



Handbuch Stadtklima

Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel

Langfassung





Regionalverband Ruhr

Handbuch Stadtklima

Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel

Langfassung

Ein Projekt des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Auftragnehmer:

Regionalverband Ruhr

Dr. Monika Steinrücke (Projektleitung)
Astrid Snowdon

Projektpartner:

Abt. Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr. Wilhelm Kuttler
Dr. Dirk Düttemeyer
Dr. Andreas-Bent Barlag

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW e.V.)

Dipl.-Ing. Jens Hasse

Deutsches Institut für Urbanistik

Dipl.-Ing. Cornelia Rösler
Dipl.-Ing. Vera Lorke

Essen, 2010

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1. Einführung und Grundlagen	3
1.1 Die Ausgangssituation im Untersuchungsraum	3
1.1.1 Ballungsraum Ruhrgebiet	3
1.1.2 Siedlungs- und Stadtstrukturen	5
1.1.3 Demographischer Wandel	7
1.1.4 Luftreinhaltung	13
1.1.5 Belastungssituation für Lärm	21
1.1.6 Die wasserwirtschaftliche Situation des Ruhrgebiets	23
1.2 Grundlagen der Stadtklimatologie	27
1.2.1 Merkmale des Stadtklimas	27
1.2.2 Angewandte Stadtklimatologie	33
1.2.3 Rechtliche Grundlagen und Bewertungsmaßstäbe	40
1.2.4 Handlungsfelder der Stadtklimatologie	42
1.3 Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft	44
1.3.1 Gewinnung von Trinkwasser	45
1.3.2 Wasseraufbereitung und Wasserversorgung	46
1.3.3 Abwassererzeugung und –ableitung, Niederschlagswassermanagement	47
1.4 Globaler und regionaler Klimawandel	51
1.4.1 Der globale Klimawandel	51
1.4.2 Regionale Klimamodellierung für das Ruhrgebiet	57

2.	Informationsgewinnung und Datenbasis	65
2.1	Methoden der Informationsgewinnung	65
2.1.1	Untersuchungskonzepte	66
2.1.2	Auswertung vorhandener Daten und Unterlagen	67
2.1.3	Analytische Untersuchungsmethoden	69
2.1.3.1	Geländemessungen	69
2.1.3.2	Fernerkundungsverfahren	74
2.1.3.3	Modellsimulationen	76
2.1.3.4	Phänologie und Bioindikation	77
2.1.4	Bewertung und Darstellung umweltmeteorologischer Sachverhalte	77
2.2	Datenbasis der Klimainformationen im Ruhrgebiet	79
2.2.1	Allgemein verfügbare Datenbasis	79
2.2.1.1	Kleinmaßstäbige Fachinformationen	79
2.2.1.2	Großmaßstäbige Fachinformationen	84
2.2.1.3	Messnetze und Datenquellen	89
2.2.2	Klimaatlas Ruhrgebiet	96
2.2.2.1	Klimagutachten im Ruhrgebiet	96
2.2.2.2	Die regionale Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet	98
2.2.2.3	Der internetbasierte Klimaatlas Ruhrgebiet	107
2.2.3	Informationsquellen und Datenbasis für die Siedlungswasserwirtschaft	108
2.2.3.1	Bemessung kommunaler Entwässerungssysteme	109
2.2.3.2	Weitere Informationsquellen und Daten aus dem Bereich der Wasserwirtschaft und der Siedlungsentwässerung	112
2.2.3.3	Datenquellen zu extremen Wetterereignissen mit Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft	116

3. Erkennen von Problemen und Identifikation von Problemgebieten	123
3.1 Definition von Problemfeldern	123
3.1.1 Problemfeld der städtischen Wärmeinsel	123
3.1.2 Problemfeld des städtischen Windfeldes	124
3.1.3 Problemfeld des städtischen Niederschlages	126
3.1.4 Problemfeld der städtischen Luftfeuchtigkeitsverhältnisse	127
3.1.5 Problemfeld der städtischen Luftqualität	129
3.2 Folgen des Klimawandels in den Problemfeldern	131
3.2.1 Hitzebelastung	131
3.2.2 Verändertes Niederschlagsverhalten	136
3.2.3 Trockenperioden	140
3.3 Identifikation von Problemgebieten im Ruhrgebiet	142
3.3.1 Problemgebiete mit erhöhter klimatischer Belastung für den Menschen	142
3.3.1.1 Methode zur Abgrenzung der Problemgebiete	143
3.3.1.2 Lokalisierung und Bewertung der Problemgebiete	147
3.3.2 Problemgebiete im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft	149
3.3.2.1 Problemgebiete bei Auftreten von Stark- und Extremniederschlägen	149
3.3.2.2 Hitze und Trockenheit	154

4.	Aufzeigen von Lösungsmöglichkeiten	155
4.1	Handlungskataloge und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel	155
4.1.1	Methodik	155
4.1.2	Handlungskataloge zur Hitzebelastung	158
4.1.3	Handlungskatalog zu Extremniederschlägen	191
4.1.4	Handlungskatalog zu Trockenperioden	209
4.2	Empfehlungen für die Stadtplanung	211
4.2.1	Formelle und informelle Planungsinstrumente	214
4.2.2	Zusammenarbeitsstrukturen	221
4.2.3	Hemmnisse und Synergieeffekte	223
4.3	Zielkonflikte und Synergien von Maßnahmen	225
4.3.1	Zielkonflikte	225
4.3.1	Synergien	227
5.	Ergebnisse aus den Werkstätten und Telefoninterviews	229
5.1	Werkstatt in der Modellstadt Bottrop	231
5.1.1	Ablauf und Ergebnisse der Werkstatt in Bottrop	231
5.1.2	Lokalisierung von Problemgebieten mit erhöhter klimatischer Belastung in Bottrop	235
5.1.3	Mikroskalige beispielhafte Modellberechnungen für Bottrop	236
5.2	Werkstatt in der Modellstadt Dortmund	239
5.2.1	Ablauf und Ergebnisse der Werkstatt in Dortmund	239
5.2.2	Lokalisierung von Problemgebieten mit erhöhter klimatischer Belastung in Dortmund	244
5.2.3	Mikroskalige beispielhafte Modellberechnungen für Dortmund	245
5.3	Telefonische Befragung weiterer Kommunen	249
	Literaturverzeichnis	257

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1	Städte und Gemeinden sowie Flächennutzungen im Ruhrgebiet (RVR 2005)	3
Abb. 1-2	Naturräumliche Gliederung des Ruhrgebietes (RVR 2005)	4
Abb. 1-3	Emscher Landschaftspark mit den sieben regionalen Grünzügen (Quelle: RVR)	5
Abb. 1-4	Umgestaltung der ehemaligen Zeche Erin (1983/4 stillgelegt) in Castrop-Rauxel in einen Technologie- und Gewerbepark (Quelle: RVR)	6
Abb. 1-5	Bevölkerungsentwicklung im Ruhrgebiet 1995 bis 2006 (Beckord 2008)	7
Abb. 1-6	Entwicklung der Bevölkerungszahl im Ruhrgebiet bis 2025 (Beckord 2008)	10
Abb. 1-7	Alterspyramide für Dortmund (oben) und Bottrop (unten) für die Jahre 2006 und 2025 (Bertelsmann Stiftung 2008)	12
Abb. 1-8	Langjährige Entwicklungen für Feinstaub (PM ₁₀)-Konzentrationen für das Ruhrgebiet (Flächenmittel) auf Basis von LUQS-Stationsmessungen Ruhrgebiet (Datenquelle: LANUV 2009a)	13
Abb. 1-9	Langjährige Entwicklungen ausgewählter Spurenstoffkomponenten für das Ruhrgebiet (Flächenmittel und Verkehrsflächen) und Waldstationen auf Basis von LUQS-Stationsmessungen (Datenquelle: LANUV 2010).	14
Abb. 1-10	Immissionsbelastung durch Stickoxide (NO _x) im Ruhrgebiet (Hintergrundbelastung ohne den lokalen Straßenverkehr) für das Jahr 2004 (RP Düsseldorf 2008)	16
Abb. 1-11	Ampelkarte für NO ₂ im Ruhrgebiet (LANUV 2008a).	17
Abb. 1-12	Immissionsbelastung durch Feinstaub (PM ₁₀) im Ruhrgebiet ohne den lokalen Straßenverkehr für das Jahr 2004 (RP Düsseldorf 2008)	18
Abb. 1-13	Karte der Umweltzonen im Ruhrgebiet, Stand: 01.10.2008 (LANUV 2009b)	20
Abb. 1-14	Beispiele von Lärmbelastungskarten für den Straßenverkehr (24h und nachts) sowie für Fluglärm (24h) am Beispiel der Stadt Dortmund (LANUV/MUNLV 2009)	22
Abb. 1-15	Schematische Darstellung des Systemverbunds Lippe – Westdeutsche Kanäle (WWK 1994)	24
Abb. 1-16	Das Talsperrensystem des Ruhrverbands und die wesentlichen Wasserüberleitungen der Ruhr-Wasserwerke (Ruhrverband 2009)	25
Abb. 1-17	Strahlungs nächtliche Wärmeinsel der Stadt Bottrop, dargestellt als Isanomalien der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. während austauscharmer, wolkenloser Nächte (RVR 2006)	29
Abb. 1-18	Maximale Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für Städte in NRW (Messdaten des RVR und der Abt. Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Universität Duisburg-Essen)	29
Abb. 1-19	Isoplethendiagramm der städtischen Wärmeinselintensität ΔT in Bochum für den Messzeitraum Okt. 06 bis Okt. 07 auf Basis von 8784 Stundenmittelwerten (Kuttler et al. 2008)	30
Abb. 1-20	Modifikationen des Windfeldes durch Bebauung (Gandemer 1977, verändert)	31
Abb. 1-21	Relative Anteile der Quellen an den Kohlendioxidemissionen in Deutschland für 2006 (nach Daten aus UBA 2008)	33
Abb. 1-22	Jahreszeitliche Verteilung der Stunden mit mindestens mäßiger Wärmebelastung (PMV > 1,5; siehe auch Tab. 1-4) in der Innenstadt und im Umland der Stadt Bochum für den Messzeitraum Okt. 06 bis Okt. 07 auf Stundenmittelwertbasis (Kuttler et al. 2008)	36
Abb. 1-23	Relative Anteile der Quellen an den Gesamtemissionen wichtiger primärer Spurenstoffe in Deutschland für 2006 (nach Daten aus UBA 2008)	37
Abb. 1-24	Beispiel der Stadt-Umland-Unterschiede der Spurenstoffbelastung anhand der Jahresmittelwerte der PM ₁₀ - und NO ₂ -Immissionskonzentrationen im Ruhrgebiet (Gebietsmittel und Verkehrsflächen) und im Umland (Reinluft-Waldgebiete) für das Jahr 2007 (Datenquelle: LUQS-Daten, LANUV 2009a)	38

Abb. 1-25	Teilbereiche und Elemente der Siedlungswasserwirtschaft (Eigene Darstellung FiW)	44
Abb. 1-26	Siedlungswasserwirtschaftliche und andere Einflussfaktoren mit Auswirkungen auf den Abwasseranfall und die Abwasserbehandlung	48
Abb. 1-27	Beispielhafte Darstellung verschiedener siedlungswasserwirtschaftlicher Einflussfaktoren auf die Niederschlagswasserabflüsse und nachfolgenden Entwässerungseinrichtungen	49
Abb. 1-28	Entwicklung der CO ₂ -Konzentration während des letzten Jahrtausends (nach Schönwiese 2000, aus Kuttler 2009)	51
Abb. 1-29	Beobachtete Abweichung der Globaltemperatur von der Referenzperiode 1961-1990 seit 1860 in Abhängigkeit vom Treibhauseffekt, der Wirkung von Sulfataerosol und der kombinierenden Wirkung von Treibhaus- und Sulfateffekt auf die Lufttemperatur (nach Walter & Schönwiese 2002, aus Kuttler 2009)	52
Abb. 1-30	Gemessene und prognostizierte globale atmosphärische Kohlendioxidemissionen in Gigatonnen Kohlenstoff für den Zeitraum 1990- 2100 (Paeth 2007)	55
Abb. 1-31	Anomalien der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur im Zeitraum 1990 – 2100 gegenüber der Referenzperiode 1980 bis 1999 (IPCC 2007)	55
Abb. 1-32	Projizierte Änderungen der bodennahen Lufttemperaturen für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Zeitraum 1980–1999 als Ergebnis von Multimodell-Mittel-Projektionen für das A1B-Szenario, gemittelt über die Jahrzehnte 2020–2029 und 2090–2099 (IPCC 2007)	56
Abb. 1-33	Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999 als Ergebnis von Multimodell-Mittel-Projektionen für das A1B-Szenario Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Weiße Flächen: Bisher keine plausiblen Aussagen erhältlich (IPCC 2007)	56
Abb. 1-34	Differenz des Jahresmittels der Lufttemperatur in K zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- / Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)	59
Abb. 1-35	Differenz der mittleren maximalen Lufttemperatur in K für die Sommermonate Juni bis August (JJA) zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- und Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)	60
Abb. 1-36	Differenz der Jahressumme des Niederschlages in Prozent zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- / Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)	61
Abb. 1-37	Relative Differenz der Summe des Niederschlages in Prozent für die Sommermonate Juni - August zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- und Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)	62
Abb. 1-38	Relative Differenz der Summe des Niederschlages in Prozent für die Wintermonate Dezember - Februar zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- und Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)	63
Abb. 2-1	Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden (nach VDI RL 3787, Bl. 9, verändert)	67
Abb. 2-2	Klimastation zur Erfassung von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und – geschwindigkeit sowie verschiedenen Energiebilanzglieder in unterschiedlichen Messhöhen an der Albert Kratzer Klimastation der Universität Duisburg-Essen in Essen (Foto: Kuttler)	70
Abb. 2-3	Mobiles meteorologisch-lufthygienischer Messlabor der Abteilung Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen. Messgrößen: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Luftdruck, UV- und Globalstrahlung, NO, NO ₂ , CO ₂ , O ₃ , VOC, PM _x (Foto: Ptak/Nekes)	71

Abb. 2-4	Fesselballonsonde zur klimatologischen Untersuchung der vertikalen Struktur der bodennahen Atmosphäre (Foto: Düttemeyer)	72
Abb. 2-5	Visualisierung der Kaltluftausbreitung mit Hilfe von Raucherzeugern. Man beachte die in der linken Bildhälfte erkennbare gegenläufige Ausgleichsströmung an der Oberseite der dickeren unteren Rauchfahne (Foto: Kuttler)	73
Abb. 2-6	Nachweisgebiet des Tracers Schwefelhexafluorid (SF ₆) während einer strahlungs-nächtlichen Kaltluftausbreitungskampagne in Gelsenkirchen (Nacht vom 4./5.09.2003) (Düttemeyer et al. 2004)	74
Abb. 2-7	Optische Fernerkundungssysteme DOAS (auf dem Fahrzeug) und FTIR (neben dem Fahrzeug) zur wegstreckenintegrierten Erfassung lufthygienischer Komponenten (Foto: Lamp)	75
Abb. 2-8	Thermalbild (Nachtsituation) der Ruhr-Universität Bochum und Umgebung (Quelle: RVR)	75
Abb. 2-9	Beispielerggebnisse der numerischen Simulation des Windfeldes u (links), des Temperaturfeldes T (Mitte) und des thermischen Behaglichkeitsfeldes PMV (rechts) für ein horizontales 2-Meter-Raster in 2 m ü. Gr. um 16 Uhr Ortszeit in einer urbanen Flächennutzungsstruktur (Quelle: Düttemeyer)	76
Abb. 2-10	Beispiel einer Synthetischen Klimafunktionskarte (Klimaanalyse Stadt Moers, RVR 2006b)	78
Abb. 2-11	Kartographische Darstellung des mittleren jährlichen Tagesmittels der Lufttemperatur im Klimaatlas Nordrhein-Westfalen (MURL NRW 1989, verändert)	80
Abb. 2-12	Kartographische Darstellung der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe im Klimaatlas Nordrhein-Westfalen (MURL NRW 1989, verändert)	81
Abb. 2-13	Auszug aus der Bioklimakarte Deutschland (Jendritzky et al 2003, verändert)	83
Abb. 2-14	Ausschnitt aus dem Emissionskataster NRW 2004 mit PM ₁₀ -Emissionen links: für das 4 km x 4 km Raster, rechts: für Gemeinden (LANUV NRW 2009, verändert)	84
Abb. 2-15	Beispiel einer Ampelkarte für Feinstaub, dargestellt für die Stadt Bottrop (LANUV NRW 2008)	85
Abb. 2-16	Beispiel einer Umweltzonenkarte, dargestellt für die Stadt Bottrop (LANUV NRW 2008)	86
Abb. 2-17	Lage von Klima- und Niederschlagsmessstationen des DWD-Messnetzes, Stationsnummern siehe Tabelle 2-5	90
Abb. 2-18	Meteomedia-Messnetz. (Meteomedia AG 2009, verändert)	91
Abb. 2-19	Lage von Klimastationen der Emschergenossenschaft/Lippeverband, Stationsnummern siehe Tabelle 2-7 (EG/LV 2009, verändert)	92
Abb. 2-20	Lage und Typisierung der LUQS-Stationen des LANUV NRW im Ruhrgebiet (weißes Gebiet) in 2009 (Quelle: LANUV NRW, verändert)	95
Abb. 2-21	Übersicht der Klimagutachten im Ruhrgebiet (Quelle: RVR)	96
Abb. 2-22	Ausschnitt aus einer Planungshinweiskarte (Quelle: RVR)	97
Abb. 2-23	Klimatopkarte des Ruhrgebietes (Quelle: RVR)	98
Abb. 2-24	Ausschnitt aus der Synthetischen Klimafunktionskarte Ruhrgebiet: Spezifische Klimaeigenschaften und spezielle Klimafunktionen (Quelle: RVR)	103
Abb. 2-25	Ausschnitt aus der Synthetischen Klimafunktionskarte Ruhrgebiet: Luftaustausch (Quelle: RVR)	106
Abb. 2-26	Ausschnitt aus dem Klimaatlas Ruhrgebiet (Quelle: RVR)	108
Abb. 2-27	Regelungen der Gebäude-, Grundstücks- und Siedlungsentwässerung (Eigene Darstellung nach URBAS 2008)	109
Abb. 2-28	Beispiel für typische Flurabstände im Emschergebiet (Quelle: EG/LV)	113
Abb. 2-29	Beispiel für langfristiges Abkopplungspotenzial im Emschergebiet (Quelle: EG/LV)	114

Abb. 2-30	Auswirkungen extremer Wetterereignissen auf die siedlungswasserwirtschaftliche Infrastruktur in Deutschland (Eigene Darstellung FiW)	116
Abb. 3-1	Jahresdurchschnittstemperatur in Abhängigkeit von dem Versiegelungsgrad eines Standortes am Beispiel der Stadt Bottrop (Daten: RVR)	124
Abb. 3-2	Einfluss der Bebauung auf die vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung (nach Plate 1995, verändert)	125
Abb. 3-3	Schematisches Profil der Lufttemperatur und der Belüftung über dem Freiland und über einer Stadt in Tallage während einer Strahlungsnacht (VDI 1988, verändert)	126
Abb. 3-4	Verteilung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) in Abhängigkeit der Lufttemperatur t und der relativen Luftfeuchtigkeit rF (Eigene Darstellung Kuttler)	128
Abb. 3-5	Räumliche Differenzierung der Immissionssituation (schematisch) (Entwurf: Düttemeyer)	129
Abb. 3-6	Häufigkeitsverteilungen der Tagesmaxima der Lufttemperaturen in der Bochumer Innenstadt für 3 verschiedene Dekaden (Daten der Ludger-Mintrop-Stadtklimastation des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum)	132
Abb. 3-7	Tägliche Todesfälle pro Million Menschen im Alter von 65-74 Jahren in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur in drei unterschiedlichen europäischen Klimazonen (Hassi & Rytkönen 2005)	133
Abb. 3-8	Anzahl von Tropennächten pro Jahr in Bochum im Zeitraum 1912 bis 2008 (Daten der Ludger-Mintrop-Stadtklimastation des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum)	134
Abb. 3-9	Direkte und indirekte Auswirkungen von extremen Hitzeperioden auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft besonders in Nordrhein-Westfalen (Eigene Darstellung FiW)	135
Abb. 3-10	Häufigkeitsverteilungen der Tagessummen des Niederschlags in der Bochumer Innenstadt für die Zeiträume 1011-1940 und 1971-2000 (Daten der Ludger-Mintrop-Stadtklimastation des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum)	137
Abb. 3-11	Direkte und indirekte Auswirkungen von extremen Regenfällen auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft besonders in Nordrhein-Westfalen (Eigene Darstellung FiW)	138
Abb. 3-12	Direkte und indirekte Auswirkungen von extremen Trockenzeiten auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft besonders in Nordrhein-Westfalen (Eigene Darstellung FiW)	141
Abb. 3-13	Lage der Innenstadt- und Stadtklimatope (ab 1 km ² Flächengröße) im Ruhrgebiet	143
Abb. 3-14	Einwohnerdichte im Ruhrgebiet (Datenquelle: infas GEOdaten, Stand 2007)	144
Abb. 3-15	Prozentualer Anteil der Einwohner über 65 Jahre (Datenquelle: infas GEOdaten, Stand 2007)	145
Abb. 3-16	Verschneidung der Innenstadt- und Stadtklimatope mit der Einwohnerdichte	146
Abb. 3-17	Verschneidung der Innenstadt- und Stadtklimatope mit dem prozentualen Anteil der Einwohner über 65 Jahre	146
Abb. 3-18	rechts: Problemgebiete mit Anfälligkeitsstufen (Legende siehe Abb. 3-19) links: Lage der Innenstadt- (rot) und Stadtklimatope (orange) am Beispiel Bochum	147
Abb. 3-19	Karte der Problemgebiete der Hitzebelastung im Ruhrgebiet	148
Abb. 3-20	Zusammenwirken der verschiedenen Abflussprozesse im kommunalen Raum (Mark et al. 2004)	149
Abb. 3-21	Auswirkungen von Sturzfluten infolge von Extremniederschlägen (Hatzfeld 2009)	150
Abb. 3-22	Poldergebiete in den Verbandsgebieten von Emschergenossenschaft und Lippeverband (Quelle: EG/LV)	151
Abb. 4-1	Vorgehensweise für die Recherche der Klimaanpassungsoptionen für urban geprägte Siedlungsgebiete und deren Zuordnung zu klimabezogenen Belastungen und Folgewirkungen (Eigene Darstellung FiW)	156
Abb. 4-2	Extensive Dachbegrünung (Foto: Gabrian, RVR)	162
Abb. 4-3	ENVI-met - Modellgebiet mit Grünanlage	164

Abb. 4-4	Temperaturabweichungen zwischen einer vollversiegelten Variante ohne Vegetation und dem Modellgebiet mit Grünanlage (s. Abb. 4-3)	164
Abb. 4-5	Siedlungsrand in Bochum (Foto Gabrian, RVR)	165
Abb. 4-6	Vermeidung des Zusammenwachsens zweier Siedlungsgebiete (RVR 2006a)	166
Abb. 4-7	Schutz der Kaltluftproduktionsfläche vor weiterer Bebauung (RVR 2006a)	166
Abb. 4-8	Innenhofbegrünung an der Altendorfer Straße in Essen: Temperaturdifferenzen zum Außenbereich	167
Abb. 4-9	Park in Duisburg (Foto: Gabrian, RVR)	168
Abb. 4-10	Mittlere Verteilung der strahlungsächtlichen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Dortmunder Westpark. (Bongardt 2006)	168
Abb. 4-11	ENVI-met – Simulation zur Verteilung des Gas-/Partikel-konzentration (bunte Punkte) in einer Straßenschlucht (schwarz: Gebäude) mit geschlossenem Baumkronendach (grün)	169
Abb. 4-12	Allee in Bochum (Foto: Bruse)	170
Abb. 4-13	Oberflächentemperaturen eines begrünten (vorne) und unbegrünten Dachs im Frühjahr (Foto: Mersmann)	173
Abb. 4-14	Begrünung eines Einkaufsmarktes (Foto: Gabrian, RVR)	174
Abb. 4-15	Begrünung eines Schrägdachs (Foto: Gabrian, RVR)	174
Abb. 4-16	Gesundheitstipps bei extremer Hitze auf dem Internet-Portal des Landesinstituts für Gesundheit und Arbeit des Landes NRW (www.hitze.nrw.de)	175
Abb. 4-17	Oberflächentemperaturen einer begrünten (rechts) und unbegrünten Hauswand (Foto: Mersmann)	176
Abb. 4-18	Hauswandbegrünung (Foto: Snowdon, RVR)	176
Abb. 4-19	Emscher Landschaftspark mit den sieben regionalen Grünzügen des Ruhrgebietes (Quelle: RVR)	177
Abb. 4-20	Phoenix Ost in Dortmund, Rückbau eines Stahlwerks (Foto: Gabrian RVR)	178
Abb. 4-21	Westfalenhütte Dortmund, Rückbau (Foto: Snowdon, RVR)	178
Abb. 4-22	Innerstädtische Wasserspiele (Foto: Gabrian, RVR)	179
Abb. 4-23	Oberflächentemperaturen einer Hauswand, oben mit hellem Anstrich (Foto: Mersmann)	181
Abb. 4-24	Luftleitbahn „Straße“ in der Innenstadt von Duisburg (Foto: Gabrian, RVR)	182
Abb. 4-25	Luftleitbahn „Bahntrasse“ (Foto: Gabrian, RVR)	183
Abb. 4-26	Durchlässige Hangbebauung (links) und hangparallele Zeilenbebauung mit Riegelwirkung (rechts) (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008)	184
Abb. 4-27	Gebäude mit Außenrollos (Bildnachweis: @istock.com/Burton0215)	185
Abb. 4-28	Künstliche Bewässerung von Parkanlagen (Bildnachweis: @istock.com/laclower)	185
Abb. 4-29	Bepflanzung mit bodenbedeckender Vegetation (Bildnachweis: @istock.com/YinYang)	186
Abb. 4-30	Beschattung eines Platzes durch Bäume (Bildnachweis: @istock.com/Ideeone)	187
Abb. 4-31	Staudenbepflanzung (Bildnachweis: @istock.com/fotolinchen)	190
Abb. 4-32	Wasserdurchlässiger Belag, Rasengittersteine (LFU Bayern 2010)	193
Abb. 4-33	Lineare Erosion in Fahrbahnfurche, Intervallbegrünung in Fahrbahnfurche (Mosimann 2007)	194
Abb. 4-34	Bepflanzung parallel zur Hanglage (Mosimann 2007)	194
Abb. 4-35	Flächenversickerung (Stadt Herne 2010)	195
Abb. 4-36	Mulden- bzw. Beckenversickerung (Kompatscher 2008)	196
Abb. 4-37	Rigolenversickerung, Rohrversickerung (Kompatscher 2008)	196
Abb. 4-38	Mulden-Rigolenversickerung (Kompatscher 2008)	197

Abb. 4-39	Schachtversickerung (Kompatscher 2008)	198
Abb. 4-40	Retentionsbecken (Kanton Solothurn 1997)	199
Abb. 4-41	Filterretentionsbecken (Kanton Solothurn 1997)	199
Abb. 4-42	Überfluteter Park (Bildnachweis: @istock.com/GarysFRP)	200
Abb. 4-43	Wasserrückhalt im Straßenraum (Stichting RIONED 2008)	200
Abb. 4-44	Staukanal (Kanton Solothurn 1997)	201
Abb. 4-45	Hochwassermarken Balingen (Stadt Balingen 2010)	202
Abb. 4-46	Strategie der Bauvorsorge (BMVBW 2003)	205
Abb. 4-47	Überflutete Unterführung ohne ausreichenden Abfluss (Aktivnews 2009)	206
Abb. 4-48	Kreislauf des Hochwassermanagements (DKKV 2003)	207
Abb. 4-49	Einsatz: Mobiler Hochwasserschutz durch das THW mit Sandsäcken (Bundesanstalt Technisches Hilfswerk 2006)	208
Abb. 4-50	Wasserwerk (Bildnachweis: @istock.com/tiamtic)	210
Abb. 4-51	Übersicht der planerischen Steuerungsinstrumente nach Planungsebenen, (Eigene Darstellung in Anlehnung an Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, in: VDI RL 3785, Blatt 1 2008)	215
Abb. 5-1	Problemgebiete der Hitzebelastung in Bottrop (Eigene Darstellung RVR)	235
Abb. 5-2	Modellgebiet Bottrop-Peterstraße: Gebäude und Vegetation (Eigene Darstellung RVR)	236
Abb. 5-3	Lufttemperaturen und Wind im Modellgebiet Bottrop-Peterstraße ohne Vegetation (Eigene Darstellung RVR)	237
Abb. 5-4	Lufttemperaturen und Wind im Modellgebiet Bottrop-Peterstraße mit Vegetation (Eigene Darstellung RVR)	237
Abb. 5-5	Lufttemperaturabweichungen zwischen den Varianten ohne und mit Vegetation im Modellgebiet Bottrop-Peterstraße (Eigene Darstellung RVR)	238
Abb. 5-6	Problemgebiete der Hitzebelastung in Dortmund (Eigene Darstellung RVR)	244
Abb. 5-7	Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: Brache Güterbahnhof Ost (Eigene Darstellung RVR)	245
Abb. 5-8	Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: geplante Bebauung (Eigene Darstellung RVR)	245
Abb. 5-9	Lufttemperaturen im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: Brache Güterbahnhof Ost (Eigene Darstellung RVR)	246
Abb. 5-10	Lufttemperaturen im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: geplante Bebauung (Eigene Darstellung RVR)	246
Abb. 5-11	Lufttemperaturabweichungen um 14 Uhr zwischen den Varianten „Brache“ und „Plan“ im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier (Eigene Darstellung RVR)	247
Abb. 5-12	Lufttemperaturabweichungen um 24 Uhr zwischen den Varianten „Brache“ und „Plan“ im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier (Eigene Darstellung RVR)	248

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1	Demographietypen der Städte und Kreise im Ruhrgebiet (Bertelsmann Stiftung 2008)	8
Tab. 1-2	Vergleich des Anteils der Altersgruppen an der Bevölkerung 2006 und 2025 (Bertelsmann Stiftung 2008)	11
Tab. 1-3	Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum unbebauten Umland (nach verschiedenen Autoren; aus Kuttler 2004a, ergänzt)	28
Tab. 1-4	Beurteilungsmaßstäbe für thermische Behaglichkeit (kombiniert nach verschiedenen Verfassern; aus Kuttler 2004a)	35
Tab. 1-5	Beurteilungsmaßstäbe zur Luftqualität für wichtige Spurenstoffe (nach versch. Autoren)	41
Tab. 1-6	Ökonomische, demographische, energetische und klimatische Merkmale der IPCC-Emissionsszenarien zur globalen Klimaänderung (nach Angaben aus IPCC 2007)	54
Tab. 1-7	Merkmale von Klimamodellen zur Abschätzung der regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels in NRW	57
Tab. 2-1	Typen und Merkmale von stadtklimatischen Umweltfaktoren (Kuttler & Düttemeyer 2003)	68
Tab. 2-2	Übersicht über die klimatischen Themenkarten des Klimaatlasses der Bundesrepublik Deutschland (DWD 1999, 2001, 2003, 2006)	82
Tab. 2-3	Liste der stadtklimatisch-lufthygienischen Sonderuntersuchungen im Ruhrgebiet	87
Tab. 2-4	Liste sonstiger stadtklimatisch-lufthygienischer Veröffentlichungen im Ruhrgebiet	89
Tab. 2-5	Übersicht der klimatologischen Messstationen des Deutschen Wetterdienstes im Gebiet des Regionalverbandes Ruhr (DWD 2009)	91
Tab. 2-6	Übersicht der klimatologischen Messstationen des Ruhrverbandes im Gebiet des Regionalverbandes Ruhr (Ruhrverband 2009)	92
Tab. 2-7	Übersicht der klimatologischen Messstationen von Emschergenossenschaft/Lippeverband im Gebiet des Regionalverbandes Ruhr (EG/LV 2009)	93
Tab. 2-8	Überstauhäufigkeiten „1-mal in n Jahren“ nach DWA-A 118 (DWA 2006) (geplante Anlagen) und ATV-DVWK 2004 (bestehende Anlagen)	110
Tab. 2-9	Überflutungshäufigkeiten „1-mal in n Jahren“ nach DWA-A 118 (DWA 2006) gemäß Empfehlung in DIN EN 752 (für Neuplanungen bzw. geplante Systemverbesserungen)	111
Tab. 2-10.	Verantwortliche Stellen der Kommunen für die Siedlungsentwässerung	114
Tab. 2-11	Kriterien für Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes unterhalb der Unwetterwarngrenze (DWD 2009a)	119
Tab. 2-12	Kriterien für Unwetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2009b)	120
Tab. 4-1	Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Hitzebelastung“, stadtklimatische Aspekte	159
Tab. 4-2	Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Hitzebelastung“, siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte	160
Tab. 4-3	Klima-Arten-Matrix (KLAM) – Einstufung wichtiger Baumarten nach ihrer Eignung für eine Verwendung im Stadtbereich bei prognostiziertem Klimawandel (fett : heimische Arten) (Roloff et al. 2008)	171
Tab. 4-4	Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Extremniederschläge“	191
Tab. 4-5	Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Trockenperioden“	209

Tab. 4-6	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bauleitplänen: Handlungskataloge zur Hitzebelastung	218
Tab. 4-7	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bauleitplänen: Handlungskatalog zu Extremniederschlägen	220

Einleitung

Während der Klimaschutz seit vielen Jahren fester Bestandteil der Kommunalpolitik in Nordrhein-Westfalen ist und zahlreiche Städte und Gemeinden eigene Klimaschutzziele und Klimaschutzstrategien haben, beginnt man auf der kommunalen Ebene erst langsam damit, sich auf die nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels einzustellen. Anpassung an den Klimawandel ist bisher oft nur ein Randthema.

Allerdings kann die Notwendigkeit der Klimawandelanpassung bereits heute aus dem kommunalen Alltag nicht mehr ausgeblendet werden. Durch die Extremwetterereignisse der vergangenen Jahre - etwa durch die Hitzesommer des vergangenen Jahrzehnts, die für Rekordtemperaturen in den Städten sorgten - sind die Folgen des Klimawandels stärker als bisher in das Bewusstsein der städtischen Bevölkerung und in den Fokus der kommunalen Verantwortlichen gerückt. Immer mehr Kommunen beginnen damit, sich mit Fragen der Klimawandelanpassung zu beschäftigen. Durch einen kontinuierlichen Wissensaustausch zwischen der Forschung und der Praxis sowie Politik und Bevölkerung muss das Risikobewusstsein gefördert und die Akzeptanz für Maßnahmen gesichert werden.

Insbesondere die großen Städte und Ballungszentren stehen vor großen Herausforderungen. Hier sind einige Folgen des Klimawandels deutlicher zu spüren als anderswo. In städtischen Gebieten mit hoher Bevölkerungs- und Bebauungsdichte liegen die durchschnittlichen Temperaturen bereits heute höher als im unbebauten Umland. Hier wird man in Zukunft damit rechnen müssen, stärker als andere Gebiete von steigenden Temperaturen betroffen zu sein. Auch sind die Auswirkungen von zunehmenden Starkregenereignissen in dicht bebauten Gebieten oftmals gravierender und die Schäden meist höher als außerhalb der Städte. Aus diesen Gründen müssen sich Städte und Ballungszentren zwangsläufig verstärkt auf die Anpassung an die Folgen des Klimawandels einstellen.

Auch der Städtebau der Zukunft kann nicht auf Baukörper, befestigte Straßen und Plätze verzichten. Da bei einem nachhaltigen Stadtumbau mit langwierigen Prozessen gerechnet werden muss, müssen rechtzeitig, das heißt jetzt Maßnahmen getroffen werden, um die Anfälligkeit von Mensch und Umwelt gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verringern. Dabei wirken sich die Effekte von Anpassungsmaßnahmen unmittelbar „vor Ort“ positiv aus.

Wie die Anpassung an den Klimawandel in Städten und Ballungsräumen konkret aussehen kann, zeigt das vorliegende "Handbuch Stadtklima". Dieses Handbuch ist sowohl Nachschlagewerk als auch Praxishandbuch für Kommunen, aber auch für weitere Akteure - so etwa Architekten, Kommunalpolitiker, Planungsbüros und die interessierte Öffentlichkeit allgemein. In der Praxis finden Stadtplanung und Siedlungswasserwirtschaft häufig unabhängig voneinander statt. Das vorliegende Handbuch bietet durch die Beteiligung von Klimatologen und Siedlungswasserwirtschaftlern eine integrierte Herangehensweise an das Thema Anpassung. Es behandelt die drei Themenblöcke:

- Problemerkennung,
- Lösungsmöglichkeiten,
- Praktische Umsetzung.

Die Kapitel 1 und 2 haben Nachschlagewerk-Charakter. Hier sind die Grundlagen der Stadtklimatologie und der Siedlungswasserwirtschaft zusammengefasst und die Ausgangssituation

im Untersuchungsraum „Ruhrgebiet“ mit den zu erwartenden Klimaänderungen für Nordrhein-Westfalen wird erläutert. Zur Problemerkennung gehört auch das Wissen um eine Informationsbeschaffung. Deshalb werden im Kapitel 2 ausführlich die Methoden der Informationsgewinnung und die Basis der Klimainformationen im Ruhrgebiet vorgestellt.

Kapitel 3 stellt die in Städten auftretenden klimatischen Problemfelder vor und erläutert, welche Folgen der Klimawandel in den Problemfeldern haben kann. Es wird gezeigt, wie Städte Problemgebiete mit erhöhter klimatischer Belastung für den Menschen und Problemgebiete im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft in ihrem jeweilige Stadtgebiet identifizieren können.

Aus dem Verständnis der mit dem Klimawandel verbundenen Probleme für die Städte werden im Kapitel 4 Handlungskataloge mit Anpassungslösungen für die drei klimatischen Problemfelder Hitze, Starkniederschläge und Trockenheit entwickelt und ausführlich, zum Teil mit Beispielen erläutert.

Für die praktischen Anwendungsmöglichkeiten wird aufbauend auf den Handlungsempfehlungen im Kapitel 4.2 aufgezeigt, welche Maßnahmen im Rahmen der Bauleitplanung umgesetzt werden können, indem Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan und im Bebauungsplan aufgezeigt werden. Kapitel 4.3 stellt mögliche Zielkonflikte und bestehende Synergien zwischen den Anpassungsmaßnahmen und anderen Zielen und Maßnahmen nicht nur der Stadtplanung und -entwicklung dar.

Die Identifikation von Problemgebieten sowie die Maßnahmen der Handlungskataloge wurden nach der theoretischen Erarbeitung in zwei Modellstädten im Ruhrgebiet (Bottrop und Dortmund) ausführlich diskutiert. Weitere Kommunen wurden durch Telefoninterviews in den Evaluierungsprozess einbezogen. Die Ergebnisse und Anregungen aus diesem Praxistest wurden wiederum in das Handbuch integriert.

Das "Handbuch Stadtklima" ist das Ergebnis eines einjährigen Projekts, das der Regionalverband Ruhr im Auftrag des Umweltministeriums Nordrhein-Westfalen zu diesem Thema durchgeführt hat. Kooperationspartner waren die Abteilung für Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen, das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW e.V.) und das Deutsche Institut für Urbanistik.

Das Handbuch ist am Beispiel des Ruhrgebietes erarbeitet worden. Es ist aber nicht nur für Ruhrgebietsstädte geeignet, da es neben umfangreichen Hintergrundinformationen generell Wege zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels für dicht bebaute und besiedelte Städte und Ballungsräume aufzeigt.