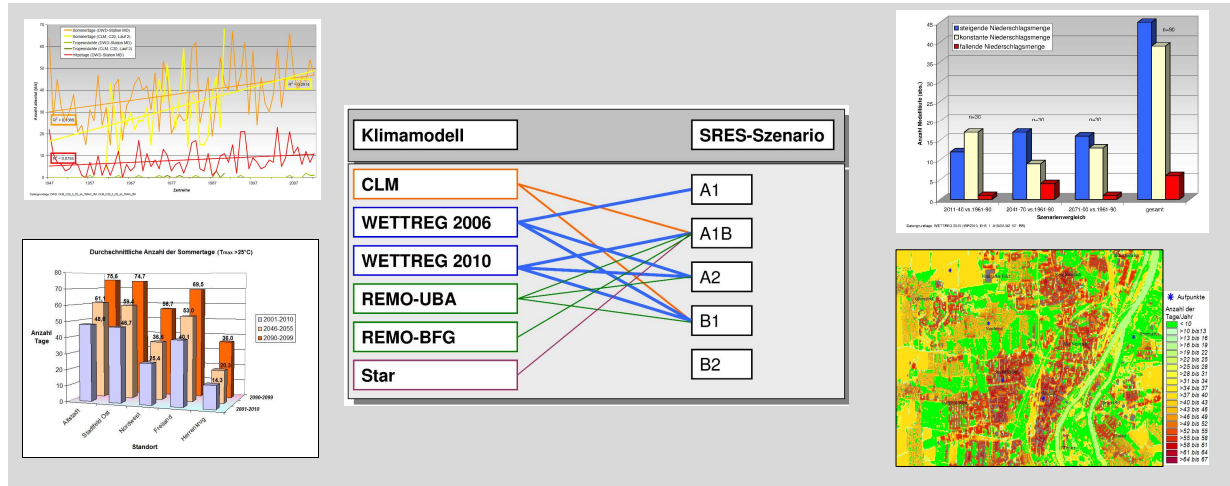


Fachgutachten Klimawandel für die Landeshauptstadt Magdeburg

Bioklima und Siedlungswasserwirtschaft unter dem Einfluss des Klimawandels



Auftraggeber:
Landeshauptstadt Magdeburg
Umweltamt
Julius-Bremer-Straße 8 – 10
39104 Magdeburg



Auftragnehmer:
GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover
Tel. (0511) 3887200
Fax (0511) 3887201
www.geo-net.de

In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. G. Gross
Anerkannt beratender Meteorologe (DMG),
Öffentlich bestellter Gutachter für Immissionsfragen und
Kleinklima der IHK Hannover-Hildesheim

Bearbeiter

Dipl. Geogr. Harald Kuttig
Dr. phil. Björn Büter

Hannover

20. November 2013

INHALTSVERZEICHNIS

1	PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG	1
2	METHODIK.....	3
3	ERGEBNISSE - BIOKLIMA.....	11
3.1	Analyse klimatischer Leitparameter – Expositionsanalyse.....	11
3.1.1	Jahresdurchschnittstemperatur.....	11
3.1.2	Auftrittshäufigkeit von meteorologischen Kenntagen	12
3.1.3	Auftrittshäufigkeit von Tagen mit Wärmebelastung	24
4	ERGEBNISSE - SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT	28
4.1	Analyse klimatischer Leitparameter – Expositionsanalyse.....	28
4.1.1	Jahresniederschlagssumme	28
4.1.2	Anteil von Tagesniederschlagssummen < 4 mm an der Jahresniederschlagssumme	29
4.1.3	Innerjährliche Niederschlagsverteilung (meteorologische Jahreszeiten).....	31
4.1.4	Innerjährliche Niederschlagsverteilung (hydrologische Halbjahre)	33
4.1.5	Intensität und Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen.....	35
4.1.6	Dauer und Auftrittshäufigkeit von Trockenwetterperioden.....	39
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	43
5.1	Handlungsfeld Bioklima	44
5.2	Handlungsfeld Stadtentwässerung	47
5.3	Handlungsfeld Urbane Fließ- und Standgewässer	50
5.4	Handlungsfeld Grundwasser	54
6	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	57
	QUELLENVERZEICHNIS	61
	ANHANG.....	63

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: JAHRESDURCHSCHNITTSTEMPERATUR IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1850 UND 2012.....	4
ABBILDUNG 2: DIE VIER IPCC-KLIMASZENARIOFAMILIEN	6
ABBILDUNG 3: FÜR DEUTSCHLAND FREI VERFÜGBARE KLIMAMODELLE UND -SZENARIEN (STAND: 31.12.2012).....	7
ABBILDUNG 4: VEREINFACHTES FLUSSDIAGRAMM ZUR ENVELOPE-METHODE	8
ABBILDUNG 5: BODENNAHE JAHRESDURCHSCHNITTSTEMPERATUR IN MAGDEBURG (1850 BIS 2100)	12
ABBILDUNG 6: GEMESSENE UND MODELLIERTE JÄHRLICHE AUFTRITTSHÄUFIGKEIT VON SOMMERTAGEN, HITZETAGEN UND TROPENNÄCHTEN IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2012	13
ABBILDUNG 7: ANZAHL DER SOMMERTAGE/JAHR IN DEN VERSCHIEDENEN NUTZUNGSSTRUKTUREN (2001-2099)	16
ABBILDUNG 8: ANZAHL DER SOMMERTAGE/JAHR IN DEN ZEITRÄUMEN 2001-2010, 2046-55 UND 2091-2099	17
ABBILDUNG 9: ANZAHL DER HITZETAGE ZU VERSCHIEDENEN MESSZEITRÄUMEN (1961-2010)	18
ABBILDUNG 10: ANZAHL DER HITZETAGE/JAHR IN DEN VERSCHIEDENEN NUTZUNGSSTRUKTUREN (2001-2099)	19
ABBILDUNG 11: ANZAHL DER HITZETAGE/JAHR IN DEN ZEITRÄUMEN 2001-2010, 2046-55 UND 2091-2099	20
ABBILDUNG 12 ANZAHL DER TROPENNÄCHTE/JAHR IN DEN VERSCHIEDENEN NUTZUNGSSTRUKTUREN (2001-2099)	22
ABBILDUNG 13: ANZAHL DER TROPENNÄCHTE/JAHR IN DEN ZEITRÄUMEN 2001-2010, 2046-55, 2091-2099	23
ABBILDUNG 14: ANZAHL DER TAGE/JAHR MIT WÄRMEBELASTUNG IN DEN VERSCHIEDENEN NUTZUNGSSTRUKTUREN (2001-2099)	25
ABBILDUNG 15: ANZAHL DER TAGE MIT WÄRMEBELASTUNG/JAHR IM ZEITRAUM 2091 BIS 2099	26
ABBILDUNG 16: FLÄCHENKULISSE BESONDERS VON WÄRMEBELASTUNG BETROFFENER FLÄCHEN	27
ABBILDUNG 17: JAHRESNIEDERSCHLAGSSUMME IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2012..	28
ABBILDUNG 18: ENTWICKLUNG DER MITTLEREN JAHRESNIEDERSCHLAGSSUMME UND IHRE UNSICHERHEITEN	29
ABBILDUNG 19: JÄHRLICHER ANTEIL DER TAGESNIEDERSCHLAGSSUMMEN < 4 MM AN DER JAHRESNIEDERSCHLAGSSUMME IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2012	30
ABBILDUNG 20: QUANTIFIZIERUNG DER UNSICHERHEITEN IN DER ZUKÜNFTIGEN ENTWICKLUNG DES ANTEILS DER TAGESNIEDERSCHLAGSSUMMEN < 4 MM AN DER JAHRESNIEDERSCHLAGSSUMME	31
ABBILDUNG 21: JÄHRLICHE SOMMERNIEDERSCHLAGSSUMME IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2012	32
ABBILDUNG 22: ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG DER NIEDERSCHLAGSMENGE IN DEN METEOROLOGISCHEN JAHRESZEITEN UND IHRE UNSICHERHEITEN.....	33

ABBILDUNG 23: RELATIVER ANTEIL VON HYDROLOGISCHEM WINTER- UND SOMMERHALBJAHR AN DER GESAMTNIEDERSCHLAGSMENGE DES HYDROLOGISCHEN JAHRES ZWISCHEN 1947 UND 2012	34
ABBILDUNG 24: QUANTIFIZIERUNG DER UNSICHERHEITEN IN DER ENTWICKLUNG DER NIEDERSCHLAGSSUMME IM HYDROLOGISCHEN WINTERHALBJAHR (NOVEMBER – APRIL) UND SOMMERHALBJAHR (MAI – OKTOBER)	35
ABBILDUNG 25: BLICK VOM MAGDEBURGER DAMASCHKEPLATZ AUF DIE ÜBERFLUTETE UNTERFÜHRUNG AM HEUTIGEN KÖLNER PLATZ (1977).....	36
ABBILDUNG 26: INTENSIVSTES TAGESNIEDERSCHLAGSEREIGNIS PRO JAHR IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2012.....	37
ABBILDUNG 27: QUANTIFIZIERUNG DER UNSICHERHEITEN IN DER ENTWICKLUNG DER AUFTRITTSHÄUFIGKEIT VON STARKREGENEREREIGNISSEN > 50 MM/D.....	38
ABBILDUNG 28: INTENSIVSTES JAHRESNIEDERSCHLAGSEREIGNIS IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2100	39
ABBILDUNG 29: DAUER DER LÄNGSTEN JÄHRLICHEN TROCKENPERIODE IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2012.....	40
ABBILDUNG 30: QUANTIFIZIERUNG DER UNSICHERHEITEN IN DER ENTWICKLUNG DER AUFTRITTSHÄUFIGKEIT VON TROCKENPERIODEN	41
ABBILDUNG 31: DAUER DER LÄNGSTEN JÄHRLICHEN TROCKENPERIODE IN MAGDEBURG ZWISCHEN 1947 UND 2100.....	42

TABELLENVERZEICHNISTABELLE 1: BEWERTUNGSSCHLÜSSEL FÜR DIE AUSSAGEQUALITÄT VON KLIMAMODELLDATEN	4
TABELLE 2: STECKBRIEF ZUM HANDLUNGSFELD BIOKLIMA.....	44
TABELLE 3: STECKBRIEF ZUM HANDLUNGSFELD STADTENTWÄSSERUNG	47
TABELLE 4: STECKBRIEF ZUM HANDLUNGSFELD URBANE FLIEß- UND STANDGEWÄSSER	50
TABELLE 5: STECKBRIEF ZUM HANDLUNGSFELD GRUNDWASSER	54
TABELLE 6: VEREINFACHTE ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER EXPOSITIONSANALYSE.....	57
TABELLE 7: IM HIESIGEN FACHGUTACHTEN KLIMAWANDEL THEMATISIERTE KLIMASENSITIVE HANDLUNGSFELDER (NACH MLU 2012)	59
TABELLE 8: EMPFEHLUNGEN FÜR DEN WEITEREN KURZ- BIS MITTELFRISTIGEN KLIMAAANPASSUNGSPROZESS IN DER LANDESHAUPTSTADT MAGDEBURG	60

1 Problem- und Zielstellung

Spätestens durch die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro ist der Klimawandel von der globalen bis hinunter zur lokalen Ebene als eine der größten Zukunftsaufgaben anerkannt.

Um den mit dem Klimawandel verbundenen Herausforderungen angemessen zu begegnen, existieren grundsätzlich zwei in enger Wechselbeziehung stehende Schlüsselstrategien. Hierbei handelt es sich zum einen um den aktiven Klimaschutz (sog. Mitigation). Er zielt darauf ab, durch die Reduzierung von Treibhausgasemissionen (z. B. durch den Ausbau Erneuerbarer Energie und die Erhöhung der Energieeffizienz) sowie durch den Erhalt bzw. die Entwicklung von Kohlenstoffdioxidsenken den Klimawandel zu begrenzen. Die zweite Schlüsselstrategie stellt die Anpassung bzw. Klimaanpassung¹ (sog. Adaption) dar. Sie verfolgt das Ziel, die derzeitigen und zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf ein für Mensch und Natur verträgliches Maß zu reduzieren. Beide Strategien bedürfen Aktivitäten sowohl auf der globalen und nationalen Ebene als auch und vor allem auf der regionalen und lokalen Ebene.

Die Adaption steckt, im Vergleich zur Mitigation, noch in den Kinderschuhen. Allerdings hat die Bundesregierung mit der 2008 erschienen „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ (DAS) sowie dem 2011 veröffentlichten „Aktionsplan Anpassung“ den Klimaanpassungsprozess initiiert und treibt ihn durch vielfältige Fördermaßnahmen intensiv voran. In der DAS wird neben der Bedeutung der Bundesländer auch und insbesondere die Relevanz der Kommunen betont, denen im Prozess eine zentrale Rolle zugewiesen wird:

“Da Anpassung in den meisten Fällen auf regionaler oder lokaler Ebene erfolgen muss, sind viele Entscheidungen auf kommunaler oder Kreisebene zu treffen“ (Bundesregierung 2008, 60)

Fast alle 16 Bundesländer haben hierauf mit eigenen Klimaanpassungsstrategien reagiert. Auch Sachsen-Anhalt hat eine „Strategie des Landes zur Anpassung an den Klimawandel“ inklusive eines Aktionsplans erarbeitet und fortgeschrieben (MLU Sachsen-Anhalt 2012). Ein Transfer der Erkenntnisse bzw. eine räumliche Konkretisierung des Klimawandels, von Klimafolgen und Klimaanpassungsoptionen beschränkt sich bundesweit bisher allerdings auf wenige Leuchtturmprojekte. Eine mit dem Klimaschutz vergleichbare Breitenwirkung konnte bislang nicht erzielt werden.

In der Landeshauptstadt Magdeburg befindet sich der Klimaschutz trotz vielfältiger Hindernisse auf gutem Wege, sich nachhaltig in den Prozessen der jeweiligen Entscheidungsträger zu etablieren. Seit 1993 ist die Landeshauptstadt Magdeburg Mitglied im „Klima-Bündnis der europäischen Städte mit indigenen Völkern der Regenwälder e. V.“ und hat sich im Rahmen ihrer Mitgliedschaft zu einer kontinuierlichen Reduzierung ihrer Treibhausgase verpflichtet. Mit der im September 2010 durch den

¹ Anpassung an den Klimawandel, an Klimaänderungen, an Klimafolgen, an die globale Erwärmung. Im Folgenden unter dem Begriff „Klimaanpassung“ zusammengefasst.

Stadtrat beschlossenen Drucksache DS0118/10 „Neues Klimaschutzprogramm“ hat sich die Landeshauptstadt Magdeburg zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 den Ausstoß klimarelevanter Gase auf 3,2 t CO₂ je Einwohner und Jahr zu begrenzen und damit diesen im Vergleich zum Status quo in etwa zu halbieren. Zur Umsetzung dieser Zielsetzung führt die Landeshauptstadt Magdeburg ein kommunales Energie- und Klimaschutzmanagement ein, das darauf ausgerichtet ist, die Themen Klimaschutz und Energieeffizienz systematisch in allen Handlungsfeldern der Kommune zu verankern. Im April 2013 ist mit der Drucksache DS0003/13 das „Energie- und Klimaschutzprogramm 2013-2015 der Landeshauptstadt Magdeburg“ beschlossen worden.

Nun hat die Landeshauptstadt Magdeburg - auch vor dem Hintergrund ihrer historischen Verknüpfung zum Thema Klima, u. a. als Wirkungsstätte Otto von Guericke (1602-1686) sowie Richard Adolph Aßmanns (1845-1918), welche maßgeblich die Entwicklung der Wetterkunde und der Meteorologie beförderten (z. B. realisierte Aßmann die erste deutsche Zeitungswetterkarte) - die ihr zugeordnete Rolle im Klimaanpassungsprozess frühzeitig angenommen und durch die Beauftragung der GEO-NET Umweltconsulting GmbH (Hannover) mit der Erstellung dieses Fachgutachtens den Prozess initiiert.

Angesichts begrenzter finanzieller und zeitlicher Ressourcen war eine umfassende Bearbeitung aller sechzehn in der sachsen-anhaltischen Klimaanpassungsstrategie genannten „besonderen Sektoren“ nicht Ziel des Gutachtens. Vielmehr hat das Fachgutachten die Aufgabe, Ansätze anhand ausgewählter Problemlagen mit hoher lokaler Relevanz aufzuzeigen, die den Weg zu einer thematisch integrativen und ganzheitlichen kommunalen Klimaanpassungsstrategie ebnen.

Als Schwerpunkthemen - im Folgenden auch als Bausteine bezeichnet - wurden das „Bioklima“ und die „Siedlungswasserwirtschaft“ ausgewählt. Damit konzentriert sich das Fachgutachten auf die besonderen Sektoren „Menschliche Gesundheit“ und „Wasser“, berührt aber auch weitere Handlungsfelder wie „Bauwesen“, „Verkehr“, „Stadtplanung“, „Bevölkerungsschutz“ und „Energiewirtschaft“ (vgl. auch Kapitel 6). Konkret sollten im Fachgutachten in erster Linie für klimatische Leitindikatoren die zu erwartenden Entwicklungen bis zum Jahr 2100 analysiert werden. Indem aufbauend auf dem Fachgutachten mit den relevanten kommunalen Akteuren die daraus ableitbaren Folgen für die betrachteten Handlungsfelder diskutiert und bewertet sowie erste potentielle Maßnahmenansätze identifiziert werden sollen, geht das Fachgutachten über eine bloße Expositionsanalyse hinaus. Das Fachgutachten hat dabei das Selbstverständnis eines Grundsteins, der zwar bereits für sich genommen gehaltvolle Aussagen und Entscheidungsgrundlagen liefert, seinen Mehrwert aber auch daraus zieht, folgende weitere Aktivitäten kommunaler Akteure angemessen vorzubereiten.

2 Methodik

Der Erkenntnisgewinn des vorliegenden Fachgutachtens basiert im Wesentlichen auf drei methodischen Säulen:

- Analyse von **Messdaten**
- Erzeugung und Analyse von **Modelldaten**
- Einschätzungen von **Experten**

Analyse von Messdaten

Die Messdaten der langjährigen Niederschlagsreihen entstammen der jeweils durch den DWD² betriebenen Klimastation Magdeburg (Station MD)³ sowie der Niederschlagsstation Magdeburg-Buckau (Station MD-Buckau)⁴. Die Daten liegen als Tagessummenwerte vor. Die Messreihen finden in dem Baustein „Siedlungswasserwirtschaft“ Anwendung und besitzen hier eine doppelte Relevanz (sowohl für die Analyse von Messdaten als auch für die Erzeugung und Analyse von Modelldaten).

Mithilfe der besagten Messreihen wird analysiert, inwiefern sich für das Stadtgebiet Magdeburg bereits heute gegenüber der Vergangenheit veränderte Niederschlagsverhältnisse ableiten lassen. Die entsprechende Einschätzung basiert auf dem Bestimmtheitsmaß R^2 ⁵ des linearen Trends. Als Bewertungsmaßstab wurde der lineare Trend von $R^2 = 0,05$ der Temperaturentwicklung an der Station MD zwischen 1850 und 2012 gewählt. Bei (deutlich) geringeren Bestimmtheitsmaßen liegt kein Trend vor, ähnlich hohe oder höhere Werte deuten auf einen Zusammenhang zwischen der Zeitskala und der Ausprägung des Parameters Niederschlag hin. Mit einer positiven Steigung ist dabei die Aussage eines mit vorschreitender Zeit steigenden Wertes verbunden (wie bei der Temperaturentwicklung, vgl. Abbildung 1). Eine negative Steigung bedeutet tendenziell sinkende Werte.

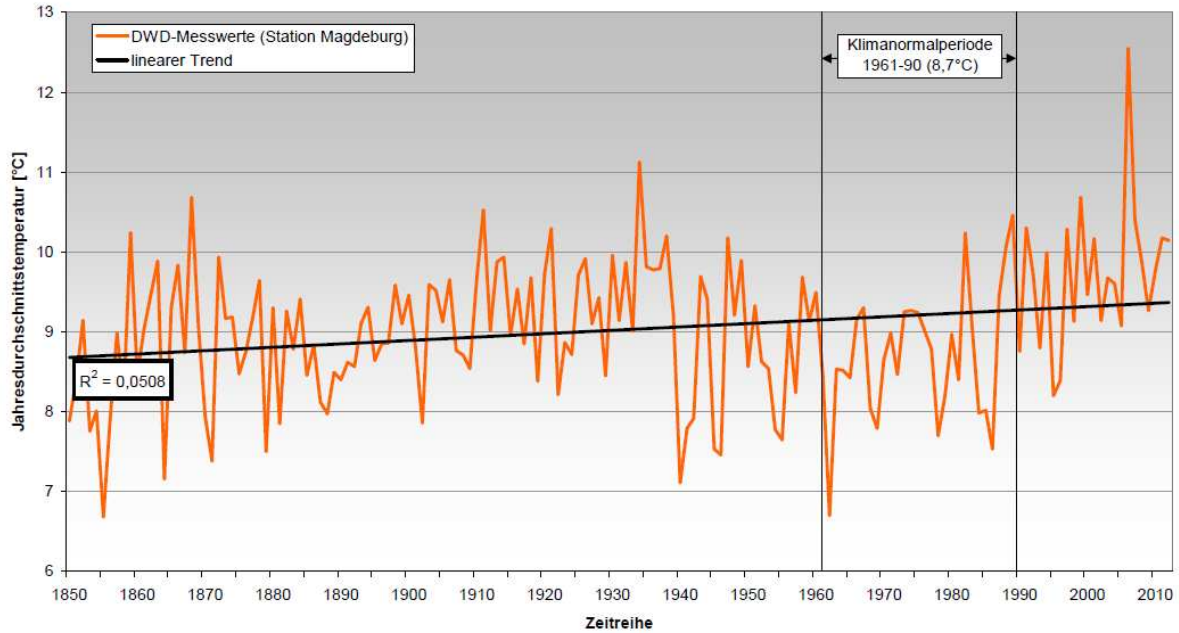
² Deutscher Wetterdienst

³ Im Folgenden als Station MD bezeichnet, durch den DWD betrieben seit 1947, Lage: Aßmannstraße 12, 39104 Magdeburg.

⁴ Im Folgenden als Station MD-Buckau bezeichnet, durch den DWD betrieben zwischen 1947 und 2000, Daten-Online-Verfügbarkeit ab 1969, Lage: geografische Breite dezimal 52,1, geografische Länge dezimal 11,65.

⁵ Das Bestimmtheitsmaß entspricht dem quadrierten Regressionskoeffizienten R und gibt den erklärten Anteil der Varianz einer abhängigen Variable, d. h. die Streuung dieser Variable, an. Der Regressionskoeffizient drückt den Einfluss einer Variable, insbesondere den Beitrag einer unabhängigen Variable (dem Regressor) für die Prognose der abhängigen Variable, innerhalb einer Gleichung aus.

Abbildung 1: Jahresdurchschnittstemperatur in Magdeburg zwischen 1850 und 2012



Erzeugung und Analyse von Modelldaten

Die vorgenannten Messreihen dienen als Bewertungsgrundlage für die Qualitätsbeurteilung der verwendeten Klimamodelldaten. Die Klimamodelldaten basieren nicht auf Messungen, sondern auf Computermodellen und treffen Aussagen bis zum Jahr 2100. Da die Modellierungen standardmäßig auch die Vergangenheit modellieren (sog. C20-Szenario), lässt sich die Qualität einzelner Aussagen für die Zukunft durch den Grad der Übereinstimmung zwischen Mess- und Modelldaten für die Vergangenheit bewerten. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass je genauer das Modell die Vergangenheit hinsichtlich der Mittel- und Extremwerte sowie der Amplitude widerspiegelt, desto höher ist die Aussagequalität auch für die Zukunft zu bewerten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bewertungsschlüssel für die Aussagequalität von Klimamodelldaten

Aussagequalität	Kürzel
Sehr gut	↑
Gut	↗
Befriedigend	→
Schlecht	↘
Sehr schlecht	↓

Die Ergebnisse der Klimamodellierungen sind in erster Linie von Annahmen darüber abhängig, welche Menge an Treibhausgasen die Menschheit in Zukunft emittieren oder allgemein gesprochen, welchen Entwicklungspfad sie einschlagen wird. Da die Zukunft niemals exakt vorhersehbar ist, können über die Entwicklungspfade allerdings nur begründete Vermutungen angestellt werden. Das IPCC⁶ hat zur Konkretisierung dieser Annahmen daher bereits in seinem 3. Sachstandsbericht die vier SRES⁷-Szenarien A1, A2, B1 und B2 eingeführt (vgl. IPCC 2000). Zwar sind für den 2013/2014 erscheinenden 5. Sachstandsbericht des IPCC weiterentwickelte Szenarios angekündigt, ein Bruch mit den grundlegenden Annahmen ist aber nicht zu erwarten (Moss et al. 2010), so dass die Ergebnisse dieses Fachgutachtens aller Voraussicht nach ihre Gültigkeit in den nächsten Jahren nicht verlieren werden.

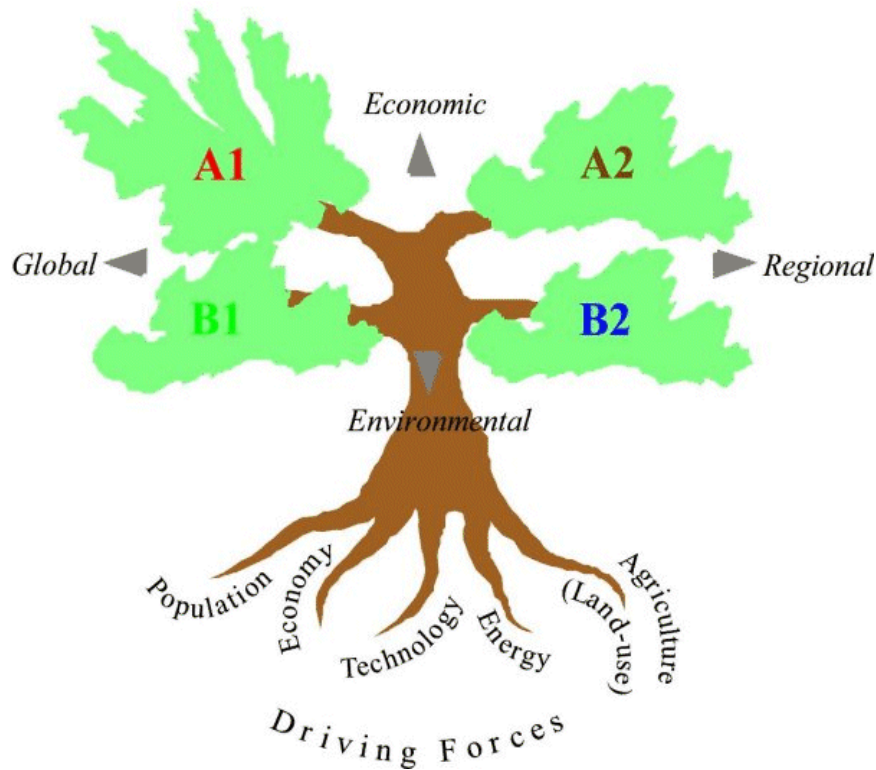
So werden sich die Szenarien vermutlich auch zukünftig vor allem hinsichtlich des Grades der Ausprägung der verwendeten Randbedingungen unterscheiden (vgl. Abbildung 2). Im Wesentlichen lassen sich diese auf die beiden Begriffspaare „Globalisierung – Regionalisierung“ und „ökonomisch orientiertes Wachstum - ökologisch orientiertes Wachstum“ verdichten. Konkrete Kriterien, die diese grundlegenden Entwicklungspfade determinieren sind: Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Energieverbrauch und Ressourcenverfügbarkeit, Landnutzungsänderungen sowie Richtung und Geschwindigkeit des technischen Wandels. Die beiden A-Szenariofamilien repräsentieren dabei verschiedene Abstufungen einer eher auf hohes wirtschaftliches Wachstum hin orientierten Entwicklung während den beiden B-Szenarien eher die Annahme nachhaltigen Handelns zugrunde liegt. Für die A-Szenariofamilien wird von einer höheren durchschnittlichen Erwärmung der globalen Mitteltemperatur ausgegangen als für die B-Szenariofamilien. Die Eintrittswahrscheinlichkeit aller Szenarien ist laut IPCC gleich hoch.

In der Praxis hat sich allerdings vor allem die Verwendung des A1B-Szenarios durchgesetzt. Es verkörpert ein sog. business-as-usual-Szenario, in dem die Menschheit den eingeschlagenen Weg der Akzentuierung auf das Wirtschaftswachstum grundsätzlich beibehält. Bestandteil des Szenarios ist aber auch, dass der begonnene Ausbau der Nutzung von erneuerbaren Energieträgern weiter vorangetrieben wird und sich im Laufe des 21. Jahrhunderts relativ rasch ein ausgewogener Energiemix aus fossilen und regenerativen Energieträgern einstellen wird.

⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change, zu deutsch Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen oder kurz Weltklimarat

⁷ SRES = Special Report on Emissions and Scenarios

Abbildung 2: Die vier IPCC-Klimaszenariofamilien

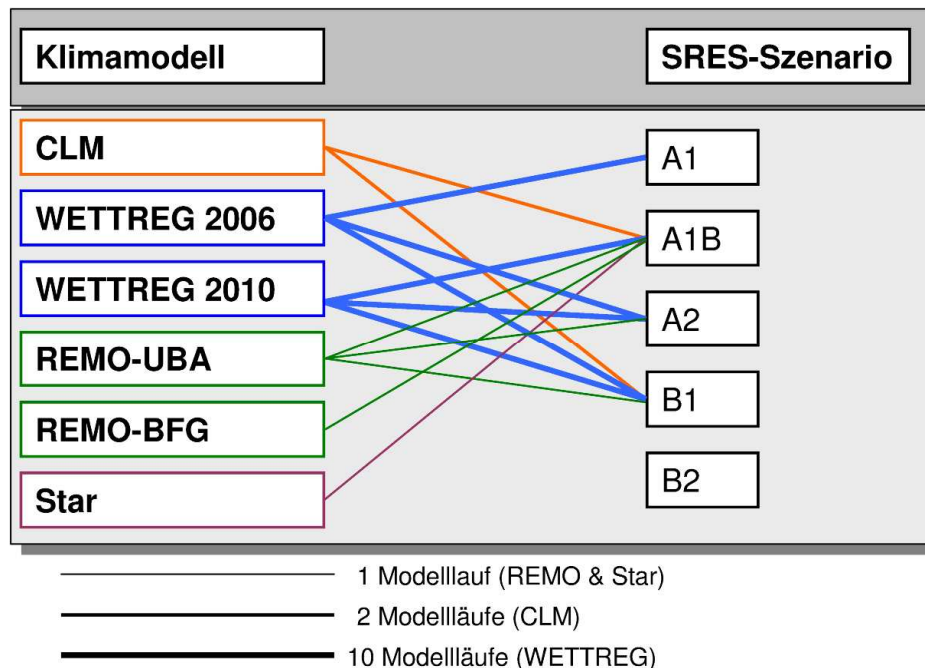


Quelle: verändert nach IPCC 2000, 28

Auf der Basis der Szenarien können globale und im zweiten Schritt regionale Klimamodelle angetrieben werden. Für Deutschland stehen als Datenbasis gegenwärtig die vier regionalen Klimamodelle „Regional Climate Modelling“ (REMO), „Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode“ (WETTREG), „Climate Local Model“ (CLM) und „Statistical Regional Model“ (STAR) zur Verfügung.

Wie Abbildung 3 zeigt, sind diese Modelle mit einem oder mehreren SRES-Szenarien angetrieben worden. Aus dieser Kombination ergeben sich für den deutschen Raum gegenwärtig 69 potentiell verschiedene Zukunftsklimate. Die Zahl setzt sich zum einen aus den je Klimamodell verwendeten Szenarien (insgesamt 13 Kombinationen, repräsentiert durch die farbigen Kanten) und zusätzlich aus unter veränderten Eingangsbedingungen durchgeführten mehrfachen Modellläufen (weitere 56 Kombinationen, repräsentiert durch die Stärke der farbigen Kanten) zusammen. Alleine 60 und damit 87 % dieser Kombinationen stammen aus den beiden WETTREG-Modellen der Jahre 2006 und 2010.

Abbildung 3: Für Deutschland frei verfügbare Klimamodelle und -szenarien (Stand: 31.12.2012)



Eine Beschreibung und ein Quervergleich aller 69 Varianten sind jedoch nicht praxistauglich und können auch im Rahmen dieses Fachgutachtens nicht geleistet werden. Stattdessen muss bei der Auswahl der zu analysierenden Klimaszenarien und -modelle das Ziel verfolgt werden, eine der Komplexität des Themas angemessene aber dennoch arbeitstechnisch zu bewältigende Kompromisslösung zu finden.

Für das vorliegende Projekt wurde folgender Lösungsansatz gewählt:

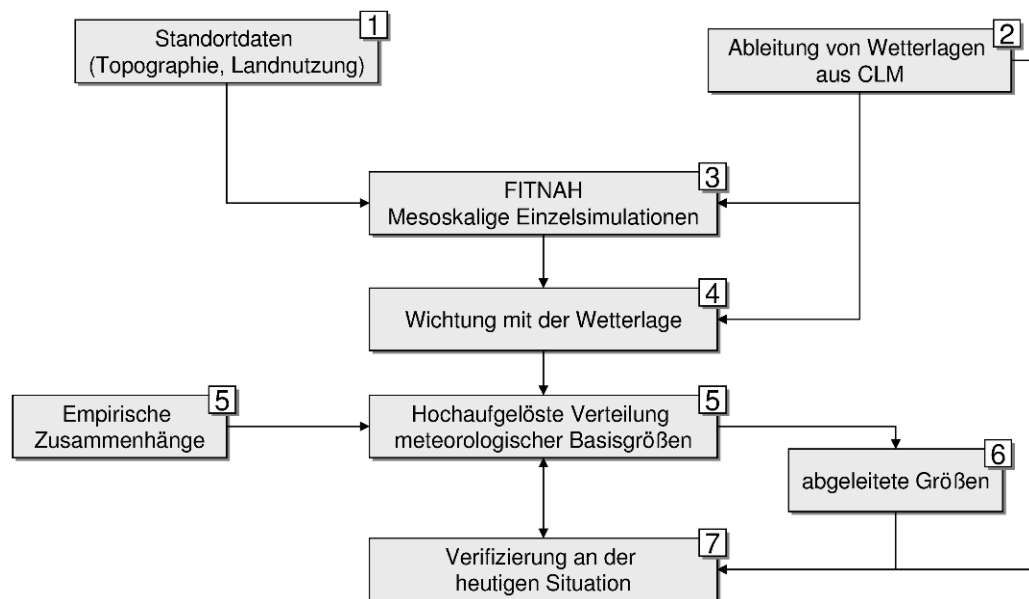
- Baustein Bioklima: Klimamodell CLM, Klimaszenario A1B, Modelllauf 1
- Baustein Siedlungswasserwirtschaft: Klimamodell WETTREG 2010, Szenarien B1, A1B und A2, je 10 Modellläufe

Beim Bioklima handelt es sich um ein primär temperaturabhängiges Thema. Die bodennahe Temperatur ist ein vergleichsweise leicht zu modellierender Parameter, der neben dem atmosphärischen Antrieb (also der Wetterlage) in erster Linie von der Art der Bodennutzung und Höhe über NHN⁸ abhängig ist. Die Temperatur weist in allen Szenarien und Modellen denselben Trend auf: Sowohl die Durchschnittstemperatur als auch die Extremtemperaturen werden sich um einige °C nach oben verschieben. Einzig bezüglich des genauen Betrags dieser Änderung existieren zwischen den einzelnen Varianten Unterschiede, die zwischen einigen Zehnteln Grad bis etwa 2 °C liegen. Für Aussagen zum Bioklima ist es aus der Sicht der Fachgutachter daher ausreichend, eine „Einmodell-Einszenario-Strategie“ anzuwenden. Der Mehrwert, der durch Analysen weiterer Varianten erzielt werden könnte, würde den zusätzlichen Aufwand aller Wahrscheinlichkeit nach nicht aufwiegen.

⁸ Normalhöhennull

Insbesondere für Großstädte mit einem eigenen Stadtklima - wozu auch Magdeburg gehört - empfiehlt es sich stattdessen, in die räumlich hochauflösende Verteilung des Temperaturfeldes innerhalb des Stadtgebietes zu investieren. Auf diesem Wege lassen sich u. a. besonders vom Hitzestress betroffenen Stadtquartiere ermitteln und gezielt Maßnahmen entwickeln. Die oben genannten Klimamodelle stellen Daten entweder für einen bestimmten Punkt im Raum (z. B. WETTREG) oder flächendeckend (z. B. CLM) zur Verfügung. Da zur Bewertung des Bioklimas die Temperaturverteilung in der gesamten Stadt von Interesse ist, wurde als Basis für das Fachgutachten das Modell CLM ausgewählt. Dieses - ebenso wie das Modell REMO - liefert aber für das gesamte Stadtgebiet Magdeburgs nur eine einzige Klimainformation, so gibt es beispielsweise keine Differenzierung zwischen den Flächen des Elbauenparks, des Stadtparks Rothehorn oder der Blockrandbebauung der Innenstadt. Um die entsprechenden Unterschiede innerhalb des Stadtkörpers offen zu legen, hat die Landeshauptstadt Magdeburg die Erarbeitung einer Klimafunktions- und einer Planungshinweiskarte Klima/Luft (vgl. GEO-NET 2013) in Auftrag gegeben, worauf dieses Fachgutachten Klimawandel aufbaut. Auf der Basis der Ergebnisse können mithilfe desselben mesoskaligen Klimamodells FITNAH sowie des Methodenpaketes ENVELOPE die Auswirkungen des Klimawandels auf das Bioklima modelliert werden (Abbildung 4).

Abbildung 4: Vereinfachtes Flussdiagramm zur ENVELOPE-Methode



Im Vergleich zur Temperatur handelt sich beim Niederschlag um eine hochgradig komplexe Klimakenngröße. Sie zeigt auf der Ebene einer Stadt (Mikro- bis Mesoskala) einen bei weitem nicht so eindeutigen und konstanten Zusammenhang zwischen der Nutzung und der Parameterausprägung, wie das bei der Temperatur der Fall ist. Am deutlichsten wird dieses bei Starkregenereignissen. Sie gehen in Deutschland nicht selten mit Wärmegewittern einher, die zumeist äußerst lokale Phänomene von einigen hundert Metern bis wenigen Kilometern horizontalem Durchmesser sind. Die Meteorologie ist gegenwärtig noch nicht in der Lage, ihren exakten Entstehungs- bzw. Entladungsort zu prognostizie-

ren, geschweige denn belastbare Aussagen zu Wolkenbildungen für die Mitte oder das Ende des laufenden Jahrhunderts zu treffen.

Eine mit der Temperatur vergleichbare, räumlich hochaufgelöste Prognose der innerstädtischen Niederschlagsverhältnisse unter dem Einfluss des Klimawandels ist also gegenwärtig nicht möglich. Hinzu kommt, dass in den Klimamodellen bzw. -szenarien durchaus Unterschiede hinsichtlich der Richtung der Niederschlagsentwicklung existieren. So bestehen mehr oder weniger große Unsicherheiten darüber, ob z. B. die Jahresniederschlagsmenge oder die Auftretshäufigkeit von Starkregenereignissen und Trockenperioden eher ab-, zunimmt oder aber konstant bleibt. Aus diesen Gründen ist es für den Baustein „Siedlungswasserwirtschaft“ eher angeraten, das Spektrum und die Wahrscheinlichkeiten möglicher Entwicklungen zu analysieren, die innerstädtische Verteilung - unbenommen dem Bewusstsein ihrer Existenz - aber weitgehend zu vernachlässigen.

Um diesem Ansatz gerecht zu werden, bedarf es einer sog. Ensemblestrategie. Diese kann durch verschiedene Variantenkombinationen erfüllt werden. Im vorliegenden Fachgutachten ist die Entscheidung auf die Verwendung des Modells WETTREG 2010 gefallen. Für diese Auswahl sprechen vor allem zwei Gründe. Erstens bezieht sich das Modell auf die Station MD-Buckau, die relativ zentral im Stadtgebiet liegt und für die auch Vergleichsdaten der Vergangenheit vorliegen. Mit der Station MD steht zudem eine zusätzlich Referenzstation zur Verfügung, die Daten seit den 1940er Jahren speichert. Zweitens stellt WETTREG 2010 Daten sowohl für das Szenario A1B als auch für die Szenarien B1 und A2 bereit. Für jedes Szenario konnten Daten aus allen 10 Modellläufen (sog. Realisierungen) in die Analysen einbezogen werden. Es kann damit begründet angenommen werden, dass die gesamte gegenwärtig bekannte Bandbreite an tatsächlich zur erwartenden Entwicklungen im Fachgutachten berücksichtigt wurde.

Einschätzungen von Experten

Um die Ergebnisse der Mess- und Modelldatenanalysen hinsichtlich etwaiger Klimaanpassungsbedarfe und -optionen einer ersten Bewertung unterziehen zu können, kamen im Projekt Experteneinschätzungen zum Einsatz. Für den Baustein des „Bioklimas“ konnte GEO-NET aufgrund seiner langjährigen Erfahrung die Rolle des Experten selbst übernehmen. Für den Baustein der „Siedlungswasserwirtschaft“ hatte GEO-NET das Selbstverständnis eines neutralen Datenlieferanten bzw. -aufbereiters, der behördeninterne Fachgespräche moderieren und mithilfe der Experten die Analyseergebnisse bewerten und ggf. Handlungsoptionen identifizieren sollte. Konkret waren folgende Akteure in den Prozess eingebunden:

- Umweltamt der Landeshauptstadt Magdeburg,
- Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg,
- AG Wohnbauland der Landeshauptstadt Magdeburg,
- Städtische Werke Magdeburg GmbH & Co. KG (SWM).

Die zentralen Ergebnisse der Akteursbeteiligung wurden in Steckbriefen für die vier zentralen Handlungsfelder „Bioklima“, „Grundwasser“, „Urbane Fließ- und Stillgewässer“ sowie „Stadtentwässerung“ zusammengefasst. Die Steckbriefe haben den instrumentellen Charakter eines Grundsteins für

den weiteren Klimaanpassungsprozess. In ihnen sollen alle potentiellen Problemlagen der Zukunft benannt werden, ohne sie jedoch in aller notwendigen Detailtiefe ausformulieren zu können. Diese notwendigen Konkretisierungsschritte werden stattdessen in anvisierte Folgeprojekte verschoben, in denen sie dann je nach Ressourcenausstattung und politischer Zielsetzung einzeln oder gemeinsam in den Fokus genommen werden können.

3 Ergebnisse - Bioklima

Das Stadtklimasystem der Landeshauptstadt Magdeburg, wie es in dem Bericht zur Klimafunktions- und Planungshinweiskarte Klima/Luft (GEO-NET 2013) für die gegenwärtige Situation beschrieben ist, wird für autochthone⁹ Wetterlagen auch unter dem Einfluss des Klimawandels erhalten bleiben. Aufgrund der allmählichen Erwärmung der Atmosphäre sind im Laufe des Jahrhunderts aber relevante Veränderungen für das bioklimatische Belastungsniveau sowie hinsichtlich der räumlichen Lage und Ausdehnung von besonders von Hitzestress betroffenen Quartieren (sog. Hot-Spots) zu erwarten. Diese Entwicklungen werden in den folgenden Kapiteln quantifiziert und räumlich konkretisiert.

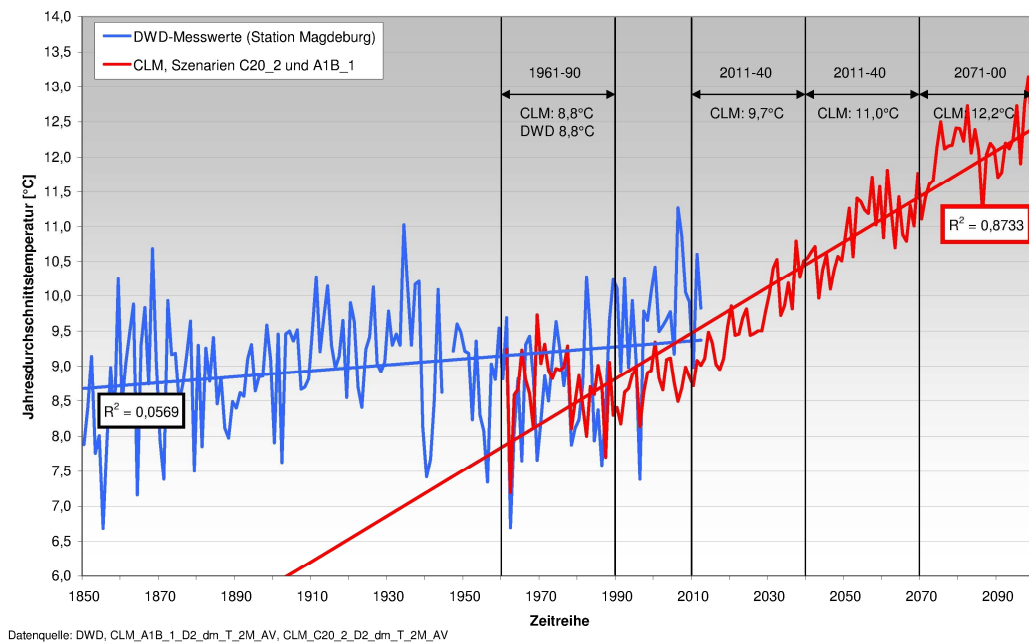
3.1 Analyse klimatischer Leitparameter – Expositionsanalyse

3.1.1 Jahresdurchschnittstemperatur

Ein erster Indikator für das Ausmaß der zukünftigen bioklimatischen Belastungssituation in Magdeburg ist die Entwicklung der lokalen bodennahen Jahresdurchschnittstemperatur. Diese ist seit dem Beginn der industriellen Revolution moderat aber stetig angestiegen und lag in der Klimanormalperiode 1961-1990 bei 8,8 °C (Abbildung 5, blaue Kurve). Unter dem Einfluss des Klimawandels wird sich diese Entwicklung nicht nur fortsetzen, sondern bereits in den kommenden Jahrzehnten noch verstärken. Unter Zugrundlegung des Szenarios A1B ergibt sich kurzfristig (Klimaperiode 2011-2040) eine weitere Zunahme um +1,1 K, mittelfristig (2041-2070) um +2,2 K und langfristig (2071-2100) um 3,4 K (rote Kurve).

⁹ Von Altgriechisch *autós* „selbst“ und *chthōn* „Erde“, also etwa „einheimisch“, „ortsfest“, „ursprünglich“.

Abbildung 5: Bodennahe Jahresdurchschnittstemperatur in Magdeburg (1850 bis 2100)



Da das CLM-Modell in der Reanalyse die Klimanormalperiode 1961-1990 in der Mitteltemperatur exakt und auch die Amplitude hinreichend genau abbildet, deutet vieles darauf hin, dass den Daten auch für die Zukunft Vertrauen entgegengebracht werden kann. Allerdings ist in der Abbildung auch eine große Abweichung im Zeitraum 1991-2012 zwischen den DWD- und den Modelldaten erkennbar. Der mittlere Messwert betrug hier 9,7 °C, der mittlere Modellwert lediglich 8,8 °C. In der gemessenen Realität ist es also gegenüber der Klimanormalperiode 1961-1990 bereits um fast 1 °C wärmer geworden. Laut Modell hätte sich eine solche Temperatur aber erst in 20-30 Jahren einstellen sollen. Dieser Umstand deutet darauf hin, dass das Modell die lokale Erwärmungstendenz möglicherweise noch unterschätzt, so dass die hier quantifizierten Klimasignale eher als Minimalwert betrachtet werden sollten.

3.1.2 Auftretshäufigkeit von meteorologischen Kenntagen

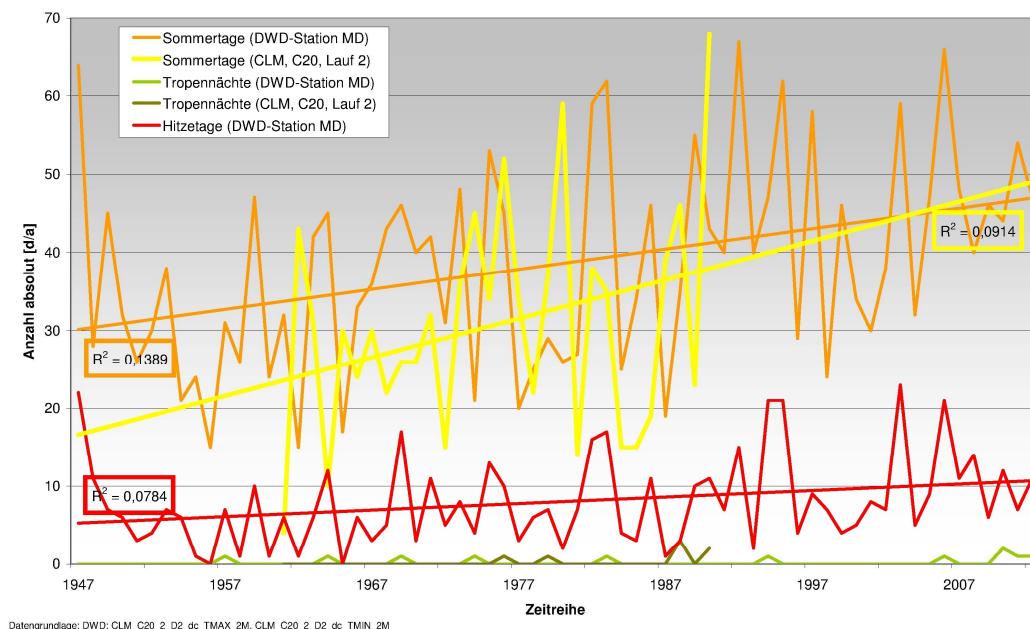
Eine allmähliche Erwärmung der bodennahen Luftschichten ist aus bioklimatischer Sicht nur dann von Bedeutung, wenn mit ihr auch eine Intensivierung bzw. eine erhöhte Auftretshäufigkeit von Belastungssituationen einhergehen. Die Entwicklung der Auftretshäufigkeiten der meteorologischen Kenntage „Sommertage“ ($T_{\max} > 25 \text{ °C}$), „Hitzetage“ ($T_{\max} > 30 \text{ °C}$) und „Tropennächte“ ($T_{\min} > 20 \text{ °C}$) stellen hierfür gute Indikatoren dar.

Mit Ausnahme der in Magdeburg sehr seltenen Tropennächte ergibt sich sowohl aus den Messungen als auch aus den CLM-Modellierungen bereits für die Vergangenheit (1947-2012) ein deutlicher Trend von zunehmenden Auftretshäufigkeiten (Abbildung 6). Besonders ausgeprägt ist diese Tendenz bei

den Sommertagen (gelbe bzw. orange Kurve). Aber auch die Kurve für die Hitzetage zeigt eine deutliche positive Steigung, die sogar größer ausfällt als diejenige für die Jahresdurchschnittstemperatur (s. o.). Im Rekordsommer 2003 stieg die Temperatur an 23 Tagen über die 30 °C-Marke. Die höchste je in der Landeshauptstadt gemessene Temperatur stammt allerdings aus dem Jahr 2007 und liegt bei 38,1 °C (16.07.2007). Tropennächte hingegen kamen in Magdeburg in der Vergangenheit nicht öfter als zweimal pro Jahr vor¹⁰. Die wärmste bisher gemessene Nacht datiert mit einer Minimumtemperatur von 21,8 °C vom 11.07.2010.

Die CLM-Daten zeichnen die Auftrittshäufigkeiten der meteorologischen Kenntage hinsichtlich des Mittelwertes sowie der Minimum- und Maximumwerte sehr gut nach¹¹. Folglich kann die Aussagekraft der Daten für die Zukunft als hoch bis sehr hoch bewertet werden.

Abbildung 6: Gemessene und modellierte jährliche Auftrittshäufigkeit von Sommertagen, Hitzetagen und Tropennächten in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



¹⁰ Während des Hitzesommers 2003 kam es sogar zu gar keiner Tropennacht.

¹¹ Für die Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen bietet CLM keine vorprozessierten Daten an, weshalb eine entsprechende Kurve in der Abbildung fehlt.

Im Weiteren wurden zur Verdeutlichung fünf Standorte (bzw. Aufpunkte) ausgewählt, welche jeweils ein spezifisches Mikroklima repräsentieren:

- Aufpunkt „Altstadt“ für stark versiegelte und dicht bebaute Siedlungsfläche,
- Aufpunkt „Stadtfeld Ost“ für moderat versiegelte und moderat bebaute Siedlungsfläche (z. B. Block- und Blockrandbebauung),
- Aufpunkt „Nordwest“ für gering versiegelte, gering bebaute und durchgrünte Siedlungsfläche (z. B. Einzel- und Reihenhausbebauung),
- Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“ für Freiland bzw. baumarme Freifläche (z. B. landwirtschaftlich geprägte Freifläche),
- Aufpunkt „Herrenkrug“ für waldartige Freifläche.

Auftrittshäufigkeit von Sommertagen

Mithilfe der ENVELOPE-Methode (vgl. Kapitel 1) in Verbindung mit den Erkenntnissen aus der Klimafunktions- und Planungshinweiskarte Klima/Luft für die Landeshauptstadt Magdeburg (GEO-NET 2013) lassen sich diese punktuellen Aussagen für das Stadtgebiet Magdeburg räumlich hochaufgelöst differenzieren. Auf diese Weise wird der Einfluss der Nutzungsstrukturen auf die Anzahl der Sommertage, das sind Tage, an denen die Tageshöchsttemperatur über 25 °C hinaus geht, im Stadtgebiet sichtbar (Abbildung 8). Ganz maßgeblich ist in diesem Zusammenhang der Einfluss der jeweiligen Nutzungsstrukturen auf den Energiehaushalt, der über Einflussgrößen wie z. B. Albedo, Versiegelungsgrad und Bauvolumen gesteuert wird.

Demnach weisen die dicht überbauten Siedlungsflächen eine höhere Anzahl an Sommertagen/Jahr auf als locker bebaute Areale. Während im stark versiegelten Stadtzentrum (vgl. Aufpunkt „Altstadt“-gemittelt für 2001-2010) eine Anzahl von bis zu 48 Tagen und in der Block- und Blockrandbebauung des Stadtfeldes Ost (vgl. Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) eine ähnlich hohe von etwa 40 Tagen erreicht wird, ist in den durchgrünter Siedlungsflächen des Stadtteiles Nordwest (vgl. Aufpunkt „Nordwest“) hingegen nur noch eine von bis zu 25 Tagen zu beobachten. Hier trägt der vergleichsweise hohe Vegetationsanteil der Einzel- und Reihenhausbebauung zur Dämpfung der Lufttemperatur bei. Grünflächen weisen ebenfalls eine breite Spanne an Werten auf, was unmittelbar auf den Grünflächentyp zurückzuführen ist. Eine vergleichsweise hohe Anzahl an Sommertagen/Jahr von bis zu 40 Tagen ist über den baumarmen, vor allem durch landwirtschaftliche Nutzung geprägten Freiflächen östlich von Olvenstedt (vgl. Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) anzutreffen. Während hier in der Nacht eine ungehinderte (langwellige) Ausstrahlung verbunden mit starker Abkühlung der darüber lagernden Luftmasse erfolgen kann, ist andererseits am Tage ein hoher (kurzwelliger) solarer Strahlungsinpult mit starker Erwärmung der Bodenoberfläche die Folge. Vor allem innerhalb der größeren Freiflächen mit geringem Baumanteil kann das Temperaturniveau daher ähnlich ausgeprägt sein wie über versiegelten Arealen.

Die Ergebnisse für den Zeithorizont 2046-2055 lassen den Einfluss des globalen Klimawandels allmählich sichtbar werden (Abbildung 8). So liegt die Anzahl an Sommertagen/Jahr in den stark überbauten Siedlungsflächen der Innenstadt (Aufpunkt „Altstadt“) nun bei bis zu 61 Tagen, während er im Bereich Stadtfeld Ost (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) mit bis zu 59 Tagen etwas geringer ausgeprägt ist. Die niedrigste Anzahl innerhalb der Siedlungsflächen liegt mit bis zu 37 Tagen in der Einzel- und Reihenhausbauung (Aufpunkt „Nordwest“). Auch innerhalb der größeren Grünflächen ist eine Zunahme an Sommertagen/Jahr mit mehr als 25 °C zu beobachten. Auf den Freiflächen (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) wird eine Anzahl von nun ca. 53 Tagen erreicht. Im Bereich Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) allerdings steigt die Anzahl lediglich um einen auf nun 20 Tage.

Auch bis zum Ende des Jahrhunderts ist ein markanter Anstieg der Anzahl an Sommertagen/Jahr zu erwarten (Abbildung 8). Die höchsten Werte sind mit bis zu 75 Tagen in der innerstädtischen Zentrumsbauung (Aufpunkt „Altstadt“) zu beobachten. In der Block- und Blockrandbauung des Stadtfeldes Ost (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) treten ähnlich hohe Werte mit bis zu 74 Tagen auf. Dem beschriebenen räumlichen Muster folgend liegt in der weniger stark überbauten Einzel- und Reihenhausbauung (Aufpunkt „Nordwest“) mit etwa 57 Tagen noch ein vergleichsweise niedriges Niveau vor, wobei sich auch hier im Vergleich zum Zeitraum 2001-2010 die Werte mehr als verdoppelt haben.

Auch die großen Grünflächen sind in ähnlicher Weise von einer Erhöhung der Anzahl an Sommertagen/Jahr betroffen. Mit 70 Tagen tritt über den landwirtschaftlichen Nutzflächen (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) ein hohes Wertenniveau auf. Auf der Waldfläche Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) liegen mit etwa 36 Tagen weiterhin die niedrigsten Werte vor.

In Abbildung 7 sind die an den jeweiligen Aufpunkten ermittelten Werte zusammengefasst. Für die Siedlungsflächen zeigt sich, dass die Anzahl der Sommertage/Jahr eng mit dem Versiegelungs- und Überbauungsgrad einhergeht. Bei den Grünflächen wirken sich Schatten spendende Baum- und Gehölzanteile stark auf die Anzahl der Sommertage aus. Ausgehend vom Istzustand bleibt für die beschriebenen Nutzungsstrukturen diese Abstufung auch unter dem Einfluss des Klimawandels erhalten und setzt sich auf einem höheren Niveau fort.

Abbildung 7: Anzahl der Sommertage/Jahr in den verschiedenen Nutzungsstrukturen (2001-2099)

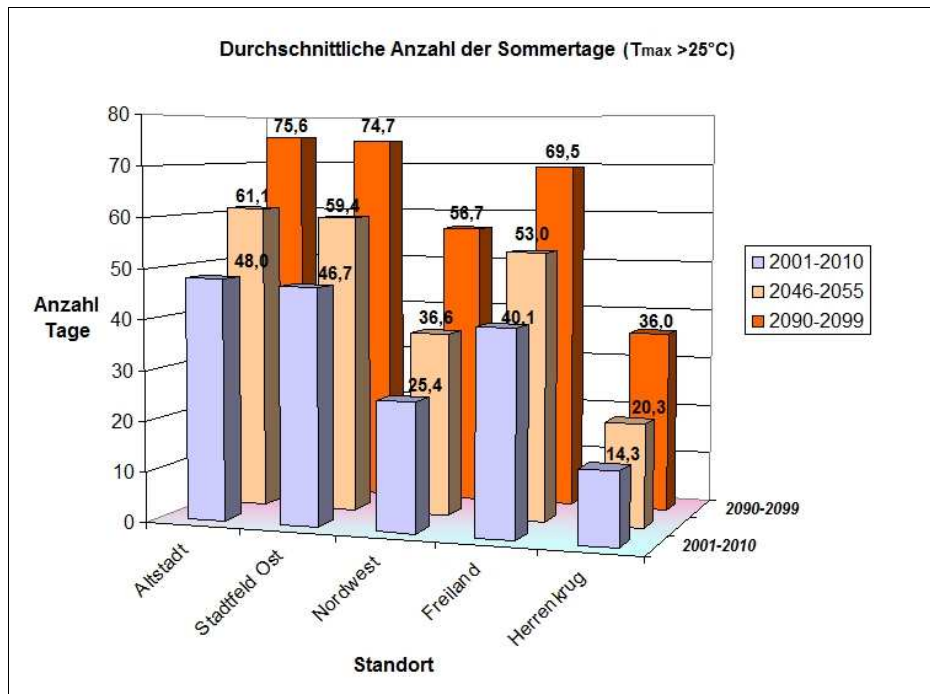
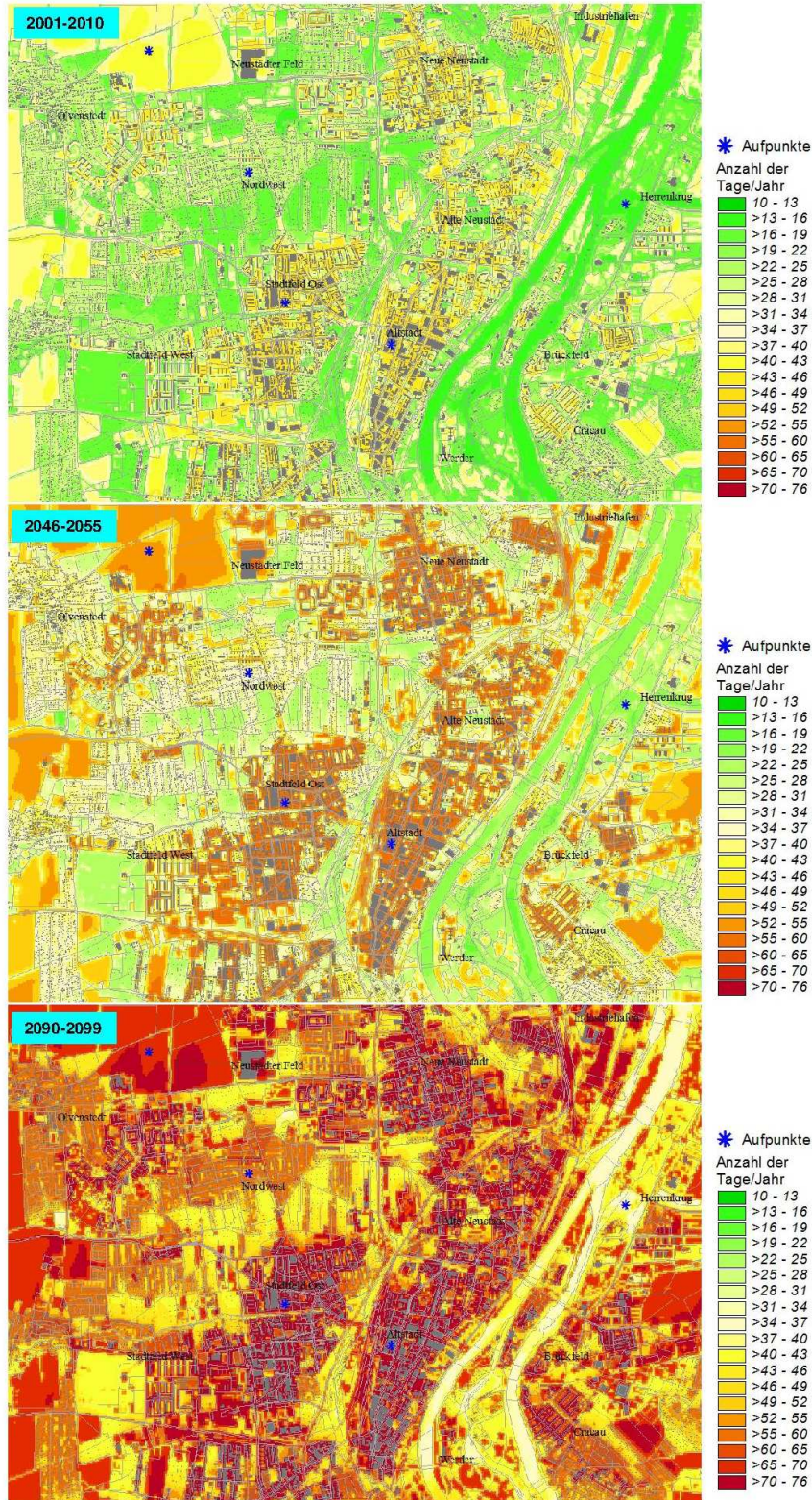


Abbildung 8: Anzahl der Sommertage/Jahr in den Zeiträumen 2001-2010, 2046-55 und 2091-2099

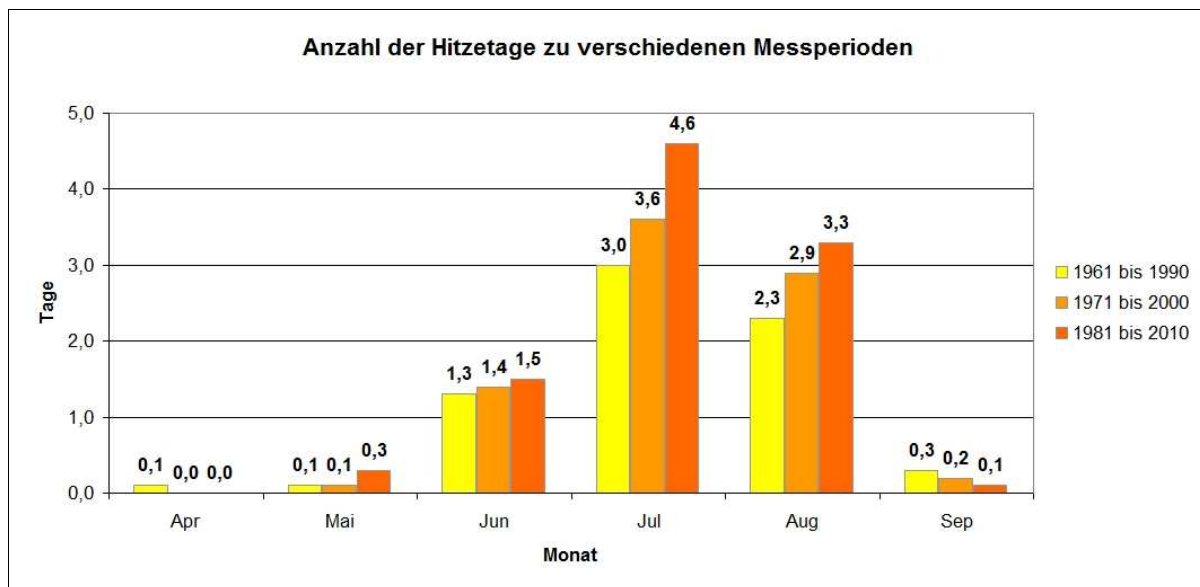


Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen

Als Hitzetage bzw. heiße Tage werden Witterungssituationen bezeichnet, an denen die Tageshöchsttemperatur über 30 °C hinaus geht. In Abbildung 9 sind die an der Station MD zu verschiedenen Messzeiträumen aufgezeichneten Werte für Hitzetage dargestellt (DWD 2013). Bei einer Gegenüberstellung der Referenzperioden von jeweils drei gleitenden 30-jährigen Mitteln lässt sich ein Anstieg der Anzahl an Hitzetagen/Jahr insbesondere im Zeitraum von Mai bis August beobachten. Die Zunahme fällt im Juli am stärksten aus. Die Tage steigen von durchschnittlich 3 im Zeitraum 1961-1990 auf 4,6 im Zeitraum 1981-2010 an. Dagegen ist im September ein Rückgang zu verzeichnen. Dieser Trend spiegelt sich auch in der Anzahl der Hitzetage/Jahr wieder. Während im Zeitraum 1961-1990 durchschnittlich 7 Tage beobachtet wurden, steigt die Anzahl auf 8,2 im Zeitraum 1971-2000 an. In der Referenzperiode 1981-2010 stieg die Anzahl auf 9,8 an.

Wie die Modellrechnungen zum Klimawandel zeigen, setzt sich dieser Trend in der Zukunft voraussichtlich weiter fort. Während die in Abbildung 9 dargestellten Werte den Freilandstandort einer Wetterstation repräsentieren, kann die tatsächliche Anzahl an Hitzetagen/Jahr innerhalb von Siedlungsflächen durch den Einfluss von Bebauung und versiegelter Fläche noch größer sein.

Abbildung 9: Anzahl der Hitzetage zu verschiedenen Messzeiträumen (1961-2010)



Die mit dem Klimamodell FITNAH modellierte Ausprägung der Hitzetage/Jahr für den gewählten Ausschnitt von Magdeburg zeigt Abbildung 11 unter Berücksichtigung der lokalen nutzungsbedingten Einflussfaktoren. In den stark versiegelten Arealen der Magdeburger Altstadt (Aufpunkt „Altstadt“) sind die höchsten Werte von bis zu 11,1 Tagen zu beobachten. Mit bis zu 10,4 Tagen sind die Werte in der Block- und Blockrandbebauung des Stadtfeldes Ost (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) ähnlich hoch, während in der Einzel- und Reihenhausbauung des Stadtteils Nordwest (Aufpunkt „Nordwest“) durchschnittlich 4,5 Tage zu beobachten sind. Bei dieser Angabe handelt es sich um einen Durchschnittswert, der in einzelnen Jahren auch deutlich übertroffen werden kann.

Auch für die Grünflächen zeigt sich hier eine räumlich abgestufte Werteausprägung. Aufgrund der hohen solaren Einstrahlung und der damit einhergehenden Erwärmung der Luft ist im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen im Raum Olvenstedt (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) eine vergleichsweise hohe Anzahl an Hitzetagen/Jahr von bis zu 8,2 Tagen zu beobachten. Für den Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) sind mit ca. 1,8 Tagen wesentlich niedrigere Werte simuliert worden, da der ausgeprägte Baum- und Gehölzbestand einer stärkeren Erwärmung entgegen wirkt.

Bis zur Mitte des Jahrhunderts ist eine deutliche Zunahme der Hitzetage/Jahr zu verzeichnen, wobei in der Altstadt (Aufpunkt „Altstadt“) die Anzahl auf durchschnittlich 15,5 Tage ansteigt. Ein ähnlicher Trend ist für Stadtfeld Ost (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) zu beobachten, wenngleich der Betrag der Zunahme auf 13,7 Tage nicht ganz so hoch ist. In der Einzel- und Reihenhausbebauung von Nordwest (Aufpunkt „Nordwest“) ist der Anstieg um 1,4 auf 5,9 Tage schwächer ausgeprägt.

Der markante Anstieg der Anzahl an Hitzetagen/Jahr bis 2100 bildet sich deutlich in den Ergebnissen ab. Mit einer Zunahme von 15,5 auf 27,9 Tage in der Altstadt (Aufpunkt „Altstadt“) bzw. auf 26,1 Tage im Stadtfeld Ost (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) bedeutet dies nahezu eine Verdoppelung der Werte unter dem Einfluss des Klimawandels. Dies lässt sich auch innerhalb der Einzel- und Reihenhausbebauung von Nordwest (Aufpunkt „Nordwest“) beobachten, hier steigt die Anzahl von 5,9 auf 13,7 Tage an (vgl. Abbildung 10).

Auch für die Grünflächen sind deutliche Zunahmen zu beobachten, wobei die Anzahl über Freiland im Raum Olvenstedt (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) mit bis zu 22 Tagen am höchsten ausfällt. Mit 6,5 Tagen ist die Anzahl im Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) deutlich niedriger.

Abbildung 10: Anzahl der Hitzetage/Jahr in den verschiedenen Nutzungsstrukturen (2001-2099)

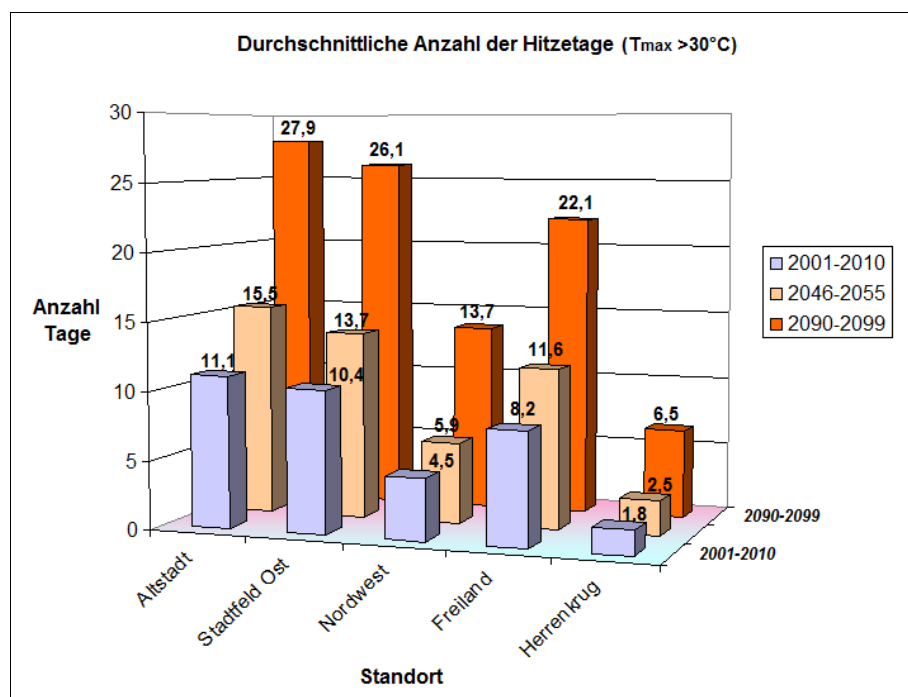
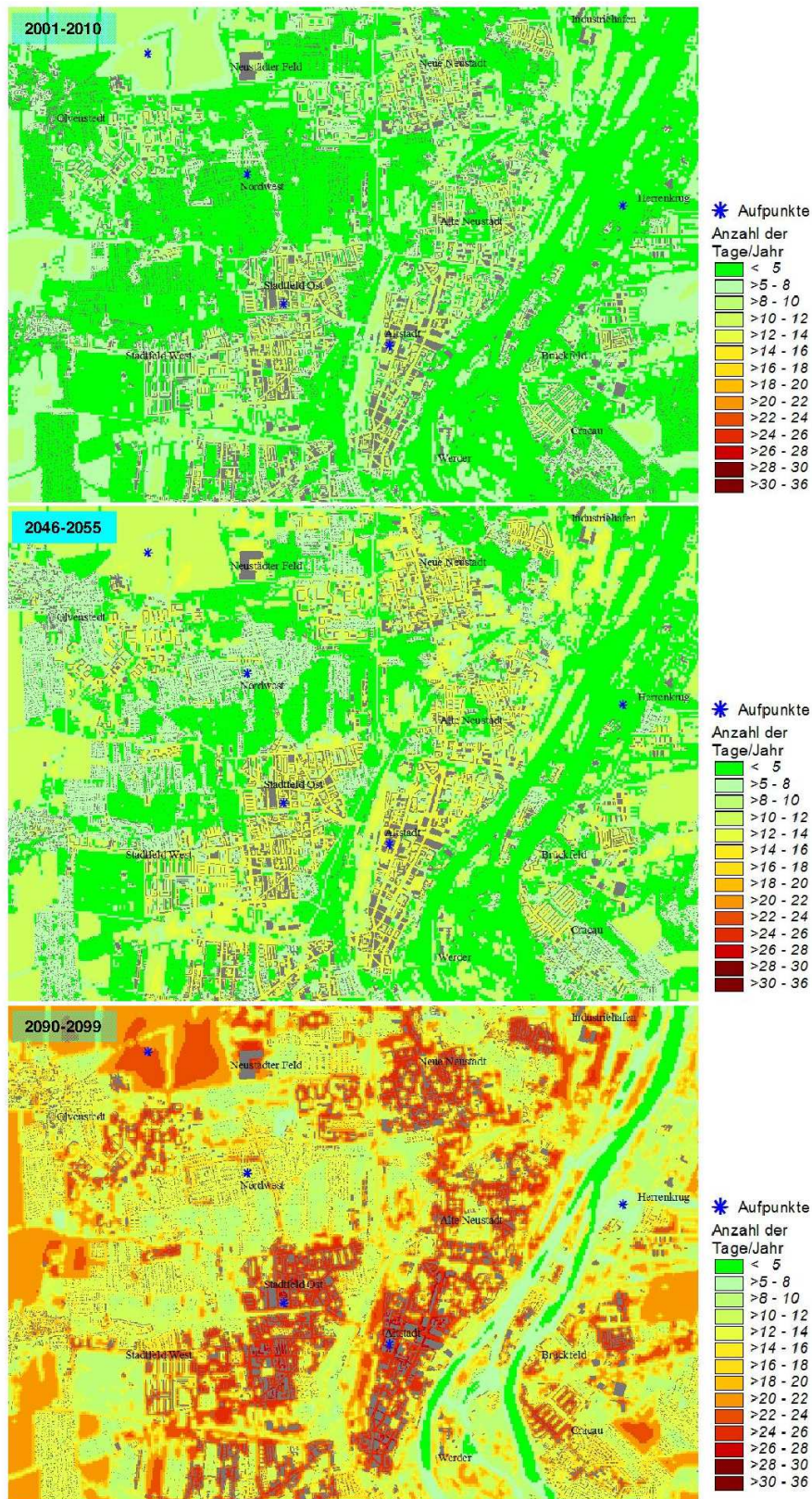


Abbildung 11: Anzahl der Hitzetage/Jahr in den Zeiträumen 2001-2010, 2046-55 und 2090-2099



Auftrittshäufigkeit von Tropennächten

Als Tropennacht wird eine Situation bezeichnet, bei der die nächtliche Minimaltemperatur 20 °C nicht unterschreitet. Damit geht eine erhebliche Wärmebelastung in den Siedlungsflächen einher. Die räumliche Ausprägung der Tropennächte/Jahr für den Zeithorizont 2001-2010 ist in Abbildung 13 dargestellt. Dabei zeigt sich eine recht homogene Verteilung der Werte innerhalb der dichter bebauten Siedlungsflächen (Aufpunkte „Altstadt“ und „Stadtfeld Ost“), wobei flächenhaft eine Anzahl von bis zu 2 Tagen beobachtet werden kann (grüne Farbe). Lediglich innerhalb der durchgrünter Wohngebiete (Aufpunkt „Nordwest“) liegt mit weniger als einem Tag eine deutlich geringere Anzahl vor. Die Abstufung, die für die Parameter Sommertage und Hitzetage im innerstädtischen Bereich tagsüber sichtbar wurde, ist für den Parameter Tropennacht aufgrund des niedrigeren Ausgangsniveaus weniger deutlich vorhanden. Sowohl Freiland (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) als auch Flächen mit Baum- bzw. Gehölzbestand (Aufpunkt „Herrenkrug“) weisen ein recht einheitliches Niveau von 0,3 Tagen auf.

Zur Mitte des Jahrhunderts ist ein insgesamt höheres Wertenniveau zu erwarten (Abbildung 12). Zugleich bleibt die geringe Varianz der räumlichen Ausprägung des Zeitraumes 2001-2010 im Siedlungsraum (Aufpunkte „Altstadt“ und „Stadtfeld Ost“) erhalten, wobei nun Werte zwischen 3,5 und 4 Tagen auftreten. In den durchgrünter Siedlungsräumen (Aufpunkt „Nordwest“) bleibt die Anzahl der Tropennächte mit ca. 0,5 Tagen weiterhin gering. Auch innerhalb der Grün- und Freiflächen (Aufpunkte „Östlich Olvenstedt“ und „Herrenkrug“) ist im Zeitraum 2046-2055 eine ähnliche Häufigkeit an Tropennächten zu beobachten.

Ausgehend vom Zeitraum 2046-2055 verdreifacht sich zum Ende des Jahrhunderts (Zeitraum 2091-2099) die Anzahl der Tropennächte/Jahr. So sind innerhalb der dichten Bebauung der Altstadt (Aufpunkt „Altstadt“) und den größeren Gewerbearealen bis zu 13,8 Tage zu verzeichnen, während die Anzahl in der Block- und Blockrandbebauung (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) mit 11,9 Tagen etwas niedriger ist. Innerhalb der bioklimatisch günstigen, durchgrünter Siedlungen (Aufpunkt „Nordwest“) bleibt die Anzahl mit 1,3 Tagen vergleichsweise niedrig. Die Bandbreite der in den Grünflächen (Aufpunkte „Östlich Olvenstedt“ und „Herrenkrug“) auftretenden Anzahl an Tropennächten bleibt weiterhin schmal und geht nicht - je nach Standort und damit Art und Struktur der Vegetation innerhalb der Grünareale - über 1,3 Tage hinaus (Abbildung 13).

Abbildung 12 Anzahl der Tropennächte/Jahr in den verschiedenen Nutzungsstrukturen (2001-2099)

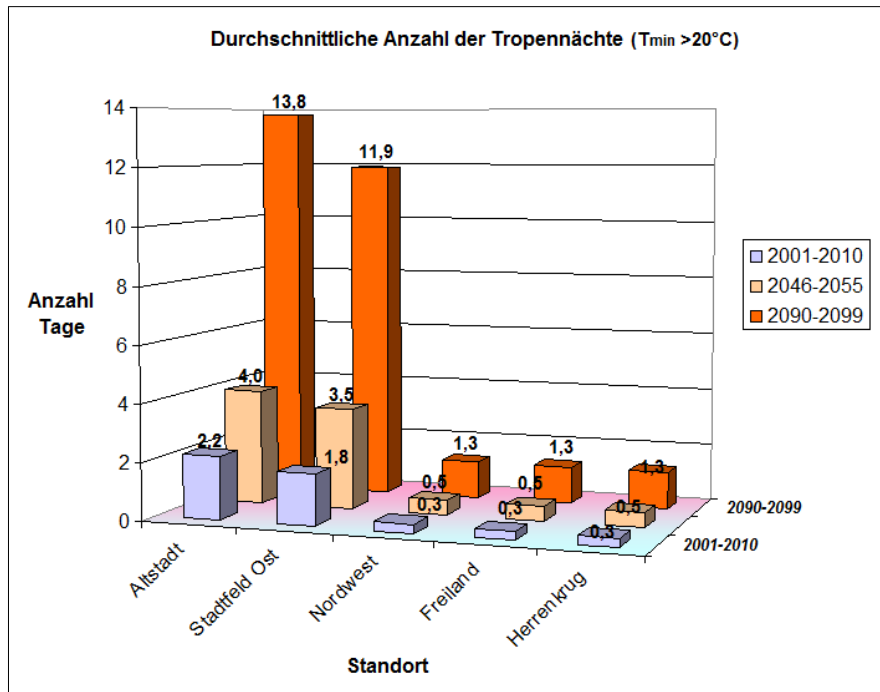
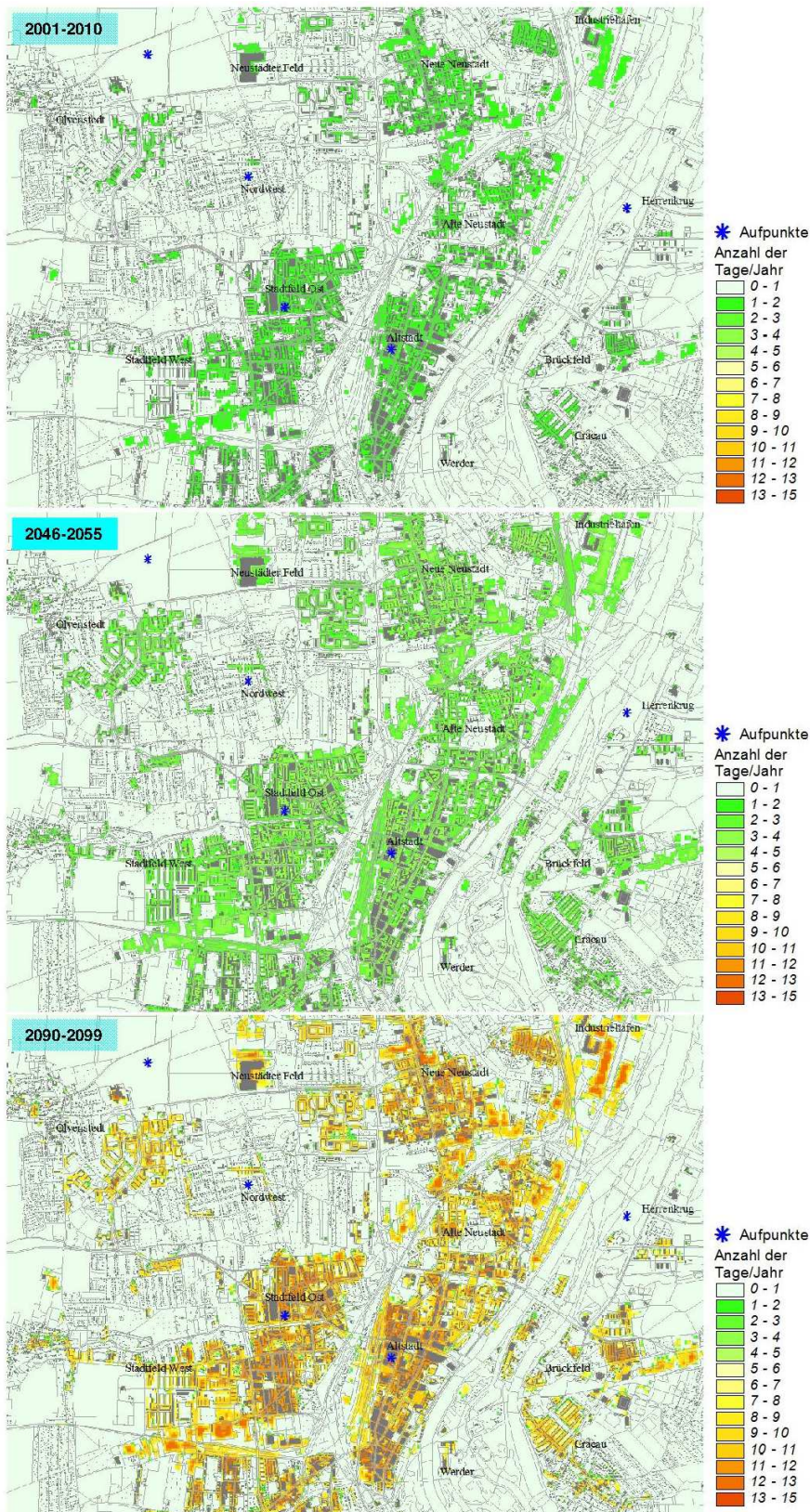


Abbildung 13: Anzahl der Tropennächte/Jahr in den Zeiträumen 2001-2010, 2046-55, 2091-2099



3.1.3 Auftrittshäufigkeit von Tagen mit Wärmebelastung

Eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung ist in der durchgeführten Untersuchung der Bewertungsindex PMV¹² (vgl. FANGER 1972) als dimensionsloses Maß. Dieser basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der Behaglichkeit bzw. Unbehaglichkeit als mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Anzahl von Menschen in Wertestufen wieder. Als bedeutende, den PMV-Wert mitbestimmende Parameter sind Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und relative Feuchte zu nennen. So wirkt sich beispielsweise eine Kombination aus erhöhter Lufttemperatur in den dichter bebauten Siedlungsflächen und die gleichzeitig reduzierte Windgeschwindigkeit besonders ungünstig auf die Behaglichkeit aus.

An einem Tag mit Wärmebelastung wird tagsüber zwischen 9 und 15 Uhr an mindestens drei Stunden-terminen eine gefühlte Temperatur von 32 °C erreicht oder überschritten, was einem „heißen“ thermischen Empfinden am Tage mit einem PMV-Wert > 2,5 entspricht und beim Menschen eine Wärmebelastung bewirkt. Im Folgenden wird nun die Auswertung zur Anzahl der Belastungstage mit einer Überschreitung dieser 2,5-Grenze im Jahr für beide Zeitschnitte erläutert.

Die räumliche Ausprägung der Anzahl an Belastungstagen/Jahr geht eng mit der baulichen Dichte der Siedlungsstrukturen einher, wobei ein hohes Bauvolumen in Verbindung mit einer geringen Grünausstattung das Auftreten von Wärmebelastungen begünstigt. So tritt derzeit die höchste Anzahl von bis zu 35,5 Tagen im Bereich der Altstadt (Aufpunkt „Altstadt“) auf. Innerhalb der Block- und Blockrandbebauung (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) liegt die Anzahl bei 34,7 Tagen. Die weniger verdichtete Einzel- und Reihenhausbebauung (Aufpunkt „Nordwest“) weist unter den Siedlungsräumen mit bis zu 22,9 Tagen die geringste Anzahl auf (Abbildung 14).

Im Gegensatz zu den Tropennächten (vgl. Kapitel 3.1.2), welche ein recht einheitliches Niveau aufweisen, spiegeln sich die Eigenschaften der verschiedenen Grünflächen viel stärker in den Ergebnissen wider. So weisen die landwirtschaftlich genutzten Flächen des Umlandes (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) mit mehr als 18 Tagen ein vergleichsweise hohes Belastungspotenzial auf, was auf den offenen, durch Ackerfläche geprägten Flächentyp mit starker Erwärmung am Tage zurückzuführen ist. Innerhalb der mit Bäumen und Gehölzen bestandenen Grünflächen wie dem Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) tritt ein PMV-Wert > 2,5 lediglich an etwa 1,9 Tagen auf. Hier wirken sich die vom Bestand ausgehende Verschattung und Verdunstungswirkung günstig auf das thermische Empfinden aus.

Zur Mitte des Jahrhunderts wird sich die Anzahl an Tagen mit Wärmebelastung je Jahr vor allem in den dichteren Siedlungsflächen der Altstadt (Aufpunkt „Altstadt“) auf mehr als 45 Tage erhöhen. In der innenstadtnahen Block- und Blockrandwohnbebauung (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) steigt die Anzahl der Tage auf etwa 44 ähnlich stark an, da Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad meist geringer sind. Innerhalb der durch Einzel- und Reihenhausbebauung gekennzeichneten Siedlungstypen (Aufpunkt „Nordwest“) ist die sommerliche Wärmebelastung tagsüber mit 22,9 Tagen deutlich geringer. Innerstädtische Grün- und Freiflächen heben sich, abhängig vom Flächentyp, ebenfalls durch

¹² PMV steht für Predicted Mean Vote (= erwartete durchschnittliche Empfindung). Wurde in den 1970er Jahren vom dänischen Wissenschaftler Povle Ole Fanger entwickelt.

deutlich niedrigere Werte ab, wobei der Wald am Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) etwa 2 Tage aufweist. Über Freiland bzw. den durch Wiese geprägten Grünflächen (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) liegt mit ca. 25 Tagen ein höheres Belastungsniveau vor, was auf den offenen Flächentyp mit einhergehender intensiver Einstrahlungssituation zurückzuführen ist. In wird am Beispiel des Werders der positive Einfluss von Landschaftsachsen und Kleingärten sichtbar, welche die „städtische Hitzeinsel“ in bioklimatische weniger belastete Areale untergliedern und damit auch als Bereiche hoher Aufenthaltsqualität während belastender sommerlicher Wetterlagen anzusehen sind (hellgrün).

Die Anzahl der Tage mit einer Wärmebelastung je Jahr ist bis zum Ende des Jahrhunderts durch einen markanten Anstieg charakterisiert, wobei dann bis zu 59,5 Tage im innerstädtischen Raum (Aufpunkt „Altstadt“) auftreten können (rote Farbe, Abbildung 15). Auch in den innenstadtnahen Siedlungsflächen (Aufpunkt „Stadtfeld Ost“) können durchschnittlich mehr als 58 Tage beobachtet werden. In den grüingeprägten Wohngebieten (Aufpunkt „Nordwest“) steigt die Anzahl der Tage auf 44 an, womit sie aber auch weiterhin auf einem vergleichsweise niedrigen Belastungsniveau verbleibt. Innerstädtische Grün- und Freiflächen heben sich, abhängig vom Flächentyp, ebenfalls durch deutlich niedrigere Werte ab, wobei der Herrenkrug (Aufpunkt „Herrenkrug“) 5,9 Tage aufweist. Über den Freiflächen (Aufpunkt „Östlich Olvenstedt“) liegt mit bis zu 41 Tagen aufgrund seiner offenen Einstrahlungssituation ein relativ hohes Belastungsniveau (Abbildung 14).

In Abbildung 16 ist noch einmal zusammenfassend die Flächenkulisse je Zeitschnitt dargestellt, die eine besondere Wärmebelastung aufweist.

Abbildung 14: Anzahl der Tage/Jahr mit Wärmebelastung in den verschiedenen Nutzungsstrukturen (2001-2099)

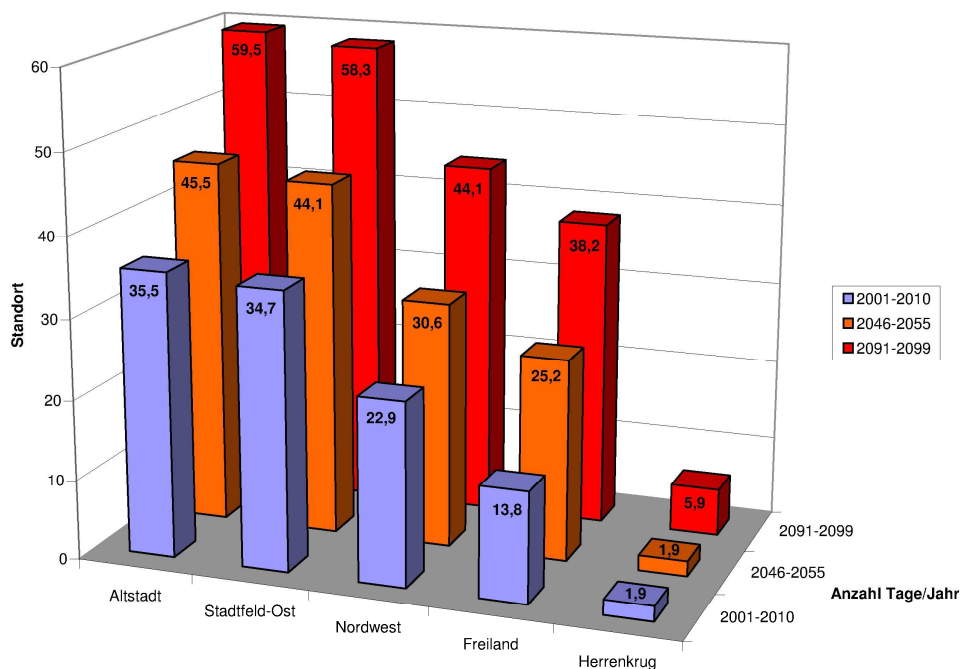


Abbildung 15: Anzahl der Tage mit Wärmebelastung/Jahr im Zeitraum 2091 bis 2099

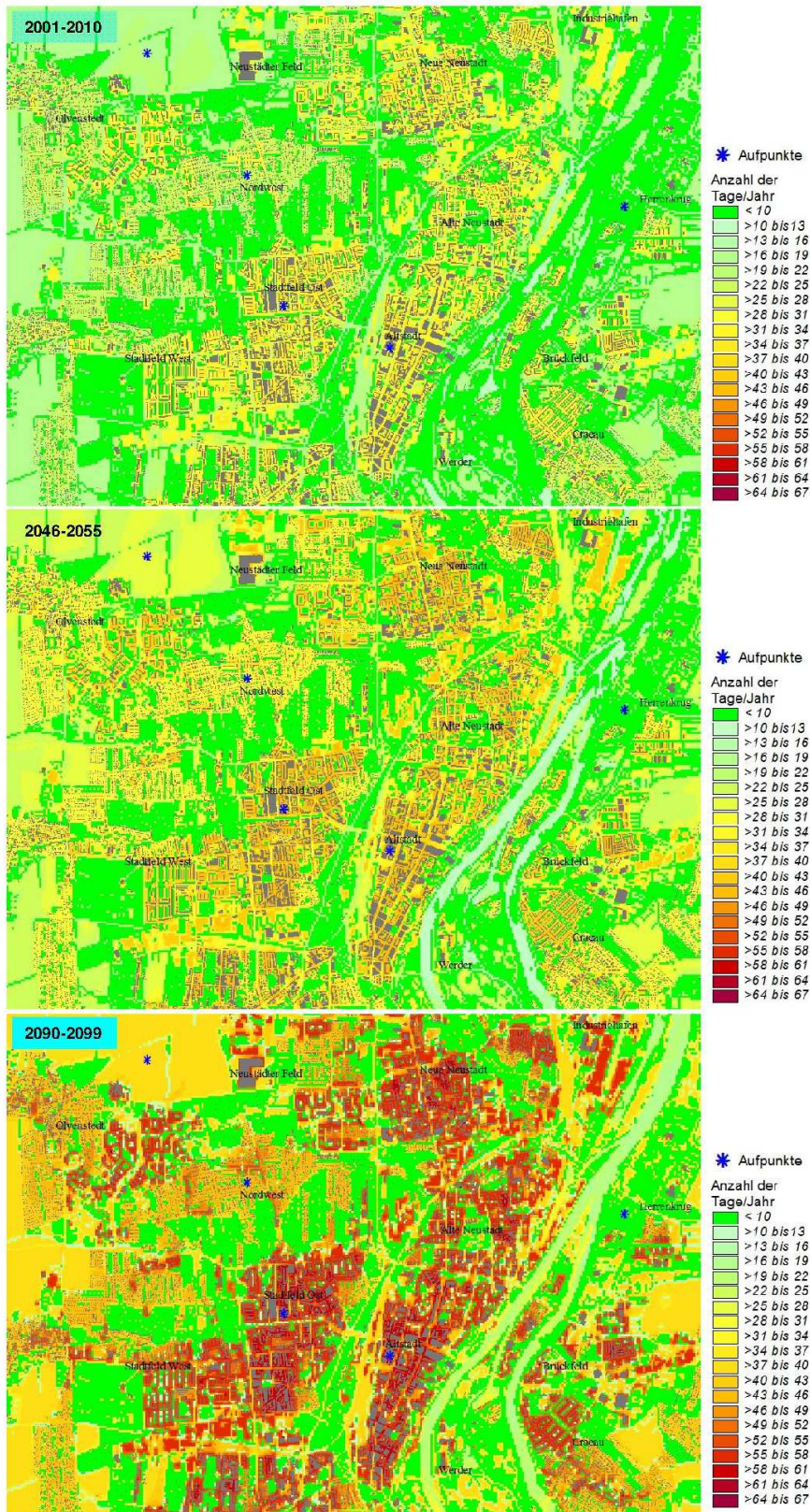
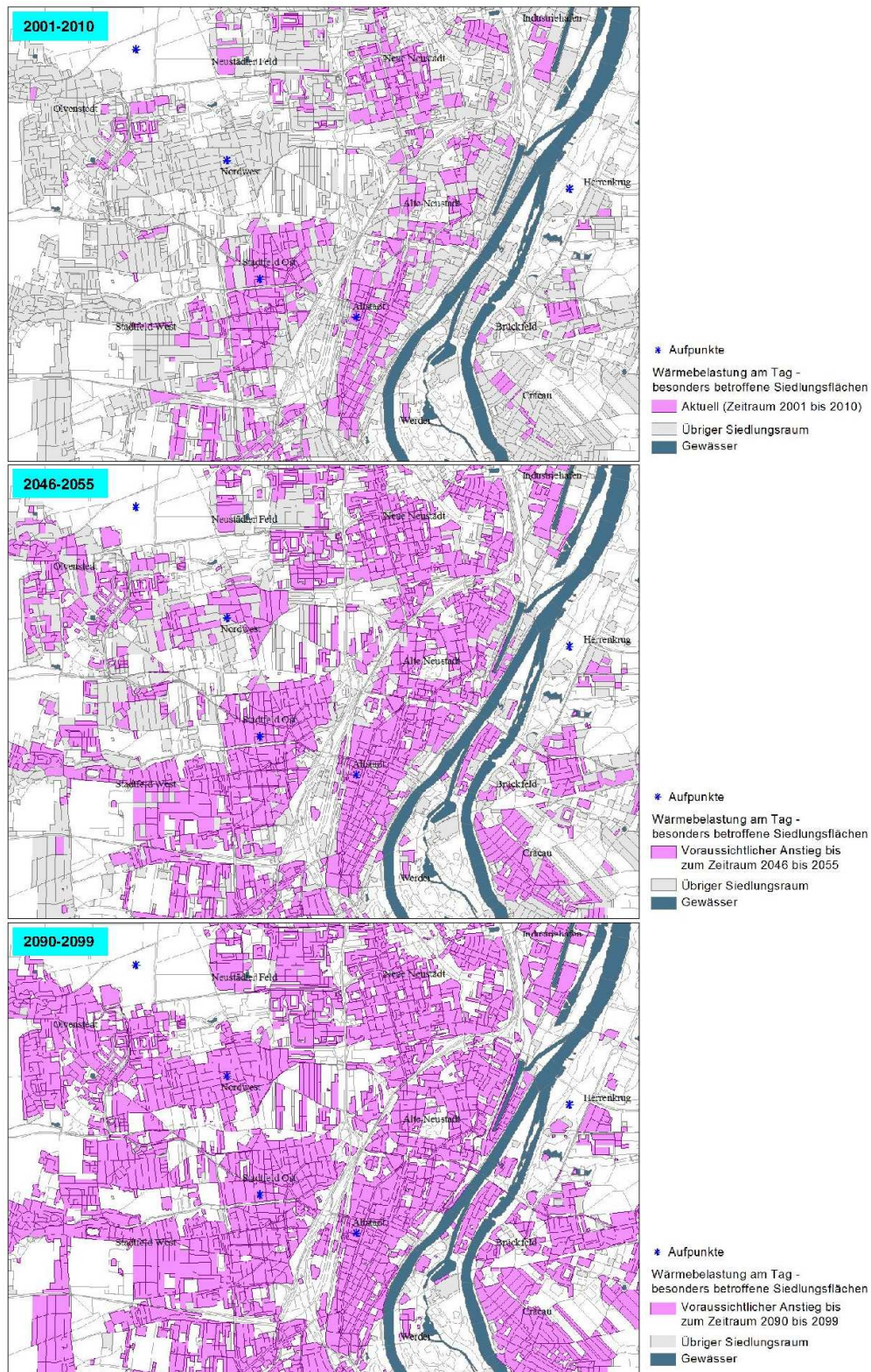


Abbildung 16: Flächenkulisse besonders von Wärmebelastung betroffener Flächen



4 Ergebnisse - Siedlungswasserwirtschaft

4.1 Analyse klimatischer Leitparameter – Expositionsanalyse

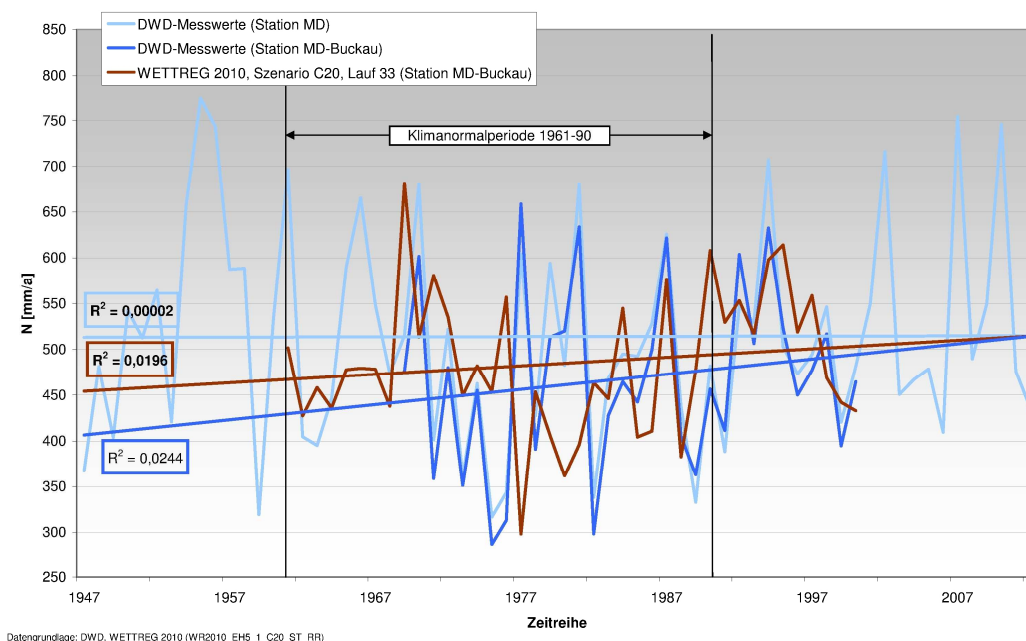
4.1.1 Jahresniederschlagssumme

Die Jahresniederschlagssumme ist ein allgemeiner Leitindikator für alle klimasensitiven, niederschlagsabhängigen Handlungsfelder. Besondere Relevanz besitzt sie jedoch für die Abschätzung einer generellen Tendenz der Grundwasserneubildung. Im Untersuchungsraum liegt der langjährige Mittelwert bei 494 mm an der Station MD bzw. 471 mm an der Station MD-Buckau. Magdeburg gehört damit zu den trockensten Städten Deutschlands. Im Extremjahr 1975 wurden sogar lediglich 287 mm gemessen.

Die Bestimmtheitsmaße der drei linearen Trendlinien für die Jahresniederschlagssumme liegen deutlich unter dem Schwellenwert der Temperaturentwicklung ($R^2 = 0,05$). Aus den zur Verfügung stehenden Daten lässt sich also für die Vergangenheit kein signifikanter Trend für eine Änderung des Leitindikators über die Zeit ableiten (Abbildung 17).

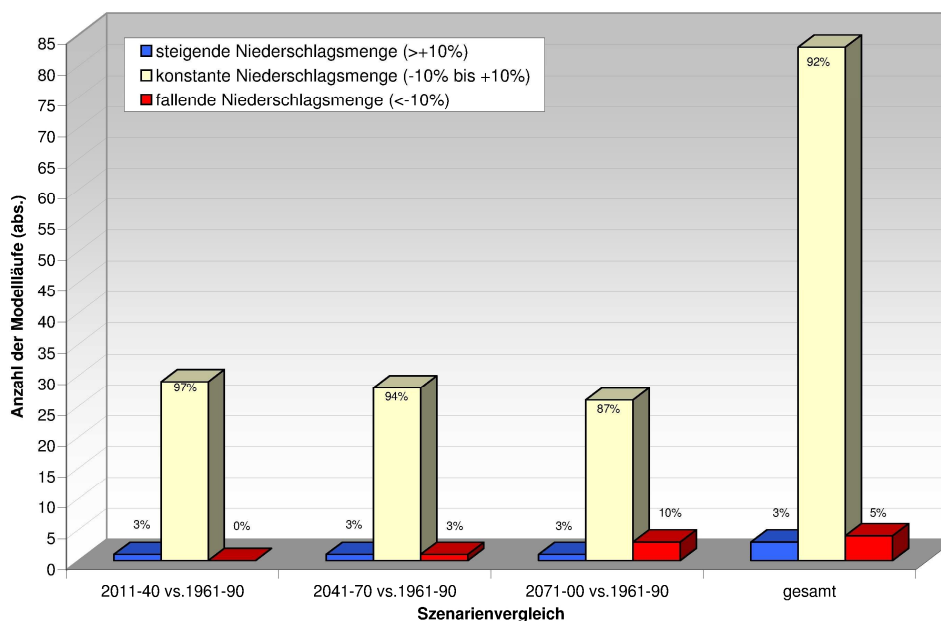
Die an den untersuchten Stationen gemessenen Jahresdurchschnittsniederschlagssummen weichen dabei von der von WETTREG 2010 für die Vergangenheit modellierten Summe lediglich um ca. 2 % ab. Da das Klimamodell auch die Spannweite der an den Stationen gemessenen Werte hinreichend genau wiedergibt, kann die Qualität der aus den Analysen für die Zukunft ableitbaren Aussagen als gut bewertet werden (vgl. Anhang 1, Tab. 1).

Abbildung 17: Jahresniederschlagssumme in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



Dass sich mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit von ca. 90 % die Jahresniederschlagsmenge hinsichtlich des langjährigen Mittels bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts nicht signifikant verändern wird, lässt sich anhand von Abbildung 18 belegen (Schwellenwert zwischen den drei Klassen: ± 50 mm, entspricht in etwa 10 % der heutigen Jahressumme). Diese Trendaussage gilt für alle drei betrachteten Zeitschnitte und behält auch für die Intensität von Extremjahren ihre Gültigkeit (vgl. Anhang 1, Abb. 1).

Abbildung 18: Entwicklung der mittleren Jahresniederschlagssumme und ihre Unsicherheiten



Datengrundlage: WETTREG 2010 (WR2010_EHS_1_A1B/B1/A2_ST_RR)

4.1.2 Anteil von Tagesniederschlagssummen < 4 mm an der Jahresniederschlagssumme

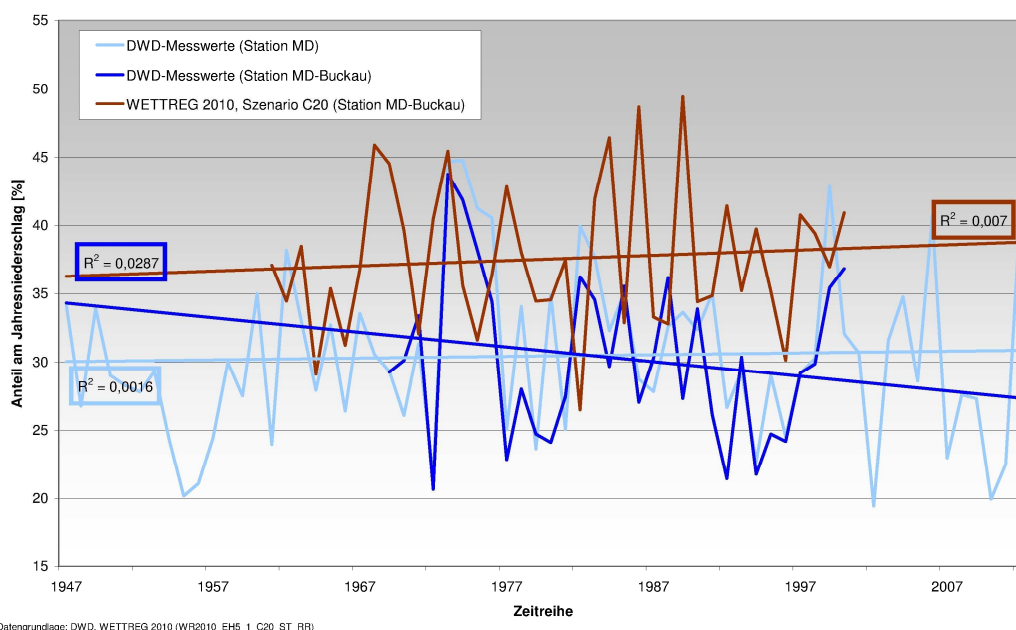
Tagesniederschlagsmengen < 4 mm¹³ sind insbesondere für die Magdeburger Stadtentwässerung ein zentraler Indikator. Bis zu dieser Menge von 4 mm kann das Entwässerungsnetz ohne Überstau oder Mischwasserentlastung bewirtschaftet werden, selbst wenn diese Menge innerhalb von fünf Minuten fällt. In mittleren Jahren fielen in der Vergangenheit etwa 30 % aller Tage eines Jahres in diese Kategorie. Der höchste Wert wurde mit 44 % im Jahr 1973 erreicht, 1972 und 1972 entfielen lediglich 21 % auf diese Klasse. Diese Daten deuten bereits darauf hin, dass es schon heute nicht das Ziel der Magdeburger Stadtentwässerung ist, sämtliche Niederschlagsmengen über das Kanalsystem abzuführen. Vielmehr richtet sich die Dimensionierung der Kanalsysteme nach Bemessungsniederschlägen, wie sie im KOSTRA-Atlas des DWD herausgegeben werden. Für Magdeburg gilt gegenwärtig ein Wert von 359 l/s ha.

¹³ In der Niederschlagsmessung gilt für Regen: eine Wasserhöhe von 1 mm entspricht einer Wassermenge von 1 l/m².

Die Bestimmtheitsmaße der drei linearen Trendlinien für den Indikator liegen deutlich unter dem Schwellenwert der Temperaturentwicklung ($R^2 = 0,05$). Aus den zur Verfügung stehenden Daten lässt sich also für die Vergangenheit kein signifikanter Trend für eine Änderung des Anteils von Tagesniederschlagssummen < 4 mm über die Zeit ableiten (Abbildung 19).

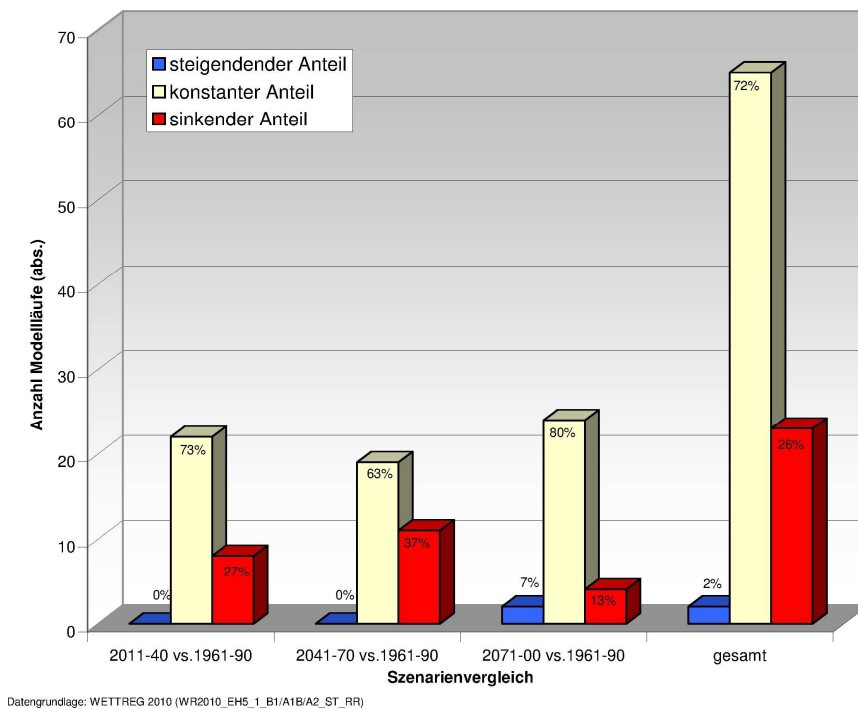
Die an den untersuchten Stationen gemessenen durchschnittlichen prozentualen Anteile weichen dabei von der von WETTREG 2010 für das Vergangenheitsszenario C20 modellierten Summe um rd. acht Prozentpunkte ab. Zwar gibt das Klimamodell vor allem auch den Minimumwert sehr gut wieder, beim Maximum und dementsprechend auch bei der Spannweite liegen die Modellwerte aber einige Prozentpunkte von den Messwerten entfernt. Insgesamt scheint das Modell die tatsächlichen Werte moderat zu überschätzen. Die Qualität der aus den Analysen für die Zukunft ableitbaren Aussagen kann alles in allem aber noch als befriedigend bewertet werden, wobei weniger auf absolute Werte als auf grundsätzliche Trends Bezug genommen werden sollte (vgl. Anhang 1, Tab. 2).

Abbildung 19: Jährlicher Anteil der Tagesniederschlagssummen < 4 mm an der Jahresniederschlagssumme in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



Für die kurz-, mittel- und langfristige Zukunft modelliert WETTREG 2010 tendenziell konstante Anteile (± 3 %) der Indikatortotalsumme an der Jahresniederschlagssumme. Die Wahrscheinlichkeit schwankt hierbei zwischen den betrachteten Zeiträumen zwischen etwa 60 % und 80 % (Abbildung 20). Insgesamt sagt etwa jeder vierte Modelllauf aber auch einen signifikant sinkenden Anteil von Tagesniederschlagssummen < 4 mm voraus. Dieses kann auf eine erhöhte Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen hindeuten (vgl. Kapitel 4.1.5).

Abbildung 20: Quantifizierung der Unsicherheiten in der zukünftigen Entwicklung des Anteils der Tagesniederschlagssummen < 4 mm an der Jahresniederschlagssumme



4.1.3 Innerjährliche Niederschlagsverteilung (meteorologische Jahreszeiten)

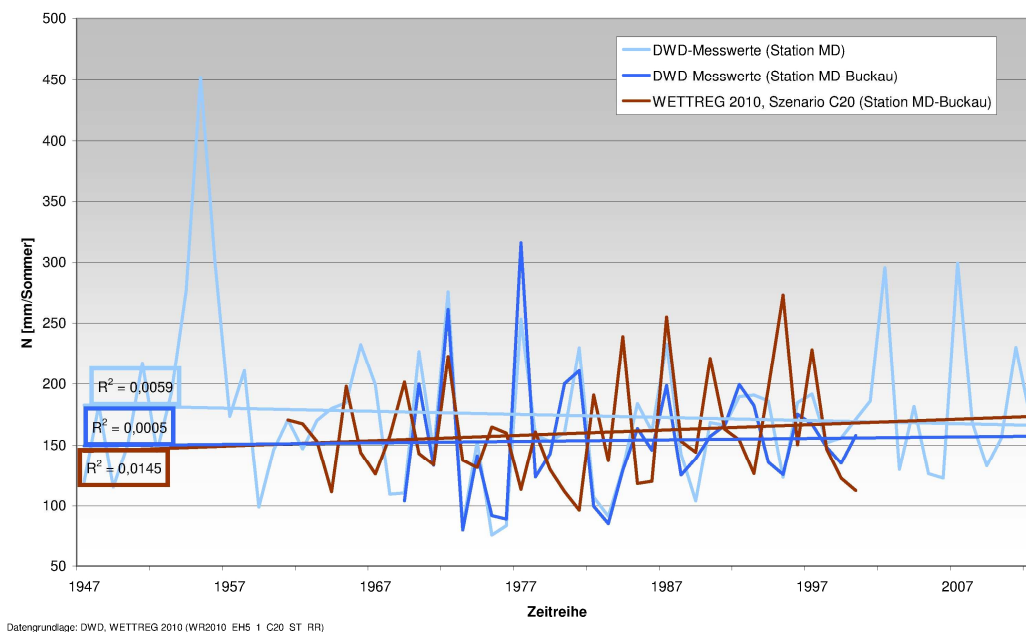
Die innerjährliche Niederschlagsverteilung mit Bezug zu den meteorologischen Jahreszeiten¹⁴ ist ein allgemeiner Leitindikator für viele klimasensitive, niederschlagsabhängige Handlungsfelder. Besondere Relevanz besitzt sie z. B. für die Abschätzung von Pegelständen kleinerer urbaner Fließgewässer. In Magdeburg weist bisher der meteorologische Sommer im langjährigen Mittel erwartungsgemäß den größten Anteil an der Jahresniederschlagssumme auf (33 %, entspricht 155 mm). Die übrigen zwei Drittel verteilen sich in etwa gleichmäßig auf die anderen drei Jahreszeiten (vgl. Anhang 1, Abb. 2).

Die Bestimmtheitsmaße der drei linearen Trendlinien für die Niederschlagsmenge in den meteorologischen Sommermonaten liegen deutlich unter dem Schwellenwert der Temperaturentwicklung ($R^2 = 0,05$). Aus den zur Verfügung stehenden Daten lässt sich also für die Vergangenheit kein signifikanter Trend für die Entwicklung der Niederschlagsmengen im meteorologischen Sommer ableiten. Diese Aussage lässt sich grundsätzlich auch auf die anderen drei Jahreszeiten übertragen, so dass kein Trend zu einer innerjährlichen Umverteilung der Niederschlagsmengen erkennbar ist (vgl. Anhang 1, Abb. 3 bis Anhang 1, Abb. 5).

¹⁴ Meteorologische Jahreszeiten: meteorologischer Frühling (März/April/Mai), meteorologischer Sommer (Juni/Juli/August), meteorologischer Herbst (September/Okttober/November) und meteorologischer Winter (Dezember/Januar/Februar).

Die an den untersuchten Stationen gemessenen langjährigen Mittelwerte für die meteorologischen Jahreszeiten weichen von den von WETTREG 2010 für die jeweilige Vergangenheit modellierten Summen lediglich um wenige Millimeter ab. Da das Klimamodell (mit Ausnahme der meteorologischen Herbstmonate) auch die Spannweite der an den Stationen gemessenen Werte hinreichend genau wiedergibt, kann die Qualität der aus den Analysen für die Zukunft ableitbaren Aussagen als gut bewertet werden (vgl. Anhang 1, Tab. 1).

Abbildung 21: Jährliche Sommerniederschlagssumme in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



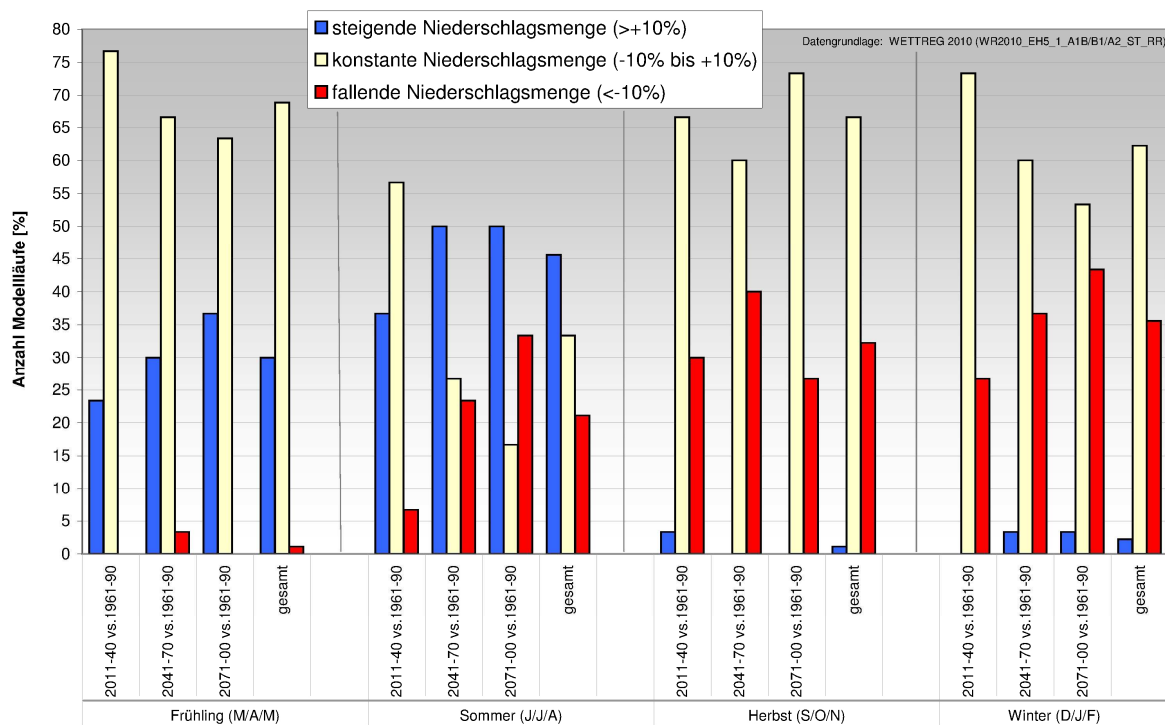
WETTREG 2010 sagt für die Zukunft in drei von vier Jahreszeiten tendenziell konstante ($< \pm 10\%$) Niederschlagsmengen voraus. Im Frühling kann es aber mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch zu steigenden (im Maximum bis +18 mm) sowie im Herbst und Winter mit einer 30-40 %igen Wahrscheinlichkeit zu sinkenden Niederschlagssummen (im Minimum bis zu -31 mm bzw. -25 mm) kommen. Eine jeweils gegenläufige Entwicklung, also signifikant weniger Niederschlag im Frühling und signifikant mehr Niederschlag im Herbst und Winter scheint hingegen sehr unwahrscheinlich zu sein.

Die Situation in den Sommermonaten zeigt sich deutlich differenzierter. Zwar weist die Analyse für das kurzfristige Szenario 2011-2040 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-1990 ebenfalls konstante Niederschläge als die wahrscheinlichste Entwicklung aus. In der mittel- und langfristigen Zukunft überwiegt aber die Tendenz einer mehr als geringfügig steigenden Niederschlagssumme (bis zu +48 mm). Allerdings sind die Unsicherheiten vergleichsweise groß. Über das gesamte laufende Jahrhundert betrachtet liegt die Wahrscheinlichkeit steigender Niederschlagswerte lediglich noch bei 45 %. Gleichzeitig nimmt die Wahrscheinlichkeit sinkender Niederschlagssummen im Laufe des Jahrhunderts deutlich zu. Sie steigt von nur 5 % im kurzfristigen auf fast 35 % im langfristigen Zeitraum.

Besonders deutlich ausgeprägt ist diese Entwicklung im A1B-Szenario, an dem sich heute einige Klimaanpassungsstudien und -strategien (fast) ausschließlich orientieren (u. a. auch die aktuelle Vulnera-

bilitätsstudie sowie die Klimaanpassungsstrategie für Sachsen-Anhalt, MLU 2012 und MLU 2013). Hier dominiert die Wahrscheinlichkeit trockenerer Sommer (bis zu -36 mm weniger Niederschlag) ab Mitte des Jahrhunderts und erreicht im Zeitraum 2071-2100 sogar einen Erwartungswert von 100 %. Feuchtere Sommer sind im A1B-Szenario hingegen so gut wie ausgeschlossen (vgl. Anhang 1, Abb. 6). Damit entsprechen die Ergebnisse für das A1B-Szenario für die Station MD-Buckau den veröffentlichten Werten für ganz Sachsen-Anhalt. Es existiert also nur ein scheinbarer Widerspruch zwischen den Analyseergebnissen dieses Fachgutachtens und den Aussagen in der Sachsen-Anhaltischen Klimaanpassungsstrategie, der ausschließlich auf den Mehrwert des gewählten Ensembleansatzes zurückzuführen ist.

Abbildung 22: Zukünftige Entwicklung der Niederschlagsmenge in den meteorologischen Jahreszeiten und ihre Unsicherheiten



4.1.4 Innerjährliche Niederschlagsverteilung (hydrologische Halbjahre)

Die innerjährliche Niederschlagsverteilung zwischen dem hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) und dem hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) spielt insbesondere als Leitindikator für die Grundwasserneubildung eine zentrale Rolle. In Norddeutschland findet eine Grundwasseranreicherung fast ausschließlich im hydrologischen Winterhalbjahr statt, während im hydrologischen Sommerhalbjahr vor allem die Evapotranspiration¹⁵ eine Versickerung nennenswerter Wassermengen verhindert.

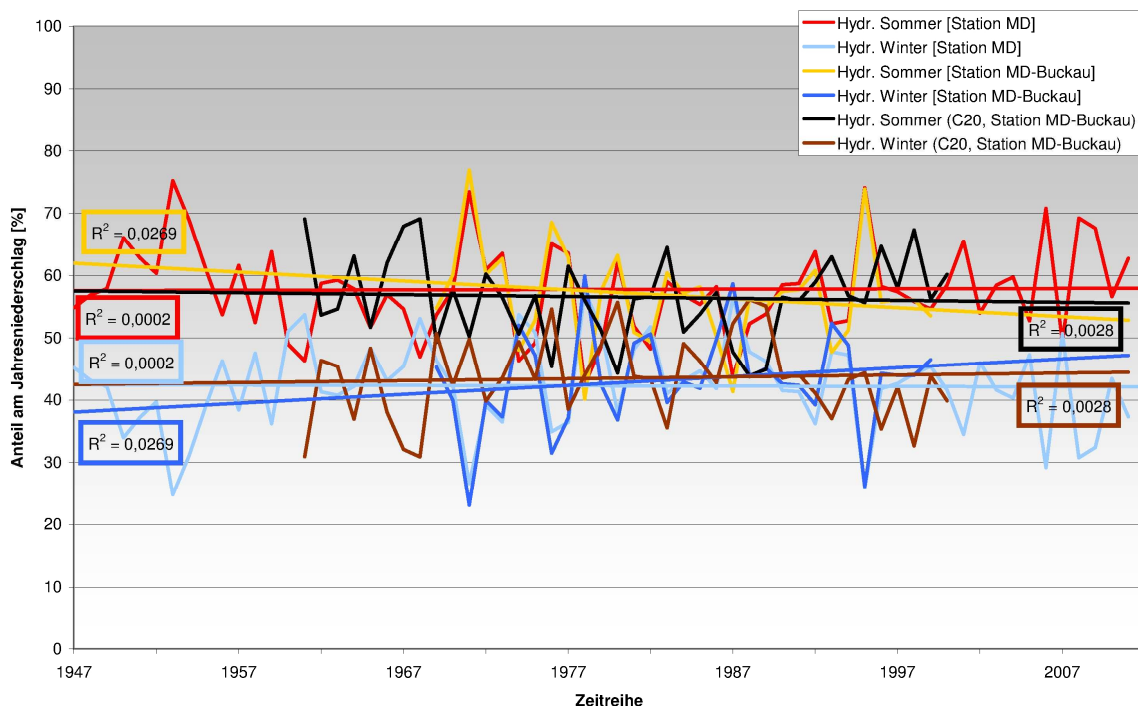
¹⁵ Summe aus Transpiration und Evaporation, also der Verdunstung von Wasser.

Abbildung 23 zeigt, dass in Magdeburg im langjährigen Mittel erwartungsgemäß mehr Niederschlag im hydrologischen Sommerhalbjahr als im hydrologischen Winterhalbjahr fällt (durchschnittliches Verhältnis 57 % zu 43 %). In einzelnen Jahren kann sich dieses mittlere Verhältnis jedoch auch umkehren (z. B. 1978: 40 % zu 60 %).

Die Bestimmtheitsmaße der linearen Trendlinien für die relativen Anteile der Halbjahre an der Gesamtsumme des jeweiligen hydrologischen Jahres liegen deutlich unter dem Schwellenwert der Temperaturentwicklung ($R^2 = 0,05$). Aus den zur Verfügung stehenden Daten lässt sich also für die Vergangenheit kein signifikanter Trend für die Entwicklung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung bezogen auf die hydrologischen Halbjahre ableiten.

Die an den untersuchten Stationen gemessenen langjährigen Mittelwerte für die hydrologischen Halbjahre weichen von den von WETTREG 2010 für die jeweilige Vergangenheit modellierten Summen lediglich um wenige Millimeter ab. Da das Klimamodell mit Ausnahme der Spannweite des hydrologischen Sommerhalbjahres auch die übrigen statistischen Lagemaße hinreichend genau wiedergibt, kann die Qualität der aus den Analysen für die Zukunft ableitbaren Aussagen als gut bewertet werden (vgl. Anhang 1, Tab. 4).

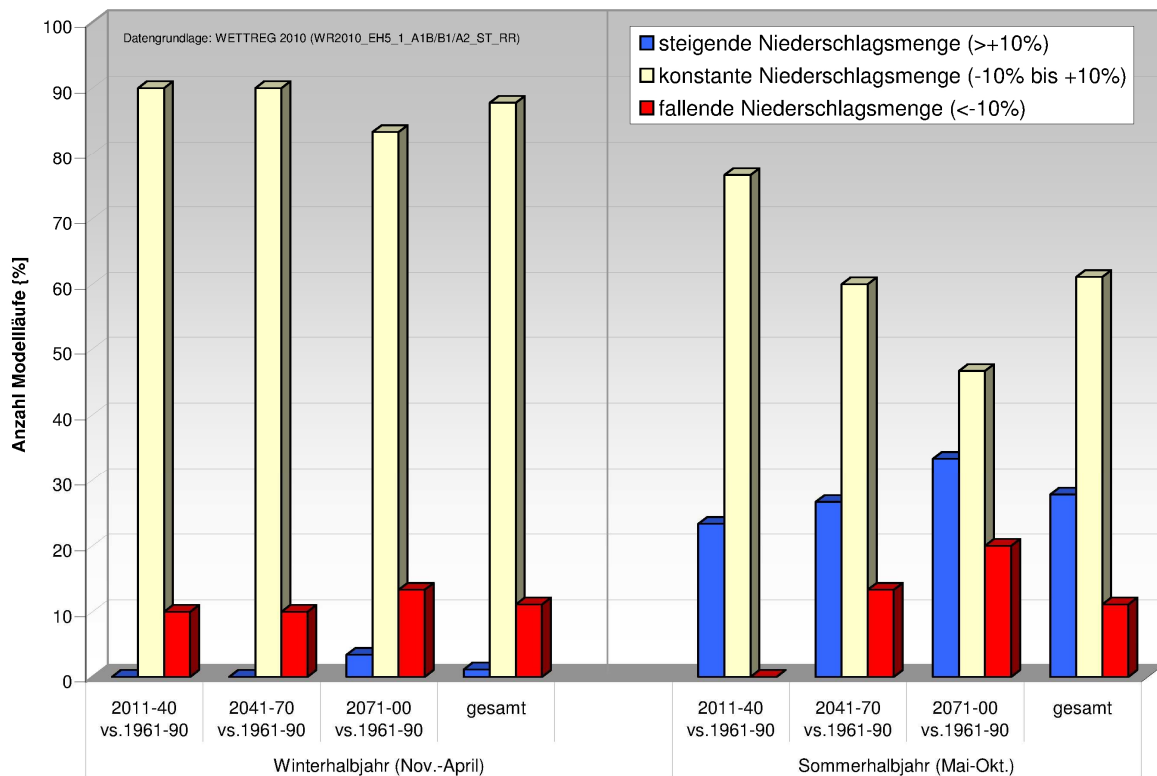
Abbildung 23: Relativer Anteil von hydrologischem Winter- und Sommerhalbjahr an der Gesamtniederschlagsmenge des hydrologischen Jahres zwischen 1947 und 2012



Die Wahrscheinlichkeit, dass das langjährige Mittel der Niederschlagssumme in den beiden hydrologischen Halbjahren auch zukünftig konstant bleiben wird, liegt für das hydrologische Winterhalbjahr bei 80-90 % und für das hydrologische Sommerhalbjahr bei 45-75 %. Während es also für die Entwicklung der Wintersituation nur relativ geringe Unsicherheiten gibt, gelten die in Kapitel 4.1.2 getroffene-

nen Aussagen bezüglich der unsicheren Situation im *meteorologischen* Sommer in abgeschwächter Weise auch für das *hydrologische* Sommerhalbjahr. Auch hier steigt der Anteil derjenigen Modellläufe, die eine signifikant steigende oder fallende Niederschlagsmenge vorhersagen im Laufe des Jahrhunderts allmählich an. Allerdings bleibt eine konstante Niederschlagsmenge hier in allen betrachteten Zeiträumen noch die wahrscheinlichste Variante.

Abbildung 24: Quantifizierung der Unsicherheiten in der Entwicklung der Niederschlagssumme im hydrologischen Winterhalbjahr (November – April) und Sommerhalbjahr (Mai – Oktober)



4.1.5 Intensität und Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen

Starkregenereignisse sind vor allem für die Handlungsfelder „Urbane Fließgewässer“ (inkl. lokale Hochwasser) und „Stadtentwässerung“ ein zentraler Indikator. Der Begriff des Starkregenereignisses ist dabei nicht einheitlich definiert. Der DWD spricht von einem Starkregenereignis bei Regenmengen von > 10 mm/h oder 20 mm/6 h (= markante Wetterwarnung) bzw. 25 mm/h oder 35 mm/6 h (= Unwetterwarnung). Die Unwetterzentrale bezieht seine Warnstufen auf einen Zeitraum von 24 (> 50 mm = orange; > 100 mm = rot) bzw. 48 Stunden (> 100 mm = orange; > 150 mm = rot). Da die WETTREG-2010-Daten lediglich als Tageswerte vorliegen, wird in diesem Fachgutachten der Definition der Unwetterzentrale gefolgt und unter einem Starkregen ein Ereignis mit Niederschlagsmengen > 50 mm verstanden.

Derlei Extremereignisse wurden an den beiden Magdeburger Messstationen je viermal während der Klimanormalperiode 1961-1990 gemessen. Das bedeutet, dass gegenwärtig etwa alle 7-8 Jahre mit einem Starkregen > 50 mm/d gerechnet werden muss. Das stärkste Niederschlagsereignis geschah am

19.06.1977. Damals registrierte die Station MD-Buckau eine Tagesniederschlagsmenge von 115 mm. Tatsächlich wird ein Großteil dieser Regenmenge aber in wenigen Stunden gefallen sein. Wie lokal differenziert solche oftmals mit Gewittern einhergehenden Konvektionsregen sein können, verdeutlicht der Umstand, dass in der nur rd. 4 km westlich gelegenen Station MD „lediglich“ noch 65 mm Niederschlag in derselben Zeiteinheit gemessen worden sind. Damals wurde insbesondere der Kölner Platz (damals Platz der Volkssolidarität) überschwemmt, wodurch es zu Beeinträchtigungen des Straßenverkehrs kam.

Abbildung 25: Blick vom Magdeburger Damaschkeplatz auf die überflutete Unterführung am heutigen Kölner Platz (1977)

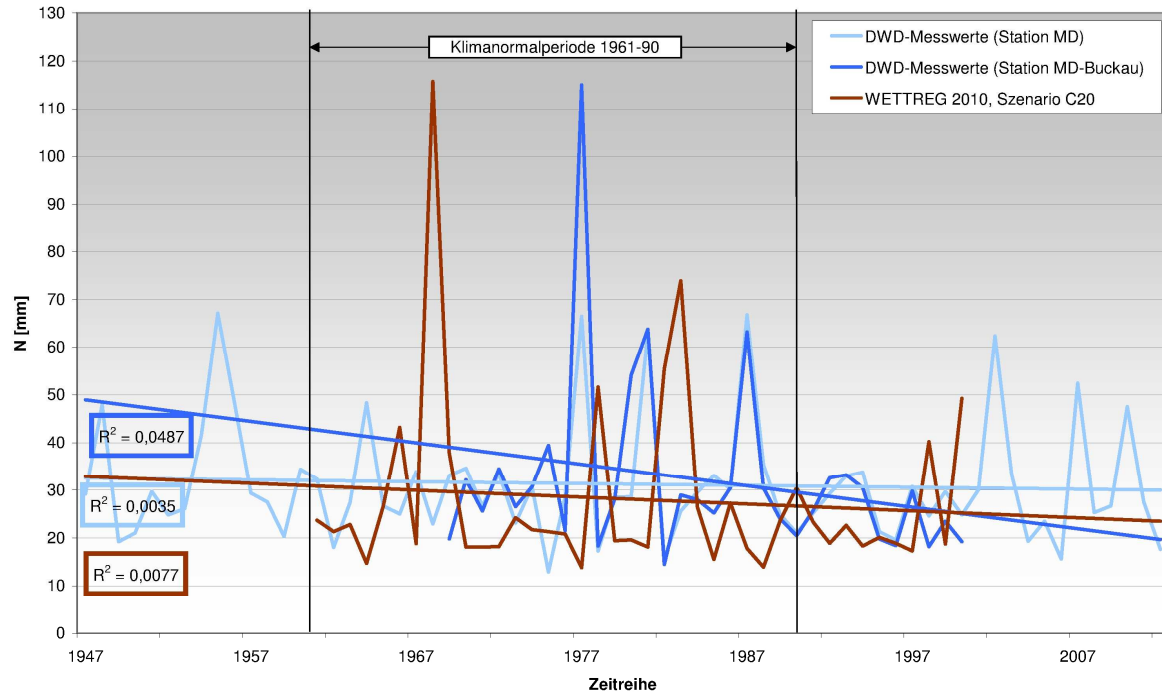


Quelle: <http://www.drehscheibe-foren.de/foren/read.php?17,5232378>

Eine vergleichbare Niederschlagsmenge wurde in Magdeburg weder vorher noch nachher erneut erreicht, so dass sich aus den zur Verfügung stehenden Daten für die Vergangenheit kein signifikanter Trend zu häufigeren oder intensiveren Starkregenereignissen ableiten lässt. Die Bestimmtheitsmaße der linearen Trendlinien liegen (z. T. deutlich) unter dem Schwellenwert der Temperaturentwicklung ($R^2 = 0,05$). Einzig der lineare Trend für die Messwerte an der Station MD-Buckau weist ein Bestimmtheitsmaß von nahe 0,05 für einen negativen Trend aus. Dieser Wert lässt sich aber auf das oben erwähnte Extremereignis und nicht auf einen generellen Trend zurückführen (Abbildung 26).

Die von WETTREG 2010 modellierten Daten für die Vergangenheit bilden sowohl die durchschnittliche Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen als auch deren Intensität sehr gut nach. Folglich kann die Qualität der aus den Analysen für die Zukunft ableitbaren Aussagen als sehr gut bewertet werden (vgl. Anhang 1, Tab. 5).

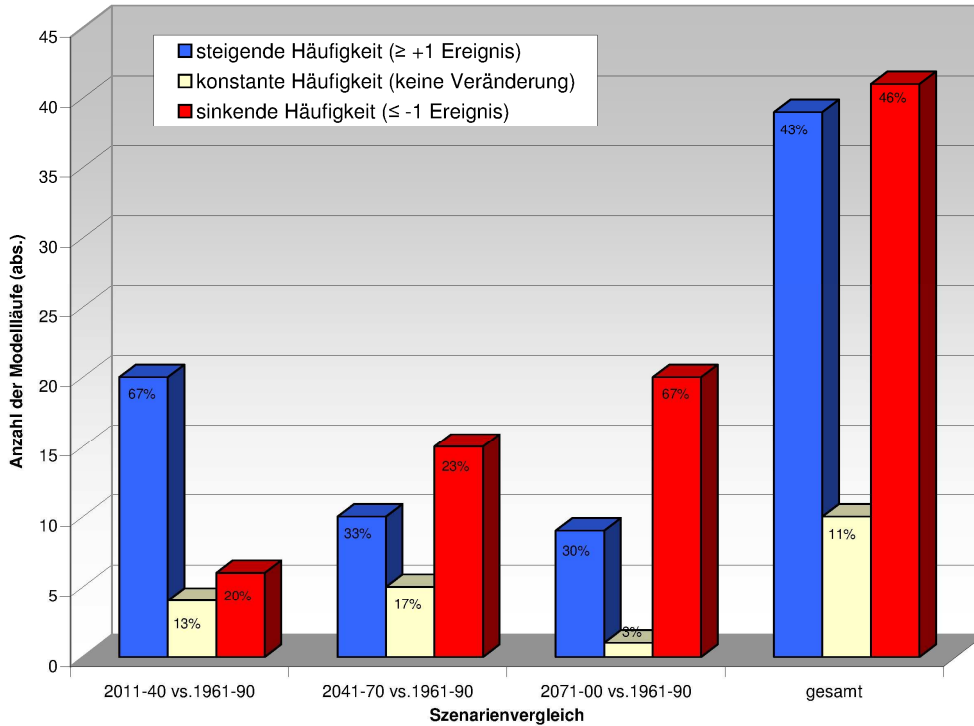
Abbildung 26: Intensivstes Tagesniederschlagsereignis pro Jahr in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



datengrundlage: DWD, WETTREG 2010 (WR2010_EHS_1_C20_ST_RR)

Bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Auftretshäufigkeiten von Starkregenereignissen $> 50 \text{ mm/d}$ bestehen große Unsicherheiten. Kurzfristig scheint ein Trend zu häufigeren Ereignissen zu existieren. Hier werden bis zu 12 Ereignisse in 30 Jahren gegenüber 4 Ereignissen im C20-Szenario prognostiziert. Im mittel- und langfristigen Szenario kehrt sich dieser Trend dann aber tendenziell um und es sind eher seltenere Ereignisse zu erwarten. Auch wenn kein klarer Trend erkennbar ist, so verbleibt unterm Strich ein Risiko von gut 40 %, dass es unter dem Einfluss des Klimawandels zu häufigeren Starkregenereignissen kommen wird (Abbildung 27).

Abbildung 27: Quantifizierung der Unsicherheiten in der Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen > 50 mm/d

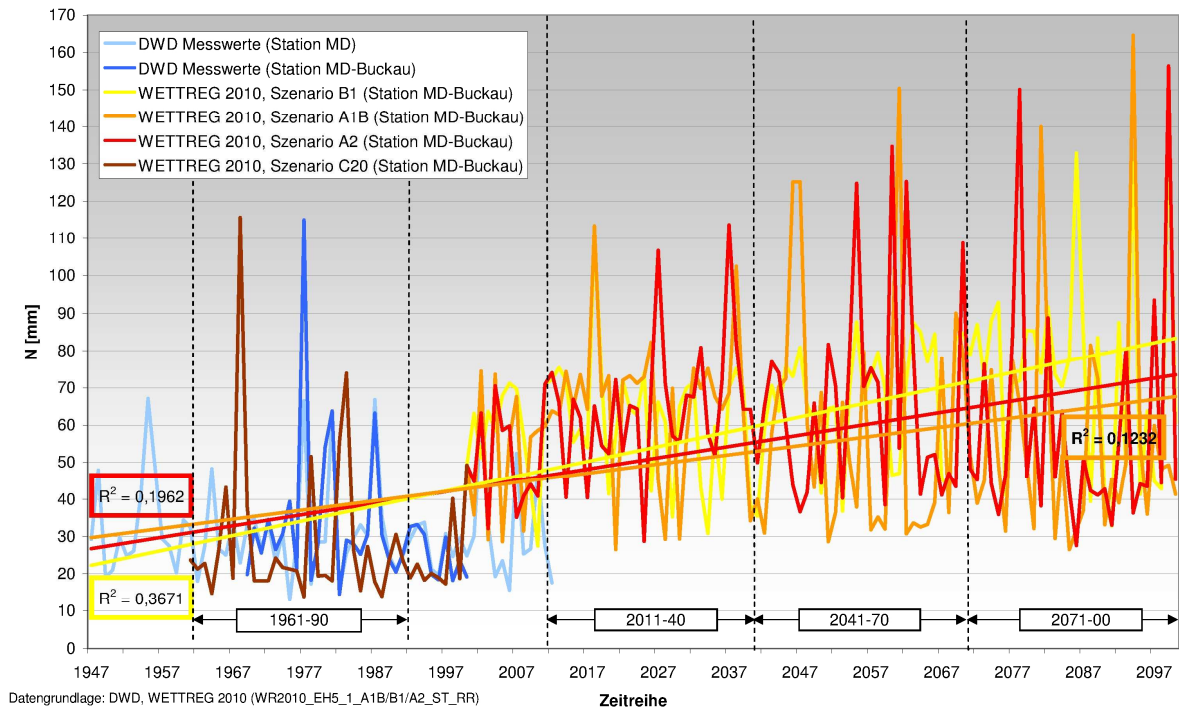


Datengrundlage: WETTREG 2010 (WR2010_EH5_1_A1B/B1/A2_ST_RR)

Sehr viel deutlicher ist der Trend bei der Intensität der Starkregenereignisse. Auch wenn die Bestimmtheitsmaße von bis zu 0,37 (Szenario B1) nicht unwesentlich von der gewählten Darstellungsmethodik beeinflusst werden¹⁶ und daher nur eine bedingte Aussagekraft besitzen, wird doch sehr deutlich, dass die wärmere Atmosphäre der Zukunft (insbesondere in der zweiten Jahrhunderthälfte) das Potential für Starkregenereignisse von bis zu 165 mm/d besitzt. Das entspricht noch einmal 50 % mehr als das bis dato extremste Ereignis Ende der 1970er Jahre.

¹⁶ Ab dem Jahr 2001 werden die maximalen Tagesniederschlagsmengen aus allen Modellläufen betrachtet, im C20-Szenario lediglich aus einem Modelllauf.

Abbildung 28: Intensivstes Jahresniederschlagsereignis in Magdeburg zwischen 1947 und 2100



4.1.6 Dauer und Auftrittshäufigkeit von Trockenwetterperioden

Trockenwetterperioden sind zum einen für das Ökosystem der urbanen Fließgewässersysteme von Relevanz. Sie führen beispielsweise zu einer verringerten Fließgeschwindigkeit und (insbesondere in den Sommermonaten) zu einer erhöhten Wassertemperatur. Das eine zieht eine verringerte Sauerstoffaufnahme aus der Luft und das andere eine verringerte Sauerstoffkapazität des Wassers nach sich. Einzelne und noch deutlicher in Kombination kann es hierdurch zu z. B. die Fortpflanzung hemmenden Stresssituationen für die Organismen des Fließgewässers kommen, die zusätzlich durch das geringere Wasservolumen und den damit verbundenen verringerten Verdünnungseffekt für Schadstoffe (z. B. als diffuser Eintrag aus der Landwirtschaft) verstärkt werden und auch zu einem positiven Rückkopplungseffekt wie einem erhöhten Algenwachstum führen können.

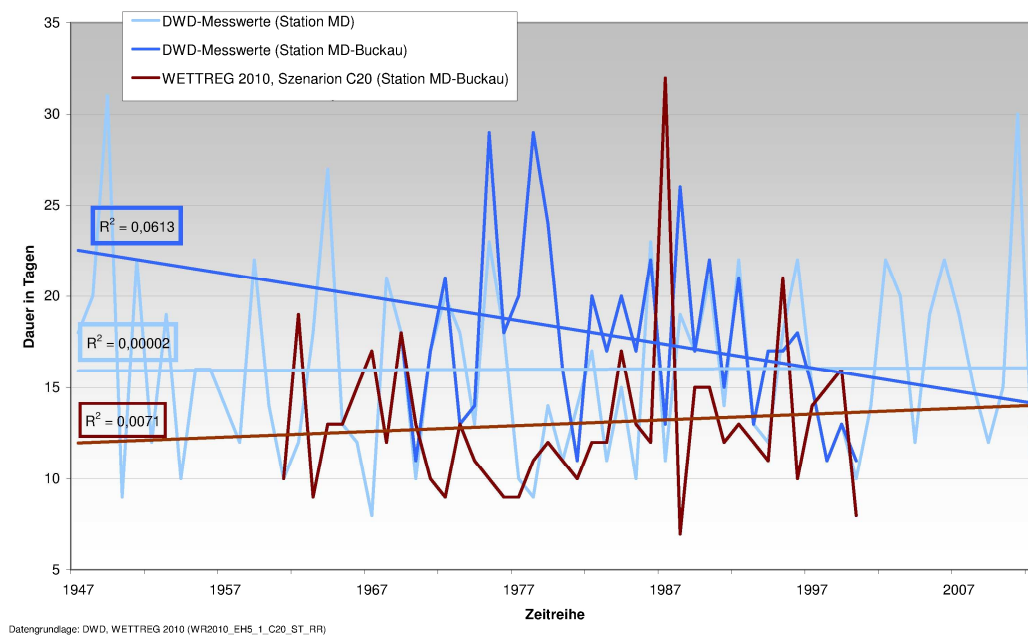
Zum anderen spielen Trockenwetterperioden auch für die Stadtentwässerung eine wichtige Rolle. Während länger anhaltender Trockenperioden lagert sich in der Mischwasserkanalisation organisches Material ab, das das Querprofil verkleinert und im Extremfall sogar ganz verschließen kann. Das kann, vor allem bei anschließenden Starkregenereignissen, zu einem Rückstau oder zu einer starken organischen Belastung der Kläranlagen bzw. des Vorfluters führen.

Da keine allgemein gültige Definition einer Trockenperiode existiert (DWD 2013), wird in diesem Fachgutachten folgende Begriffsbestimmung verwendet: ≥ 20 aufeinanderfolgende Tage ohne jeglichen Niederschlag ($N = 0,0$ mm). Derlei Perioden traten bisher im langjährigen Mittel in Magdeburg alle vier (Station MD-Buckau) bis sechs (Station MD) Jahre auf. Die längste Trockenperiode datiert

mit 31 Tagen vom Oktober 1949 (Station MD) bzw. mit 29 Tagen vom Juli/August 1975 und Februar 1978 (Station MD-Buckau). Da an der Station MD-Buckau in den 1980er und 1990er Jahren keine vergleichbaren Extremereignisse mehr gemessen worden sind, weist Abbildung 29 hier einen negativen Trend mit einem Bestimmtheitsmaß in relevanter Höhe aus ($R^2 = 0,06$). Allerdings zeigt die Kurve für die Station MD für das Jahr 2011 eine Trockenperiode von 30 Tagen, so dass hier begründet davon ausgegangen werden kann, dass in der Vergangenheit kein signifikanter Trend hinsichtlich der Dauer der längsten jährlichen Trockenperiode existiert.

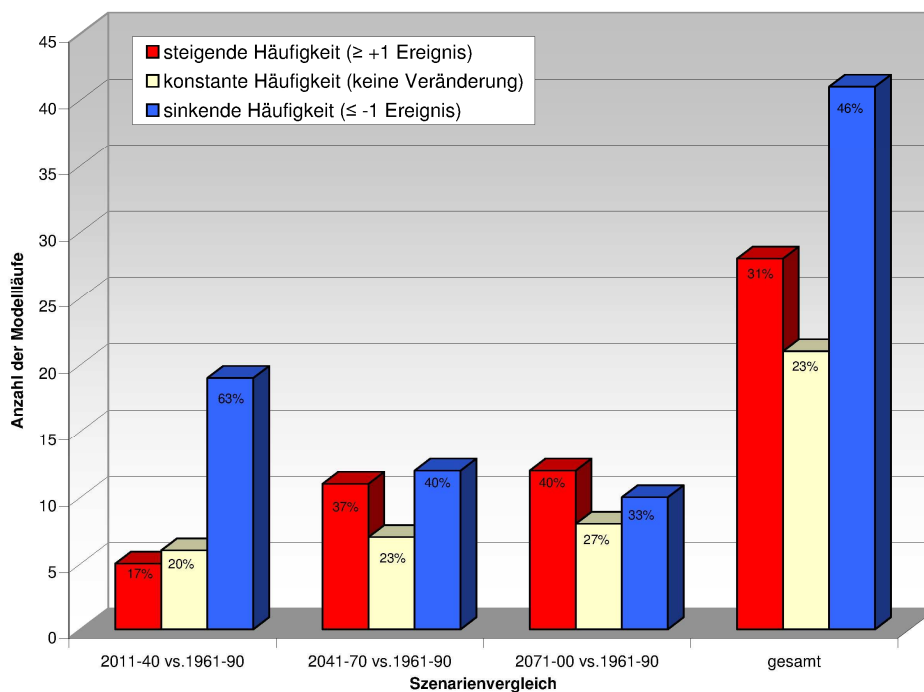
Diese Aussage wird durch das von WETTREG 2010 modellierte C20-Szenario gestützt. Auch Minimum und Maximum des Klimamodells weichen nur moderat von den Messwerten ab, so dass die für die Zukunft ableitbaren Aussagen bezüglich der Dauer der Trockenperioden als gut bewertet werden kann. Allerdings wird die Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden beim C20-Szenario recht deutlich unterschätzt. Folglich sollte für die entsprechende zukünftige Entwicklung weniger auf Absolutwertaussagen als auf grundsätzliche Trends fokussiert werden (vgl. Anhang 1, Tab. 6).

Abbildung 29: Dauer der längsten jährlichen Trockenperiode in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



Bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeiten von Trockenperioden bestehen große Unsicherheiten. Kurzfristig scheint ein Trend zu selteneren Ereignissen zu existieren. Hier werden beispielsweise in 8 von 30 Modellläufen überhaupt keine Trockenperioden ≥ 20 Tage modelliert. Im Laufe des Jahrhunderts kehrt sich dieser Trend dann aber tendenziell um und es sind eher häufigere Ereignisse zu erwarten. Der Maximalwert liegt hier bei 7 Trockenperioden gegenüber 2 Trockenperioden im C20-Szenario. Auch wenn kein klarer Trend erkennbar ist, so verbleibt unterm Strich ein Risiko von gut 30 %, dass es unter dem Einfluss des Klimawandels zu häufigeren Trockenperioden kommen wird (Abbildung 30).

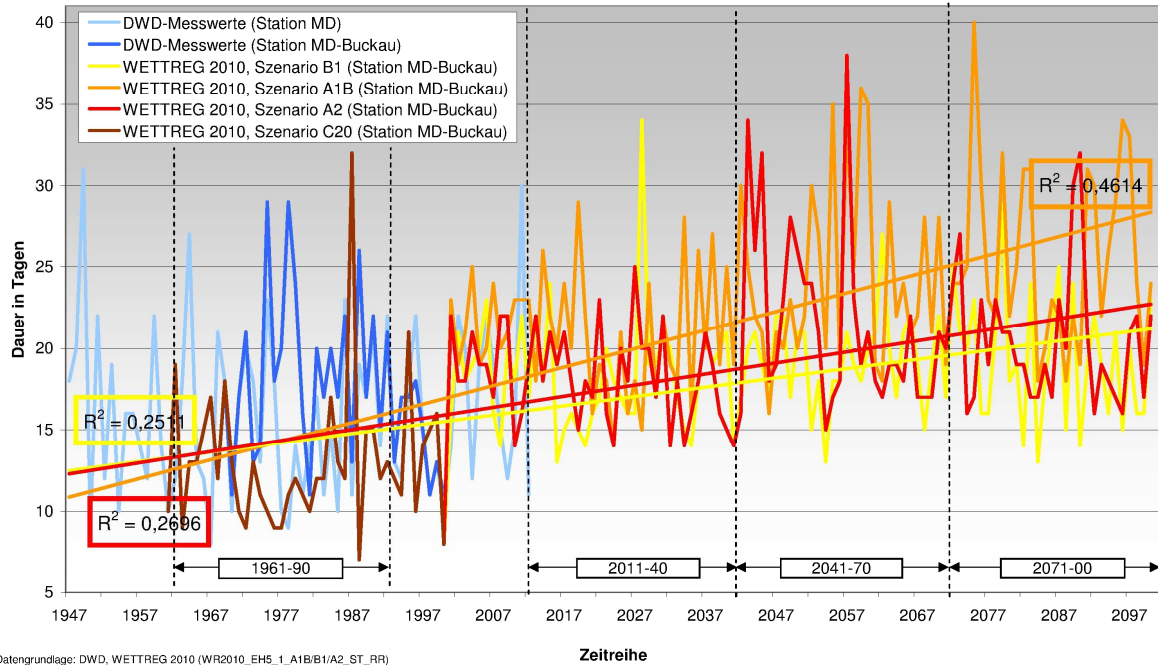
Abbildung 30: Quantifizierung der Unsicherheiten in der Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden



Ein deutlich robusterer Trend zeigt sich bei der zukünftigen Dauer von Trockenperioden. Auch wenn die Bestimmtheitsmaße von bis zu 0,46 (Szenario A1B) nicht unwesentlich von der gewählten Darstellungsmethodik beeinflusst werden¹⁷ und daher nur eine bedingte Aussagekraft besitzen, wird doch sehr deutlich, dass es insbesondere ab der zweiten Jahrhunderthälfte Perioden geben kann, in denen es bis zu 40 Tage am Stück keinerlei Niederschlag gibt.

¹⁷ Ab dem Jahr 2001 wird die maximale Dauer einer Trockenperiode aus allen Modellläufen betrachtet, im C20-Szenario lediglich aus einem Modelllauf.

Abbildung 31: Dauer der längsten jährlichen Trockenperiode in Magdeburg zwischen 1947 und 2100



5 Schlussfolgerungen

Die Expositionsanalyse hat verdeutlicht, dass in Magdeburg zukünftig mit einer signifikanten Änderung der Ausprägung von einigen für die Bausteine „Bioklima“ und „Siedlungswasserwirtschaft“ hochgradig relevanten klimatischen Leitparametern gerechnet werden muss.

Der entscheidende nächste Schritt im Magdeburger Klimaanpassungsprozess muss es sein, die möglichen Auswirkungen dieser Veränderungen für die einzelnen Handlungsfelder - unter der Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten und Zieldefinitionen - zu bewerten und anschließend, je nach gewählter Risikomanagementstrategie, entsprechende Maßnahmen zu eruieren und umzusetzen.

Um diese Schritte angemessen vorzubereiten, wurde im Rahmen des Fachgutachtens eine erste qualitative, verbal-argumentativ ausgerichtete Diskussion mit kommunalen Akteuren aus der Verwaltungsebene und damit ein loses lokales Klimaanpassungsnetzwerk initiiert. Konkret waren folgende Institutionen beteiligt:

- Umweltamt der Landeshauptstadt Magdeburg,
- Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg,
- Städtische Werke Magdeburg GmbH & Co. KG.

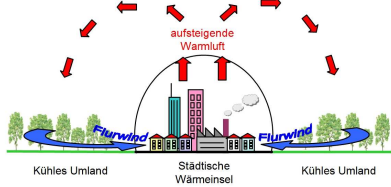
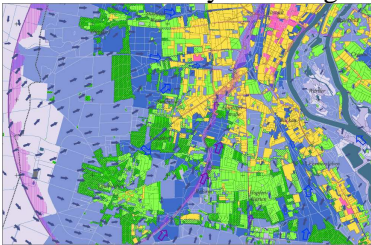
Das Ergebnis dieses Prozesses ist in Form von Steckbriefen für die Handlungsfelder „Bioklima“, „Stadtentwässerung“, „Urbane Fließgewässer“ und „Grundwasser“ in den folgenden vier Unterkapiteln festgehalten. Um die Erkenntnisse möglichst prägnant und übersichtlich abzubilden, wurde für die Steckbriefe ein einheitliches inhaltliches Design gewählt, mit folgender Gliederung:

- Kurzdarstellung des Handlungsfeldes,
- Lokale (formelle und informelle) Ziele für das Handlungsfeld,
- Klimasensitivität des Handlungsfeldes,
- Klimatische Leitindikatoren,
- Lokale Entwicklung klimatischer Leitindikatoren in der Vergangenheit,
- Lokale Entwicklung klimatischer Leitparameter in der Zukunft,
- Potentielle Klimafolgen/Schlussfolgerungen,
- Notwendige nächste Schritte/Maßnahmenansätze,
- Zentrale Akteure.

Die zentralen Bausteine des kommunalen Klimaanpassungsprozesses sind in den Steckbriefen integriert worden. Es sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass mit der Erstellung der Steckbriefe dieser Prozess keinesfalls beendet ist. Vielmehr gilt es, zukünftig noch vorhandene Wissenslücken zu füllen, Aussagen und Schlussfolgerungen des Fachgutachtens (ggf. modellgestützt) in einem breiten Akteurskreis zu überprüfen und letztlich das Management des Klimawandels proaktiv anzugehen, sprich Maßnahmen einzuleiten und umzusetzen.

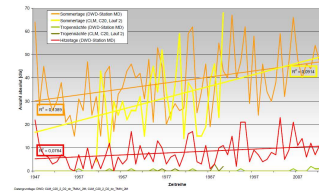
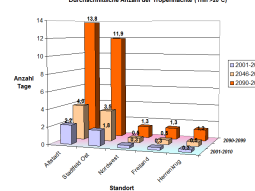

5.1 Handlungsfeld Bioklima

Tabelle 2: Steckbrief zum Handlungsfeld Bioklima

<p>Klimasensitives Handlungsfeld</p>	<p>Menschliche Gesundheit – Stadtklima/Bioklima</p>
<p>Kurzdarstellung des Handlungsfeldes</p>	<p>Während das Klima im Magdeburger Umland weitgehend von natürlichen Gegebenheiten abhängig ist, bildet sich im Stadtgebiet Magdeburgs ein durch Bauwerke beeinflusstes Stadtklima aus (Abbildung rechts)¹⁸. Tendenziell ist eine Stadt wärmer, windärmer und trockener als die sie umgebende freie Landschaft und wird häufiger von Starkregen und Gewittern heimgesucht.</p>  <p>Für die Landeshauptstadt Magdeburg wurde eine räumlich hochauflösende Klimaanalyse durchgeführt, in der der Kaltlufthaushalt, die luft-hygienische Belastung sowie die klimaökologischen Funktionen untersucht und die Erkenntnisse in einer Planungshinweiskarte (Abbildung links)¹⁹ zusammenfassend abgebildet worden sind. Das Stadtklima von Magdeburg wird demnach vor allem durch die lokale Höhen- und Flächennutzungsstruktur, den Straßenverkehr sowie durch die Prozessdynamik zwischen Wirk- und Ausgleichsräumen bestimmt.</p> 
<p>Lokale Ziele für das Handlungsfeld</p>	<p>Schaffung eines behaglichen Bioklimas; Reduzierung von Hitzestresssituationen in der Nacht und am Tage auf ein möglichst geringes Niveau.</p>
<p>Klimasensitivität des Handlungsfeldes</p>	<p>Für die Bewohner einer Stadt ist das Stadtklima-Phänomen vor allem deswegen von Bedeutung, weil es unmittelbare Auswirkungen auf ihr körperliches Wohlbefinden hat. Insbesondere die - im Vergleich zum Umland - häufigeren und intensiveren sommerlichen Hitzesituationen führen zu einer Belastung des Herzkreislaufsystems. Dieses kann letztlich zu einer deutlich erhöhten Erkrankungs- und Sterblichkeitsrate insbesondere bei Kleinkindern, hochaltrigen Menschen und Menschen mit</p>

¹⁸ Quelle: Klimafunktions- und Planungshinweiskarte Klima/Luft der Landeshauptstadt Magdeburg (GEO-NET 2013)

¹⁹ Quelle: Klimafunktions- und Planungshinweiskarte Klima/Luft der Landeshauptstadt (GEO-NET 2013)

	<p>Vorerkrankungen sowie zu einem generell verminderten körperlichen Leistungsvermögen aller Stadtbewohner führen.</p> <p>Von Relevanz ist hierbei zum einen die Tagsituation, bei der die Hitze unmittelbar auf den menschlichen Organismus einwirkt. Darüber hinaus besitzt auch die Nachtsituation eine besondere Bedeutung. So verhindern Tropennächte einen erholsamen Schlaf und damit den Abbau des Hitzestresses am Tage.</p>
<p>Klimatische Leitindikatoren</p>	<p>Jahresdurchschnittstemperatur, Auftrittshäufigkeit von Hitzetagen, Tropennächten und Tagen mit Wärmebelastung (PMV-Wert)</p>
<p>Lokale Entwicklung klimatischer Leitindikatoren in der Vergangenheit</p>	<p>Bereits für die Vergangenheit lässt sich aus den Messdaten ein moderater Trend zu einer erhöhten Auftrittshäufigkeit von Sommer- und Hitzetagen feststellen. Dieses gilt insbesondere für die letzten beiden Jahrzehnte im Vergleich zu den 1950er, 1960er und 1970er Jahren. Tropennächte hingegen treten in Magdeburg bisher zu selten auf, um eine Tendaussage treffen zu können.</p> 
<p>Lokale Entwicklung klimatischer Leitparameter in der Zukunft</p>	<p>Für alle untersuchten Leitindikatoren ergibt die Analyse einen sich verstärkt fortsetzenden Trend zu einer erhöhten Intensität und Auftrittshäufigkeit. Diese Entwicklungen sind mit einer sehr hohen Eintrittswahrscheinlichkeit verbunden. Besonders hervorzuheben sind hier die Anstiege der Auftrittshäufigkeit von Tropennächten und Tagen mit Wärmebelastung um das bis zu 6-fache des heutigen Wertes.</p>  
<p>Potentielle Klimafolgen / Schlussfolgerungen</p>	<p>Aus der Entwicklung der Leitindikatoren wird deutlich, dass das Hitzestressrisiko für die Magdeburger Bevölkerung bereits kurzfristig erheblich ansteigen wird. Mit Blick auf das Ziel eines behaglichen Stadtklimas, kann hieraus ein unmittelbarer Handlungsbedarf abgeleitet werden.</p>
<p>Notwendige nächste Schritte / Maßnahmenansätze</p>	<p>Als nächster Schritt sollten unter der Berücksichtigung nicht klimatischer Einflussfaktoren (z. B. Demographie bzw. demographischer Wandel, energetischer Gebäudestandard, Erreichbarkeit von hochwertigen Grünflächen, sensible Nutzungen) Hot-Spot Quartiere ausgewiesen werden.</p> <p>Anschließend sollten unter Beteiligung der zentralen Entscheidungssträ-</p>

	<p>ger (Politik, Verwaltung, Eigentümer) und der Betroffenen (Anwohner, Altenheime) quartiersspezifische Maßnahmenpakete ermittelt und je nach Typus kurz-, mittel- bzw. langfristig umgesetzt werden. Hierbei sollten auch die Wechselbeziehungen zu wasserwirtschaftlichen Maßnahmen sowie dem Klimaschutz berücksichtigt werden.</p> <p>Als Handlungsebenen lassen sich gemäß Handbuch Stadtklima (vgl. auch MUNLV 2011) Rahmenbedingungen, Sensitivitäten, Fehl-/Nichtfunktionen sowie Schadenspotenziale unterscheiden. Konkrete Maßnahmen auf diesen Ebenen sind beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entsiegelung, • Begrünung von Fassaden, Dächer, Straßenräumen und Innenhöfen, • Sicherung/Schaffung von Kaltluftschneisen, • Schaffen von offenen Wasserflächen, • Anpassung des Gebäudedesigns (z. B. Wärmedämmung, Baumaterialien), • Verwendung von Baumaterialien mit geringeren Wärmespeicher-/Wärmeleitfähigkeiten (z. B. im Straßenbau), • Festsetzungen in der Bauleitplanung (z. B. Nutzungen, Gebäudehöhen und -ausrichtungen), • Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche, • Lokales Hitzewarnsystem, • Initiierung von Nachbarschaftshilfemodellen (z. B. Trinkpatenschaften - Unterstützung der Flüssigkeitsaufnahme älterer Menschen als Hitzeprävention).
<p>Zentrale Akteure</p>	<p>Landeshauptstadt Magdeburg, Eigenbetrieb Stadtgarten und Friedhöfe Magdeburg, SWM GmbH & Co. KG, Eigentümer und Mieter, Architektenkammer, Verein Haus und Grund Magdeburg e. V., Verband der Gartenfreunde Magdeburg e. V., Politik, Fachgutachter, Bürger, u. a.</p>

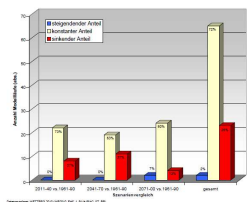
5.2 Handlungsfeld Stadtentwässerung

Tabelle 3: Steckbrief zum Handlungsfeld Stadtentwässerung

Klimasensitives Handlungsfeld	Stadtentwässerung
<p>Kurzdarstellung des Handlungsfeldes</p>	<p>Die Abwasserbeseitigung gehört zu den hoheitlichen Aufgaben der Landeshauptstadt Magdeburg. Diese wird durch die Abwassergesellschaft Magdeburg mbH im Auftrag der Städtischen Werke Magdeburg GmbH & Co. KG wahrgenommen.</p> <p>Das über 1000 Kilometer lange Kanalnetz der Landeshauptstadt Magdeburg ist zu einem großen Teil als Mischsystem ausgeführt, vereinzelt kommen aber auch Trennsysteme zum Einsatz. Über das Kanalnetz wird das Niederschlagswasser sowie das Schmutzwasser von rund 232.000 Magdeburgern (Stand Dezember 2011) sowie 100 Industrie- und Gewerbeunternehmen u. a. mithilfe von 88 Abwasserpumpwerken zum rechtselbisch gelegenen Klärwerk Magdeburg/Gerwisch abgeleitet (Bild rechts)²⁰.</p> <p>Hier werden die Abwässer dem Stand der Technik entsprechend gereinigt und anschließend in die Elbe eingeleitet. Die gesetzlichen Grenzwerte für die Einleitung werden stabil eingehalten bzw. zum Teil erheblich unterschritten. Die jährliche Abwassermenge beträgt etwa 17 Mio. m³.</p> 
<p>Lokale Ziele für das Handlungsfeld</p>	<p>Abwasserbeseitigung, Gewässerschutz</p>
<p>Klimasensitivität des Handlungsfeldes</p>	<p>Die Kanalnetzinfrasturktur muss spätestens aller 50-80 Jahre saniert werden. Grundsätzlich sollten bei der Sanierungsplanung alle relevanten Einflussgrößen berücksichtigt werden. Hierzu gehören neben dem Klimawandel beispielsweise auch der demographische Wandel oder die Behandlungsmöglichkeiten neuer (Gefahren-)Stoffe.</p>

²⁰

http://www.volksstimme.de/em_daten/saxo/2011/12/16/aufmacher/111216_0523_11_12_20111216_010446_pic_650436926_aufmacher.jpg

	<p>Das Magdeburger Kanalsystem ist darauf ausgelegt, regelmäßig auftretende Niederschlagsmengen in die Vorfluter abzuführen (maximal Niederschläge von 4 mm innerhalb von fünf Minuten). Es ist damit grundsätzlich nicht an seltenen Extremereignissen ausgerichtet. Das bedeutet, dass temporäre Überlastungen des Systems durch Starkregenereignisse und damit verbundener freier oberirdischer Abfluss toleriert werden müssen.</p> <p>Neben Starkregenereignissen zeigt sich das System auch sensibel gegenüber Trockenwetterperioden. Während dieser Unterlastzeit reichert sich vor allem organisches Material aus den häuslichen Abwässern im Kanalnetz an. Dieses kann zum einen zur Verkleinerung des Durchflussthroughmessers und letztlich auch zu lokalen Kanalverstopfungen führen. Im Falle eines anschließenden Starkregenereignisses besteht dann zum anderen die Gefahr einer direkten Einleitung des belasteten Abwassers in die Vorfluter, weil die Kläranlage die anfallenden Wassermassen nicht verarbeiten kann und diese über die Mischwasserüberläufe des Systems direkt in die Elbe weitergeleitet werden.</p>
<p>Klimatische Leitindikatoren</p>	<p>Anteil von Niederschlägen < 4 mm an der Jahresniederschlagssumme, Aufttrittshäufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen, Häufigkeit und Dauer von Trockenperioden</p>
<p>Lokale Entwicklung klimatischer Leitindikatoren in der Vergangenheit</p>	<p>Für keinen der Leitindikatoren konnte für die Vergangenheit ein Trend festgestellt werden.</p>
<p>Lokale Entwicklung klimatischer Leitparameter in der Zukunft</p>	<p>Es ist am wahrscheinlichsten, dass der Anteil der Tagesniederschläge <4mm an der Jahresniederschlagssumme dem heutigen Niveau entsprechen wird (Diagramm rechts = Abbildung 20). Es besteht aber auch eine insgesamt ca. 25 %ige Wahrscheinlichkeit, dass der Anteil gegenüber heute weiter zurückgeht.</p>  <p>Bei der Entwicklung der Aufttrittshäufigkeit von Trockenperioden und Starkregenereignissen bestehen große Unsicherheiten, hier lässt sich kein klarer Trend feststellen. Mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeiten werden aber die Intensität von einzelnen Starkregenereignissen (Diagramm links = Abbildung 28) sowie die Dauer von Trockenperioden insbesondere ab der Mitte des laufenden Jahrhunderts</p> 

	deutlich zunehmen.
Potentielle Klimafolgen / Schlussfolgerungen	<p>Aus der Expositionsanalyse lässt sich die Gefahr ableiten, dass die Magdeburger Kanalisation zukünftig stärker (ggf. auch häufiger) überlastet bzw. länger (ggf. auch häufiger) unterlastet wird, als dies heute der Fall ist. Es ist also zukünftig mit erhöhten Schäden durch rückstauendes Abwasser sowie mit einer temporär erhöhten hydraulischen und stofflichen Belastung des Vorfluters zu rechnen.</p> <p>Hieraus ergibt sich ein Handlungsbedarf sowohl für die Regenwasserbewirtschaftung als auch für die Abwasserinfrastrukturplanung.</p>
Notwendige nächste Schritte / Maßnahmenansätze	<p>Grundsätzlich sollten die Schlussfolgerungen (z. B. mithilfe eines hydrologischen Modells) überprüft, räumlich konkretisiert und quantifiziert werden.</p> <p>Maßnahmenansätze für Überlastungsfälle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risikogebiete und Schadenspotentiale identifizieren (z. B. für Kanalüberlastungen), • Korrigieren von Fehlfunktionen des Systems, • Abfluss verringern/verzögern (in geeigneten Gebieten), • Versickerung erhöhen, • Retentionsraum schaffen (multifunktionale Flächen), • Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, • Notfallplan, • Überprüfung der Kanaldimensionierung im Sanierungsfall, • Optimierung von Pumpen, • Kanalraumbewirtschaftung. <p>Maßnahmenansätze für Unterlastfälle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risikogebiete und Schadenspotentiale identifizieren, • Korrigieren von Fehlfunktionen des Systems, • Temporäre Niederschlagsspeicherung für eine Kanalspülung.
Zentrale Akteure	Landeshauptstadt Magdeburg, Eigenbetrieb Stadtgarten und Friedhöfe Magdeburg, SWM GmbH & Co. KG, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft, Unterhaltungsverbände Ehle/Ihle, Untere Ohre und Elbaue, Verein Haus und Grund Magdeburg e. V., Verband

	der Gartenfreunde Magdeburg e. V., Politik, Grundstückseigentümer, Fachgutachter, Bürger, u. a.
--	---

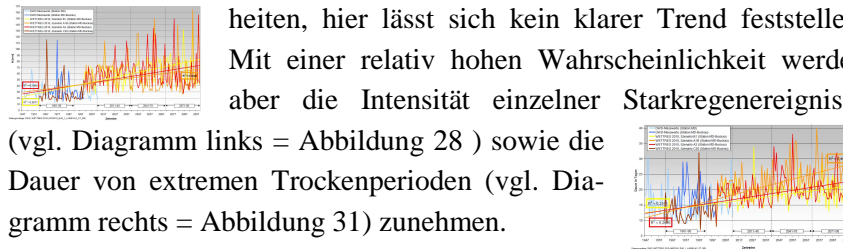
5.3 Handlungsfeld Urbane Fließ- und Standgewässer

Tabelle 4: Steckbrief zum Handlungsfeld Urbane Fließ- und Standgewässer

Klimasensitives Handlungsfeld	Urbane Fließ- und Standgewässer
<p>Kurzdarstellung des Handlungsfeldes</p>	<p>Alle urbanen Fließgewässer Magdeburgs entwässern unmittelbar oder mittelbar (über die Ohre) in die Elbe. Zwar ist der Flusslauf als Gewässer 1. Ordnung damit das zentrale Fließgewässerelement der Landeshauptstadt Magdeburg, die Zuständigkeit für ihre Unterhaltung liegt jedoch nicht bei der Landeshauptstadt Magdeburg, sondern bei der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Daher wird die Elbe in dem vorliegenden Kontext des kommunalen Klimafolgenmanagements ausgeklammert und der Fokus auf die urbanen Fließgewässer der Landeshauptstadt gerichtet.</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="flex-grow: 1;"> <p>Das größte urbane Fließgewässer stellt die Schrote dar (Bild links)²¹. Sie durchfließt das Magdeburger Stadtgebiet von West nach Nord und erhält kurz vor ihrer Mündung Zufluss von der Großen Sülze. Die Schrote ist in weiten Teilen ihrer Fließstrecke durch das Stadtgebiet begradigt und z. T. auch verrohrt worden, weist aber vor allem im westlichen Abschnitt auch noch kurze naturnahe Streckenabschnitte auf und fließt im weiteren Verlauf bis zur Olvenstedter Straße durch einen parkähnlichen Grünzug („Schrotegrünzug“). Die chemisch-physikalische Gewässergüte der Schrote lag 2011 in etwa bei Klasse II-III (kritisch belastet).</p> <p>Rechtsselbisch wird das Magdeburger Stadtgebiet vor allem durch das künstlich angelegte Furtlakengrabensystem entwässert.</p> <p>Die Neustädter (Bild rechts)²² und die Barleber Seen, ehemalige Auskiesungsgebiete, sowie die Salbker Seen bilden die Standgewässerkulisse Magdeburgs. Sie werden vor allem für die Naherholung genutzt, besitzen aber</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: flex-start; margin-top: 10px;">  </div>

²¹ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/58/Schrote-Magdeburg-BarleberSee.JPG/800px-Schrote-Magdeburg-BarleberSee.JPG>

²² <http://u.jimdo.com/www54/o/s5132c01b7a51dfb7/img/ia739809eb8da1202/1351766302/std/image.jpg>

	auch eine naturschutzfachliche Wertigkeit.
Lokale Ziele für das Handlungsfeld	Guter ökologischer und chemischer Zustand der urbanen Fließgewässer, Verschlechterungsverbot gegenüber dem Status Quo, Hochwasserschutz
Klimasensitivität des Handlungsfeldes	<p>Die Pegelstände in kleinen Flachlandbächen, wie sie die Schrote und die Große Sülze darstellen, sind primär von den in ihren eng begrenzten Einzugsgebieten fallenden Niederschlägen abhängig. Je kleiner das Einzugsgebiet und je stärker dieses versiegelt ist, desto unmittelbarer reagieren die Pegelstände auf Extremereignisse wie Starkregen oder Trockenperioden.</p> <p>Intensive Niederschlagsereignisse können also innerhalb kurzer Reaktionszeiten zu kleinen Hochwässern führen, lange Trockenperioden sind mit Niedrigwasserständen und im Extremfall mit einem zeitweiligen Trockenfallen des Bachlaufs verbunden. Lokale Hochwasser besitzen insbesondere für die angrenzenden bzw. tief liegende Flächen ein Schadenspotential. Niedrigwasserperioden haben einen starken Einfluss auf die chemisch-physikalische Gewässergüte und sind daher vorrangig ein gewässerökologisches Problem.</p> <p>Folglich ist die Klimasensitivität der urbanen Fließ- und Standgewässer in erster Linie durch Extremereignisse determiniert.</p>
Klimatische Leitindikatoren	Auftrittshäufigkeit und Intensität von Starkregen, Auftrittshäufigkeit und Dauer von Trockenperioden
Lokale Entwicklung klimatischer Leitindikatoren in der Vergangenheit	Weder für Starkregenereignisse noch für Trockenperioden lassen sich bisher hinsichtlich ihrer Auftrittshäufigkeit und Intensität bzw. Dauer signifikante Trends feststellen.
Lokale Entwicklung klimatischer Leitparameter in der Zukunft	<p>Hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden und Starkregenereignissen bestehen große Unsicherheiten, hier lässt sich kein klarer Trend feststellen. Mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit werden aber die Intensität einzelner Starkregenereignisse (vgl. Diagramm links = Abbildung 28) sowie die Dauer von extremen Trockenperioden (vgl. Diagramm rechts = Abbildung 31) zunehmen.</p> 
Potentielle Klimafolgen	Durch die intensiveren Extremereignisse besteht zum einen das Risiko,

<p>/ Schlussfolgerungen</p>	<p>dass es zukünftig (vor allem ab Mitte des Jahrhunderts) zu stärkeren lokalen Hochwassern an den urbanen Fließgewässern kommen wird. Zum anderen kann der Klimawandel auch zu längeren Niedrigwasserständen und ggf. sogar zum zeitweiligen Trockenfallen einzelner Fließabschnitte führen.</p> <p>Eine Einschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Neustädter und Barleber Seen ist sehr komplex und kann in diesem Fachgutachten nicht umfänglich erfolgen. Ihre Funktionen als Naherholungsgebiete bzw. Badeseen scheinen allerdings nicht grundsätzlich gefährdet zu sein. Die Frage, inwiefern die Badegewässerqualität sowie die ökologischen Funktionen der Seen z. B. durch die längeren Trockenperioden und die steigenden Temperaturen beeinträchtigt werden, kann hier nicht beantwortet werden und sollte im Rahmen des weiteren Prozesses genauer untersucht werden.</p>
<p>Notwendige nächste Schritte / Maßnahmenansätze</p>	<p>Die Schlussfolgerungen sollten mithilfe eines Pegelstandsmodells überprüft und räumlich konkretisiert/quantifiziert werden.</p> <p>Maßnahmenansätze Niedrigwassermanagement:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Korrigieren von Fehlfunktionen des Systems, • Identifizierung von Risikogebieten und Schadenspotentialen, • Niedrigwasseraufhöhung in geeigneten Gebieten, • Niederschlagsrückhaltung in Überschusszeiten und Ableitung in Mangelzeiten (z. B. mithilfe von Regenrückhaltebecken in geeigneten Gebieten). <p>Maßnahmenansätze Hochwasserschutz/-management:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung von Risikogebieten und Schadenspotentialen, • Korrigieren von Fehlfunktionen des Systems, • Aufnahmekapazität der Gewässer erhöhen (z. B. durch Laufaufweitung, Rückbau der Verrohrung), • Abfluss verringern/verzögern (z. B. durch dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, Schaffung von Retentionsräumen, multifunktionale Flächennutzung) in geeigneten Gebieten, • Kritische Infrastrukturen schützen/verlegen, • Gewährleistung eines schnellen und großen Oberflächenabflusses.

Zentrale Akteure	AG Hochwasserschutz, AG Technischer Hochwasserschutz, Landeshauptstadt Magdeburg, Eigenbetrieb Stadtgarten und Friedhöfe Magdeburg, Städtische Werke Magdeburg GmbH & Co. KG, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft, Unterhaltungsverbände Ehle/Ihle, Untere Ohre und Elbaue, Verein Haus und Grund Magdeburg e. V., Verband der Gartenfreunde Magdeburg e. V., Politik, Fachgutachter, Bürger, u. a.
-------------------------	---

5.4 Handlungsfeld Grundwasser

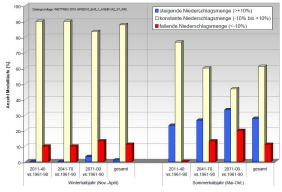
Tabelle 5: Steckbrief zum Handlungsfeld Grundwasser

Klimasensitives Handlungsfeld	Grundwasser
<p>Kurzdarstellung des Handlungsfeldes</p>	<p>Im Stadtgebiet Magdeburg befinden sich im Einzugsgebiet die Grundwasserkörper „Westfläming und Elbtal“ (EN1), „Magdeburger Triaslandschaft Elbtal“ (EN3), „Colbitz-Letzlinger-Heide Moränenlandschaft“ (OT2) und „Flechtlinger Höhenzug“ (OT4) . Diese Grundwasserkörper befinden sich gemäß WRRL²³ in einem guten mengenmäßigen und guten chemischen Zustand. Entsprechend dieser Einstufung sind kurz- bis mittelfristig keine Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserqualität bzw. -quantität vorgesehen.</p> <p>Die Trinkwasserversorgung für die Magdeburger Bevölkerung erfolgt zu 100 % aus dem Grundwasser. Dieses stammt allerdings nicht aus dem Grundwasserkörper EN1, sondern aus dem Wasserwerk Colbitz (Bild links)²⁴, das das Trinkwasser aus dem angrenzenden Grundwasserkörper OT2 gewinnt.</p>  <p>Die natürlichen Grundwasserflurabstände liegen in weiten Teilen des Magdeburger Stadtgebietes entsprechend seiner Lage in der Elbniederung bei nur wenigen Metern. In Jahren mit hohen Neubildungsraten ist es daher im Stadtgebiet vereinzelt, vor allem in der jüngeren Vergangenheit verstärkt zu Nässeschäden an Gebäuden gekommen. Als Reaktion darauf hat sich 2011 eine „Arbeitsgruppe Grundwasser“ gebildet, die bereits Risikogebiete (Karte rechts)²⁵ ausgewiesen und entsprechende Maßnahmen eruiert hat (FUGRO, 2012).</p>  <p>Der Neustädter See (MEL030W23-00), der Barleber See I (MEL030W21-00) und Barleber See II (MEL030W22-00) werden gänzlich vom Grundwasser gespeist, sind aber nicht natürlichen Ursprungs, sondern durch Auskiesung entstanden.</p>

²³ Europäische Wasserrahmenrichtlinie

²⁴ Quelle: http://www.wasser-twm.de/uploads/RTEmagicC_Altes_Werk_aussen_01.jpg.jpg

²⁵ Quelle: http://ratsinfo.magdeburg.de/vo0050.asp?__kvonr=214430

<p>Lokale Ziele für das Handlungsfeld</p>	<p>Erhalt des mengenmäßig und qualitativ hochwertigen Zustandes des Grundwasserkörpers EN1; nachhaltiges Grundwassermanagement gemäß WRRL.</p>
<p>Klimasensitivität des Handlungsfeldes</p>	<p>Die Grundwasserneubildung (G) erfolgt im Raum Magdeburg fast ausschließlich im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April). In einer vereinfachten Formel ist</p> $G = N - A_0 - E,$ <p>wobei</p> <p>A_0 = oberirdischer Abfluss, E = Evapotranspiration.</p> <p>Insofern ist die Niederschlagsentwicklung der zentrale Parameter für die Grundwasserneubildung. Angesichts des mengenmäßig guten Zustandes und der geringen Grundwasserflurabstände in Verbindung mit innerstädtischen Vernässungsgebieten scheint in Magdeburg vor allem eine Sensitivität gegenüber (temporär) sinkenden Grundwasserflurabständen zu bestehen, was durch steigende Niederschlagssummen im hydrologischen Winterhalbjahr verstärkt werden könnte. Diese Annahme ist jedoch genauer zu untersuchen.</p>
<p>Lokale Entwicklung klimatischer Leitindikatoren in der Vergangenheit</p>	<p>Der Anteil der Niederschlagssumme im hydrologischen Winterhalbjahr lag in der Vergangenheit (1947-2012) bei etwa 40 % (Spannweite 25 % bis 60 %). Es ist bisher kein Trend zu einer signifikanten Änderung dieses Anteils erkennbar (Diagramm rechts = Abbildung 23).</p> 
<p>Lokale Entwicklung klimatischer Leitparameter in der Zukunft</p>	<p>Die Wahrscheinlichkeit, dass das langjährige Mittel der Niederschlagssumme im hydrologischen Winterhalbjahr auch zukünftig konstant (± 10 %) bleiben wird, liegt bei 80-90 % (Diagramm rechts = Abbildung 24).</p> 
<p>Potentielle Klimafolgen / Schlussfolgerungen</p>	<p>Durch den Klimawandel ist nicht mit einer negativen Beeinflussung auf den mengenmäßig guten Zustand der Grundwasserkörper EN1, EN3, OT2 und OT4 zu rechnen.</p> <p>Auch eine Verschärfung der grundwasserbedingten Nässeschäden an Gebäuden ist nicht zu erwarten. Allerdings wird der Klimawandel diese</p>

	<p>Problemlage auch nicht entschärfen, so dass die durch das Umweltamt der Landeshauptstadt Magdeburg anvisierten Maßnahmen den Ergebnissen des Fachgutachtens nicht entgegen stehen.</p> <p>(Bezüglich der Neustädter Seen und der Barleber Seen I und II siehe Steckbrief „Urbane Fließ- und Stillgewässer“.)</p>
<p>Notwendige nächste Schritte / Maßnahmenansätze</p>	<p>Da die Parameter Ao und E bei der Klimafolgenabschätzung nicht berücksichtigt werden konnten, wird eine (ggf. modellgestützte) Überprüfung der Schlussfolgerungen angeraten.</p> <p>Allgemeine Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schadenspotenziale/Risikogebiete identifizieren, • Korrigieren von Fehlfunktionen. <p>Maßnahmenansätze für die grundwasserbedingte Vernässungsproblematik sind u. a. (vgl. auch FUGRO, 2012):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fang- und Ableitungsgräben, • Dränagen, • Entschlammungen von Gewässern, • Individuelle bauliche Maßnahmen an Gebäuden.
<p>Zentrale Akteure</p>	<p>Arbeitsgruppe Grundwasser der Landeshauptstadt Magdeburg (Landeshauptstadt Magdeburg, Eigenbetrieb Stadtgarten und Friedhöfe Magdeburg, Städtische Werke Magdeburg GmbH & Co. KG, Trinkwasserversorgung Magdeburg GmbH, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft, Unterhaltungsverbände Ehle/Ihle, Untere Ohre und Elbaue, Verein Haus und Grund Magdeburg e. V., Verband der Gartenfreunde Magdeburg e. V., Politik, Bürger, Fachgutachter, u. a.</p>

6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Fachgutachten hat gezeigt, dass in Magdeburg zukünftig mit einer signifikanten Änderung der Ausprägung von einigen temperatur- und niederschlagsabhängigen klimatischen Leitparameter bzw. Leitindikatoren gerechnet werden muss (Tabelle 6). Hieraus konnten mithilfe kommunaler Akteure Schlussfolgerungen über potentielle Klimafolgen und Klimaanpassungsbedarfe bzw. -optionen für die Bausteine „Bioklima“ und „Siedlungswasserwirtschaft“ abgeleitet und in Form von Steckbriefen akteursgerecht aufbereitet werden. Die mit dem Fachgutachten verknüpften Ziele konnten folglich erreicht werden.

Tabelle 6: vereinfachte Zusammenfassung der Ergebnisse der Expositionsanalyse

Leitindikator	Tendenz bis 2100	Eintrittswahrscheinlichkeit
Jahresdurchschnittstemperatur	Steigend	Sehr hoch
Auftrittshäufigkeit von Sommer- und Hitzetagen sowie Tropennächten	Steigend	Sehr hoch
Auftrittshäufigkeit von Tagen mit Hitzebelastung	Steigend	Sehr hoch
Jahresniederschlagssumme und -amplitude	Konstant	ca. 90 %
Innerjährliche Niederschlagsverteilung (meteorologische Jahreszeiten)	Konstant; Aber: relevante Wahrscheinlichkeiten auch zu anderen Entwicklungen vor allem im Sommer!	25-75 %
Innerjährliche Niederschlagsverteilung (hydrologische Halbjahre)	Konstant; Aber: relevante Wahrscheinlichkeiten auch zu anderen Entwicklungen vor allem im Sommerhalbjahr!	45-90 %
Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen	Keine eindeutige	Keine eindeutige
Intensität von Starkregenereignissen	Steigend	Hoch
Auftrittshäufigkeit von Trockenperioden	Keine eindeutige	Keine eindeutige
Dauer von Trockenperioden	Steigend	Hoch

Die Analyseergebnisse zeigen aber auch, dass insbesondere bei der Entwicklung der niederschlagsabhängigen Indikatoren noch relativ große Unsicherheiten bestehen. Zwar ist es elementarer Bestandteil des szenarienabhängigen kommunalen Klimaanpassungsmanagements, dass es Entscheidungen unter Sicherheit niemals geben wird und die lokale Klimaanpassung daher stets auch der Anwendung von Risikomanagementstrategien bedeutet. Je konkreter einzelne Handlungsfelder und deren Wechselbeziehungen aber analysiert werden können (z. B. mithilfe von Wirkmodellen und Fachgesprächen), desto hochwertiger lassen sich Abwägungsgrundlagen gestalten und desto nachhaltiger können Entscheidungen getroffen werden.

Es wird daher die Empfehlung ausgesprochen, zur weiteren Unterstützung der jeweiligen Entscheidungsträger die in den Steckbriefen benannten Handlungsfelder einer detaillierteren Untersuchung zu unterziehen. Für den Baustein „Bioklima“ liegen durch die Klimaanalyse und dieses Fachgutachten bereits so gute Basisinformationen vor, dass auf Stadtquartiersebene individualisierte Maßnahmenportfolios ausgearbeitet werden könnten. Für den Baustein „Siedlungswasserwirtschaft“ existiert dank des Fachgutachtens ein umfassender Problemabriss, den es zunächst gilt, modellgestützt räumlich-inhaltlich zu konkretisieren und anschließend ggf. Maßnahmen zu entwickeln.

Der Klimaanpassungsprozess in der Landeshauptstadt Magdeburg sollte also mit der Fertigstellung des Fachgutachtens keinesfalls abgeschlossen sein. Dieses gilt umso mehr als das mit der „Siedlungswasserwirtschaft“ und dem „Bioklima“ bisher lediglich einige der insgesamt 16 in der sachsen-anhaltischen Klimaanpassungsstrategie benannten - potentiell auch für Magdeburg relevanten - Handlungsfelder intensiv thematisiert worden sind (vgl. Tabelle 7). Insofern erscheint es dringend angeraten, ein integriertes Klimaanpassungskonzept der Landeshauptstadt Magdeburg zu erstellen, in dem alle Handlungsfelder und auch deren Wechselwirkungen in angemessener Detailtiefe behandelt werden.

Tabelle 7: Im hiesigen Fachgutachten Klimawandel thematisierte klimasensitive Handlungsfelder (nach MLU 2012)

Handlungsfeld	Im Fachgutachten vollumfänglich behandelt	Im Fachgutachten intensiv behandelt	Im Fachgutachten marginal behandelt
Menschliche Gesundheit		X	
Wasser		X	
Boden			
Landwirtschaft			
Weinbau			
Forstwirtschaft			
Fischerei			
Naturschutz			X
Regionale Wirtschaft			
Tourismus			
Energiewirtschaft			X
Landes- und Regionalplanung			
Bauwesen			X
Verkehr			
Bevölkerungsschutz			
Bildung			

Die bundes- und europapolitische Förderlandschaft zur Realisierung derartiger Projekte ist für die kommunale Ebene gegenwärtig als äußerst günstig zu bezeichnen. Auf Bundesebene können konzeptionelle Ansätze über Mittel aus der Klimaschutzinitiative gefördert werden. Konkret bestehen zwei Möglichkeiten:

- Förderung als **Klimaschutzteilkonzept** „Anpassung an den Klimawandel“; i. d. R. einjähriges Projekt mit einer Förderquote von 50 % der Gesamtkosten.
- Förderung als kommunales Leuchtturmvorhaben „**Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel**“; i. d. R. dreijähriges Vorhaben mit einer maximalen Fördersumme von 300.000 € bei einer Eigenbeteiligung von 35 % (zu leisten durch interne Sach- und Personalausgaben).

Darüber hinaus hat die EU im Rahmen ihrer im Juni 2013 erschienenen, überarbeiteten Klimaanpassungsstrategie angekündigt, kurzfristig Gelder aus dem EU-Haushalt für die Klimaanpassung in Ballungsräumen zur Verfügung zu stellen. Ein auf der Basis dieses Fachgutachtens zielgerichtet entwickeltes ganzheitliches Konzept hat also bereits in absehbaren Zeiträumen gute Aussicht auf eine nicht unwesentliche Förderung seitens des Bundes oder der EU.

Die Zeit zwischen einer etwaigen Projektentwicklung, -beantragung und -bewilligung sollte in der Landeshauptstadt Magdeburg genutzt werden, um das initiierte Akteursnetzwerk zu verfestigen und weiter auszubauen. Zur Vertiefung des Bausteines „Siedlungswasserwirtschaft“ erscheint es angeraten u. a. auch die AG Grundwasser, die Trinkwasserversorgung Magdeburg GmbH (TWM) sowie ein hydro(geo)logisches Ingenieurbüro in das Netzwerk zu integrieren.

Tabelle 8: Empfehlungen für den weiteren kurz- bis mittelfristigen Klimaanpassungsprozess in der Landeshauptstadt Magdeburg

- **Im Baustein „Bioklima“: stadtquartiersindividuelle Maßnahmenportfolios entwickeln und umsetzen.**
- **Im Baustein „Siedlungswasserwirtschaft“: bisherige Erkenntnisse modellgestützt räumlich-inhaltlich konkretisieren.**
- **Weitere klimasensitive, lokal relevante Handlungsfelder umfassend analysieren.**
- **Akteursnetzwerk verfestigen und erweitern.**
- **Integriertes Klimaanpassungskonzept der Landeshauptstadt Magdeburg entwickeln.**

Quellenverzeichnis

- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Kabinettsbeschluss vom 17.12.2008.
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf
- Bundesregierung (2011): Aktionsplanung Anpassung der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Kabinettsbeschluss vom 31.08.2011.
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf
- DWD (= Deutscher Wetterdienst) (2013): Wetterlexikon. Stichwort: Trockenperiode.
<http://www.dwd.de/lexikon>
- Fanger, P. O. (1972): Thermal Comfort, Analysis und Application in Environment Engineering. New York: McGraw Hill.
- FUGRO Consult GmbH (2012): Studie zur Grundwassersituation im westelbischen Raum der Landeshauptstadt Magdeburg. Behördeninternes Dokument.
- GEO-NET Umweltconsulting GmbH (2013): Klimafunktionskarte, Planungshinweiskarte Klima/Luft, Bericht (Bestandteil der Klimaanalyse Magdeburg). Behördeninternes Dokument.
- IPCC (= Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios: A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (= Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- MLU (= Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt) (2012): Überarbeitung der Strategie des Landes Sachsen-Anhalt zur Anpassung an den Klimawandel.
<http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=37906>
- MLU (= Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt) (2012): Klimawandel in Sachsen-Anhalt – Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels.
<http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=37906>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. A., 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. und Wilbanks, T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: Nature, 463, 747-754.

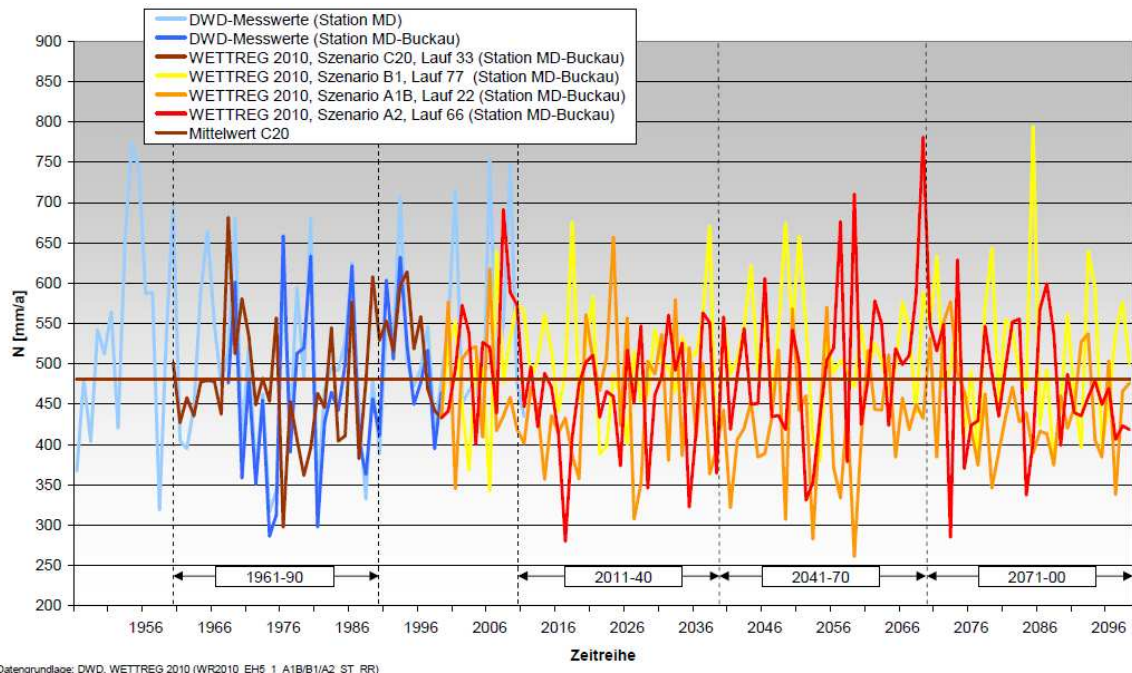
MUNLV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2011): Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel.

http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/handbuch_stadtklima.pdf

VDI (= Verband Deutscher Ingenieure) (2008): Richtlinie 3787, Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.

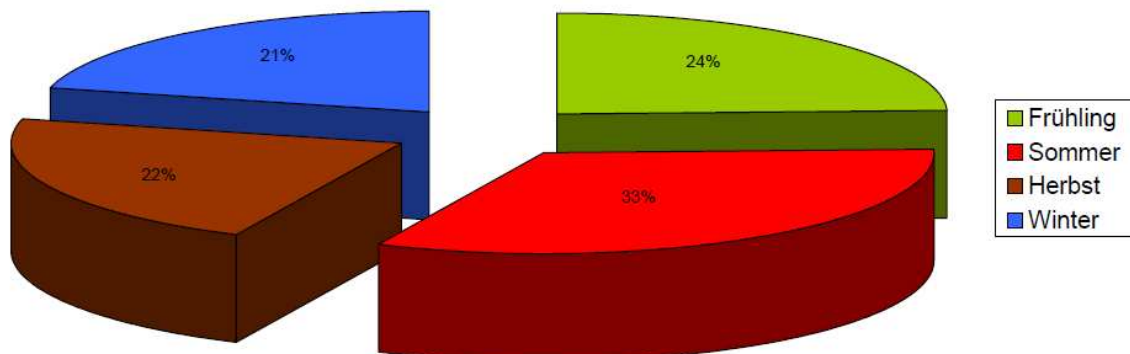
Anhang

Anhang 1, Abb. 1: Jahresniederschlagssumme in Magdeburg – Vergangenheit und Zukunftsszenarien (etwa 1950 bis 2100)

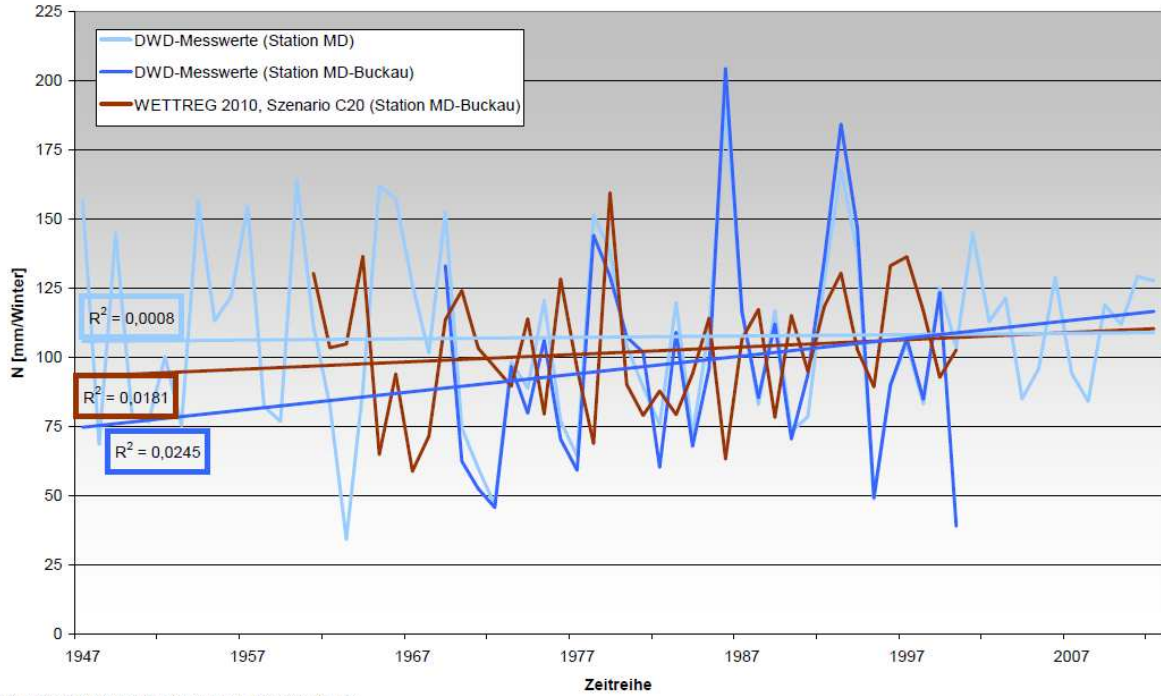


Hinweis: dargestellt sind jeweils die Modellläufe, die dem Mittelwert aller 10 Läufe des Szenarios am ähnlichsten sind

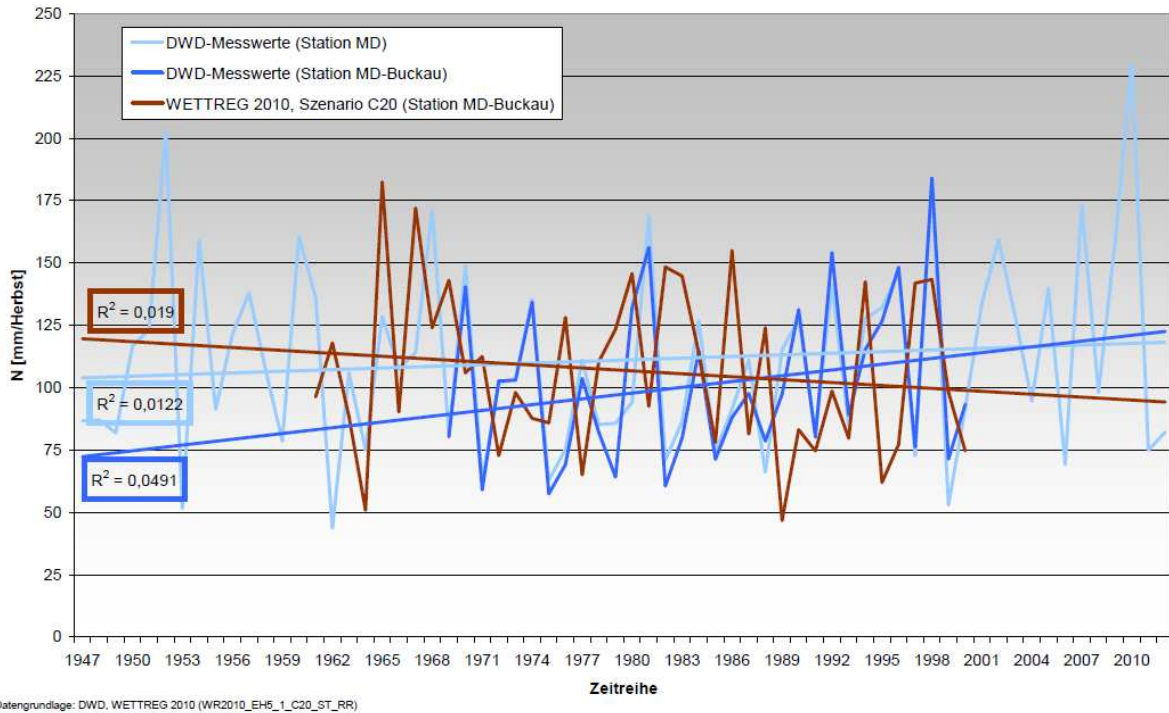
Anhang 1, Abb. 2: Langjähriges Mittel der prozentualen Anteile der Niederschlagssumme in den meteorologischen Jahreszeiten am Jahresniederschlag an der Station MD-Buckau zwischen 1969 und 1998



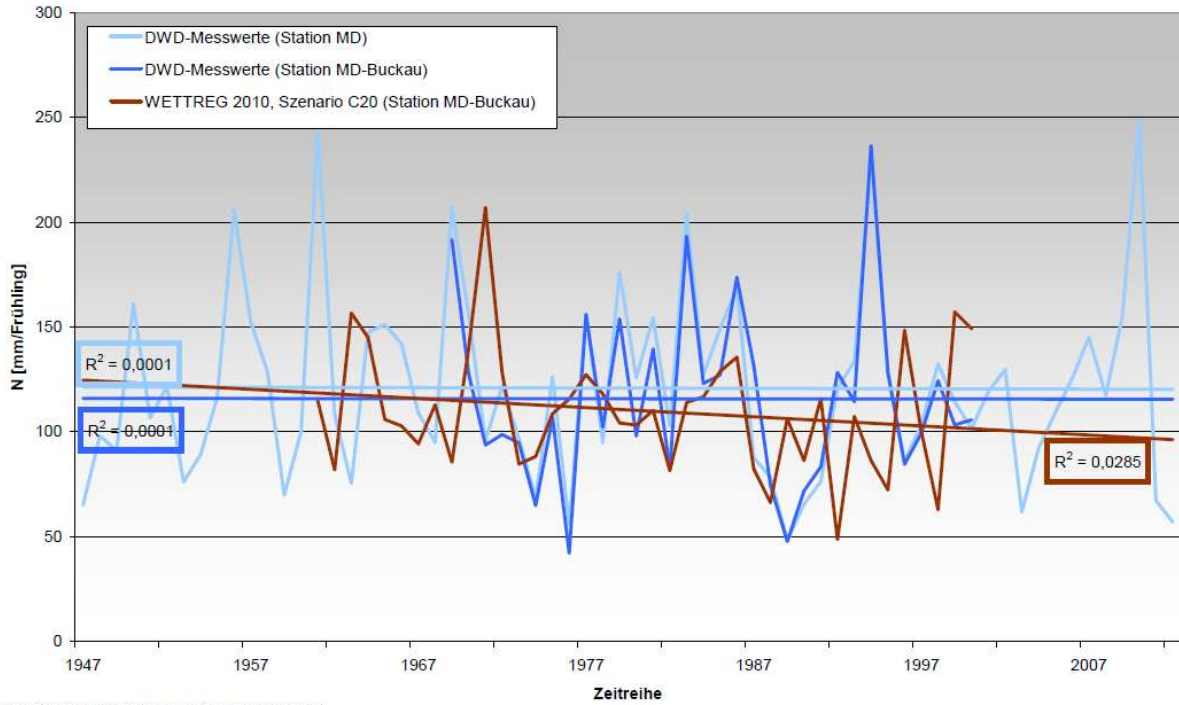
Anhang 1, Abb. 3: Jährliche Niederschlagssumme im meteorologischen Winter (Dezember/Januar/Februar) in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



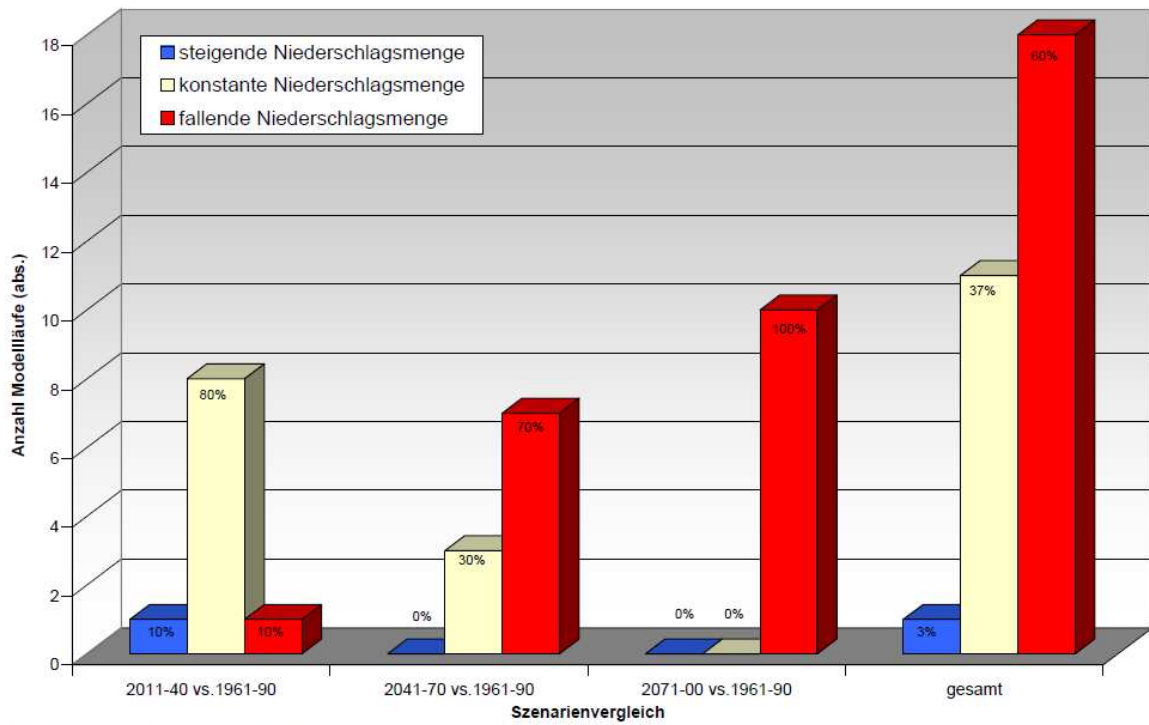
Anhang 1, Abb. 4: Jährliche Niederschlagssumme im meteorologischen Herbst (September/Okttober/November) in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



Anhang 1, Abb. 5: Jährliche Niederschlagssumme im meteorologischen Frühling (März/April/Mai) in Magdeburg zwischen 1947 und 2012



Anhang 1, Abb. 6: zukünftige Entwicklung der Niederschlagsmenge im meteorologischen Sommer (Juni/Juli/August) entsprechend A1B-Szenario und ihre Unsicherheiten



Anhang 1, Tab. 1: Streuungsmaße zur Beurteilung der Aussagequalität zur zukünftigen Entwicklung der Jahresniederschlagssumme

	Station MD 1961-90 (DWD)	Station MD- Buckau 1969-98 (DWD)	Station MD- Buckau 1961-90 (WETTREG)	Bewertung
Mean [mm/a]	494	471	481	↑
Min [mm/a]	316	287	298	↑
Max [mm/a]	696	659	735	↘
Spannweite [mm]	380	409	437	→
Gesamtbewertung	↗ (gut)			

Anhang 1, Tab. 2: Streuungsmaße zur Beurteilung der Aussagequalität zur zukünftigen Entwicklung des Anteils von Tagesniederschlagssummen an der Jahresniederschlagssumme

	Station MD 1961-90 (DWD)	Station MD- Buckau 1969-98 (DWD)	Station MD- Buckau 1961-90 (WETTREG)	Bewertung
Mean [%]	32	30	38	→
Min [%]	21	21	23	↑
Max [%]	45	44	56	↘
Spannweite [%]	24	23	33	↘
Gesamtbewertung	→ (befriedigend)			

Anhang 1, Tab. 3: Streuungsmaße zur Beurteilung der Aussagequalität zur zukünftigen Entwicklung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung (Jahreszeiten)

	Station MD 1961-90 (DWD)	Station MD- Buckau 1969-98 (DWD)	Station MD- Buckau 1961-90 (WETTREG)	Bewertung
Mean [mm/Frühling]	125	117	113	↗
Mean [mm/Sommer]	161	155	157	↑
Mean [mm/Herbst]	102	103	107	↑
Mean [mm/Winter]	103	100	104	↑
Min [mm/Frühling]	48	42	35	↗
Min [mm/Sommer]	76	80	80	↑
Min [mm/Herbst]	44	57	30	↓

Min [mm/Winter]	34	46	46	↑
Max [mm/Frühling]	243	237	207	↘
Max [mm/Sommer]	275	316	298	↗
Max [mm/Herbst]	171	184	241	↓
Max [mm/Winter]	192	204	204	↑
Spannweite – Fr[mm]	195	194	172	↘
Spannweite – So[mm]	199	236	218	↗
Spannweite– He[mm]	127	127	211	↓
Spannweite – Wi[mm]	158	158	158	↑
Gesamtbewertung	↗ (gut)			

Anhang 1, Tab. 4: Streuungsmaße zur Beurteilung der Aussagequalität zur zukünftigen Entwicklung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung (hydrologische Halbjahre)

	Station MD 1961-90 (DWD)	Station MD- Buckau 1969-98 (DWD)	Station MD- Buckau 1961-90 (WETTREG)	Bewertung
Mean [mm/HyWi]	216	202	212	↗
Mean [mm/HySo]	273	267	269	↑
Min [mm/HyWi]	113	113	112	↑
Min [mm/HySo]	154	154	148	↑
Max [mm/HyWi]	315	344	343	↑
Max [mm/HySo]	411	427	467	→
Spannweite [mm/HyWi]	202	231	231	↑
Spannweite [mm/HySo]	257	273	319	↘
Gesamtbewertung	↗ (gut)			

Anhang 1, Tab. 5: Streuungsmaße zur Beurteilung der Aussagequalität zur zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen

	Station MD 1961-90 (DWD)	Station MD- Buckau 1969-98 (DWD)	Station MD- Buckau 1961-90 (WETTREG)	Bewertung
Anzahl >50 mm/d [absolut]	4	4	4	↑
Maximale Intensität Einzelereignis [mm/d]	65	115	116	↑
Minimale Intensität Einzelereignis [mm/d]	13	16	14	↑

Gesamtbewertung	↑ (sehr gut)
------------------------	--------------

Anhang 1, Tab. 6: Streuungsmaße zur Beurteilung der Aussagequalität zur zukünftigen Entwicklung der Auftretshäufigkeit und Dauer von Trockenperioden

	Station MD 1961-90 (DWD)	Station MD- Buckau 1969-98 (DWD)	Station MD- Buckau 1961-90 (WETTREG)	Bewertung
Anzahl Trockenperioden [absolut]	8	5	2,4	↘
Maximale Dauer Einzelereignis [d]	27	29	32	↗
Minimale Dauer Einzelereignis [d]	8	11	7	→
Gesamtbewertung	→ (befriedigend)			