennahverkehr zurückgelegt. Die PKW Flotte besteht hier auch zu 50% aus Elektrofahrzeugen.

Im Szenario „E-mobil“ kann eine Reduktion der Treibhausgasemission von 32% bis 2030 erreicht werden. Kann zusätzilch von das Verkehrsaufkommen um 10% reduziert werden, können weitere 5% Treibhausgasemission eingespart werden. Ein zusätzliche Verlagerung von Fahrten und Strecken im Modal Split, schlägt mit weiteren 7% im Verkehrssektor zu Buche.



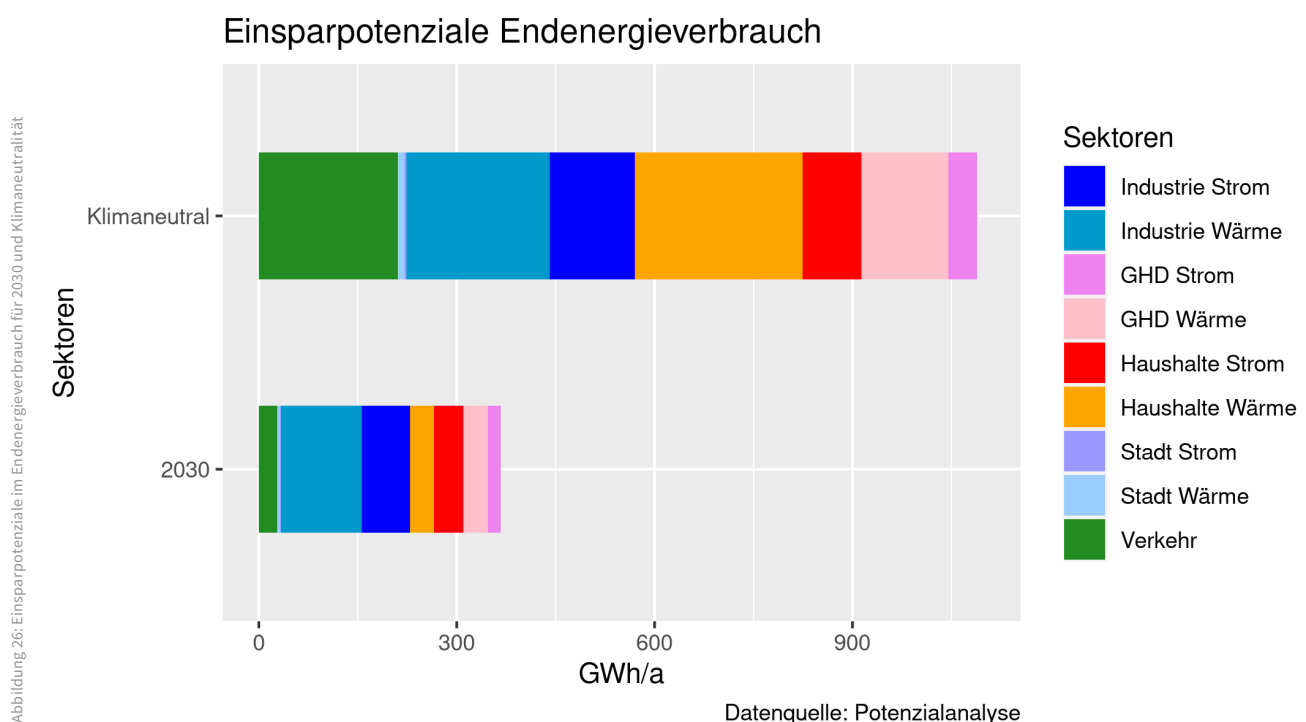
4.5 ZUSAMMENFASSUNG ENERGIEEINSPARUNG SEKTOREN

In der Potenzialanalyse werden die aus heutiger Sicht erreichbaren technischen Potenziale für die zukünftige Reduktion der Endenergie ermittelt. In Abbildung 26 werden die technischen Reduktionspotenziale summiert, mit denen sich eine Klimaneutralität erreichen lassen. In dem Balken darunter werden die Potenziale zusammengefasst, die voraussichtlich bis 2030 erschlossen werden können.

Über alle Sektoren können bis 2030 ca. 367 GWh/a an Endenergie eingespart werden. Davon entfallen rund 196 GWh auf den Sektor Industrie,

gefolgt von den privaten Haushalten mit 80 GWh und dem Sektor GHD mit 57 GWh. Im Sektor Verkehr lässt sich voraussichtlich eine Energieeinsparung um 28 GWh und im kommunalen Bereich ca. 6 GWh erreichen.

Für das Erreichen der Klimaneutralität liegt das technische Potenzial bei ca. 1200 GWh, wobei der Anteil der Industrie 476 GWh und der Haushalte 343 GWh ausmacht. Der Verkehr leistet einen Beitrag von 195 GWh und der Sektor GHD 176 GWh. Das gesamte Potenzial im Bereich der Kommune lässt sich auf 13 GWh beziffern.



5 Szenarien

5.1 Trendszenario und Klimaszenario 2030, Klimaneutralität

Wie schon im ersten Klimaschutzkonzept von 2010 werden hier für das Jahr 2030 zwei Szenarien aufgestellt. Das Trendszenario gibt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen wieder, wenn der Trend aus den Jahren 2007 bis 2017 fortgeführt wird. Das Klimaszenario berücksichtigt eine verstärkte Umsetzung von Maßnahmen im Klimaschutz. Diese Maßnahmen können durch lokale Aktivitäten wirken und zusätzlich werden Rahmenbedingungen auf Bundesebene berücksichtigt, wie eine höherer Anteil von erneuerbaren Energien am Strommix. Das Szenario der Klimaneutralität berücksichtigt die Ausschöpfung der bekannten technischen Potenziale zur Energiereduktion und bezieht überregionale Entwicklungen mit ein. Im Folgenden werden die Annahmen für die einzelnen Szenarien dargestellt.

5.1.1 SZENARIEN ENDENERGIE

In der folgenden Tabelle 7 sind die Annahmen für die Entwicklung der Endenergien nach Energieträgern für die einzelnen Szenarien aufgelistet. Beim Strombedarf kommt in den Szenarien für 2030 und Klimaneutralität noch der Strom aus dem Verkehr hinzu, wodurch 2030 ein höherer Strombedarf als in 2020 zu verzeichnen ist. Das Trendszenario geht von einem Anteil von 50% Elektromobilen und das Klimaszenario von 80% für 2030 aus. In den Annahmen zur Klimaneutralität wird davon ausgegangen, dass keine Verbrennungsmotoren mit fossilen Kraftstoffen im Verkehr mehr im Einsatz sind.

Endenergiebedarf in GWh/a nach Energieträgern in den einzelnen Szenarien				
Endenergie	2020	Trend_2030	Klima_2030	Klimaneutral
Strom	701	653	653	396
Heizöl	222	0	0	0
Erdgas	501	443	266	95
Fernwärme	256	266	354	95
Kohle	0	0	0	0
Wärme aus EEQ	74	177	266	284
Sonstige Energieträger	0	0	0	0
Kraftstoffe	412	199	79	0
Strom Verkehr	NA	40	64	46
Summe	2165	1777	1682	916

Tabelle 7: Endenergiebedarf in GWh/a nach Energieträgern in den einzelnen Szenarien

Annahmen für Szenarien:

- Heizöl spielt 2030 keine Rolle mehr für die Beheizung von Gebäuden.
- Der Erdgasanteil wird im Klimaszenario und der Klimaneutralität zur Hälfte durch E-Methan und grünen Wasserstoff ersetzt. Der

Emissionsfaktor für Gas sinkt dadurch auf 100 g/kWh

- Der Anteil der dezentralen erneuerbaren Energien im Wärmebereich, wie Wärmepumpen, Solarthermie und BHKWs nimmt zukünftig zu.

Die Energieträger für die Wärmebereitstellung sind wie in Tabelle 8 angegeben verteilt.

Tabelle 8: Prozentuale Verteilung der Wärmebereitstellung und der Kraftstoffe in den Szenarien

Prozentuale Verteilung der Wärmebereitstellung und der Kraftstoffe in den Szenarien				
Szenarien	2020	Trend_2030	Klima_2030	Klimaneutral
Erdgas	48	50	30	20
Wärmenetze	24	30	40	20
Heizöl	21	0	0	0
Dezentrale EE-Träger	7	20	30	60
Kraftstoffe	99	50	20	0
E-Mobil	1	50	80	100

Szenarien Endenergie

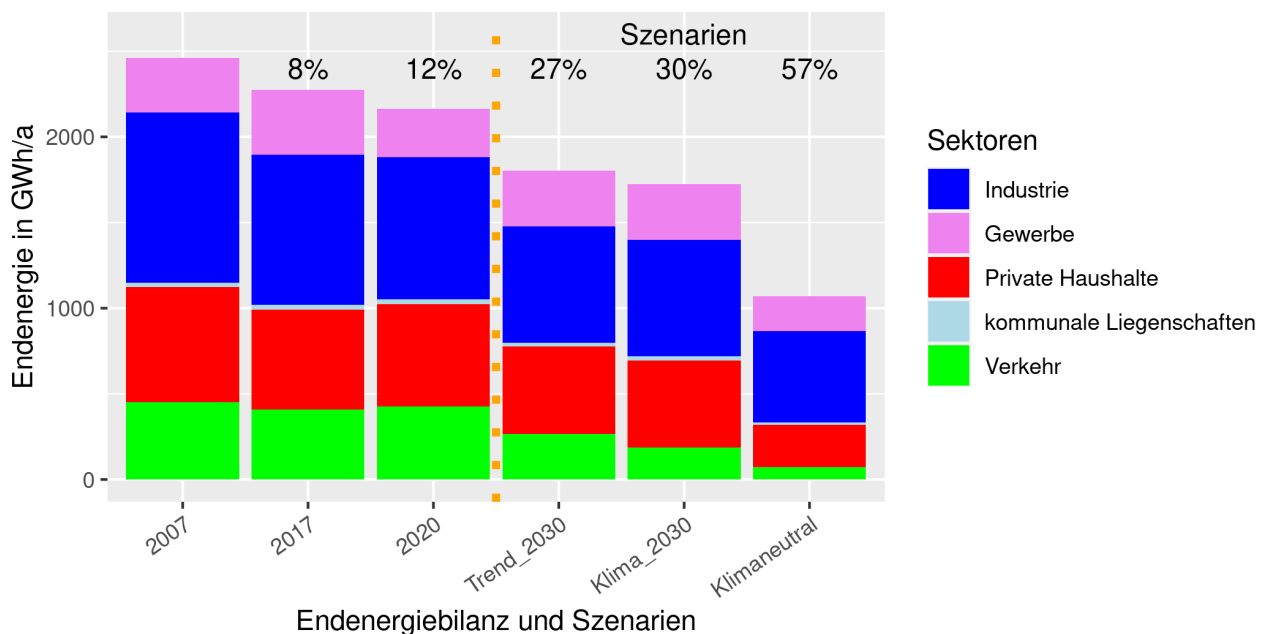


Abbildung 27: Entwicklung des Endenergieverbrauchs gemäß der Szenarien

Datenquelle: jährliche Reduktionsraten BICO2-BW und Einsparpotenziale

Damit ergibt sich bei den Einsparpotenziale für die Endenergie in den einzelnen Szenarien folgendes Bild. Im Trendszenario wird eine Einsparung der Endenergie bis 2030 von 28% erreicht. Im Klimaszenario kann unter Ausschöpfung der Potenziale in den Sektoren eine Einsparung der Endenergie von 32% erreicht werden. Beim Ausschöpfen der technischen Potenziale kann eine Reduktion des Endenergiebedarfs von bis zu 63% zur Erreichung des Zieles der Klimaneutralität realisiert werden.

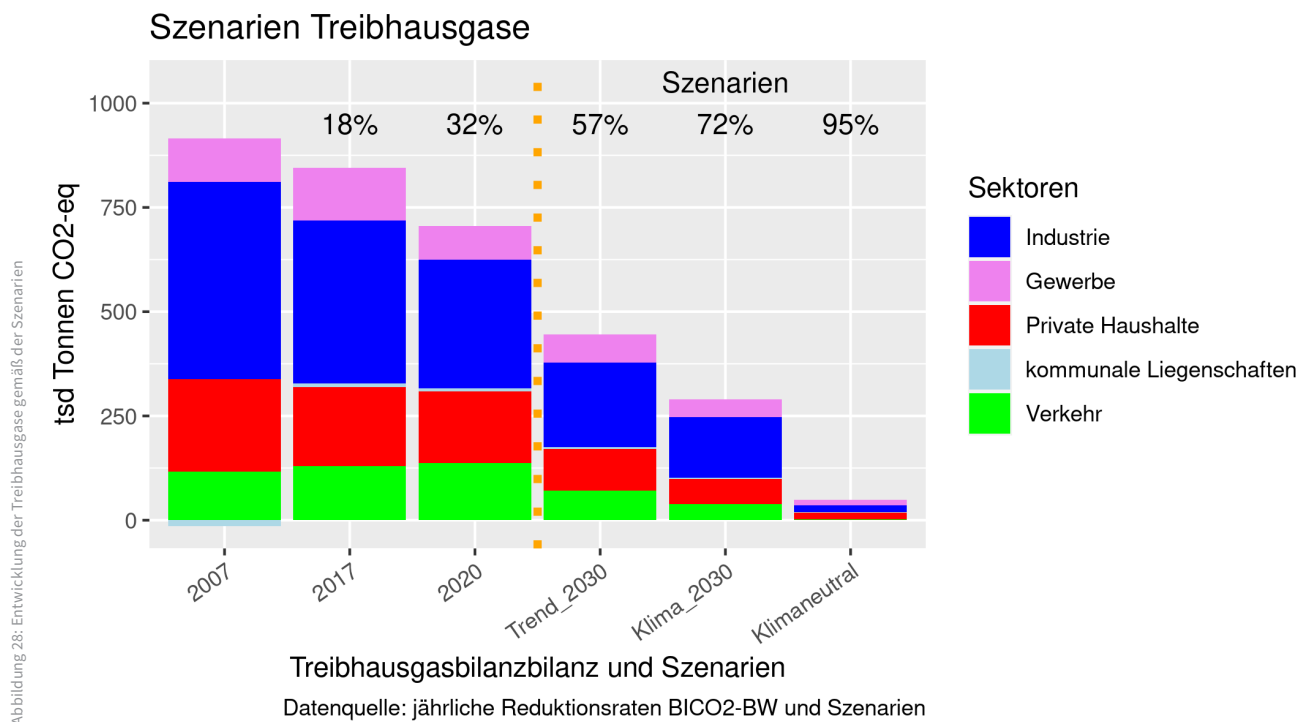
5.1.2 SZENARIO TREIBHAUSGASE

In diesem Abschnitt werden die Annahmen der Szenarien auf die Emission der Treibhausgase beleuchtet. Dabei geben die Emissionsfaktoren,

die im nächsten Abschnitt aufgelistet sind, die Rahmenbedingungen für die Berechnungen der Treibhausgase vor. Der Bundesstrommix ist für jedes Szenario unterschiedlich. Im Klimaszenario wird von einem höheren Anteil von Erneuerbaren Energien im Strommix ausgegangen. Das Szenario zur Klimaneutralität geht von nahezu 100% erneuerbaren Energien im Strommix aus. Im Gasnetz wird im Klimaszenario und in der Klimaneutralität vermehrt E-Methan, grüner Wasserstoff und Biogas eingesetzt. Weiterhin werden die Wärmenetze auf regenerative Energieträger umgestellt. Der Anteil der dezentralen Wärmeversorgung mit regenerativen Energieträger erhöht sich kontinuierlich bis zur Klimaneutralität.

Prozentuale Verteilung der Wärmebereitstellung und der Kraftstoffe in den Szenarien				
Szenarien	2020	Trend_2030	Klima_2030	Klimaneutral
Private Haushalte	170.7	100.5	59.9	16.6
Gewerbe	79.8	68.2	42.2	12.9
Industrie	308.7	201.6	144.9	16.4
kommunale Liegenschaften	8.1	4.8	3.0	0.9
Verkehr	137.5	70.4	39.2	1.4
Summe	704.7	445.5	289.4	48.4

Tabelle 9: Treibhausgasemissionen der Sektoren in Tsd Tonnen CO₂-eq in den einzelnen Szenarien



Nach den Szenarienrechnungen zur Reduktion der Treibhausgase lassen sich folgende Aussagen machen. Im Trendszenario wird eine Reduktion der Treibhausgase von 57% gegenüber 2007 erreicht. Unter der Annahme von verstärkten Klimaschutzmaßnahmen wird im Klimaszenario eine Reduktion der Treibhausgase von 72% gegenüber 2007 erreicht. In dem Szenario für die Klimaneutralität wird eine Reduktion der Treibhausgase von 95% gegenüber 2007 erreicht.

5.1.3 EMISSIONSFAKTOREN FÜR DIE SZENARIEN

Die Emissionsfaktor für das Jahr 2017 sind der Berechnung in BICO2-BW entnommen. Für die Wärmenetze wird ab 2030 eine Mischung aus erneuerbarer Fern- und Nahwärme von 40%

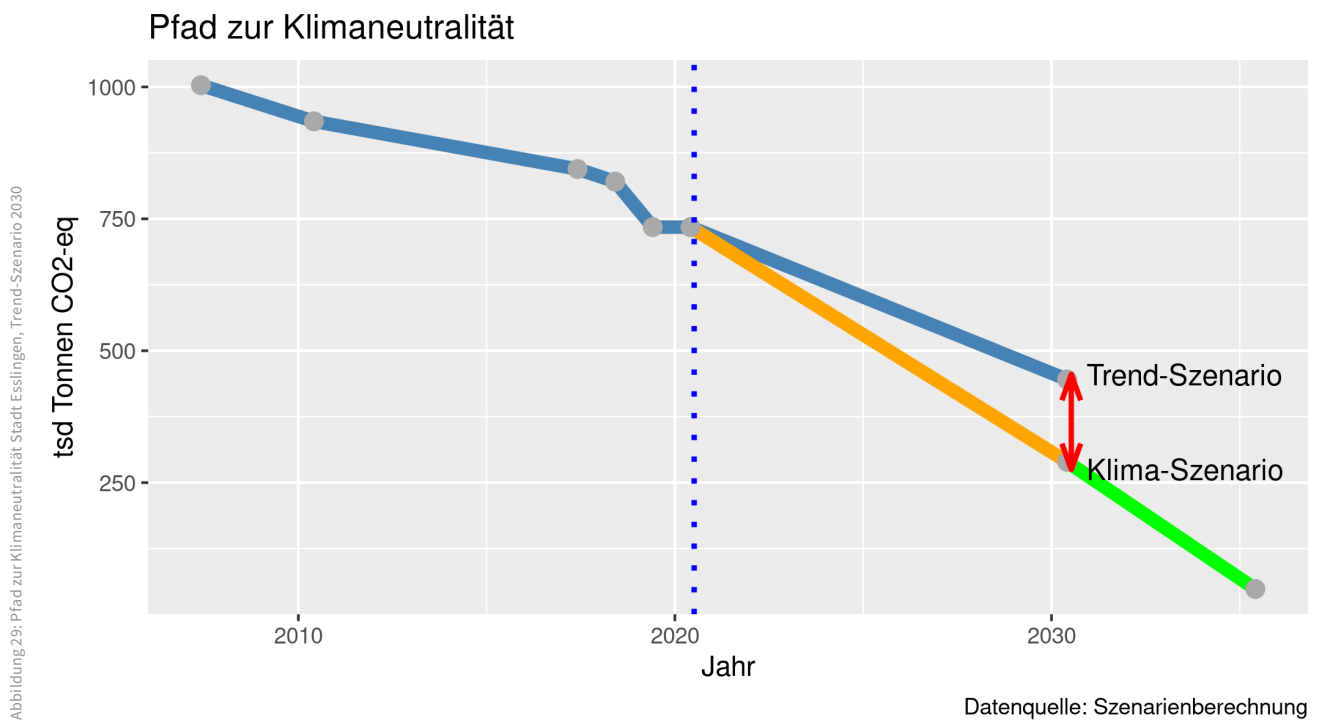
und 30% angenommen (GEMIS, Fernwärme-Heizung-DE-2030, Nahwärme-Heizung-DE-2005). Erdgas macht noch 30% der Wärmeversorgung aus. Im Szenario Klimaneutralität wird von einem Nahwärmeanteil von 20% ausgegangen. Die dezentralen erneuerbaren Energieträgern bestehen ab 2030 aus einem Mix aus 50% Wärmepumpen, 30% Solarthermie und 20% Biomasse (GEMIS, El-Wärmepumpe-mono Erdreich und Luft, Emissionsfaktoren für Solarthermie und Biomasse aus BICO2-BW) und machen 60% im Wärmesektor aus. Erdgas ist mit einem Anteil von 20% vertreten. Im Falle der Klimaneutralität kommen Wärmepumpen mit dem Medium Luft verstärkt zum Einsatz. Die Werte für den Bundesstrommix 2030 und für die Klimaneutralität basieren auf Werten aus dem Klimaschutzkonzept für die Stadt München (Öko-Institut 2017).

Emissionsfaktoren in g/kWh. Quelle 2017: GEMIS 4.94/5.0/Bilanz IFEU (2017)			
Emissionsfaktoren	Trend 2030	Klima 2030	Klimaneutral
Erdgas	228	100	100.0
Wärmenetze	155	120	120.0
Heizöl	320	320	320
Dezentrale EE-Träger	40	40	40
Bundesstrommix	346	261	30.4
Kraftstoffe	285	285	285.0

Tabelle 10: Emissionsfaktoren in g/kWh, Quelle 2017
4.94/5.0/Bilanz IFEU (2017)

5.2 Pfad zur Klimaneutralität

Die folgende Abbildung 29 beschreibt schematisch den Pfad der aufgezeigten Szenarien zur Klimaneutralität. Die blaue Linie folgt dem Trendszenario und die orangene Linie gibt den Pfad der Reduktion der Treibhausgase im Klimaszenario wieder. Mit Blick auf die Klimaneutralität ist der Klimapfad einfacher zu beschreiten, da das erreichbare Niveau den Weg zur notwendigen Treibhausgasreduktion für die Klimaneutralität ebnet. Es spricht viel dafür möglich schnell die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, um auf den Klimapfad zu kommen. In dieser Studie ist der Zeitpunkt der Erreichung der Klimaneutralität noch nicht klar definiert. Unter den globalen und nationalen Rahmenbedingungen ist eine Klimaneutralität zwischen 2040 und 2050 erstrebenswert, um das Ziel von Paris zu erreichen, die globale Erwärmung auf 1,5°C bis Ende des Jahrhunderts zu begrenzen. Ein Klimaschutzziel ist eine politischen Willensbekundung und wird in politischen Gremien im Austausch mit der Zivilgesellschaft entschieden.



5.3 Sektorziele Klimaneutralität

Aus dem Pfad zur Klimaneutralität (Abbildung 29) lassen sich jährliche Reduktionen der Treibhausgase insgesamt und nach den Sektoren (Abbildung 30) aufgeschlüsselt ableiten. Es wird hier eine lineare Minderung der Treibhausgase über zehn Jahre von 2020 bis 2030 angenommen. Wird bis 2030 das Klimaszenario als Grundlage für die Reduktion gewählt, ist eine jährliche Reduktionsrate von 5,9% nötig, um das Klimaszenario 2030 zu erreichen. In Tonnen Treibhausgase bedeutet das eine Reduktion von rund 41.540 Tonnen CO₂-eq jährlich. In den einzelnen Sektoren schwankt die jährliche Reduktionsrate von 4,7% jährlich im Sektor Gewerbe bis 7,1% im Sektor Verkehr (Tabelle 10).

Jährliche Reduktionsraten in den Sektoren 2020-2030					
Sektorziele	IST	Szenarien		Jährliche Reduktion	
	2020	Klima 2030	2030 Klimaneutral	Tonnen CO ₂ -eq	Prozent pro Jahr
Private Haushalte	170.674	59.925	16.684	11.075	6,5
Gewerbe	79.781	42.228	12.949	3.755	4,7
Industrie	308.653	144.927	16.446	16.373	5,3
Kommune	8.130	3.041	950	509	6,3
Verkehr	137.540	39.247	1.398	9.829	7,1
	704.777	289.368	48.391	41.541	5,9

Tabelle 11: Jährliche Reduktionsraten in den Sektoren 2020-2030

Zum Erreichen der Klimaneutralität wird hier von zwei Zeitpunkten 2035 und 2040 ausgegangen. Von der Basis des Klimaszenarios 2030, ist für eine Klimaneutralität eine jährliche Reduktionsrate der Treibhausgasemissionen von insgesamt 16,7% notwendig. Die Reduktionsrate schwank bei den einzelnen Sektoren von 13,8% im

kommunalen Bereich bis zu 19,3% im Sektore Verkehr. Bei einer angenommenen Klimaneutralität im Jahre 2040 halbieren sich die jährlichen Reduktionsraten und machen dann im kommunalen Bereich 6,9% aus und im Sektor Verkehr 9,6% (Tabelle 12).

Jährliche Reduktionsraten ab 2030, Klimaneutralität 2035 oder 2040				
Sektorziele	Klimaneutral 2035		Klimaneutral 2040	
	Tonnen CO ₂ -eq	Prozent pro Jahr	Tonnen CO ₂ -eq	Prozent pro Jahr
Private Haushalte	8.655	14,4	4.328	7,2
Gewerbe	5.856	13,9	2.928	6,9
Industrie	25.696	17,7	12.848	8,9
Kommune	418	13,8	209	6,9
Verkehr	7.570	19,3	3.785	9,6
	48.195	16,7	24.098	8,3

Tabelle 12: Jährliche Reduktionsraten ab 2030, Klimaneutralität 2035 oder 2040

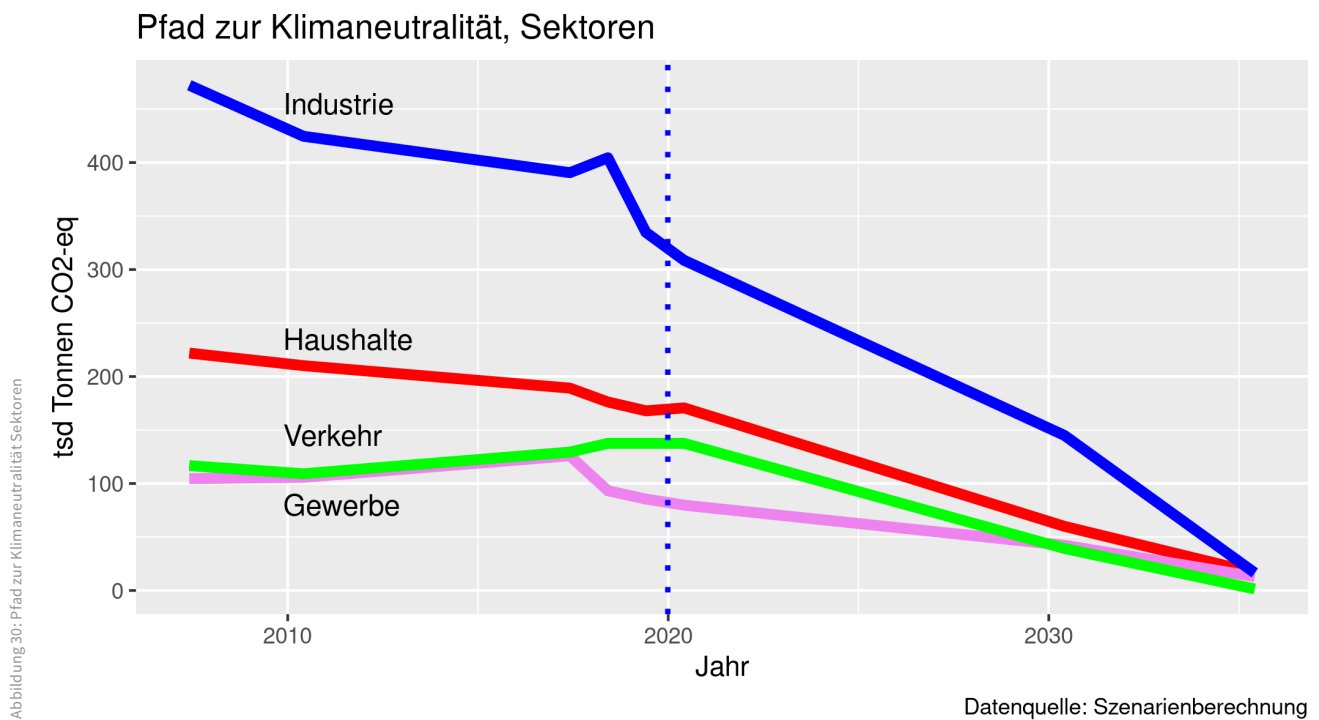


Abbildung 30: Pfad zur Klimaneutralität Sektoren

Abbildung 30 zeigt den zeitlichen Verlauf der Treibhausgasemissionen der einzelnen Sektoren. Ab 2020 lässt sich nur eine lineare Reduktion der Treibhausgase im Klimaszenario und dem Pfad zur Klimaneutralität abschätzen. Der Sektor Industrie zeigt im Jahr 2018 einen Höhepunkt an Treibhausgasemissionen und lässt in den Szenarien eine lineare Reduktion erkennen. Ab 2030 ist eine stärkere Reduktion notwendig, wenn 2035 als Ziel der Klimaneutralität gewählt wurde. Im Sektor Haushalte ist eine leicht höhere Reduktionsrate der Treibhausgase notwendig, als sie vor 2020 erreicht wurde. Die Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr steigen bis 2020 und eine Trendwende zu einer Reduktion ist notwendig, um auf den Klimapfad einzuschwenken. Im Sektore Gewerbe war bis 2017 ein Anstieg der Treibhausgase zu verzeichnen. Ab 2018 sinken die

Emissionen in diesem Sektor und ab 2020 kann ein linearer Rückgang der Emissionen prognostiziert werden.

6 KLIMAWANDEL UND KLIMAANPASSUNG IN ESSLINGEN

6.1 Vorhandene Grundlagen mit Bezug zur Klimafolgenanpassung

In Esslingen und der Region Stuttgart wurden in den letzten Jahren einige Studien und Konzepte erstellt, die das Thema Klimafolgenanpassung direkt oder indirekt berühren und eine wertvolle Grundlage für die vorliegende Untersuchung darstellen.

Dazu zählen räumliche Analysen, in denen schützenswerte Räume, gefährdete bzw. sensible Fläche und Belastungsbereiche für verschiedene Themen in Esslingen verortet wurden. Die für den Klimaanpassungsprozess bedeutendsten Analysen werden im Projekt aufgegriffen und in der Fokusraumkarte schematisiert und anschaulich dargestellt (siehe Kap. 5.1). Zuvorderst sind dabei die „FNP-Layer Anpassung an den Klimawandel für Esslingen“ zu nennen, in denen aus dem KARS-Projekt abgeleitete Fachinformationen gebündelt werden (Verband Region Stuttgart, 2016) und die eine zentrale Basis für den Flächennutzungsplan 2030 darstellten (Stadt Esslingen, 2018a). Mit den Layern werden z.B. Flächen im Innen- und Außenbereich aufgezeigt, deren Funktionen zu sichern sind (z.B. Luftleitbahnen, Hochwasserretentionsreserven, bedeutende Waldflächen, Biotopverbund) bzw. in denen Sanierungsbedarf gesehen wird (z.B. Kühl-Bedarf, Erosionsschutz). Weitere wichtige Grundlagen mit Bezug zur Klimafolgenanpassung stellen folgende Analysen bzw. Informationen dar:

- Hochwassergefahrenkarte (LUBW, 2016)
- Gefahrenkarten bei Unwetterereignissen / Starkregen (Stadt Esslingen, 2020)

- Modellbasierte Stadtklimaanalyse (GEO-NET, 2018)
- Der Esslinger Stadtwald und seine Funktionen (Stadt Esslingen, 2018b)

Besonders prägend ist der „Stadtkompass ES 2027“, der den Klimawandel als eines von fünf Fokusthemen für Esslingen sieht und nicht nur Anstoß für die vorliegende Untersuchung war, sondern – in enger Übereinstimmung mit den Ergebnissen des KARS-Projekts – auch Lösungskorridore zur Anpassung formuliert (z.B. Hitzeaktionsplan, Starkregenvorsorge; Stadt Esslingen, 2019). Ergänzend gibt es bereits heute Strukturen und Informationsmaterial in Esslingen, die als Anknüpfungspunkte für Maßnahmen zur Klimaanpassung genutzt werden können:

- Informationsmaterial der Stadt und des Landkreises Esslingen z.B. zu Hochwasserschutz, Sommerhitze, Hinweise zu Bauvorhaben mit Blick auf das Stadtgrün, Eichenprozessions-spinner, etc.
- Zielgruppenspezifische Informationen wie den „Wegweiser für Seniorinnen und Senioren“
- Partizipative Elemente wie „Frag den OB“, das Projekt „Nette Toilette“, Lotsenservice innerhalb der Verwaltung sowie Unterstützung in Genehmigungsverfahren durch das Amt für Wirtschaft

6.2 Klimawandel in Esslingen: Zusammenfassung

Die Aussagen zum erwarteten Klimawandel in Esslingen gelten für die nahe (2021–2050), mittlere (2041–2070) sowie ferne Zukunft (2071–2100) und stützen sich auf ein Modellensemble der EURO-CORDEX-Initiative, das verschiedene Entwicklungspfade der Treibhausgas-Emissionen berücksichtigt.

Die Projektionen verdeutlichen, dass sich der bereits heute beobachtete Trend einer Erwärmung in Esslingen zukünftig fortsetzt. So werden weiterhin steigende Jahresmitteltemperaturen bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet. Die mit dem Temperaturanstieg einhergehende Erwärmung bedingt eine Zunahme an Sommertagen, Heißen Tagen und Tropennächten, zudem gibt es Hinweise, dass die Länge von Hitzeperioden zunimmt. Frost- und Eistage treten dagegen zukünftig seltener auf und sorgen für mildere Winter, die eine geringere Zahl an Tagen mit Frost- und Tauwechseln und eine verlängerte Vegetationsperiode nach sich ziehen.

Für den Jahresniederschlag ist eine langfristig leicht steigende, wenn auch nicht signifikante, Tendenz in Esslingen zu erkennen. Entscheidend sind saisonale Verschiebungen des Niederschlags mit einem Trend zu geringeren Niederschlagsmengen im Sommer und höheren Werten im Winter und Frühjahr. Dieser Trend wirkt sich auch die klimatische Wasserbilanz aus, die über das Jahr gesehen annähernd konstant bleibt, in der saisonalen Betrachtung jedoch deutliche Veränderungen zeigt. So ist in den Winter- und Frühjahrsmonaten mit einem Anstieg

der klimatischen Wasserbilanz zu rechnen. Aufgrund geringerer Niederschläge bei steigenden Verdunstungsraten ist dagegen im Sommer von einer Abnahme der klimatischen Wasserbilanz und einem Rückgang des natürlichen Wasserdargebots auszugehen. Die Projektionen der Klimamodelle legen folglich, obgleich statistisch schwer erfassbar, den Schluss nahe, dass in Zukunft mit einer vermehrten sommerlichen Trockenheit gerechnet werden muss. Besonders betroffen dürften dabei Gebiete sein, die heute bereits Trockenheitstendenzen aufweisen.

Starkniederschläge zählen zu den seltenen Ereignissen, sodass statistische Auswertungen nur bedingt möglich sind. Aufgrund ihres enormen Schadenspotenzials sollten jedoch selbst geringe Änderungen nicht außer Acht gelassen werden. Die regionalen Klimamodelle projizieren für Niederschlagsereignisse ≥ 10 sowie ≥ 20 mm/d überwiegend steigende Häufigkeiten, wobei die Zunahmen zum Ende des Jahrhunderts hin am größten sind. Für Starkniederschläge ≥ 30 mm/d sind valide Aussagen derzeit kaum möglich, doch deutet sich langfristig eine leicht steigende Auftretshäufigkeiten an. Die Zunahme von Tagen mit mindestens starkem Niederschlag ist verbunden mit einer rückläufigen Anzahl von Tagen mit Niederschlägen < 10 mm/d, woraus gefolgert werden kann, dass die Häufigkeit von Tagen mit Niederschlag im Mittel abnimmt, die Niederschlagsintensität jedoch zunimmt.

Genau wie Starkniederschläge gehören Stürme zu den seltenen Ereignissen, die nur bedingt statistisch auswertbar sind. Hinzu kommt, dass die regionalen Klimamodelle teilweise nicht in der Lage sind, Böen korrekt zu reproduzieren und

daher Sturmereignisse oftmals nur unzureichend abbilden. Daher sind in Esslingen keine validen Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Stürmen ableitbar. Eine durch die zunehmende Erwärmung aufgeheizte Atmosphäre besitzt jedoch mehr latente Wärme, woraus sich ein Potenzial für heftigere Sturm- und Starkregenereignisse ergibt. Daher sollten Stürme, obwohl mit den derzeitigen Modellen keine zunehmende Häufigkeit nachweisbar ist, bei Klimaanpassungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden – nicht zuletzt angesichts des Ausmaßes vergangener Ereignisse (u.a. Orkan „Lothar“ im Dezember 1999, Orkantief „Kyrill“ im Januar 2007, Orkantief „Xynthia“ im Februar 2010, Orkantief „Friederike“ im Januar 2018).

6.3 Klimawandel in Esslingen: Datengrundlagen und Methodik

6.3.1 BEOBACHTETER KLIMAWANDEL

Die Beschreibung der klimatischen Entwicklung in Esslingen basiert auf interpolierten Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD; Kaspar et al. 2013). Die Daten weisen eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und eine zeitliche Auflösung von jährlichen Mittelwerten auf. Teilweise reichen die Beobachtungsdaten bis in das Jahr 1881 zurück (Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssumme). Minimum- bzw. Maximumtemperaturen sind seit 1901 verfügbar und Daten zu thermischen Kennwerten sowie Starkniederschlägen seit 1951.

Anhand der Stadtgrenze Esslingens wurden die entsprechenden Punkte aus dem regelmäßigen 1 x 1 km- Gitter extrahiert, räumlich aggregiert und

zu repräsentativen Zeitreihen zusammengestellt. Diese jährlichen Zeitreihen wurden direkt ausgewertet. Zudem wurden daraus die Mittelwerte über 30-jährige Perioden gebildet, um Aussagen zur langfristigen klimatischen Entwicklung treffen zu können.

Die aus Stationsdaten erzeugten Gitterdaten weisen gewisse Unsicherheiten auf, die aus einer über die Zeit veränderten Stationsdichte und der Lage, der für die Interpolation verwendeten Stationen, resultieren können. Ferner hat sich die Messtechnik im betrachteten Zeithorizont weiterentwickelt, sodass bei älteren Zeitreihen höhere Messungenauigkeiten zu erwarten sind als bei Zeitreihen jüngerer Datums. Für die vorliegenden Auswertungen ist die Genauigkeit der Daten als vollkommen ausreichend anzusehen.

6.3.2 ERWARTETER KLIMAWANDEL

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der EURO-CORDEX-Initiative. EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC¹ 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) bereitgestellt².

¹ In Intergovernmental Panel on Climate Change (‘‘Weltklimarat’’; IPCC 2014)

² Homepage: www.euro-cordex.net

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. 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 und 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 Esslingen ein Modellensemble bestehend aus 39 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen, die mit jeweils unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben werden (Tab. A 1 im Anhang). Da EURO-CORDEX ein fortlaufendes Projekt ist und die Datenbanken mit den Modellergebnissen permanent aktualisiert werden, können bis zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen sein, die in der Auswertung nicht enthalten sind.

Die Mitglieder des Ensembles werden als 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).

RÄUMLICHE UND ZEITLICHE AUFLÖSUNG

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 projizierte Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag und einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11 °) verwendet. Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Identifikation und Auswahl des dem Mittelpunkt von Esslingen am nächsten gelegenen Gitterpunkts sowie der acht umliegenden Gitterpunkte. Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (1 Tag) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2020a).

RCP-SZENARIEN

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, 4.5 und 8.5 (RCP = Representative Concentration Pathways), die seit dem fünften IPCC-Bericht die SRES-Szenarien abgelöst haben (Special Report on Emissions Scenarios). Die Zahl

in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m^2 , der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; Abb. 31):

- Das RCP-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m^2 . Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf $2,6 \text{ W/m}^2$ ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2°C -Ziel nicht überschreiten, sodass RCP 2.6 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 RCP-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. $4,8^\circ\text{C}$ gegenüber dem Zeitraum 1985–2005 bewirken würde. Das RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher-Szenario“ bezeichnet.

Die weltweiten CO_2 -Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. Aktuell befinden wir uns, nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes, mit

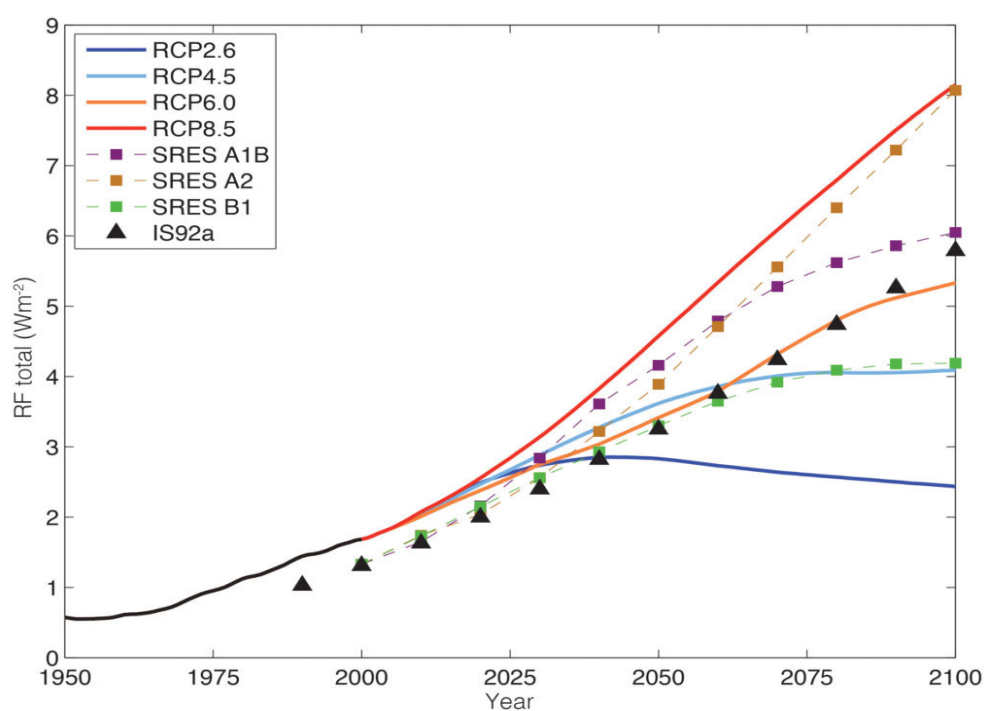


Abbildung 31: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien (die schwarze Linie repräsentiert Messwerte; Cubasch et al. 2013)

den globalen CO₂-Emissionen auf dem „Pfad“ des RCP-Szenarios 8.5 (Boden 2017, Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO₂-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Im vorliegenden Bericht sind aus diesem Grund vornehmlich Grafiken zu Klimaänderungen des RCP-Szenarios 8.5 platziert, die Auswertungen der RCP-Szenarien 2.6 und 4.5 finden sich jeweils im Anhang.

METEOROLOGISCHE KENNTAGE

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage kann entweder anhand von Schwellenwerten wie bspw. $T_{max} \geq 25^\circ\text{C}$ für Sommertage (schwellenwertbasiert) 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 Esslingen 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 der 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, daher 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 adjustiert (Piani et al. 2010, Themeßl et al. 2011). 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 (vgl. Abb. A 1 im Anhang). Die Auswertung der Regionalmodellsimulationen wurde dann mit den adjustierten Kenntagen durchgeführt, um systematische Verzerrungen der Ergebnisse weitgehend zu vermeiden.

STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die Analyse des zukünftigen Klimawandels wurde mit zwei methodisch unterschiedlichen Herangehensweisen durchgeführt. Im ersten Ansatz wurden die Daten des Modellensembles zu zusammenhängenden Zeitreihen von 1971–2100 zusammengeführt und für jede betrachtete Variable untersucht, ob ein zeitlicher linearer Trend vorliegt und die Trendentwicklung statistisch signifikant ist. Die statistische Signifikanz wurde anhand des Trend-/Rauschverhältnisses ermittelt (vgl. Tab. A 2 im Anhang).

Für die Beschreibung des zukünftigen Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in dem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind. Die World Meteorological Organisation (WMO) empfiehlt die Verwendung der sogenannten 30-jährigen Klimanormalperiode von 1961–1990. Da jedoch bei einigen der verwendeten regionalen Klimamodelle der Zeitraum des Referenzlaufs erst 1971 beginnt, wurde hier der Zeitraum von 1971–2000 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 zweiten Ansatz für jede Variable zeitliche Mittelwerte über folgende Zeiträume berechnet:

- Referenzperiode: 1971–2000
- 1. Zukunftsperiode (nahe Zukunft): 2021–2050
- 2. Zukunftsperiode (mittelfristige Zukunft): 2041–2070
- 3. Zukunftsperiode (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. Dabei 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 Skalen (Jahre, Monate, Tage) nicht exakt miteinander vergleichbar.

EXKURS: BOX PLOTS

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 (Abb. A 2 im Anhang).

Folgend wird anhand der langjährigen Änderung der mittleren Anzahl Heißer Tage pro Jahr in Esslingen beispielhaft erläutert (Tagesmaximum der Temperatur $\geq 30^\circ\text{C}$), wie solche Box Plots „zu lesen“ sind.

Der mittlere, gelbe Box Plot zeigt die Änderung der Anzahl Heißer Tage pro Jahr im RCP-Szenario 4.5 in der mittelfristigen Zukunft (2041–2070) im Vergleich zur Referenzperiode (1971–2000; Abb. 31). Für das RCP-Szenario 4.5 umfasst das Modelensemble 12 verschiedene Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen (Tab. A 1 im Anhang), d.h. es gibt 12 Modellergebnisse

zur zukünftigen Anzahl Heißer Tage pro Jahr in Esslingen.

Die dicke schwarze Linie im Box Plot kennzeichnet den Median (7 zusätzliche Heiße Tage pro Jahr in der mittelfristigen Zukunft), der unempfindlich gegenüber Extremwerte ist und angibt, dass jeweils 50 % der Modelldaten kleiner oder gleich bzw. größer oder gleich dem Median sind.

Die gelbe Box gibt den Wertebereich zwischen dem unteren und oberen Quartil an (25 % aller Modelle sagen eine geringere bzw. höhere Änderung voraus), d.h. die Hälfte aller Modelle projiziert zwischen 5,8 und 9,6 zusätzliche Heiße Tage pro Jahr in Esslingen.

Die Antennen grenzen den geringsten und höchsten Modellwert innerhalb des anderthalbfachen Interquartilsabstands um den Median ein (Streuungsmaß in der deskriptiven Statistik, das die Breite des Intervalls angibt, in dem die mittleren 50 % der Stichprobeelemente liegen) – damit wird eine Spannbreite aufgezo-gen, in der typischerweise die meisten Modellergebnisse liegen.

Sehr hohe oder sehr geringe Werte außerhalb dieser Spannbreite werden als kleine Kreise dargestellt (im Beispiel trifft dies auf den maximalen Modellwert von ca. 19 zusätzlichen Heißen Tagen zu) und sind als Extremwerte oder Ausreißer der Modelldaten einzuordnen.

6.4 Beobachteter Klimawandel in Esslingen

Das Klima eines Ortes wird bestimmt durch seine geographische Breite, die Höhenlage, die Art des Untergrundes, die Orographie sowie anthropogene Veränderungen der Landschaft.

Baden-Württemberg liegt im submaritimen bis subkontinentalen Bereich, wird klimatisch aber insb. durch das bewegte Relief mit seinen starken Höhenunterschieden bestimmt. Die Region Stuttgart liegt größtenteils im Neckarbecken, eingebettet u.a. vom Schwarzwald im Südwesten und der Schwäbischen Alb im Südosten (Klimaatlas Region Stuttgart 2018). Die Topographie Esslingens wird durch den Neckar, der das Stadtgebiet von Osten nach Westen durchfließt, und die in entgegengesetzter Richtung verlaufenden Seitentäler von Geiselbach, Hainbach und verschiedenen kleineren Bachläufen geprägt (KARS 2016). Große Teile der Kernstadt liegen im Bereich der Neckaraue auf ca. 230–240 m über Normalhöhennull (NHN), während im Norden der Stadt Höhenzüge bis knapp 500 m NHN anschließen.

In der Referenzperiode 1971–2000 lag die **Jahresmitteltemperatur** in Esslingen bei 9,5 °C. Beim Blick in die Vergangenheit wird deutlich, dass in Esslingen – dem nationalen und globalen Trend folgend – bereits eine deutliche Erwärmung stattgefunden hat. So ist die Temperatur seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen um 1,5 °C gestiegen (Mittelwert 1990–2019 im Vergleich zu 1881–2010). Zudem sind die fünf wärmsten Jahre seit 1881 allesamt

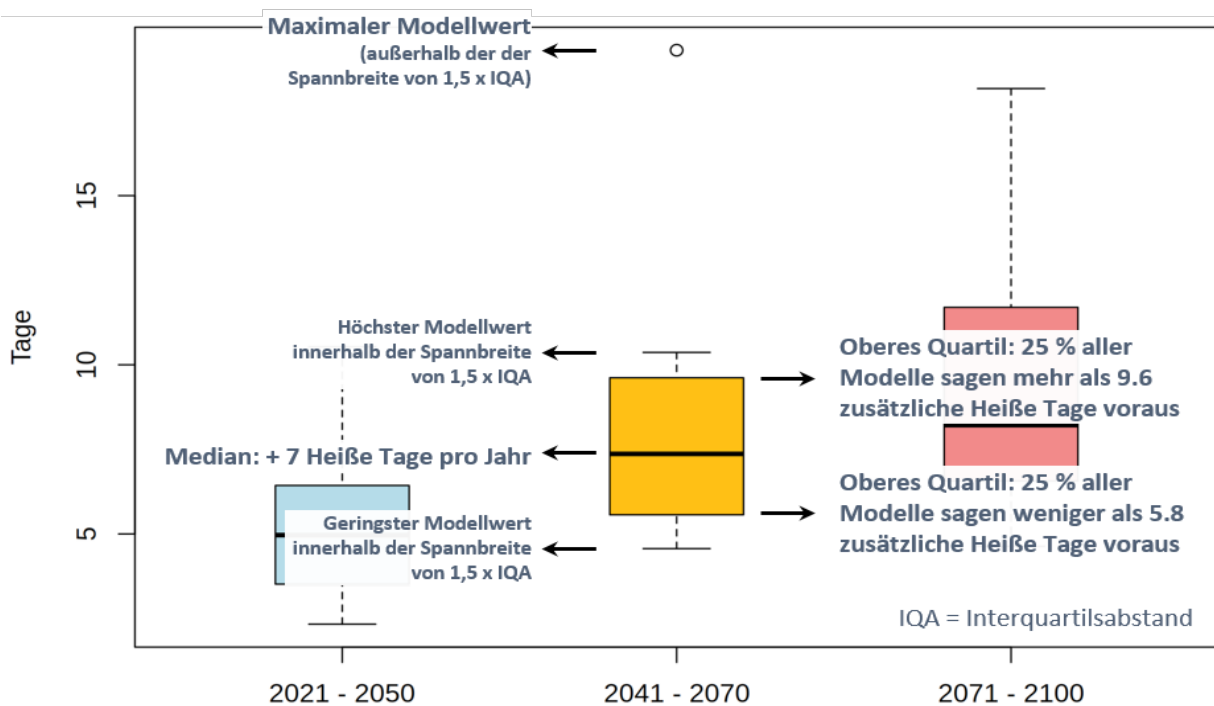


Abbildung 32: Veranschaulichung Boxplot anhand der langjährigen Änderung der mittleren Anzahl von heißen Tagen pro Jahr ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$) in Esslingen in den drei Zukunftsperioden für das RCP-Szenario 4.5

in den letzten drei Dekaden aufgetreten – darunter die Top 3 Jahreswerte allein in den letzten sechs Jahren (Abb. 32).

Die Lage im Neckartal und der subkontinentale Einfluss drücken sich weniger in Mitteltemperaturen aus, sorgen aber für eine hohe Variabilität in der **Anzahl meteorologischer Kenntage**. So wurde in den letzten 30 Jahren in Esslingen im Mittel sowohl eine relativ hohe Anzahl an Sommertagen (53 pro Jahr) als auch Frosttagen beobachtet (76 pro Jahr; Tab. 13). Dabei zeigt sich in der langjährigen Entwicklung die klare Tendenz einer Erwärmung. Im Vergleich der Perioden 1961–1990 zu 1990–2019 traten in Esslingen pro Jahr im Mittel 15 Sommertage mehr auf und hat sich die Anzahl der als besonders belastend geltenden heißen Tage ungefähr verdoppelt,

während Frost- bzw. Eistagen im selben Zeitraum um 11 bzw. 6 Tage pro Jahr zurückgegangen sind. Tropennächte treten gegenwärtig äußerst selten auf, sodass die beobachteten Änderungen statistisch nicht ausreichend belastbar sind. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die hierfür zugrunde gelegte Wetterstation nicht im Neckartal und zudem höher liegt (ca. 370 m NHN), sodass die Anzahl der Tropennächte für Esslingen vermutlich unterschätzt wird.

In Bezug auf den **Niederschlag** sind in der Vergangenheit geringfügige Auswirkungen durch den Klimawandel festzustellen. Zwar zeigt sich ein Trend steigender Jahresniederschläge seit Beginn der systematischen Messungen Ende des 19. Jahrhunderts (Abb. A 2 im Anhang). Über die letzten ca. 60 Jahre sind jedoch keine relevanten

Veränderungen auszumachen und die mittlere jährliche Niederschlagsmenge schwankte um 785 mm (Tab. 13).

Mit der zunehmenden Erwärmung steigt das Potenzial für **Starkniederschläge**, die statistisch schwer zu erfassen sind, da sie eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität besitzen und oftmals nur lokal auftreten. Eine flächen-deckende Erfassung solcher Ereignisse mittels Radar ist erst seit Beginn des 21. Jahrhunderts möglich (Radar-Online-Aneichung; siehe www.dwd.de/DE/leistungen/radolan/radolan.html). Diese Zeitreihen sind jedoch noch zu kurz, um gesicherte klimatische Aussagen treffen zu können. Längere Zeitreihen liegen für Tageswerte

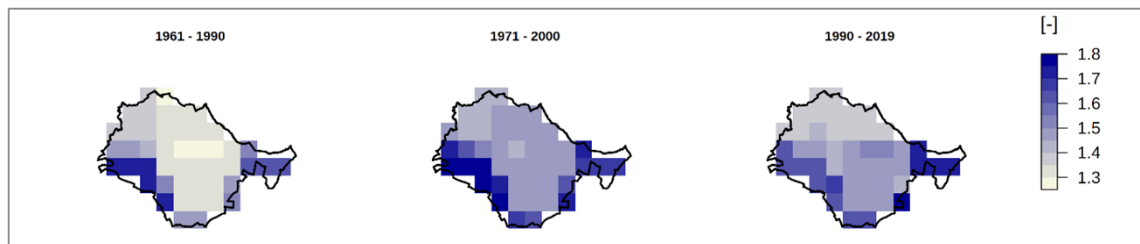
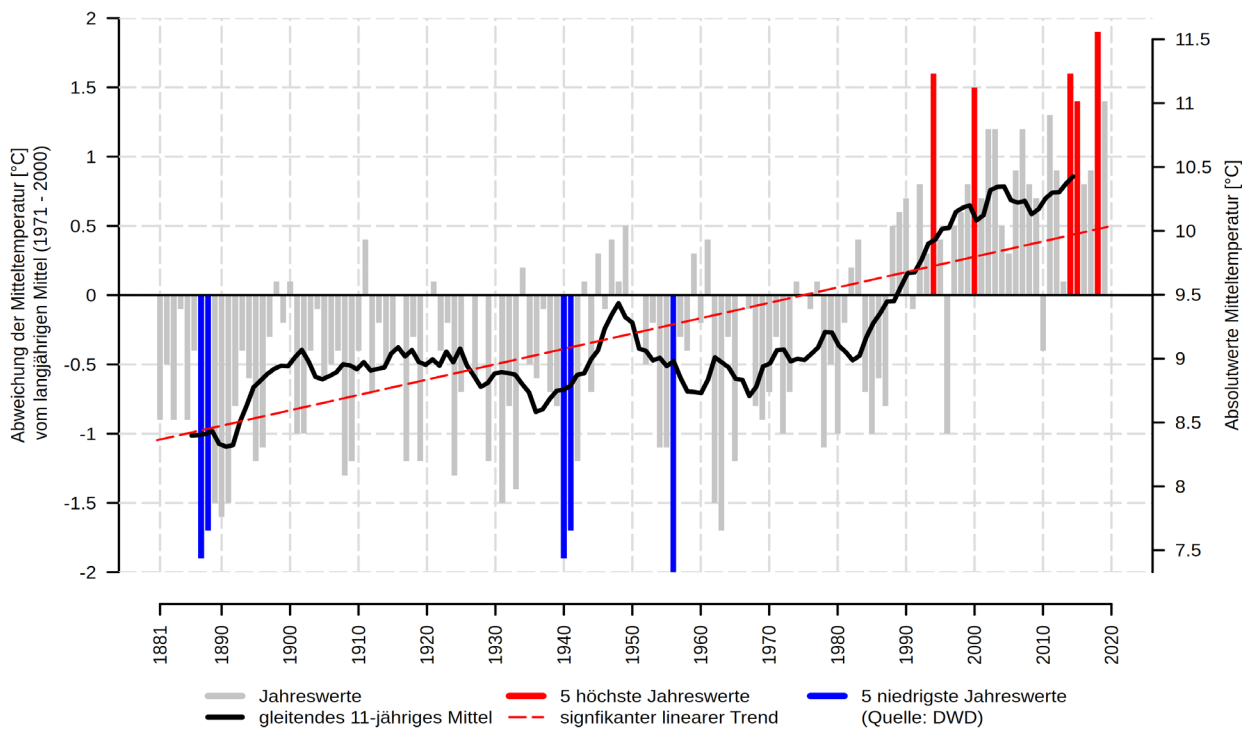
des Niederschlags vor. Dabei können nur Häufigkeiten von Niederschlägen über einem bestimmten Schwellenwert ausgewertet werden (bspw. Tage > 10 mm Niederschlag), eine Kombination mit der Dauer des zugehörigen Ereignisses ist nicht möglich.

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts sind in Esslingen keine signifikanten Änderungen an Tagesniederschlägen von mehr als 10, 20 bzw. 30 mm zu erkennen (Tab. 13). Für die Anzahl an Tagen mit Niederschlägen > 30 mm deutet sich eine leicht zunehmende Häufigkeit an (vgl. Abb. 34), die aufgrund ihrer Seltenheit jedoch statistisch nicht abschließend belegt werden kann.

Langjährige mittlere Entwicklung von Temperaturen, Niederschlag und meteorolog. Kenndaten in Esslingen in der Vergangenheit

	1961–1990	1997–2000	1990–2019
Mittelwert der Lufttemperatur [°C]	9,1	9,5	10,2
Sommertage ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	38	41	53
Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	6	8	13
Tropennächte ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	0,1	0,1	0,2
Frosttage ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	87	80	79
Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	19	16	13
Jahresniederschlag [mm/Jahr]	787	785	779
Tage mit Niederschlag > 10 mm [n/Jahr]	22	21	21
Tage mit Niederschlag > 20 mm [n/Jahr]	5	5	5
Tage mit Niederschlag > 30 mm [n/Jahr]	1	2	2

Tabelle 13: Langjährige Entwicklung von Temperaturen, Niederschlag und meteorolog. Kenndaten in Esslingen in der Vergangenheit (nach DWD 2020c bzw. für die Tropennächte DWD-Situation Stuttgart-Echterdingen (DWD 2020b))



6.5 Erwarteter Klimawandel in Esslingen

6.5.1 TEMPERATURZUNAHME & HITZE

Alle drei RCP-Szenarien projizieren ein deutliches Ansteigen der Jahresmitteltemperatur in Esslingen bis zum Jahr 2100. Dies gilt nicht nur für den in Abb. 35 gezeigten Median des Modellensembles, vielmehr weisen sämtliche Modellkombinationen des Ensembles einen Anstieg der jährlichen Mitteltemperaturen auf, sodass der Trend als äußerst robust einzuschätzen ist. Noch stärker als die Mitteltemperaturen steigen die Maximum- und insbesondere Minimumtemperaturen (Tab. 14).

Der Temperaturanstieg fällt im RCP-Szenario 8.5 am stärksten aus. Dabei tritt in allen drei Zukunftsperioden eine deutliche Zunahme auf, wobei die stärksten Zunahmen am Ende des Jahrhunderts zu verzeichnen sind. Im RCP-Szenario 2.6 wird ein moderater Temperaturanstieg und ungefähr ab Mitte des Jahrhunderts eine Stagnation und zum Ende des Jahrhunderts sogar ein leichter Rückgang erwartet, da sich dann die positiven Auswirkungen der im RCP 2.6 angenommenen globalen Klimaschutzmaßnahmen bemerkbar machen.

Zum Ende des Jahrhunderts nimmt die Unsicherheit und damit auch Variabilität der erwarteten Temperaturänderung zu, was durch den Möglichenbereich abgebildet wird (kleinster bis größter Wert in den Modellergebnissen, beige hervorgehoben). Der Erwartungsbereich (grau) zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Modellensembles.

Der in Abb. 35 abgebildete, bereits vergangene Zeitraum ab 1971 wird durch (in die Vergangenheit) modellierte Daten und nicht durch Beobachtungsdaten repräsentiert (dies gilt für alle Diagramme mit Zeitreihen von Modelldaten in diesem Kapitel).

Im Jahresgang ist ein Temperaturanstieg in allen Monaten erkennbar, jedoch treten im Spätsommer und Winter größere Temperaturänderungen auf als im Frühjahr (Abb. 36). Dieses Muster zeigen alle drei RCP-Szenarien (vgl. Abb. A 3 im Anhang), wobei die Zunahmen im RCP 8.5 am höchsten ausfallen und sich generell zum Ende des Jahrhunderts verstärken (rote Boxen in Abb. 36).

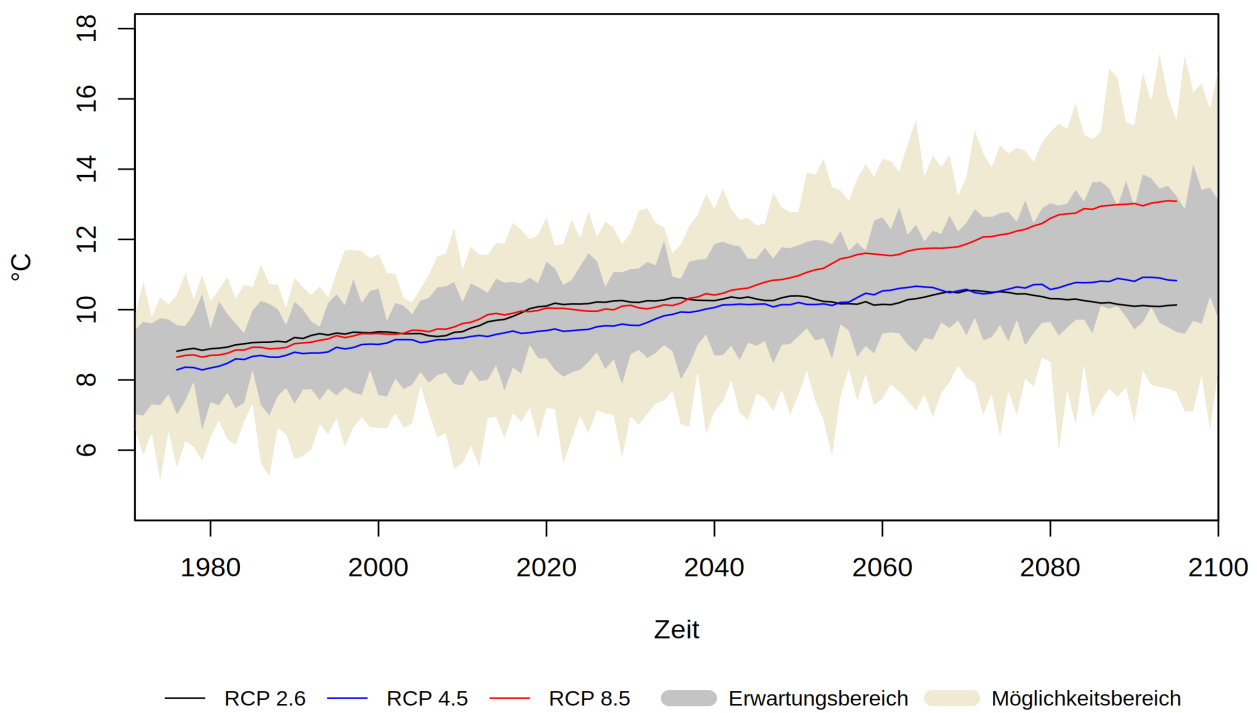
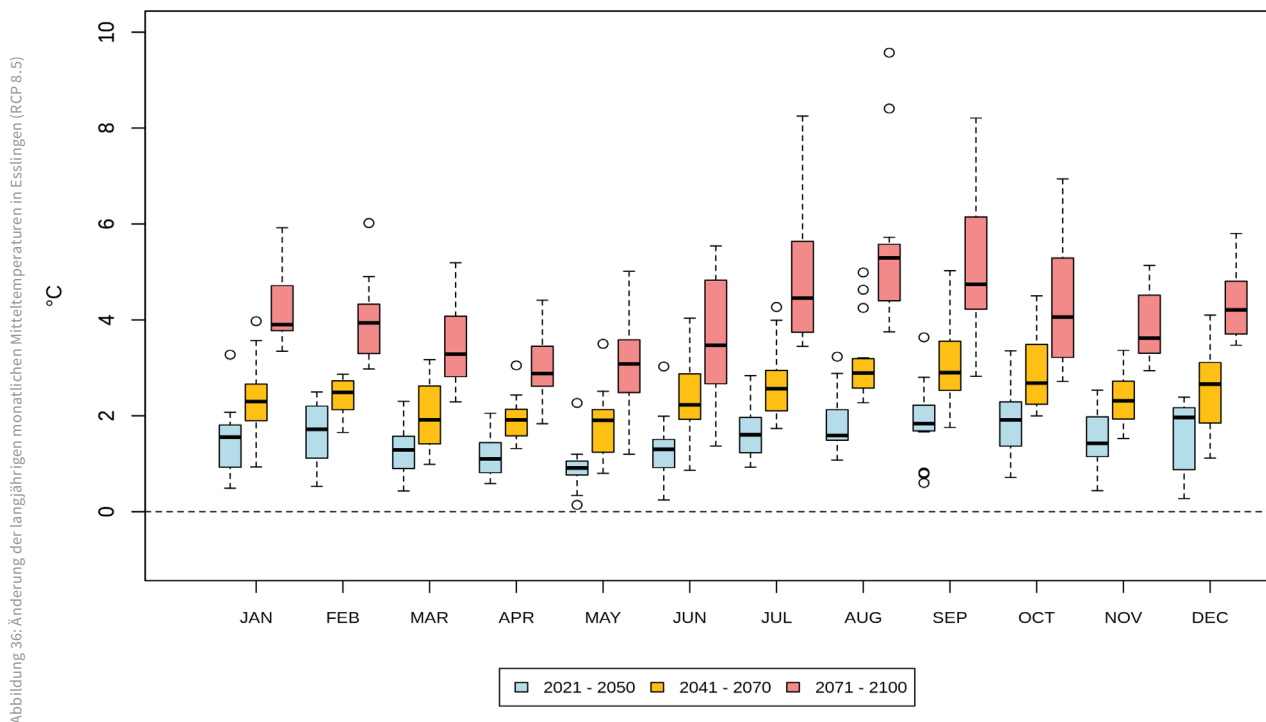


Abbildung 35: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Esslingen (alle RCP-Szenarien)

Variable	Szenario	Änderungen 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	0,8	1,1	1,6	0,9	1,2	1,6	0,9	1,1	1,8
	RCP 4.5	0,9	1,3	1,6	1,1	1,8	2,4	1,6	2,1	2,8
	RCP 8.5	1,0	1,6	2,0	1,9	2,5	3,0	3,1	4,0	5,1
Mittleres Tagesminimum der Temperatur [°C]	RCP 2.6	1,7	2,2	3,3	1,8	2,1	3,4	1,6	2,4	3,9
	RCP 4.5	2,3	3,0	4,5	2,6	4,0	6,0	3,9	5,0	5,7
	RCP 8.5	2,0	3,6	4,3	3,7	4,9	7,0	6,1	8,9	10,9
Mittleres Tagesmaximum der Temperatur [°C]	RCP 2.6	0,4	1,1	2,7	0,5	1,4	2,2	0,7	1,2	2,5
	RCP 4.5	0,8	1,6	2,5	1,1	3,2	3,2	1,6	2,4	3,9
	RCP 8.5	1,3	2,0	2,4	2,4	4,7	4,7	4,5	5,6	7,5

Tabelle 14: Langjährige Änderung der Temperatur in Esslingen (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median)



Der projizierte Temperaturanstieg steht in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung thermischer Kenntage, die eine anschaulichere Sicht auf klimatische Änderungen zulassen. So nimmt die durchschnittliche jährliche Anzahl an Sommertagen und Heißen Tagen zukünftig deutlich zu (Tab. 15). Bspw. ist im RCP 8.5 zum Ende des Jahrhunderts hin im Mittel mit 34 Heißen Tagen pro Jahr zu rechnen, während diese in der Referenzperiode nur 8-mal jährlich auftraten (1971–2000).

Tropennächte treten in Esslingen derzeit relativ selten auf (im Mittel weniger als 1 Tropennacht pro Jahr). In der nahen Zukunft (2021–2050) wird durchschnittlich 1 zusätzliche Tropennacht pro Jahr erwartet (Tab. 15), sodass sie zwar regelmäßig, aber noch selten auftreten.

In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wird die Entwicklung stark vom zugrunde gelegten Szenario beeinflusst. Während die Häufigkeit von Tropennächten im RCP 2.6 stagniert (wobei die statistische Signifikanz aufgrund der geringen Werte eingeschränkt ist), projiziert das RCP 8.5 eine deutliche Zunahme. Demnach wären in der 3. Zukunftsperiode 8 bis 20 Tropennächte pro Jahr in Esslingen möglich. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Klimamodelle den Wärmeinseleffekt nicht erfassen, d.h. in innerstädtischen Bereichen eine höhere Anzahl an Tropennächten anzunehmen ist, und die Tallage der Esslinger Kernstadt nur bedingt widerspiegeln können.

Variable	Szenario	Änderungen 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 ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	RCP 2.6	7	12	19	8	12	19	9	13	18
	RCP 4.5	9	12	16	12	20	27	17	21	27
	RCP 8.5	11	14	20	20	26	41	42	50	67
Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	RCP 2.6	2	4	8	2	4	8	3	5	10
	RCP 4.5	3	5	7	6	7	10	6	8	13
	RCP 8.5	4	6	11	8	13	19	17	26	37
Tropennächte ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	RCP 2.6	0	1	1	0	1	1	0	1	2
	RCP 4.5	0	1	2	1	2	3	1	3	4
	RCP 8.5	1	1	2	2	4	6	8	12	20
Frosttage ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	RCP 2.6	-25	-16	-13	-25	-21	-14	-26	-20	-14
	RCP 4.5	-28	-21	-16	-38	-29	-20	-45	-40	-31
	RCP 8.5	-30	-24	-20	-42	-38	-34	-64	-60	-58
Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$) [n/Jahr]	RCP 2.6	-8	-7	-5	-8	-7	-5	-10	-7	-6
	RCP 4.5	-11	-7	-5	-14	-10	-5	-14	-11	-8
	RCP 8.5	-10	-9	-4	-14	-11	-7	-17	-16	-14

Tabelle 15: Langjährige Änderung thematischer Kenntage in Esslingen (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median)

Die Zunahme der Heißen Tage lässt auf eine künftig steigende Häufigkeit von Hitzeperioden und Hitzewellen schließen. Für Hitzeperioden gibt es keine eindeutige Definition. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um einen Zeitraum mit länger anhaltenden ungewöhnlich hohen Temperaturen. Wird eine Tageshöchsttemperatur von 30°C verwendet und die Länge aufeinanderfolgender Tage betrachtet, die diesen Schwellenwert mindestens erreichen, zeigt sich, dass Hitzeperioden in Esslingen zukünftig länger andauern (Abb. A 4 im Anhang). Je nach Szenario erhöht sich die Länge von Hitzeperioden bis Ende des Jahrhunderts um 1 bis 7 Tage.

Neben den auf die hohen Temperaturen abzielenden Kenntagen führt die eingangs

beschriebene deutliche Zunahme der Minimumtemperaturen zu einer Abnahme an Frost- und Eistagen. In Esslingen werden im langjährigen Mittel 80 Frosttage bzw. 16 Eistage pro Jahr beobachtet (Referenzperiode 1971–2000; Tab.13). Gemäß RCP-Szenario 8.5 würden zum Ende des Jahrhunderts im Mittel jährlich nur noch 20 Frost- und kein Eistage mehr auftreten.

Dieser Trend lässt ein häufigeres Auftreten milderer Winter erwarten, die eine geringere Zahl an Tagen mit Frost- und Tauwechseln und eine verlängerte Vegetationsperiode nach sich ziehen.

6.5.2 Niederschlagsverschiebung und Trockenheit

NIEDERSCHLAGSVERSCHIEBUNG

In Bezug auf die **Jahresniederschlags-summe** sind in Esslingen keine eindeutigen Auswirkungen durch den Klimawandel auszumachen. Wird der Median aller Modellrechnungen herangezogen, zeigen die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 leicht steigende Jahresniederschläge über das 21. Jahrhundert, während infolge des RCP 2.6 langfristig keine relevanten Änderungen zu erwarten sind (Tab. 16, auch Abb. A 5 im Anhang). Mit Blick auf die Bandbreite der Ergebnisse zeigt sich eine gewisse Variabilität zwischen den Modellen, die teilweise leichte Abnahmen voraus-sagen, in der Mehrzahl jedoch auf relativ geringe Auswirkungen schließen lassen – bis auf wenige Ausnahmen weicht der zukünftige mittlere Jahresniederschlag um weniger als 10 % von den derzeitigen Verhältnissen ab. Insgesamt kann für Esslingen eine Tendenz zukünftig leicht stei-gender Jahresniederschläge abgeleitet werden, die aufgrund der relativ geringen Änderungen jedoch keine statistische Signifikanz aufweist.

Neben den Niederschlagssummen ist der Zeit-punkt, wann es (wieviel) regnet entscheidend u.a. für die Vegetation und den Bodenwasser-haushalt. Der Blick auf den Jahresgang offenbart saisonale Unterschiede in der zukünftigen Entwicklung des Niederschlags. In allen RCP-Sze-narien ist eine Tendenz geringerer Niederschläge im Sommer und leicht höherer Werte in den übrigen Monaten zu erkennen. Am stärksten treten diese Effekte bei langfristiger Betrachtung bis Ende des Jahrhunderts und im RCP-Szenario 8.5 auf, das gerade für den Juli und August

deutlich geringere Niederschlagssummen pro-jiziert (Abb. 37). Die RCP-Szenarien 2.6 und RCP 4.5 weisen, wenn auch in geringerer Ausprägung, dieselben Änderungsmuster auf (Abb. A 6 im Anhang). Die in den Abbildungen wahrnehmbare **Niederschlagsverschiebung** mit Abnahmen im Sommer und Zunahmen vornehmlich im Winter beinhaltet statistische Unsicherheiten, sollte jedoch als auffallende Tendenz bei langfris-tigen Planungen berücksichtigt werden.

Variable	Szenario	Änderungen 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	-25	25	89	-21	24	45	-31	8	42
	RCP 4.5	5	38	78	-3	56	85	41	58	98
	RCP 8.5	18	49	86	-22	52	79	-29	72	124

Tabelle 16: Langjährige Änderung der mittleren Niederschläge in Esslingen (P 15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P 50 = Median)

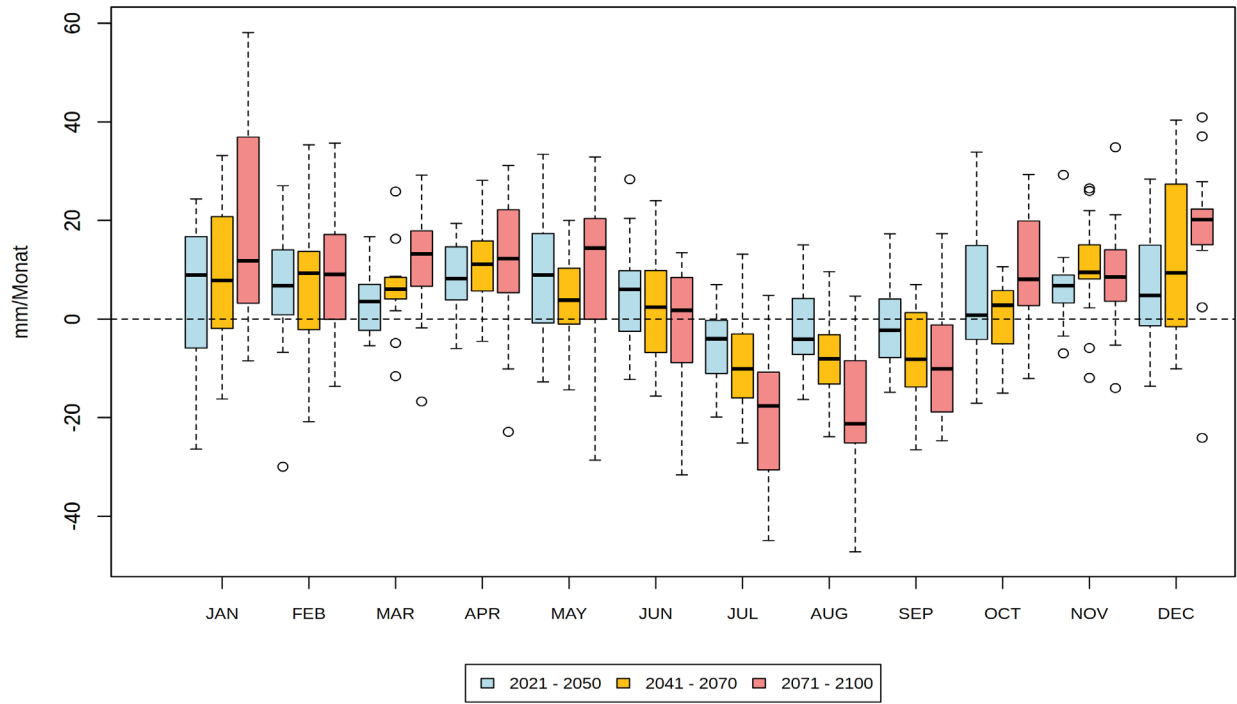


Abbildung 37: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Esslingen (RCP 8.5)

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, der aus einem Niederschlagsdefizit resultiert und über einen längeren Zeitraum zu Wasserknappheit führen kann. Ein Indikator für Trockenheit ist die **klimatische Wasserbilanz** als Differenz von Niederschlag (Wasserdargebot) zu potenzieller Verdunstung (Wasserverlust).

In der Jahressumme sind keine relevanten Änderungen der klimatischen Wasserbilanz in Esslingen feststellbar. Die erwarteten monatlichen Änderungen weisen allerdings entscheidende jahreszeitliche Differenzen auf. Während die Winter- und Frühjahrsmonate überwiegend (leicht) positive Änderungen der klimatischen Wasserbilanz zeigen, sind im RCP 8.5 in den Monaten Juni bis September Abnahmen erkennbar (Abb. 38). Diese **saisonale Verschiebung** der klimatischen Wasserbilanz gilt für alle drei Zukunftsperioden, wobei die Effekte am deutlichsten zum Ende des Jahrhunderts auftreten. In der 1. Zukunftsperiode fallen die Änderungen in den Sommermonaten noch relativ gering aus, doch kann diese Tendenz die zukünftige Situation gerade in heute bereits von Wasserknappheit betroffenen Gebieten verschärfen. Genau wie beim Niederschlag zeigt die Entwicklung in den RCP-Szenarien 2.6 und 4.5 vergleichbare Muster (Abb. A 7 im Anhang), doch muss berücksichtigt werden, dass die genannten Ergebnisse wiederum mit Unsicherheiten

behaftet sind, da die Variabilität des Niederschlags mitentscheidend für die klimatische Wasserbilanz wirkt.

Die abnehmende klimatische Wasserbilanz im Sommer lässt häufigere bzw. längere anhaltende Trockenperioden vermuten, jedoch sind die in den Modellen projizierten Änderungen zu gering, um valide Aussagen treffen zu können (vgl. exemplarisch die Häufigkeit extremer Trockenperioden in Abb. A 8 im Anhang).

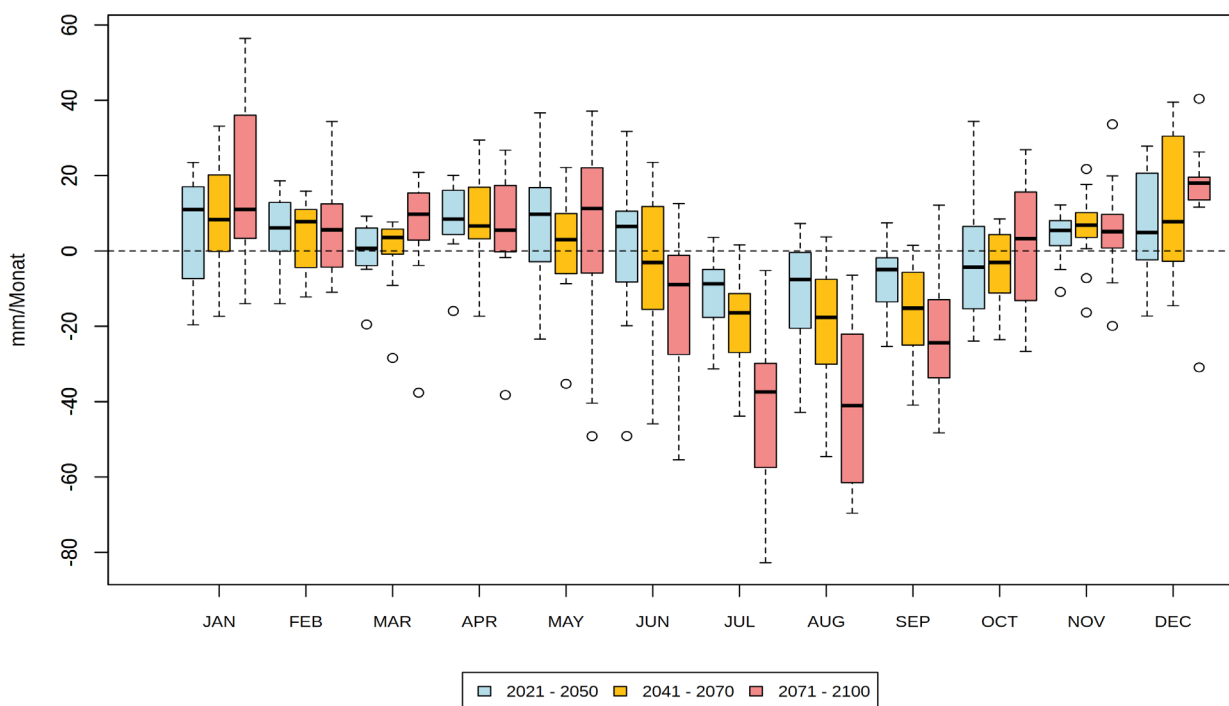


Abbildung 38: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen klimatischen Wasserbilanz in Esslingen (RCP 8.5)

6.5.3 STARKNIEDERSCHLAG

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

Als Starkniederschläge (synonym: Starkregen) werden Niederschläge bezeichnet, die eine hohe Intensität, d.h. eine im Verhältnis zu ihrer Dauer große Niederschlagssumme aufweisen. Starkregenereignisse können dabei sowohl Niederschläge kurzer Dauer als auch mehrerer Stunden oder über Tage anhaltende Niederschläge sein (Rauthe et al. 2014). Neben der

Dauer eines solchen Ereignisses ist die Größe der betroffenen Fläche wesentlich.

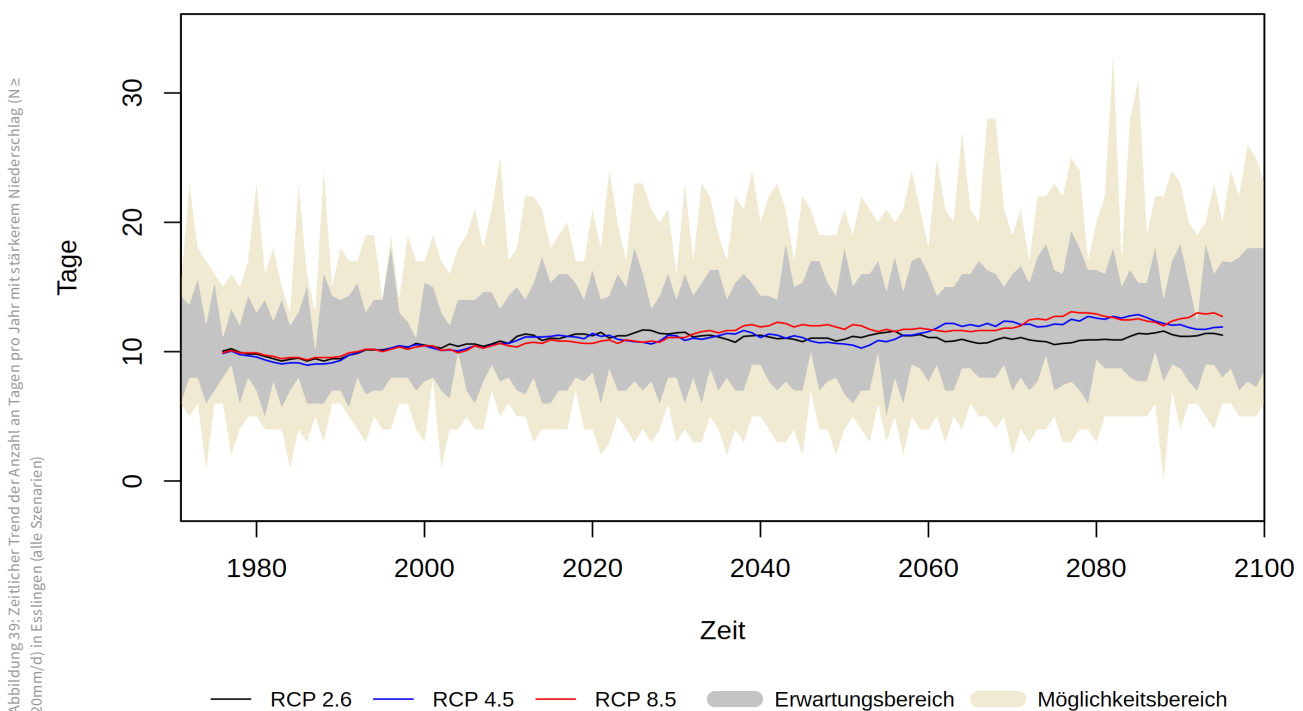
Der DWD warnt vor Starkregen in zwei Stufen, wenn folgende Schwellenwerte voraussichtlich überschritten werden (DWD 2020d):

- Markante Wetterwarnung: Regenmenge ≥ 10 mm pro Stunde bzw. ≥ 20 mm in 6 Stunden
- Unwetterwarnung: Regenmenge ≥ 25 mm pro Stunde bzw. ≥ 35 mm in 6 Stunden

In der Klimaforschung wird meist die Tagesniederschlagssumme betrachtet. Dabei werden Schwellenwerte festgelegt (z.B. $N \geq 20$ mm/d), deren Überschreitung als Starkniederschlag verstanden werden kann. Diese sind jedoch nicht einheitlich definiert, sodass verschiedene

Ansätze zu deren Bestimmung existieren. In diesem Bericht werden folgende Schwellenwerte der täglichen Niederschlagssumme zur Identifizierung von Starkregenereignissen festgelegt:

- Starker Niederschlag: $N \geq 10 \text{ mm/d}$
- Stärkerer Niederschlag: $N \geq 20 \text{ mm/d}$
- Starkniederschlag: $N \geq 30 \text{ mm/d}$



Starkregenereignisse treten relativ selten auf, sodass auch die mittleren jährlichen Änderungen der Häufigkeit solcher Ereignisse äußerst gering ausfallen und statistische Auswertungen nur bedingt möglich sind. Dies wird bspw. bei der langjährigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit stärkerer Niederschläge ($N \geq 20 \text{ mm/d}$) deutlich, die keinen eindeutigen Trend zulässt (Abb. 39).

Aufgrund des enormen Schadenspotenzials sollten jedoch (in absolute Zahlen) geringe

Änderungen nicht außer Acht gelassen werden. So projizieren die regionalen Klimamodelle für die Ereignisse $N \geq 10 \text{ mm/d}$ und $N \geq 20 \text{ mm/d}$ überwiegend steigende Häufigkeiten, wobei die Zunahmen zum Ende des Jahrhunderts hin am größten sind (Tab. 16). Bei diesen Zahlen sind die genannten Unsicherheiten zu beachten.

Starkniederschläge $\geq 30 \text{ mm/d}$ treten momentan bereits regelmäßig auf (im Mittel zwei Ereignisse pro Jahr), haben aber eine hohe räumliche und

zeitliche Variabilität, sodass valide Prognosen derzeit kaum möglich sind. Gerade langfristig und unter Annahme des RCP-Szenarios 8.5 wird jedoch im Mittel mit einem weiteren Starkniederschlagsereignis pro Jahr gerechnet.

Die Zunahme von Tagen mit mindestens starkem Niederschlag ist verbunden mit einer Abnahme von Tagen mit Niederschlägen < 10 mm/d. Angesichts kaum veränderter oder gar zunehmender 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 (Tab. 17).

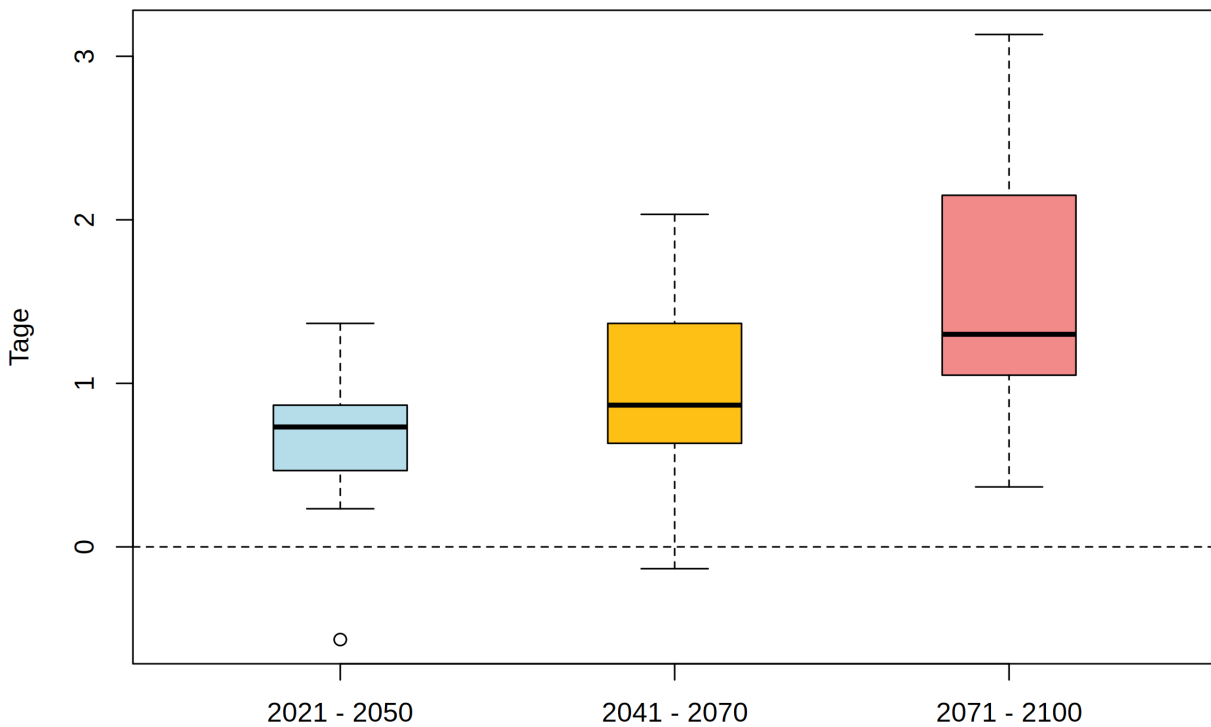
Die genannten Unsicherheiten bezüglich der von den Regionalmodellen abgebildeten (insb.

extremen) Niederschläge ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Auf der anderen Seite muss erwähnt werden, dass Starkregenereignisse oftmals kleinräumig auftreten und somit von den, obgleich relativ hoch aufgelösten, Regionalklimamodellen nicht erfasst und potenziell unterschätzt werden (DWD 2020a). Eine wärmere Atmosphäre kann zudem mehr Wasserdampf aufnehmen, was dazu führt, dass auch mehr Wasser für Niederschlagsereignisse zur Verfügung steht (vgl. ZAMG 2020). Somit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der Zunahme starker Niederschlagsereignisse angesichts steigender Temperaturen. In Ansätzen deutet sich dieser Effekt in den bisherigen Ergebnissen an, die insb. langfristig und im RCP-Szenario 8.5 einen Anstieg der mittleren maximalen täglichen Niederschlagsmenge verzeichnen.

Variable	Szenario	Änderungen 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 ≥ 10mm/d) [n/Jahr]	RCP 2.6	-1	2	5	0	1	3	-1	1	2
	RCP 4.5	-1	2	5	0	3	5	1	3	5
	RCP 8.5	1	3	4	1	3	5	1	5	7
Stärkerer Niederschlag (N ≥ 20mm/d) [n/Jahr]	RCP 2.6	0	1	2	1	1	1	0	1	2
	RCP 4.5	0	1	2	1	2	3	1	3	4
	RCP 8.5	1	2	2	1	2	3	1	3	4
Starkniederschlag (N ≥ 30mm/d) [n/Jahr]	RCP 2.6	0	1	1	0	0	1	0	1	1
	RCP 4.5	0	1	1	0	1	1	0	1	2
	RCP 8.5	0	1	1	0	1	2	1	1	2
Maximaler Tagesniederschlag [mm/d]	RCP 2.6	-1,0	3,1	5,1	-0,3	4,7	9,5	1,7	5,4	8,4
	RCP 4.5	-1,5	4,7	10,2	-0,3	2,8	6,5	0,3	4,2	8,5
	RCP 8.5	0,7	4,8	9,0	-0,1	4,6	12,7	1,1	8,1	12,3

Tabelle 17: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen (Anzahl der Tage pro Jahr) sowie des maximalen Tagesniederschlags in Esslingen (P15 / 85 = 15. / 85. Perzentil, P50 = Median)

Abbildung 40: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen mit $N \geq 30$ mm/d innerhalb der jeweiligen 30-jährigen Periode in Esslingen (der Wert 30 entspricht also im Mittel einem zusätzlichen Ereignis im Jahr; RCP 8.5)



6.5.4 WIND UND STURM

Ein Sturm wird als „Wind von großer Heftigkeit, nach der Beaufort-Skala der Stärke 9 bis 11 [...], der erhebliche Schäden und Zerstörungen anrichten kann“ definiert (DWD 2020d). Folgende Sturmklassen werden dabei gemäß DWD anhand ihrer Windstärke eingeteilt:

- Sturm:
Beaufort 9 (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)

Genau wie Starkniederschläge gehören Stürme zu den seltenen Ereignissen, sodass sie nur bedingt statistisch auswertbar sind. Hinzu kommt, dass die regionalen Klimamodelle teilweise nicht in der Lage sind, Böen korrekt zu reproduzieren und daher Sturmereignisse oftmals nur unzureichend abbilden. Es ist jedoch anzunehmen, dass sich in einer wärmeren Atmosphäre aufgrund von mehr verfügbarer latenter Wärme, die beim Phasenübergang von Wasserdampf zu Flüssigwasser frei wird, potenziell stärkere Stürme ausbilden können (Pinto et al. 2009, Fink et al. 2012, Pinto und Ryers 2017). Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über Westeuropa zur Folge, wobei noch nicht eindeutig geklärt werden konnte, ob die Häufigkeit der Sturmereignisse zunimmt oder ob bei gleichbleibender Häufigkeit die Intensität steigt, also die Stärke der auftretenden

Windgeschwindigkeiten (Pinto et al. 2009, Donat et al. 2010, McDonald 2011, Pinto und Ryers 2017).

Die Analyse zur Häufigkeit von **Sturmer-eignissen** ergab für Esslingen in allen drei Klimaszenarien keinen eindeutigen Trend bis zum Jahr 2100 (weder Zu- noch Abnahmen; ohne Abbildung). Dementsprechend weist kaum ein Modell des Ensembles signifikante Trends auf, sodass sich keine validen Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Stürmen ableiten lassen.

6.6 Betroffenheiten durch den Klimawandel

Um geeignete Strategien und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu finden, muss zunächst die Frage beantwortet werden, wie „betroffen“ Esslingen durch den Klimawandel ist. Dabei wird neben der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Änderung der klimatischen Parameter (Temperatur, Niederschlag, etc.) auch die Empfindlichkeit, mit der ein bestimmtes System auf diese Veränderungen reagiert (also welche Auswirkungen zu erwarten sind oder wie gut Schäden abgepuffert werden können) berücksichtigt.

FUNKTIONALE BETROFFENHEIT

In der „Betroffenheitsanalyse“ wurde daher untersucht, wie sich der Klimawandel auf das städtische Handeln in Esslingen auswirkt. Diese sogenannte funktionale Betroffenheit nimmt die Folgen der klimatischen Veränderungen auf die kommunale Handlungsfähigkeit und die Aufgabenwahrnehmung der einzelnen Fachbereiche in Esslingen in den Blick.

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) definiert auf Bundesebene verschiedene Handlungsfelder im Kontext der Klimafolgenanpassung, von denen folgende für Esslingen besonders relevant sind und im Rahmen der Untersuchung näher betrachtet wurden (Bundesregierung, 2008):

- Menschliche Gesundheit
- Natur und Stadtgrün
- Land- und Forstwirtschaft
- Gewässer
- Energie- und Wasserversorgung
- Abwasserentsorgung
- Katastrophenschutz
- Öffentliche Gebäude
- Verkehr
- Wirtschaft
- Stadtplanung

Für die ausgewählten Handlungsfelder wurden Schlüsselakteurinnen und -akteure innerhalb und außerhalb der Esslinger Verwaltung identifiziert, die in einer „Ämterbefragung“ eine fachspezifische Einschätzung der Relevanz unterschiedlicher Klimawandelwirkungen abgaben. Mit Hilfe dieser Fachexpertise war eine Abwägung möglich, welche Auswirkungen des Klimawandels Esslingen schon heute vor neue Herausforderungen stellen und welche zukünftig voraussichtlich hinzukommen. Aus der Befragung heraus und ergänzt durch eine fachgutachterliche Einschätzung, wurde eine Priorisierung der Klimawandelauswirkungen vorgenommen, d.h. identifiziert, welche Klimafolgen in Esslingen besonders relevant sind. Insbesondere für diese Klimafolgen sollen unter Beteiligung der lokalen Fachleute im nächsten Schritt Maßnahmen zur

Anpassung in Esslingen entwickelt werden. Die Ergebnisse der funktionalen Betroffenheitsanalyse sind in den Postern auf den nächsten Seiten zusammengefasst. Eine Dokumentation der Ämterbefragung ist im Anhang II zu finden.

RÄUMLICHE BETROFFENHEIT

Aus Sicht der Betroffenheit ist neben dem „Wie“ auch das „Wo“ entscheidend, um beurteilen zu können, wo Maßnahmen zur Anpassung prioritär umzusetzen sind. Dafür wurden bestehende Analysen ausgewertet und in Form einer Karte gebündelt, die „Fokusräume“ zur Anpassung (bspw. hitzebelastete oder durch Starkregen gefährdete Bereiche) und mögliche Maßnahmen, auch aus Sicht des Klimaschutzes anschaulich darstellen soll (vgl. Kap. 5.1).

7 Maßnahmen

Die Maßnahmen, die sich aus dem Klimaschutzkonzept und der Bürgerbeteiligung am 04. Dezember 2021 ableiten, sind in sechs Oberthemen gegliedert, die die Bereiche Klimaschutz und Klimaanpassung adressieren. In dem Oberthema K – Kommunikation und Öffentlichkeit, sind die Maßnahmen zusammengefasst, mit denen die Stadt und die Stadtverwaltung in die Stadtgesellschaft wirkt und mit ihr interagiert. Die Themen Klimaschutz und Klimaanpassung benötigen eine eigene Kommunikationsstrategie, um das Klimahandeln, das mit den Maßnahmen verknüpft ist, den Bürgerinnen und Bürgern zu vermitteln und sie zum Mitmachen und zum Engagement zu gewinnen. Klimaschutz und Klimaanpassung ist eine Querschnittsaufgabe, die in fast alle Lebensbereiche eingreift. Das Oberthema E-Energie fasst die Maßnahmen zur Transformation der Energiesysteme zusammen. Mit der Umstellung der Strom- und Wärmeversorgung auf regenerative Quellen soll zukünftig die Klimaneutralität im Energiesektor erreicht werden. Das Oberthema M- Mobilität adressiert die Verkehrswende mit einer Verlagerung auf regenerativen Antriebsenergien und der Förderung des öffentlichen Personenverkehr und Stärkung der aktiven Mobilität, wie Fahrradverkehr und fußläufige Erreichbarkeit von Orten. Im Oberthema W-Wirtschaft werden Energieeinspar- und Effizienzmaßnahmen thematisiert, die sich auf die Sanierung von Produktionsstätten und die Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien und eine effizientere Wärmenutzung konzentrieren. Zusammen mit der Kreislaufwirtschaft werden ressourcenschonende Verfahren und die verstärkte Wiederverwertung von Rohstoffen angesprochen. Im Themenfeld Klimawandelanpassung werden im Oberthema G-Grün und

Freiraum Maßnahmen zur Hitzevorsorge in der Stadt bezogen auf die Gesundheit der Menschen und Maßnahmen zum Umgang mit Trockenheit in Naturräumen zusammengefasst. Das Oberthema B-Blau-Wassermanagement widmet sich den Herausforderungen von Starkregen und Überschwemmungen.

Fortschreibung

Integriertes Klimaschutzkonzept

Maßnahmen zum **Klimaschutz** und zur **Klimaanpassung**

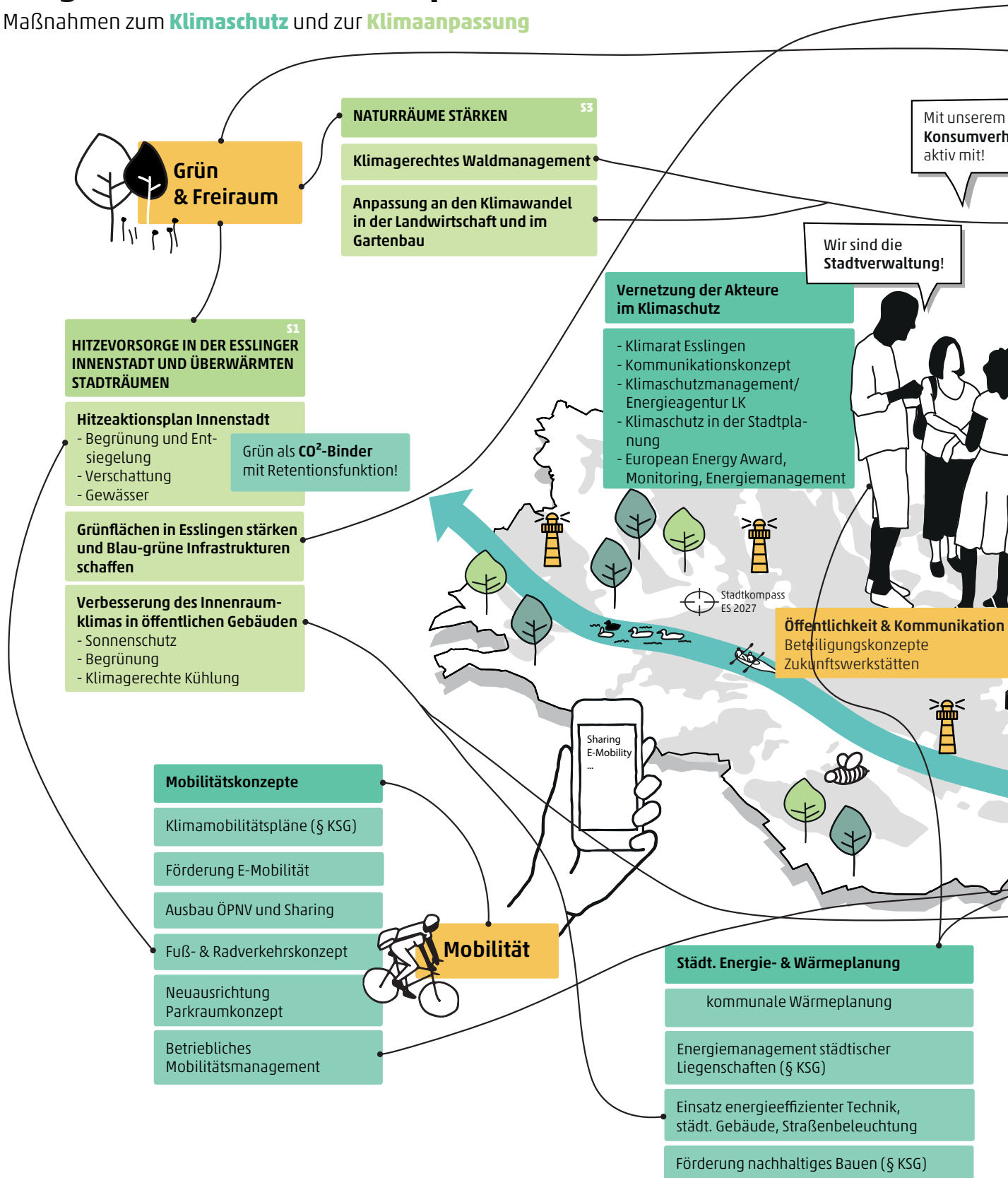
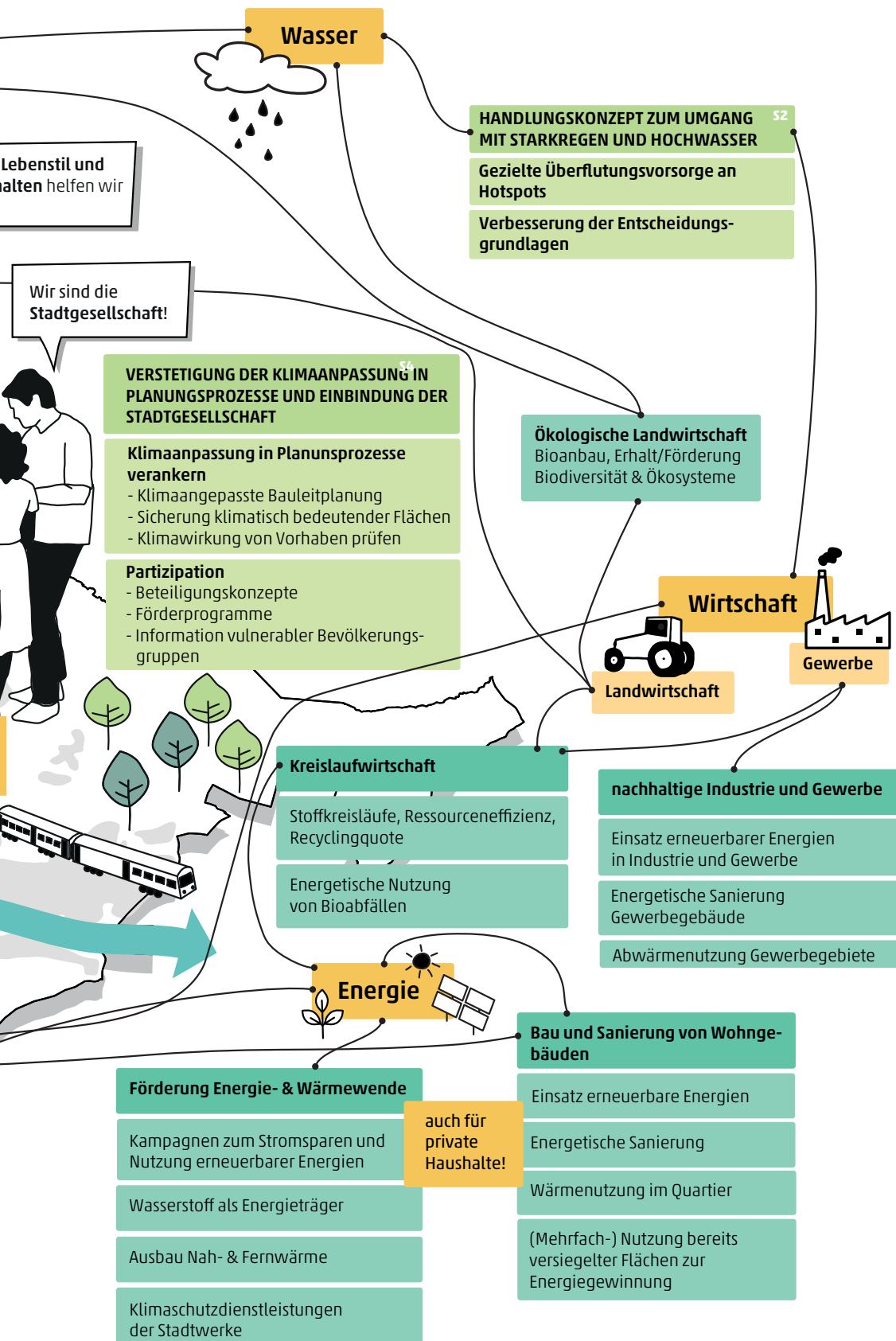


Abbildung 41: Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung



Gliederung der Maßnahmen			
Nr.	Oberthemen	Unterthemen	Maßnahmen
K	Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit		
K.1		Vernetzung der Akteure im Klimaschutz	
K1.1			Klimarat Esslingen
K1.2			Kommunikationskonzept
K1.3			Klimaschutzmanagement / Energieagentur LK
K1.4			Klimaschutz in der Stadtplanung
K1.5			EEA, Monitoring, Energiemanagement
K2		Verstetigung der Klimaanpassung in Planungsprozesse und Einbindung der Stadtgesellschaft	
K2.1			Klimaanpassung in Planungsprozesse verankern
K2.2			Partizipation der Stadtgesellschaft
E	Energie		
E1		Städt. Energie- und Wärmeplanung	
E1.1			Kommunale Wärmeplanung
E1.2			Energiemanagement städt. Liegenschaften
E1.3			Einsatz energieeffizienter Technik, städt. Gebäude, Straßenbeleuchtung
E1.4			Förderung nachhaltiges Bauen
E2		Förderung Energie- und Wärmewende	
E2.1			Kampagnen zum Stromsparen und Nutzung erneuerbarer Energien
E2.2			Wasserstoff als Energieträger
E2.3			Ausbau Nah- und Fernwärme
E2.4			Klimaschutzdienstleitung der Stadtwerke
E3		Bau und Sanierung von Wohngebäuden	
E3.1			Einsatz Erneuerbare Energien
E3.2			Energetische Sanierung
E3.3			Wärmenutzung im Quartier

Gliederung der Maßnahmen			
Nr.	Oberthemen	Unterthemen	Maßnahmen
M	Mobilität		
M1		Mobilitätskonzepte	
M1.1			Klimamobilitätsplan
M1.2			Förderung E-Mobilität
M1.3			Ausbau ÖPNV und nachhaltiger Mobilität
M1.4			Aus- und Aufbau von Sharing-Angeboten
M1.5			Fuß- und Radverkehrskonzepte
M1.6			Neuausrichtung Parkraumkonzept
M1.7			Betriebliches Mobilitätsmanagement
W	Wirtschaft		
W1		Industrie und Gewerbe	
W1.1			Einsatz erneuerbarer Energien in Industrie und Gewerbe
W1.2			Energetische Sanierung Gewerbegebäude
W1.3			Abwärmenutzung Gewerbegebiete
W2		Kreislaufwirtschaft	
W2.1			Stoffkreisläufe, Ressourceneffizienz, Recycling
W2.2			Energetische Nutzung Bioabfälle
G	Grün und Freiraum		
G1		Hitzevorsorge in der Esslinger Innenstadt und überwärmten Stadträumen	
G1.1			Hitzeaktionsplan Innenstadt + Straßenbäume
G1.2			Grünflächen in Esslingen am Neckar stärken und blau-grüne Infrastrukturen schaffen
G1.3			Verbesserung des Innenraumklimas in öffentlichen Gebäuden
G2.1		Esslinger Naturräume an Trockenheit und Hitze anpassen	
G2.2			Klimagerechtes Waldmanagement
G2.3			Anpassung an den Klimawandel in der Landwirtschaft und im Gartenbau

Tabelle 18: Gliederung der Maßnahmen

Gliederung der Maßnahmen			
Nr.	Oberthemen	Unterthemen	Maßnahmen
B	Blau - Wassermanagement		
B1		Handlungskonzept zum Umgang mit Starkregen und Hochwasser	
B1.1			Gezielte Überflutungsvorsorge an Hotspots
B1.2			Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen

8 Synthese

8.1 Visuelle Darstellung

Die Klimakrise entfaltet für uns direkt spürbare Auswirkungen in der Stadt. Extremtemperaturen, eine steigende Anzahl an Hitzetagen und Tropenächten, ebenso wie fehlende Luftzirkulation macht den Menschen in den Städten zu schaffen und führt zu einer der größten Herausforderungen für unsere Städte: spezifische Ziele für Klimaschutz und Klimaanpassung zu entwickeln, weiterzudenken und im Stadtleben umzusetzen und zu etablieren.

Die Stadt Esslingen, als Teil der Region Stuttgart und somit eines klimatischen Belastungsraums, ist somit in besonderem Maße von den Auswirkungen der Klimakrise betroffen. Die vorliegende Karte stellt diese unterschiedlichen Auswirkungen gesammelt in einer Karte dar, und zeichnet somit ein Bild von der aktuellen Lage und Vulnerabilität Esslingens im Rahmen der globalen Erwärmung.

Insbesondere im Bereich der Innenstadt kommt es bei einem zurzeit relativ geringen Durchgrünungsanteil zu einer Überwärmung. Die Hotspots zeigen die tagsüber und/oder nachts besonders betroffene Gebiete, welche zukünftig im Fokus der Klimaanpassung und des Klimaschutzes in Esslingen stehen sollten. Hier überlagern sich nicht nur überhitzte Bereiche, sondern auch durch die Klimakrise vermehrt entstehende Starkregenereignisse, müssen speziell in diesen Gebieten vorgebeugt werden. Die Lage Esslingens am Neckar stellt zwar auch klimatisch einen Vorteil dar, erhöht aber gleichzeitig die Vulnerabilität Esslingens für die Auswirkungen des Klimawandels auf das Themengebiet Wasser.

Die Abbildung zeigt jedoch nicht nur die in Esslingen besonders betroffenen Bereiche und damit verknüpfte Themengebiete auf. Kaltluft entfaltet insbesondere in der Nacht große positive Auswirkungen auf den Wärmeinseleffekt, weshalb es essenziell ist, die Grünflächen, welche Kaltluft entstehen lassen, sowie die entsprechenden Leitbahnen in die Stadt zu kennen, zu erhalten, und wenn möglich auszubauen. Stark durchgrünte Freiräume sowie eine Vernetzung dieser untereinander verbessern das städtische Kleinklima und sind ein wichtiges Mittel der Stadt für die lokale Bewältigung des Klimawandels. In der Abbildung sind daher insbesondere als Maßnahme zur Bewältigung der Überhitzung in den Hotspots auch die vorhandenen und zukünftig auszubauenden Entlastungsräume der Stadt dargestellt. Diese reichen vom Stadtwald, über die baumbestandenen Siedlungsränder (meist Streuobstwiesen), bis hin zu einem Entlastungssystem, welches die Innenstadt mit kühlenden, verschatteten Grünflächen (Coolspots) und untereinander vernetzten und baumbestandenen Wegen versorgt. Zusätzlich sind jedoch weitere Maßnahmen im Rahmen des städtischen, integrierten Klimaschutzkonzeptes notwendig. Die Schlüsselmaßnahmen zu den vier Hauptstrategien ergänzen die kartografische Darstellung. Nicht alle Maßnahmen (insbesondere strategisch-prozessuale) sind räumlich zu verorten. Einige Maßnahmen können konkreten Flächen oder Räumen zugeordnet werden, andere Maßnahmen konzentrieren sich in Fokusbereichen. Insgesamt ergibt sich über die Kombination aller Informationen und der diversifizierten und breitangelegten Maßnahmen ein zukunftsfähiges Bild für die Stadt Esslingen im Umgang mit der Klimakrise.

Fortschreibung

Integriertes Klimaschutzkonzept

Entlastungsräume



Entlastungssystem
mit verschatteten Zuwegen (Prinzip)



Schattenwege



Siedlungsrand mit Baumbestand
(Wald, Streuobstwiesen)



Stadtwald

Kaltluft



Kaltluftleitbahn



Kaltluftvolumenstrom
sehr hoch (über 470 m³ pro s)



Kaltluftvolumenstrom
hoch (270-470 m³ pro s)

Kaltluftlieferung von Grünflächen



gering



mäßig



hoch



sehr hoch

Überhitze Bereiche



Hotspot Tag:
Wohn- und Gewerbegebiete
mit starker Wärmebelastung
(PET > 37 °C)



Hotspot Nacht:
Wohngebiete mit einem
ausgeprägten Wärmeinseleffekt
(> 4 °C)

Hochwasser und Starkregen



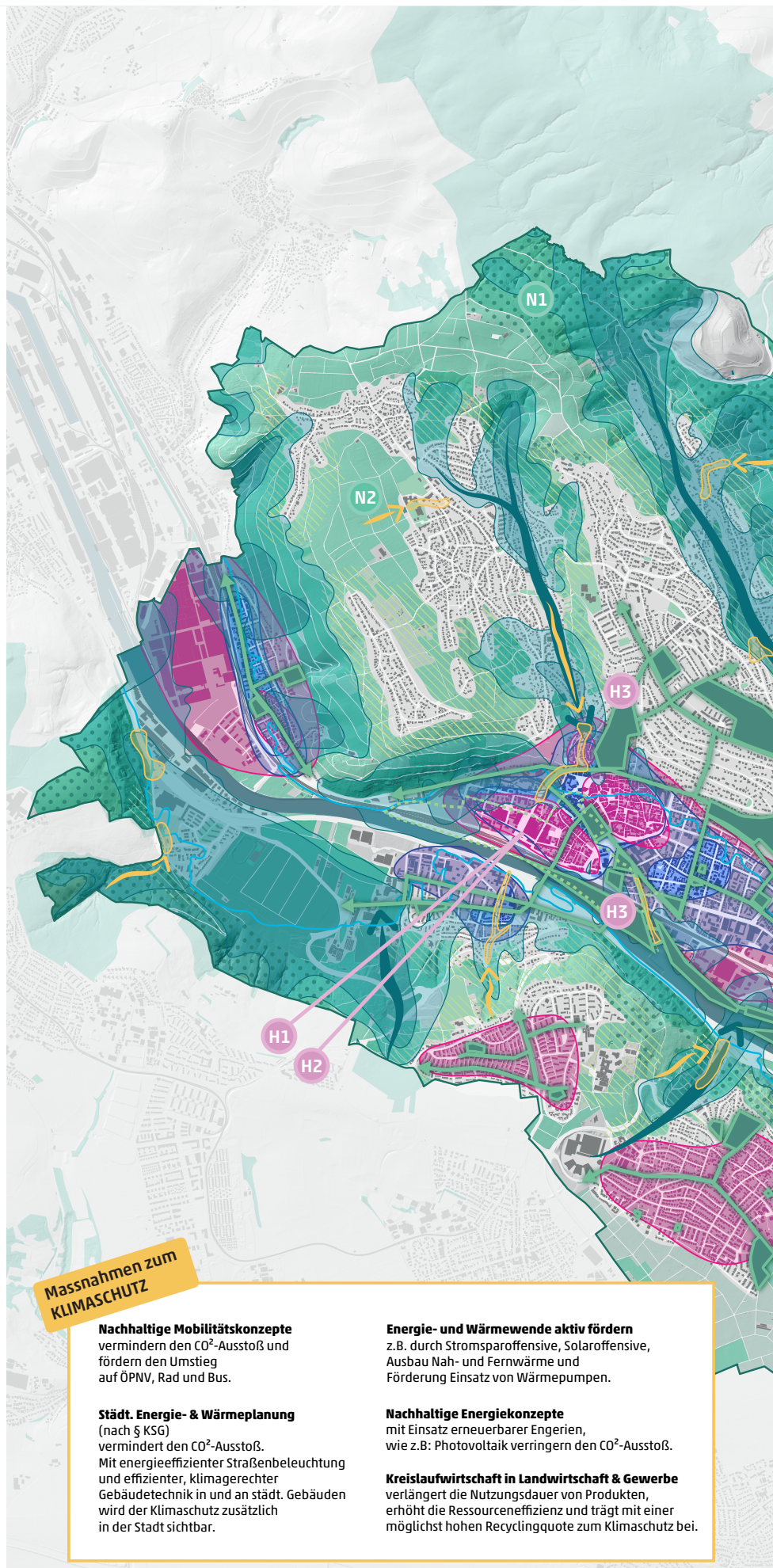
Urbane Sturzfluten



Überflutungsbereich bei Sturzfluten



HQ-Extrem Überflutungsbereich



Massnahmen zum KLIMASCHUTZ

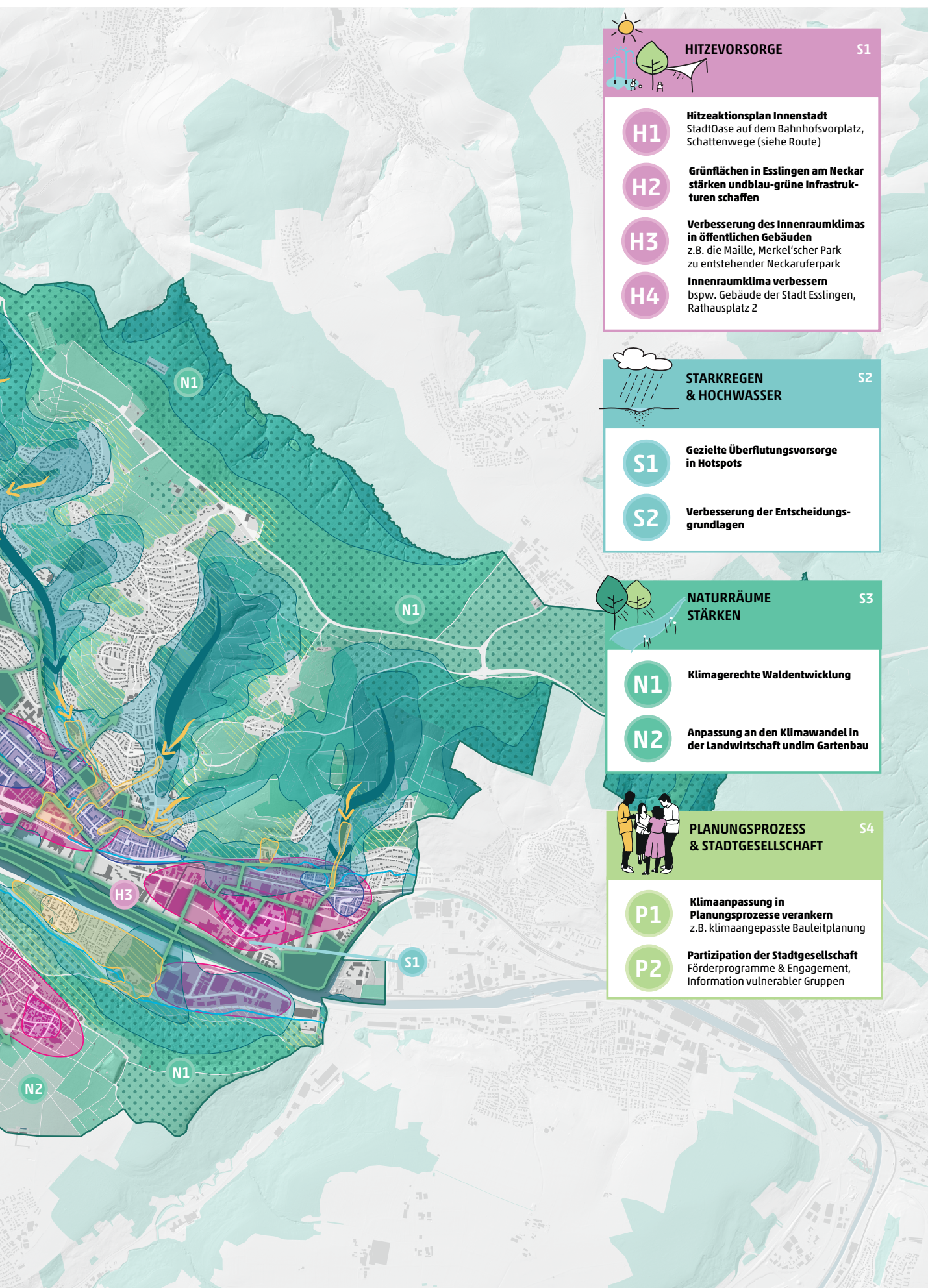
Nachhaltige Mobilitätskonzepte
vermindern den CO₂-Ausstoß und
fördern den Umstieg
auf ÖPNV, Rad und Bus.

Städt. Energie- & Wärmeplanung
(nach § KSG)
vermindert den CO₂-Ausstoß.
Mit energieeffizienter Straßenbeleuchtung
und effizienter, klimagerechter
Gebäudetechnik in und an städt. Gebäuden
wird der Klimaschutz zusätzlich
in der Stadt sichtbar.

Energie- und Wärmewende aktiv fördern
z.B. durch Stromsparoffensive, Solaroffensive,
Ausbau Nah- und Fernwärme und
Förderung Einsatz von Wärmepumpen.

Nachhaltige Energiekonzepte
mit Einsatz erneuerbarer Energien,
wie z.B. Photovoltaik verringern den CO₂-Ausstoß.

Kreislaufwirtschaft in Landwirtschaft & Gewerbe
verlängert die Nutzungsdauer von Produkten,
erhöht die Ressourceneffizienz und trägt mit einer
möglichst hohen Recyclingquote zum Klimaschutz bei.


HITZEVORSORGE
S1
H1
Hitzeaktionsplan Innenstadt

StadtOase auf dem Bahnhofsvorplatz, Schattenwege (siehe Route)

H2
Grünflächen in Esslingen am Neckar stärken und blau-grüne Infrastrukturen schaffen
H3
Verbesserung des Innenraumklimas in öffentlichen Gebäuden

z.B. die Maille, Merkel'scher Park zu entstehender Neckaruferpark

H4
Innenraumklima verbessern

bspw. Gebäude der Stadt Esslingen, Rathausplatz 2


STARKREGEN & HOCHWASSER
S2
S1
Gezielte Überflutungsvorsorge in Hotspots
S2
Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen

NATURRÄUME STÄRKEN
S3
N1
Klimagerechte Waldentwicklung
N2
Anpassung an den Klimawandel in der Landwirtschaft und im Gartenbau

PLANUNGSPROZESS & STADTGESELLSCHAFT
S4
P1
Klimaanpassung in Planungsprozesse verankern

z.B. Klimaangepasste Bauleitplanung

P2
Partizipation der Stadtgesellschaft

Förderprogramme & Engagement, Information vulnerabler Gruppen

8.2 Synergien und Betroffenheiten zwischen Klimaanpassung und Klimawandel

Um dem Klimawandel effizient zu begegnen, bedarf es zwei übergeordneter Ansatzpunkte. Zum einen den Klimaschutz, dessen Primärziel die Mitigation ist, das heißt, die Treibhausgasemissionen zu senken, um dadurch die Auswirkungen des Klimawandels zu mildern. Zum anderen die Klimaanpassung, welche in enger Verzahnung mit dem Klimaschutz funktioniert und dort ansetzt, wo es trotz der Klimaschutzbemühungen zu spürbaren Auswirkungen des Klimawandels kommt. In der Adaption, dem Anpassungsprozess geht es folglich darum, sich mit bereits eingetretenen Klimaänderungen zu arrangieren und sich auf künftig zu erwartende Änderungen so einzustellen, dass die Auswirkungen deutlich abgemildert werden.

Aufgrund der zum Teil fließenden Übergänge sowie des Ineinandergreifens von Prozessen und Maßnahmen besteht ein hohes Synergie- aber auch mögliches Konfliktpotenzial zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung. Um also das Synergiepotenzial effizient zu nutzen und möglichen Konflikte vorzubeugen, ist eine gemeinsame Betrachtung der beiden Aspekte im Umgang mit dem Klimawandel zu begrüßen.

Der Klimaschutz ist in der Stadt Esslingen am Neckar bereits fest in das kommunale Handeln integriert, das erste Klimaschutzkonzept und der zugehörige Maßnahmenkatalog wurden bereits 2010 durch den Gemeinderat beschlossen. Durch die vorliegende Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes und der Erweiterung durch das Handlungsfeld Klimaanpassung geht die Stadt

Esslingen am Neckar einen weiteren wichtigen Schritt in den Bemühungen eines vorausschauenden Umgangs mit dem Klimawandel.

Den zentralen Grundstein für die Anpassung an den Klimawandel im Hinblick auf die Temperaturentwicklung im Siedlungsraum bildet die detaillierte Analyse der klimaökologischen Funktionen und Prozesse für das Stadtgebiet von Esslingen am Neckar, welche in Form der Stadtklimaanalyse bereits seit 2018 vorliegt. Die damit verbundenen Maßnahmen zur Hitzevorsorge sowie weiteren durch den Klimawandel betroffenen Handlungsfeldern (u.a. Starkregen) verfolgen das Ziel, die Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtgebiet Esslingen am Neckar zu minimieren.

Vor diesem Hintergrund ist der vorliegende Maßnahmenkatalog entstanden. Große Synergiepotenziale bestehen beispielsweise zwischen der Maßnahme zur energetischen Gebäudesanierung (Maßnahme E3.2 „Energetische Gebäudesanierung“) und der Maßnahme zur Verbesserung des Innenraumklimas (Maßnahme G1.3 „Verbesserung des Innenraumklimas in öffentlichen Gebäuden“). Entsprechend sanierte Gebäude senken im Winter den Heiz- und im Sommer den Kühlbedarf und sparen somit Energie, während gleichzeitig für ein angenehmeres Innenraumklima in sommerlichen Hitzewellen gesorgt wird. Zielkonflikte ergeben sich allerdings bei Betrachtung der Weiteren Anpassungsmaßnahmen zur Verbesserung des Innenraumklimas. Aus Sicht der Klimaanpassung bieten sich verschiedene Möglichkeiten zur Verbesserung des Innenraumklimas an, von denen jedoch einige (wie Klimaanlageanlagen und Ventilatoren) zulasten des

Klimaschutzes gehen. Andere (wie beispielsweise die klimagerechte Kühlung) hingegen verursachen nur geringe oder keine Emissionen (z.B. Gebäudeverschattung, Begrünung, Nachlüftung etc.).

Auch Maßnahmen, welche zur Kühlung ausgewiesener Hitzehotspots (Maßnahme G1.1 „Hitzeaktionsplan Innenstadt“) implementiert werden können, beispielsweise die Begrünung durch Baumpflanzung, sind in vielerlei Hinsicht geeignet, um der Problematik des Klimawandels zu begegnen. Aus mikroklimatischer Sicht kühlt ein großkroniger Baum am Tag durch seine schattenspendenden Eigenschaften sowie durch Verdunstungskühlung. So erhöht er die Aufenthaltsqualität im betreffenden Raum wertet das Stadtbild auf. Weiterhin ist die Pflanzung eines Baumes auch unter Klimaschutzgesichtspunkten eine geeignete Maßnahme, da er der Luftreinigung dient, indem er CO₂, sowie Feinstaub bindet. Zu beachten ist bei der Umsetzung dieser Maßnahme allerdings, dass eine zu dichte Pflanzung von Bäumen, beispielsweise entlang einer Straße, durch Kronenschluss zu einem verringerten vertikalen Luftaustausch führen kann. Dies kann dazu führen, dass die Schadstoffe im Straßen- und somit Aufenthaltsraum gedeckelt werden und es zu einer ungesunden Schadstoffkonzentration kommt.

Auch in Bezug auf Mobilität ergeben sich sowohl Synergien als auch Zielkonflikte. Im Sinne des Klimaschutzes soll der motorisierte Individualverkehr eingeschränkt bzw. reduziert werden (Oberthema M – Mobilität). Bei hohen Temperaturen im Sommer ist allerdings der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel nicht attraktiv,

wenn diese nicht ausreichend klimatisiert sind. Der zusätzliche Energieverbrauch durch den Einsatz von Klimaanlage im ÖPNV kann jedoch ausgeglichen werden, wenn viele Menschen das Auto stehen lassen und das öffentliche Angebot nutzen. Eine weitere Maßnahme zur Reduzierung des PKW-Aufkommens in der Stadt kann der Umstieg auf Rad- oder Fußverkehr darstellen. Dies kann unter anderem durch eine Attraktivitätssteigerung der Wegbeziehungen erreicht werden, indem Hitzevorsorge wie Verschattung im Rahmen der Klimaanpassung betrieben wird.

Synergien sind weiterhin im Kontext der Land- und Forstwirtschaft (Maßnahmen G2.2 Klimagerechtes Waldmanagement und Maßnahme G2.3 „Anpassung an den Klimawandel in der Landwirtschaft und im Gartenbau“) zu finden. Den negativen Auswirkungen des Klimawandels wie Bodendegradation durch beispielsweise Erosion oder das Absterben der Bäume aufgrund von Schädlingen oder sich verändernden Standortbedingungen kann mit passenden Klimaanpassungsmaßnahmen entgegengewirkt werden. Diese sorgen nicht nur dafür, dass die ökosystemaren Dienstleistungen der Natur erhalten bleiben, sondern sind auch für den Klimaschutz z.B. durch die Aufrechterhaltung der CO₂-Senkefunktion von großer Bedeutung.

Weiterhin ist eine gut ausgebaute Kommunikationsstruktur (Oberthema K - Kommunikation und Öffentlichkeit) sowohl im Klimaschutz als auch in der Klimaanpassung für die erfolgreiche Umsetzung einer Maßnahme unabdingbar. Eine transparente Vorgehensweise sowie die Beteiligung der Esslinger Bevölkerung sorgen dafür, dass die Bemühungen im Hinblick auf

Klimaschutz und – anpassung Verständnis und Rückhalt in der Bevölkerung erfahren. Partizipative Maßnahmen wie Gießpatenschaften, Bürgergremien und Workshops sind hier geeignete Maßnahmen, welche eine aktive Beteiligung der Bevölkerung ermöglichen.

Als zentrale Erkenntnis ist festzuhalten, dass eine Kombination der Klimaanpassungsmaßnahmen in der Regel eine Verstärkung des positiven Stadtklimaeffekts der einzelnen Maßnahmen zur Folge hat und dass ein Zusammendenken von Klimaschutz und Klimaanpassungen hilft, Synergiepotenziale zu identifizieren und zu nutzen, sowie mögliche Konflikte bereits frühzeitig zu identifizieren und somit möglicherweise direkt zu vermeiden.

Als Ergebnis dieses Zusammendenkens ist für die Stadt Esslingen am Neckar ein umfangreicher Katalog aus 37 Maßnahmen, sowie eine Karte erarbeitet worden, welcher sowohl den Klimaschutz als auch die Klimaanpassung vor Ort anspricht. Diese klimaökologisch wirksamen Maßnahmen können einzelnen Blockflächen zugeordnet werden und sind als Planungsempfehlungen zu betrachten, welche bei einer konkreten Fläche einer genaueren Überprüfung bedürfen.

Literatur- und Quellennachweis

BMWi. 2014. „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand - Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude“. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

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): DAS – Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel.

BW, Pressemitteilung Umweltministerium. 2021. „Erste Abschätzung: Land erreicht Klimaschutzziel 2020 – CO₂-Einsparungen gegenüber 1990 bei mindestens 25 Prozent“. Stuttgart: Umweltministerium Baden-Württemberg. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/erste-abschaetzung-land-erreicht-klimaschutzziel-2020-co2-einsparungen-gegenueber-1990-bei-mindeste/>.

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.

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.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020a): Nationaler Klima-report. 4. Korrigierte Auflage. Stand Errata 8. Juni 2020.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020b): Datenbasis: Beobachtungsdaten des DWD. Freier Online-Zugang zu Klimadaten: ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020c): Datenbasis: Rasterdaten des DWD. Freier Online-Zugang zu Klimadaten: ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020d): Wetterlexikon (Homepage). Online: www.dwd.de/DE/service/lexikon/lexikon_node.html (Abruf 28.09.2020).

Ebök 2014. Potential regenerativer Energien in Esslingen am Neckar, Nutzungspotentiale regenerativer Energien im Innenbereich der Stadt Esslingen im Rahmen des Klimabilanzberichts und des Energienutzungsplans, Im Auftrag Stadtplanungs- und Stadtvermessungsamt, Stabsstelle Klimaschutz

Esslingen, Stadt. 2011. „Klimabilanzbericht 2007 - 2011 der Stadt Esslingen am Neckar“. Esslingen am Neckar: Stadt Esslingen. http://www.esslingenundco.de/start/ESSLINGEN+_CO/Klimabilanzbericht+2011.html.

Esslingen, Stadt. 2012. „Klimabilanzbericht - aktualisiert 2012, 2007 - 2012 der Stadt Esslingen am Neckar“. Esslingen am Neckar: Stadt Esslingen. http://www.esslingenundco.de/start/ESSLINGEN+_CO/Klimabilanzbericht+2012.html.

Esslingen, Stadt. 2013. „Klimabilanzbericht 2011 - 2013 der Stadt Esslingen am Neckar“. Esslingen am Neckar: Stadt Esslingen. http://www.esslingenundco.de/start/ESSLINGEN+_CO/Klimabilanzbericht+2013.html.

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.

Follmer, Dana, Robert und Gruschwitz. 2019. *Mobilität in Deutschland 2017– MiD Kurzreport*. Ausgabe 4.0. Berlin: im Auftrag des BMVI. www.mobilitaet-in-deutschland.de.

GEO-NET (2018): *Modellbasierte Stadtklimaanalyse Esslingen*. Im Auftrag der Stadt Esslingen.

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.

Hertle H., Kastenhuber I., Gugel B. 2010. „Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Esslingen am Neckar“. Heidelberg: ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): *Klimaänderung 2014: Synthesebericht*. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

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.

KARS – Verband Region Stuttgart (Hrsg., 2016): *KARS – Strategien und Projekte für die Klimaanpassung in der Region Stuttgart*.

Kaspar, F., G. Müller-Westermeier, E. Penda, H. Mächel, K. Zimmermann, A. Kaiser-Weiss, T. Deutschländer: *Monitoring of climate change in Germany – data, products and services of Germany's National Climate Data Centre*. *Adv. Sci. Res.*, 10, 99–106, 2013

Klimaatlas Region Stuttgart – Verband Region Stuttgart (Hrsg., 2008): *Klimaatlas Region Stuttgart*. Schriftenreihe Nummer 26.

Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung e.V., RWI -. 2019. *Erstellung der Anwendungsbilanzen 2016 und 2017 für den Sektor Private Haushalte und den Verkehrssektor*, Endbericht – Juni 2019. Berlin: AG Energiebilanzen e.V. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=8&archiv=5&year=2019.

Linke C. et al. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam.

LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2016): Hochwassergefahrenkarte Esslingen.

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., Hüttel R. F. (Hrsg.): *Forschungsfeld Naturgefahren*. Potsdam und Offenbach, S. 112.

ReKliEs-De (2017): *Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland - Nutzerhandbuch*.

Schmidt, Maik. 2017. „Forschungsvorhaben, Energie- und Klimaschutzziele 2030“. Stuttgart: ZSW, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/170928_Endbericht_Energie-_und_Klimaschutzziele_2030.pdf.

Singhal, P. und J. Stede. 2019. „Wärmemonitor 2018“. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. https://doi.org/10.18723/diw_wb:2019-36-1.

Stadt Esslingen (2018a): *Neuaufstellung Flächennutzungsplan 2030*.

Stadt Esslingen (2018b): *Der Esslinger Stadtwald und seine Funktionen*. Flyer.

Stadt Esslingen (2019): *Stadtkompass ES 2027. Zentrale Zukunftsthemen der Stadt Esslingen am Neckar*.

Stadt Esslingen (2020): Gefahrenkarten bei Unwetterereignissen. Online: www.esslingen.de/start/buergerservice/starkregen.html (Abruf 13.04.2021).

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.

Umweltbundesamt. 2020. Verbesserung der methodischen Grundlagen und Erstellung eines Treibhausgasemissionsszenarios als Grundlage für den Projektionsbericht 2017 im Rahmen des EU-Treibhausgasmonitorings („Politiksznarien VIII“). Berlin: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/verbesserung-der-methodischen-grundlagen-erstellung>.

Verband Region Stuttgart (Hrsg.; 2016): Klima – Stadt – Wandel. Strategien und Projekte für die Klimaanpassung in der Region Stuttgart. Ergebnisse des Forschungsprojektes KARS.

Walther, Katja. 2016. „Energie- und CO₂-Bilanz Bericht 2014/2015 der Stadt Esslingen am Neckar“. Esslingen am Neckar: Stadtplanungs- und Stadtvermessungsamt, Stadt Esslingen. http://www.esslingenundco.de/start/ESSLINGEN+_CO/2015+energie-+und+co2-bilanz.html.

Wirth, Harry. 2021. „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. www.pv-fakten.de.

Anhang I: Klimawandel in Esslingen

Methodik

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

	CanESM2	RCM	Historical	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
1	CanESM2	CCLM	✓	✗	✗	✓
2	EC-EARTH	CCLM	✓	✓	✓	✓
3	EC-EARTH	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
4	EC-EARTH	RACMO22E	✓	✗	✓	✓
5	EC-EARTH	RCA4	✓	✓	✓	✓
6	IPSL-CM5A	RCA4	✓	✗	✓	✓
7	MIROC5	CCLM	✓	✓	✗	✗
8	MIROC5	REMO2015	✓	✗	✗	✓
9	HadGEM2-ES	WETTREG2013	✓	✗	✗	✓
10	HadGEM2-ES	CCLM	✓	✗	✓	✓
11	HadGEM2-ES	RACMO22E	✓	✓	✓	✓
12	HadGEM2-ES	STARS3	✓	✓	✗	✗
13	HadGEM2-ES	RCA4	✓	✓	✓	✓
14	MPI-ESM	WETTREG2013	✓	✓	✗	✗
15	MPI-ESM	CCLM	✓	✗	✓	✓
16	MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
17	MPI-ESM	REMO2009	✓	✓	✓	✓
18	MPI-ESM	STARS3	✓	✓	✗	✗
19	MPI-ESM	RCA4	✓	✓	✓	✓

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

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

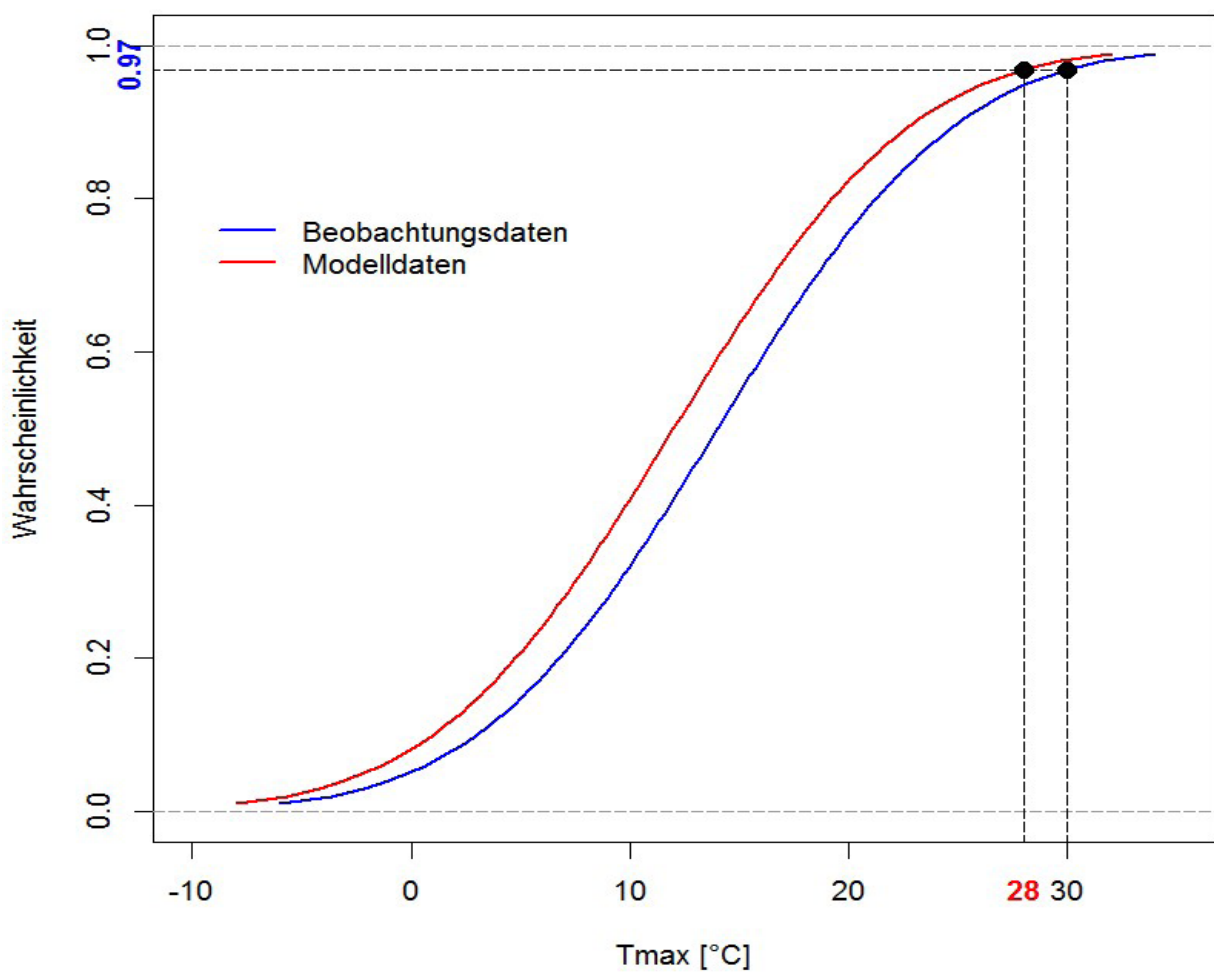
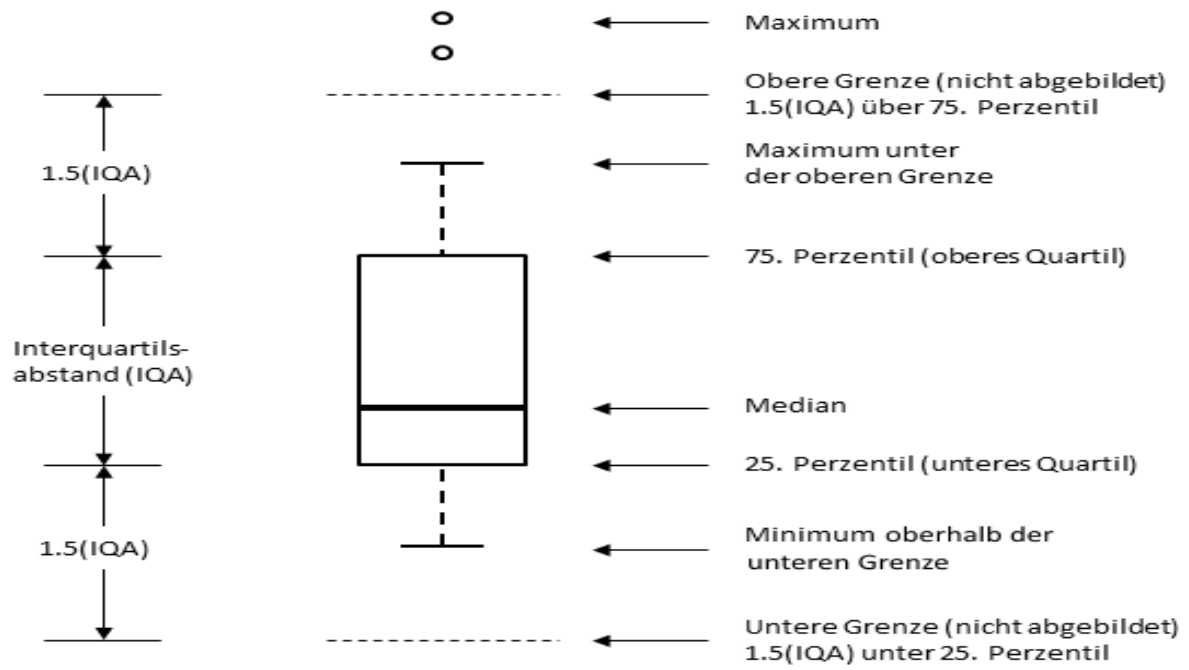


Abb. A 1: Methode der Adjustierung von Schwellenwerten für Kenntage. Die blaue Zahl auf der y-Achse zeigt das berechnete Perzentil des Schwellenwertes und die rote Zahl auf der x-Achse zeigt den adjustierten Schwellenwert

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



Beobachteter Klimawandel

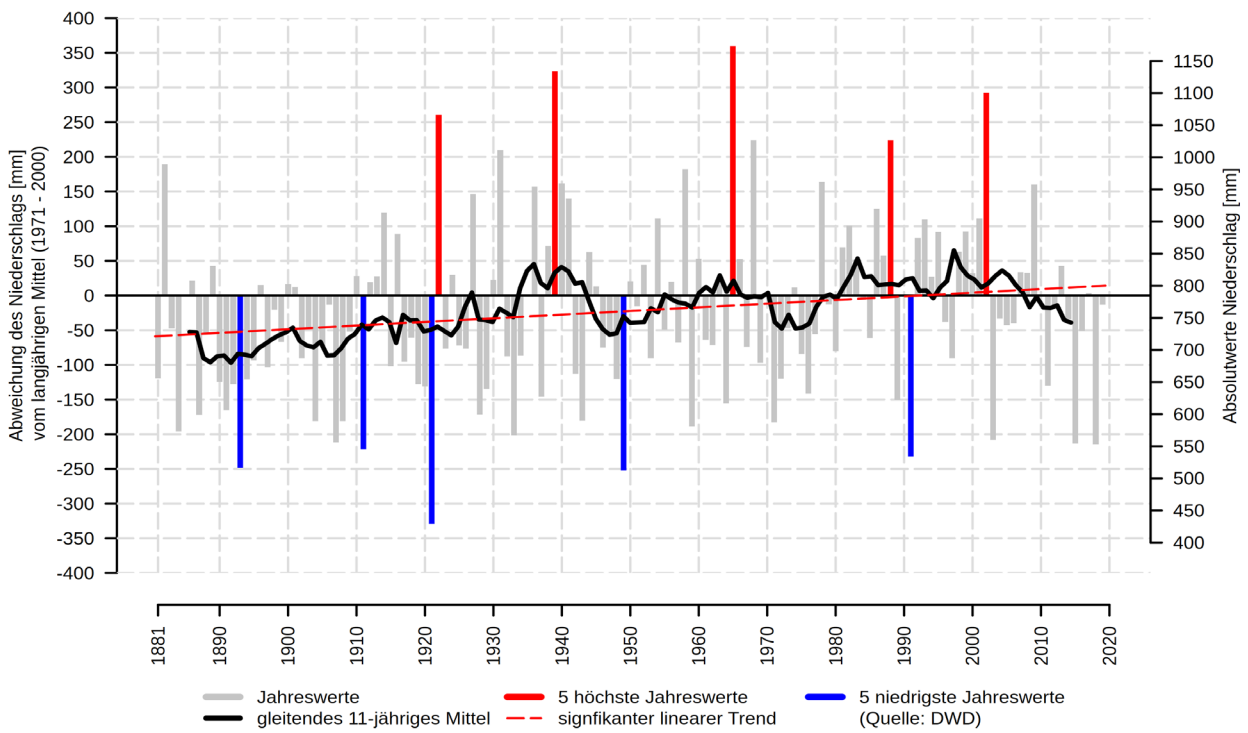


Abb. A 3: Entwicklung des Niederschlags in Esslingen (Quelle: nach DWD 2020b)

Temperaturzunahme und Hitze

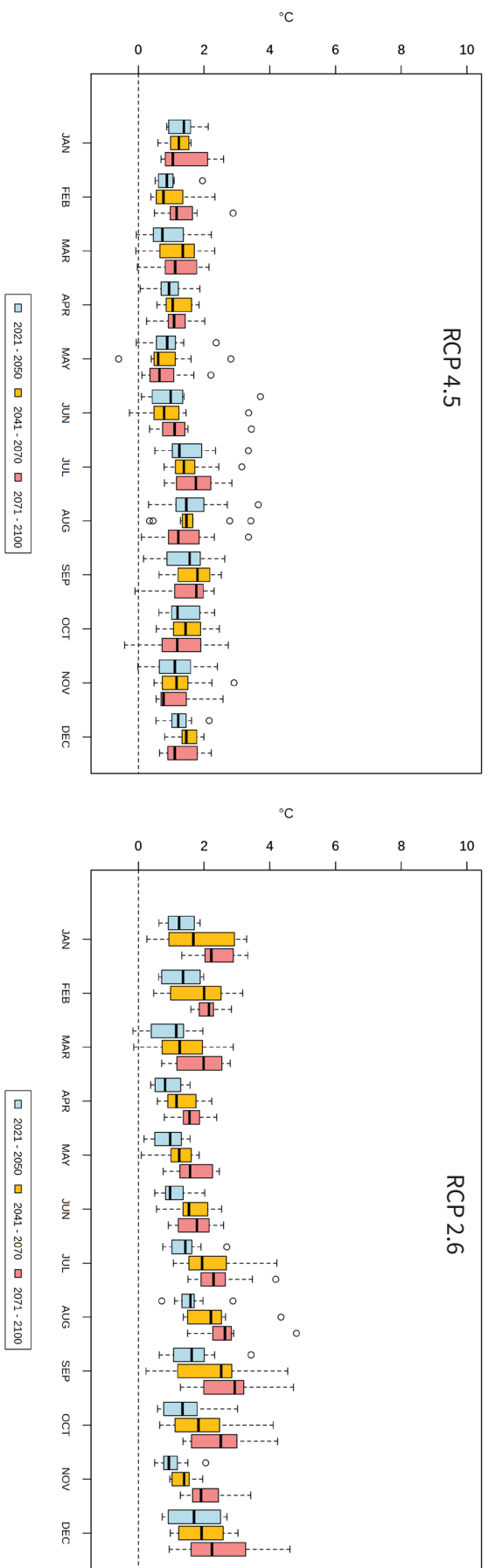


Abb. A.5: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Esslingen für das RCP 2.6 (links) sowie RCP 4.5 (rechts)

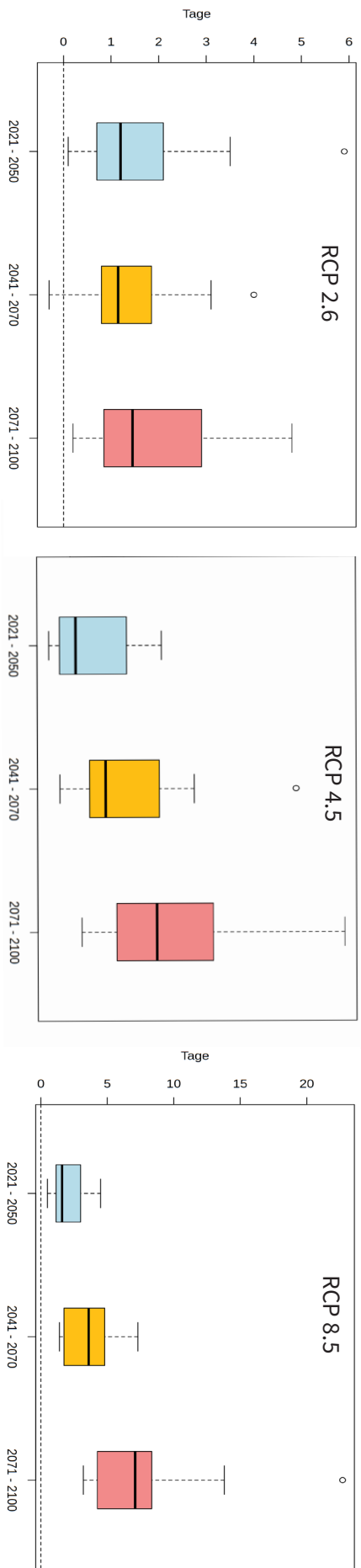


Abb. A.5: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30^\circ C$) in Esslingen in den drei Zukunftsperspektiven für die RCP-Szenarien 2.6 (links), 4.5 (Mitte) sowie 8.5 (rechts)

Niederschlagsverschiebung

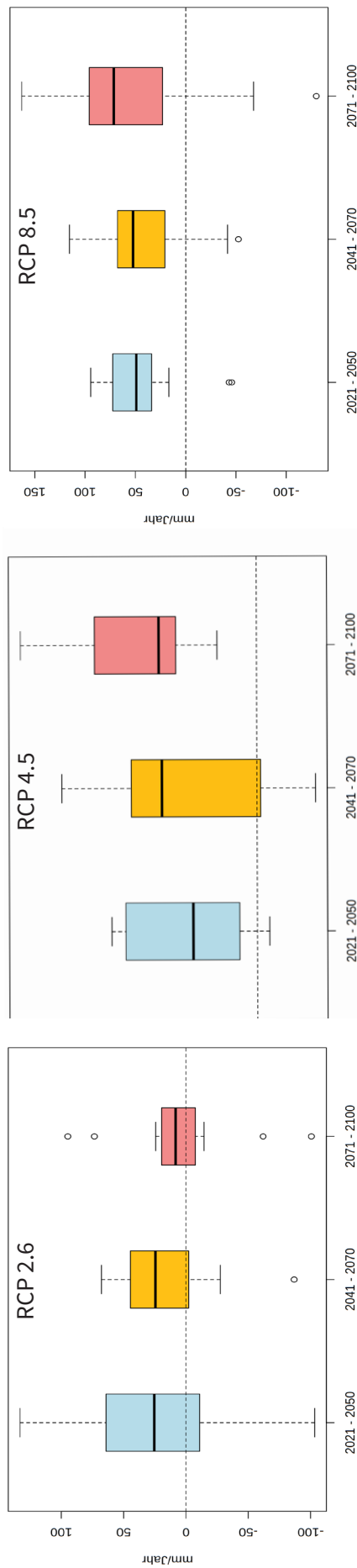


Abb. A 6: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Esslingen in den drei Zukunftsperioden für die RCP-Szenarien 2.6 (links), 4.5 (Mitte) sowie 8.5 (rechts)

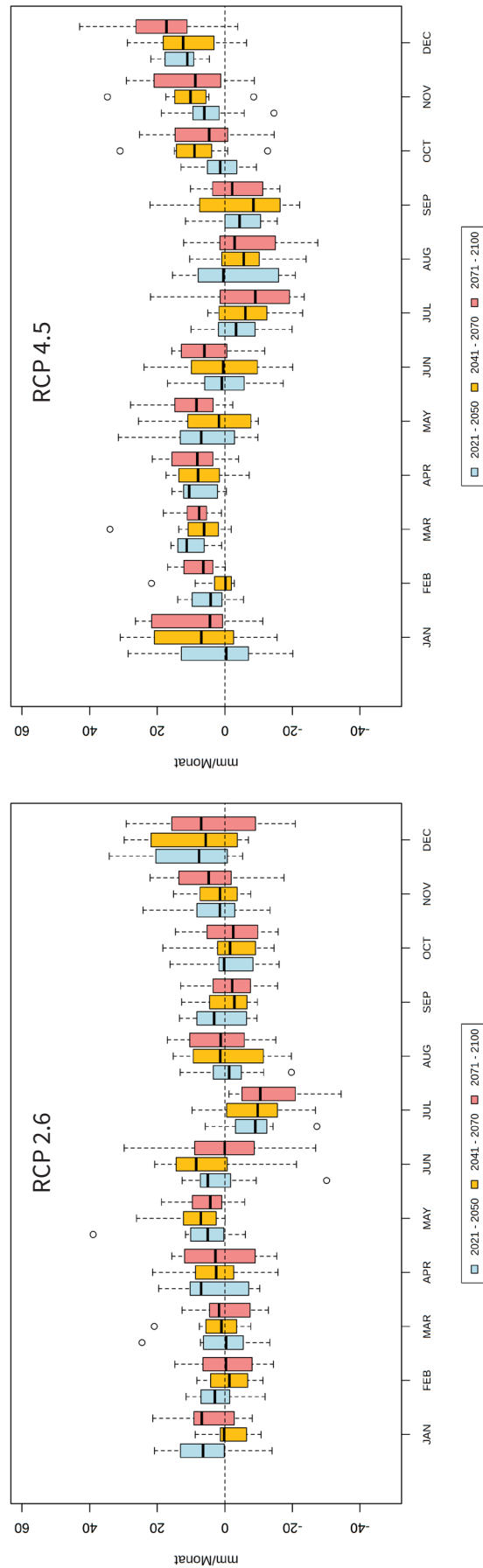


Abb. A 7: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Esslingen für das RCP 2.6 (links) sowie RCP 4.5 (rechts)

Trockenheit

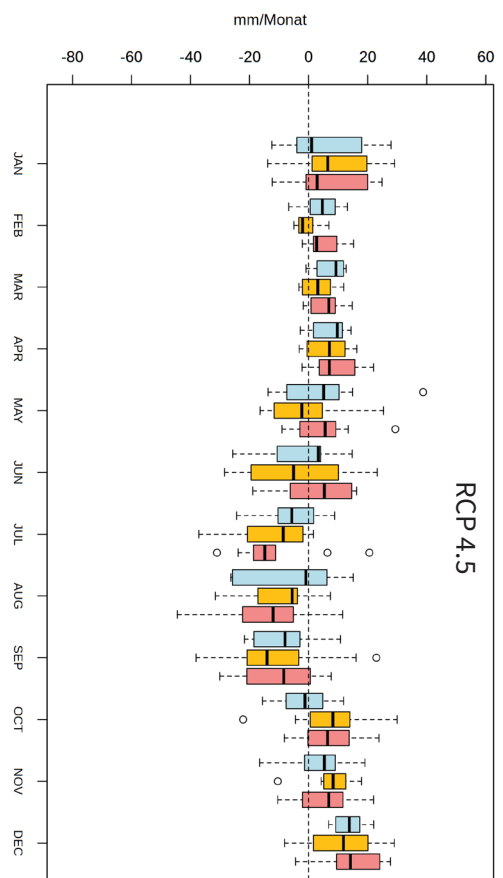
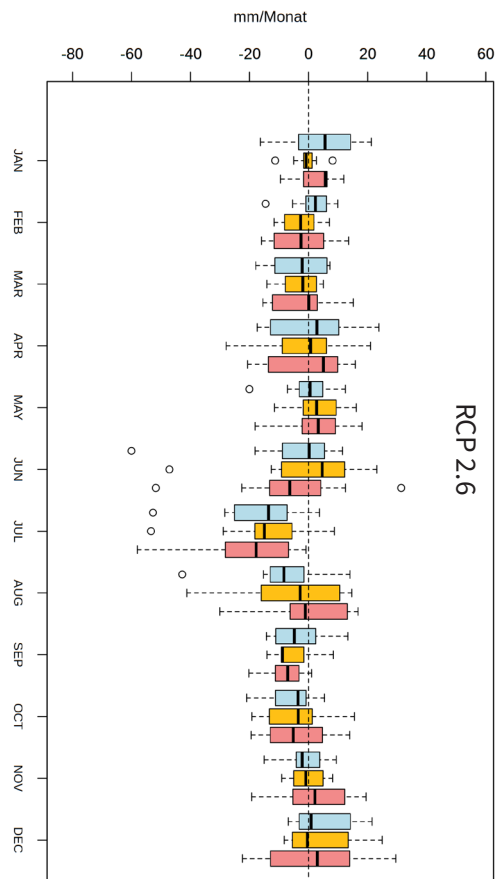


Abb. A.9: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen klimatischen Wasserbilanz in Esslingen für das RCP 2.6 (links) sowie RCP 4.5 (rechts)

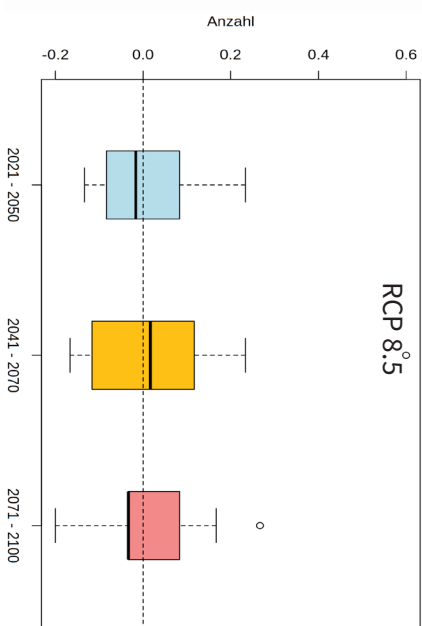
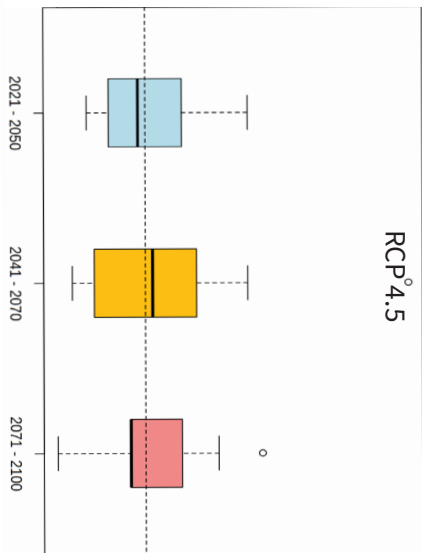
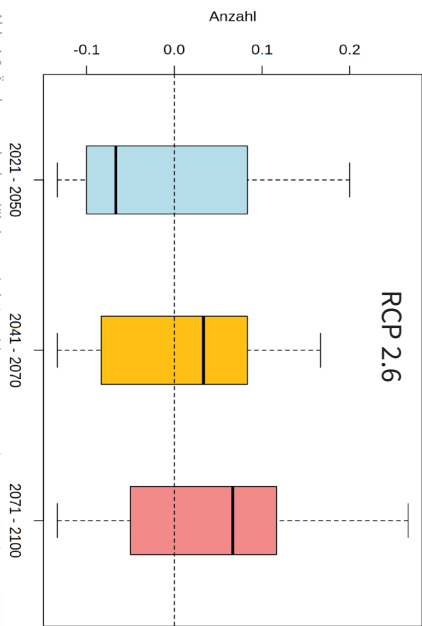
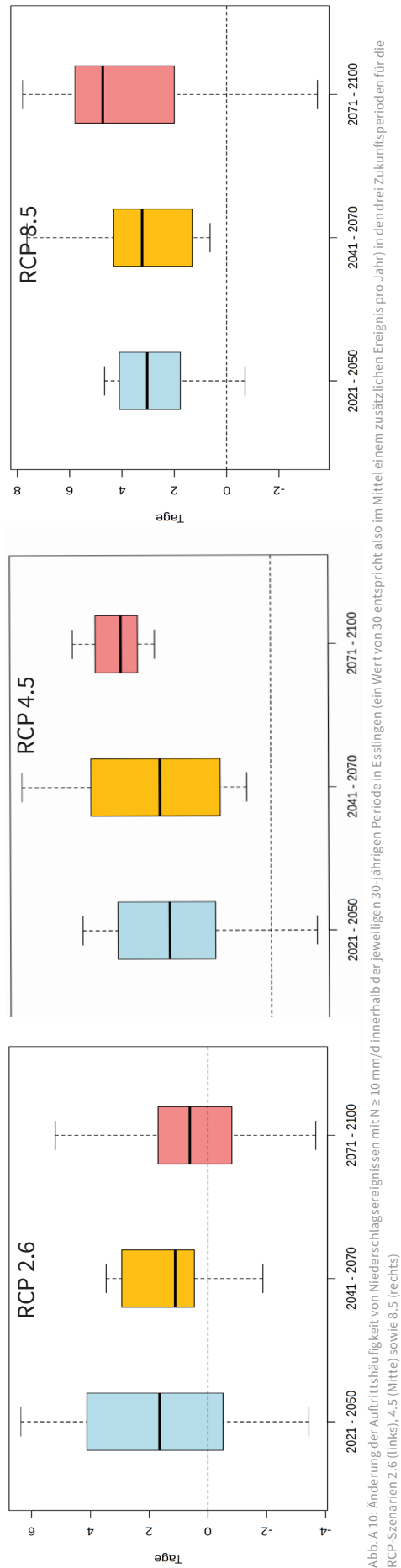
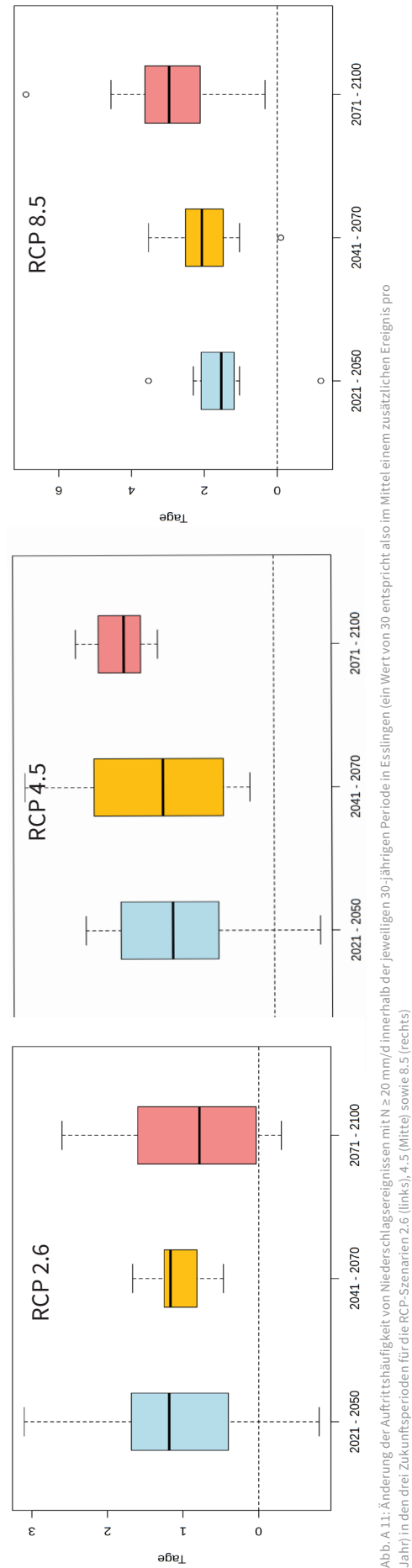


Abb. A.9: Änderung der langjährigen mittl. Anzahl extremer Trockenperioden (mehr als 28 aufeinanderfolgende Tage mit < 1 mm Niederschlag) innerhalb der jeweiligen 30-jährigen Periode in Esslingen (der Wert 30 entspricht also im Mittel einem zusätzlichen Ereignis im Jahr) in den drei Zukunftsperioden für die RCP-Szenarien 2.6 (links), 4.5 (Mitte) sowie 8.5 (rechts)

Starkniederschläge: Starker Niederschlag ($N \geq 10 \text{ mm/d}$)



Starkniederschläge: Stärkerer Niederschlag ($N \geq 20 \text{ mm/d}$)



Starkniederschläge: Starkniederschlag ($N \geq 30 \text{ mm/d}$)

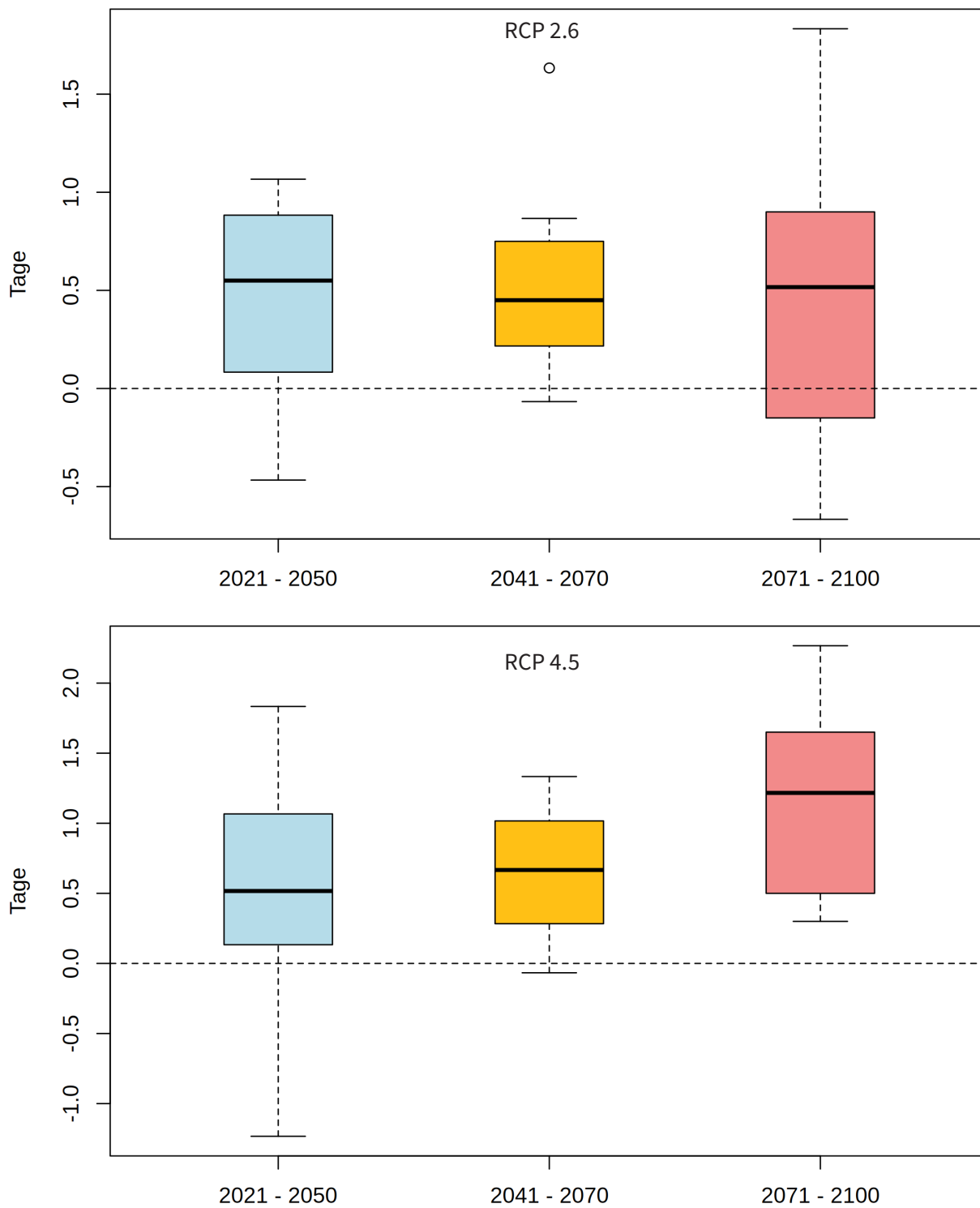


Abb. A.12: Änderung der Auftretshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit $N \geq 30 \text{ mm/d}$ innerhalb der jeweiligen 30-jährigen Periode in Esslingen (ein Wert von 30 entspricht also im Mittel einem zusätzlichen Ereignis pro Jahr) in den drei Zukunftsperioden für die RCP-Szenarien 2.6 (links) sowie 4.5 (rechts)

Sturm

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

Anhang II: Auswertung der Expert*innen-Befragung

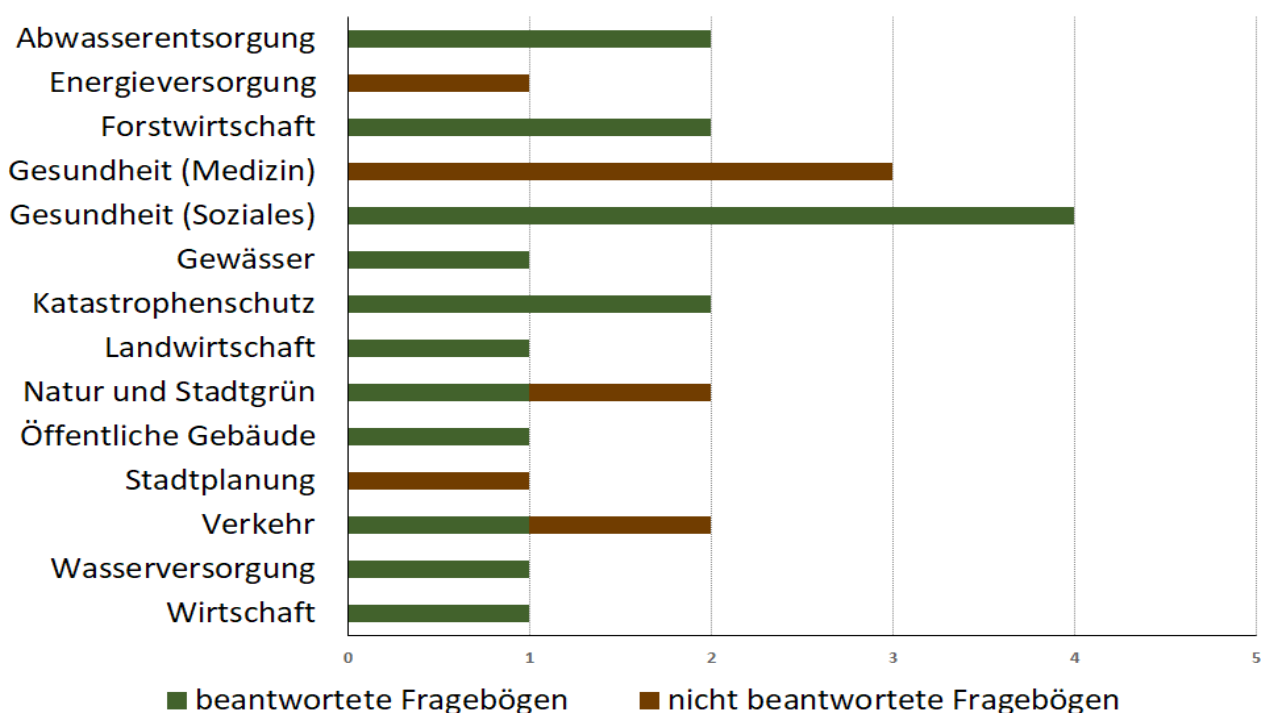
Eckdaten

Anlass und Ziel: Fachliche Einschätzung zu bestehenden und erwarteten Auswirkungen des Klimawandels in den Aufgabenbereichen der jeweiligen Facheinrichtungen (Verwaltung, Institutionen, etc.)

Zeitraum: 4. Quartal 2020

Teilnehmende

- 24 Institutionen / Personen aus 13 Handlungsfeldern wurden mit themenspezifischen Fragebögen angeschrieben
- Der Fragebogen zu den Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit wurde sowohl an medizinische als auch soziale / kulturelle Einrichtungen verschickt. In den folgenden Auswertungen wurden die Antworten in das Handlungsfeld „Gesundheit“ zusammengefasst.
- 17 ausgefüllte Fragebögen erhalten, bis auf Energieversorgung und Stadtplanung mindestens eine Rückmeldung je Handlungsfeld (eine detaillierte Übersicht der beteiligten Institutionen ist am Ende dieser Datei angefügt)



Ergebnisse der Umfrage

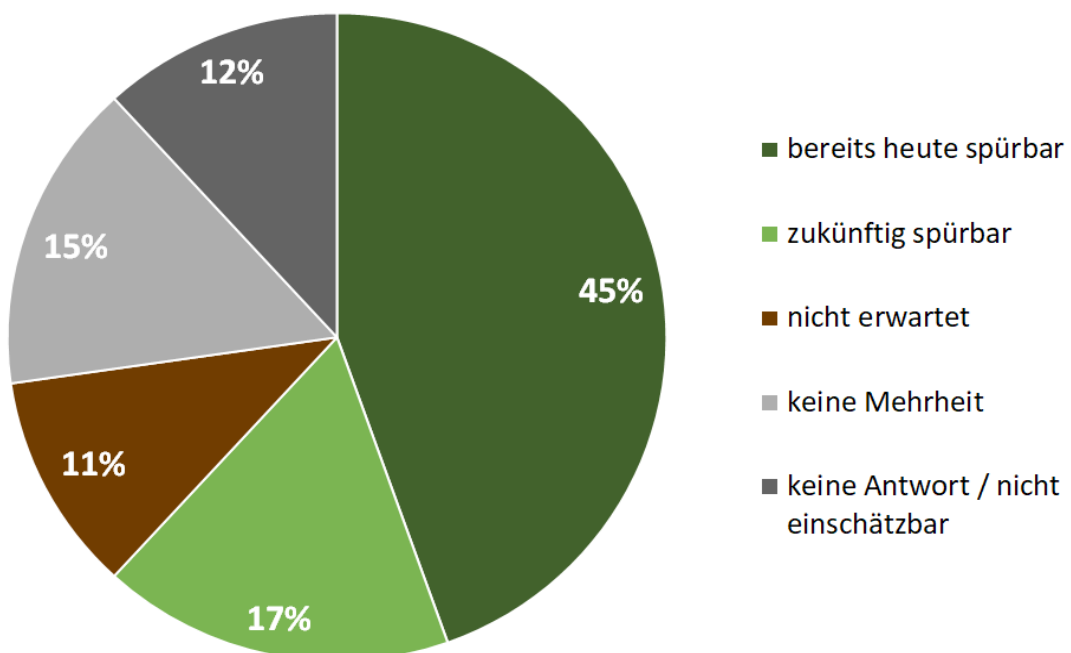
Frage 1: Was sind aus Ihrer Sicht (mögliche) Auswirkungen des Klimawandels in der Stadt Esslingen am Neckar?

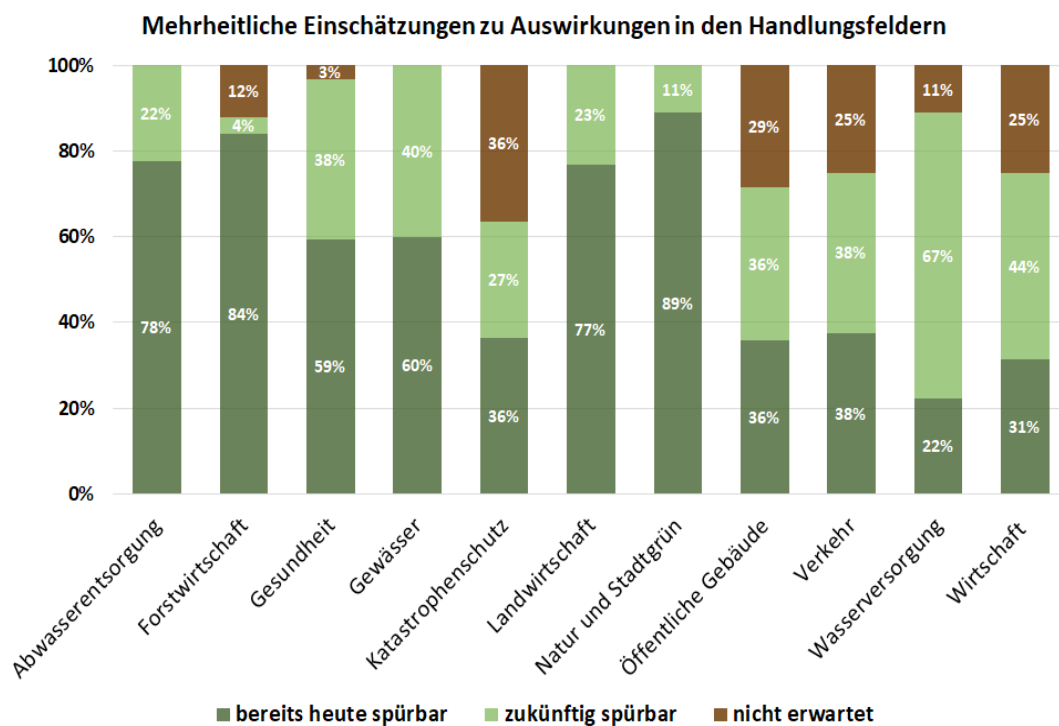
- Von den zur Abstimmung gestellten sowie durch die Teilnehmenden ergänzten möglichen Auswirkungen des Klimawandels werden 45 % mehrheitlich als bereits heute spürbar und weitere 17 % als zukünftig spürbar bewertet
- Bei 15 % der Antwortmöglichkeiten kann keine einheitliche Meinung darüber festgestellt werden, ob sie zu den relevanten Auswirkungen durch den Klimawandel in Esslingen zählen oder nicht
- In nahezu allen Handlungsfeldern schätzt die

Mehrheit der Teilnehmenden die meisten der möglichen Auswirkungen des Klimawandels als bereits heute spürbar ein

- In den Handlungsfeldern Abwasserentsorgung, Gewässer, Landwirtschaft sowie Natur und Stadtgrün werden alle der zur Abstimmung gestellten bzw. ergänzten Auswirkungen des Klimawandels mehrheitlich als bereits heute oder zukünftig spürbar erwartet bewertet.
- Insb. in den Handlungsfeldern Wasserversorgung sowie Wirtschaft werden mehrheitlich vergleichsweise wenige der Indikatoren als bereits heute spürbar eingeschätzt, jedoch zukünftig viele Auswirkungen durch den Klimawandel gesehen
- Zu den Handlungsfeldern Energieversorgung sowie Stadtplanung wurden keine Fragebögen beantwortet

Mehrheitliche Einschätzungen zu Auswirkungen

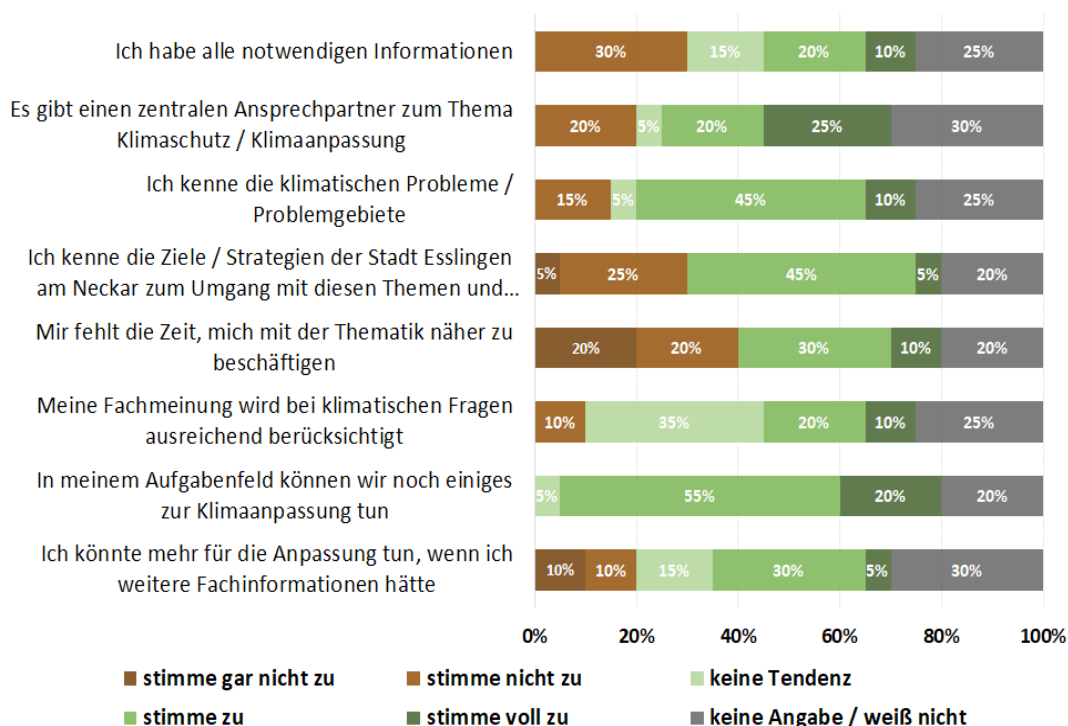




Frage 2: Fühlen Sie sich über die Auswirkungen des Klimawandels in der Stadt Esslingen am Neckar ausreichend informiert?

- 75 % der Teilnehmenden geben an, dass in ihrem Fachbereich noch einiges zur Klimaanpassung getan werden könne (stimme zu oder stimme voll zu)
- Dabei sind der Mehrheit die klimatischen Probleme in ihrem Arbeitsbereich bekannt (55 % stimmen zu oder voll zu)

- Zur Frage, ob alle notwendigen Informationen vorliegen gibt es kein einheitliches Bild: jeweils 30 % stimmten dem tendenziell zu bzw. nicht zu. Dabei gibt ein Drittel der Teilnehmenden an, mehr zur Klimaanpassung tun zu können, wenn weitere Fachinformationen vorlägen.
- Fehlende Zeit wird von 40 % der Teilnehmenden als beschränkender Faktor gesehen, um sich mit der Thematik näher zu beschäftigen. Ebenfalls 40 % schätzen jedoch ein, ausreichend Zeit für das Thema Klimaanpassung zu haben.



Frage 3: Welche Informationsgrundlage wird aus Ihrer Sicht für eine bessere Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels benötigt?

„MONITORING DES KLIMAWANDELS“

- Größere Verfügbarkeit lokaler Messwerte
- Dichteres Pegelmessnetz
- Regenmessungen zur Dimensionierung von Abwasserrohren und Überläufen an Rückhaltebecken
- Informationen zu künftigen Flusswasserpegelstände / Grundwasserpegelstände
- Vorausschau für Starkregenereignisse, Temperaturen

„ANALYSEBEDARF / BESSERE INFORMATIONS-GRUNDLAGE“

- Informationen zur Situation der Wälder rings um Esslingen
- Weitere Forschung bezüglich der Eignung von Baumarten auf den einzelnen Waldstandorten unter unterschiedlichen Klimaszenarien.
- Informationen zu künftigen potentiellen lokalen Ressourcenknappheiten
- Grafische Darstellungen der möglichen Auswirkungen in den einzelnen Stadtteilen

„ANPASSEN LEBEN“

- Konkrete Beispiele über Auswirkungen des täglichen (beruflichen) Handelns auf den Klimawandel
- Die Basisinformationen, dass es klimatische Veränderungen geben wird, sind bekannt. Aber eine Diskussion, welche Auswirkungen das für den Sozialbereich haben wird, wurde bisher nicht geführt. Geschweige denn wurde über Maßnahmen nachgedacht. Es fehlt an Informationsgrundlagen, die dazu auffordern dieses

Thema aufzugreifen und es fehlt an einem deutlichen Signal, dass dies von der Verwaltungsspitze auch gewünscht ist. (Wo ist das Mandat hier tätig werden zu können...)

Frage 4: Welche Maßnahmen zur Klimaanpassung werden bereits durchgeführt oder sind aus Ihrer Sicht denkbar?

MASSNAHMEN IN UMSETZUNG

Abwasserentsorgung:

- Starkregen Gefahrenkarte und Einsatzplanung

Forstwirtschaft:

- Naturnahe Waldwirtschaft und hier insbesondere Walderneuerung mittels Naturverjüngung
- Umbau labiler Waldbestände in Eichen- und Buchenmischbestände
- Intensivierung der Regulierung der Rehwildbestände zur Förderung der Mischbaumarten
- Auswahl von zertifiziertem Pflanzgut; verstärkte Waldpflege insbesondere in der Jugendphase
- Sicherung des Nadelholzanteils durch Tannen-Vorbau unter labilen Fichtenbeständen

Katastrophenschutz:

- Hochwasserschutz durch Sandsackbereitstellung
- Lenzpumpen für Wasserschäden an Gebäuden
- Ersatzstromversorgung der Feuerwehrgebäude bei Netzausfall
- Vorauslöschfahrzeug mit Allradantrieb für Vegetationsbrände
- Abrollbehälter Wasser für Nachschub in Gebieten ohne Wasserversorgung

Landwirtschaft:

- Zwischenfrüchte
- Begrünung im Weinbau
- effiziente Bewässerungssysteme
- Sortenanpassung

Natur und Stadtgrün:

- Pflanzung von Klimabäumen (klimaresiliente Arten und Sorten) auf bisherigen Baumstandorten im Rahmen von Ersatzpflanzung und bei zusätzlich geschaffenen neuen Standorten
- Zusätzliche Baumpflanzungen in Parks und auf Spielplätzen als Schattenspende
- Forcierung Dachbegrünungen auf städtischen Gebäuden

Verkehr

- Starkregenereignisse in der Planung berücksichtigen
- in Zukunft Planungswerte anpassen

Strom- und Wasserversorgung

- Wasserstoffeinspeisung in das Erdgasnetz
- Wasserstoffherzeugung aus 100 % regenerativem Strom

Wirtschaft:

- Erhalt von Grünflächen in der Stadt, Erhalt und Erweiterungen von Baumpflanzungen in der Stadt
- Einrichtung von Fußgängerzonen in der Innenstadt/autofreie Altstadt
- klimaneutrales Stadtquartier Neue Weststadt: Passivbauweise mit Elektrolyseurtechnologie zur Wasserstoffgewinnung

MASSNAHMEN IN PLANUNG

Natur und Stadtgrün:

- Neckaruferpark – Maßnahmen zur Beschattung von Aufenthaltsräumen

Verkehr

- Anpassung des Straßenkörpers zur möglichen

Ableitung von Sturzfluten

- strategischer Flächenerwerb, um Rückhaltevolumen schaffen zu können

Strom- und Wasserversorgung

- Erzeugung von regenerativen Photovoltaikfeldern zur Stromerzeugung

Wirtschaft:

- Renaturierung des Neckarufers als Ausgleichsmaßnahme bei Baumaßnahmen
- Einrichtung eines Neckaruferparks

MASSNAHMEN KÜNFTIG DENKBAR

Abwasserentsorgung:

- strategische Ausrichtung zum Umgang mit Trockenperioden

Gesundheit:

- Mehr Beschattung in Sportanlagen
- Kühlsysteme in Wohnungen/Einrichtungen für Ältere
- bessere Beschattung und Sonnenschutz bei Neubauten von Gebäuden
- ausreichende Be- und Entlüftung von Räumen
- gutes Raumklima durch entsprechende Kühlung im Sommer
- Trinkwasserspender
- Zuschüsse für Fahrräder und E-Bikes
- Grünflächenerhalt und -umgestaltung

Katastrophenschutz:

- Aufbau Sirennennetz zur Bevölkerungswarnung

Verkehr

- sommerlicher Wärmeschutz entsprechend den erwarteten Temperaturen im Planungsprozess

anpassen

- Baugrundstücke auch anhand von Risiko für Hochwasser bewerten

Strom- und Wasserversorgung

- Kühlung mittels regenerativer Energien

(in grau: Maßnahmen, die in erster Linie den Belangen des Klimaschutzes dienen)

Impressum

Herausgeber

STADT ESSLINGEN AM NECKAR
Stadtplanungsamt
Ritterstraße 17
73728 Esslingen am Neckar

Auftragnehmer

GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
Tel: (0511) 388 72-00
www.geo-net.de

REE-Mix GmbH
Fortstr. 7
76829 Landau in der Pfalz
Tel: (06341) 598088
www.REE-Mix.de

berchtoldkrass space&options
Schützenstraße 8a
6137 Karlsruhe
Tel.: (0721) 9688798-10
www.berchtoldkrass.de

Copyright beim Herausgeber

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung (auch auszugsweise) und Speicherung in elektronische Systeme nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Herausgebers.

(April 2022)

