



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 Dütemeyer
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	Strahlungsnightliche 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: Dütemeyer)	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) (Dütemeyer 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	Beispielergebnisse 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: Dütemeyer)	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 & Rytönen 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 strahlungs nächtlichen 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: @istok.com/Burton0215)	185
Abb. 4-28	Künstliche Bewässerung von Parkanlagen (Bildnachweis: @istok.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	Hochwassermarke 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) (Rolloff 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:

- Problemerkfassung,
- 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.

1. Einführung und Grundlagen

1.1 Die Ausgangssituation im Untersuchungsraum

1.1.1 Ballungsraum Ruhrgebiet

Das Ruhrgebiet ist mit rund 5,25 Millionen Einwohnern (Quelle: RVR, Stand 2009) einer der größten Ballungsräume in Europa. Die Abgrenzung des Ruhrgebietes in diesem Handbuch entspricht dem Verbandsgebiet des Regionalverbandes Ruhr, das 11 kreisfreie Städte und 4 Kreise mit 42 kreisangehörigen Städten und Gemeinden umfasst. Ein charakteristisches Merkmal des Ballungsraums Ruhrgebiet ist die Polyzentralität, da keine der kreisfreien Städte eine dominierende Position einnimmt. Dortmund und Essen sind mit jeweils über einer halben Million Einwohner die größten Städte des Ruhrgebietes.

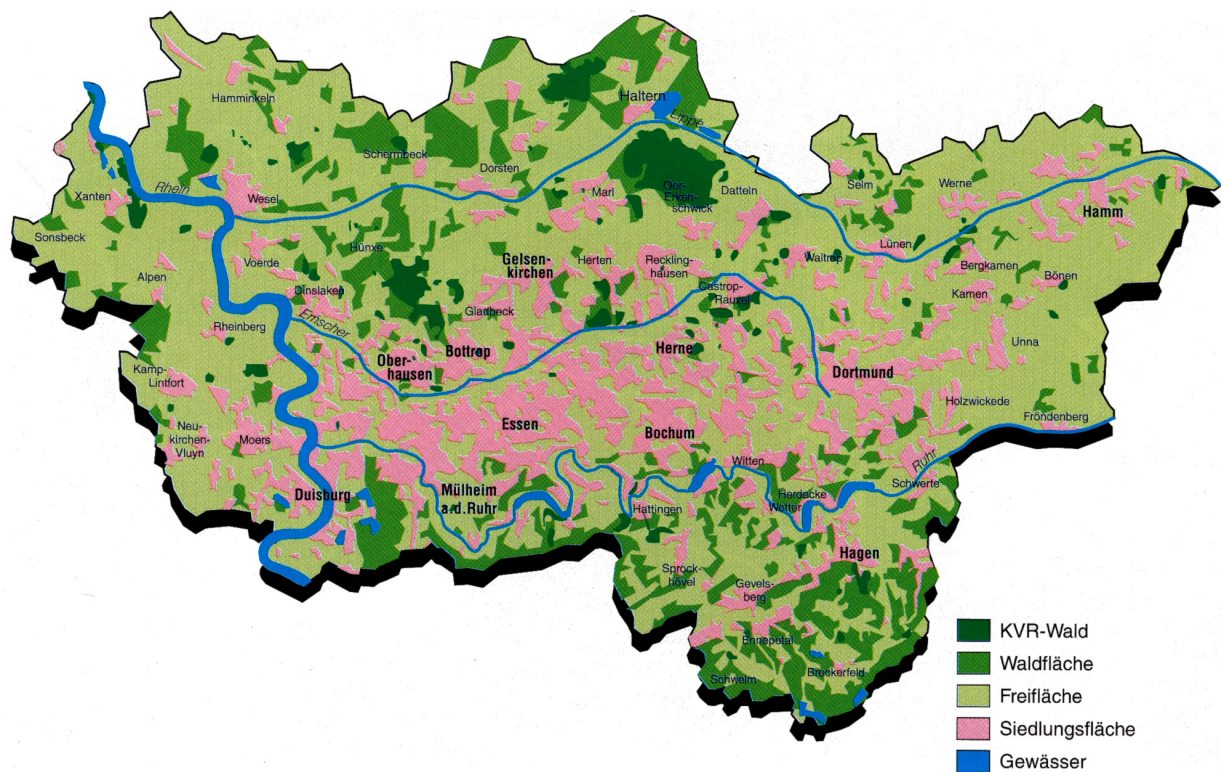


Abb. 1-1 Städte und Gemeinden sowie Flächennutzungen im Ruhrgebiet (RVR 2005)

Das Ruhrgebiet umfasst eine Fläche von 4434 km² mit rund 40,8 % landwirtschaftlicher Nutzfläche, 17,5 % Wald- und 3,2 % Wasserflächen. Siedlungs- und Verkehrsflächen beanspruchen 37,4 % der gesamten Ruhrgebietsfläche. Der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsflächen in den Städten im Ballungszentrum des Ruhrgebietes beträgt im Mittel 56 %, in stark verdichteten Städten liegt er bei über 70 % (RVR 2005). Das Ruhrgebiet als Ballungsraum ist erst rund 150 Jahre alt. Es hat sich aus einem ehemals ländlichen Raum mit Dörfern und kleinen Städten seit der zweiten Hälfte des 19. Jhs. auf der Grundlage von Kohle und Stahl zum größten Industriegebiet Europas entwickelt (RVR 2005).

Die durchschnittliche Bevölkerungsdichte im Ruhrgebiet liegt bei 1.203 Ew./km². Der Ballungskern, der von den großen Städten der Emscher- und Hellwegzone gebildet wird, weist eine Einwohnerdichte von bis zu 3.300 Ew./km², der Ballungsrand dagegen nur von 123 Ew./km² auf.

Das Ruhrgebiet ist kein einheitlicher Naturraum, es liegt im Grenzbereich des Rheinischen Schiefergebirges im Süden, der Westfälischen Bucht im Norden und der Niederrheinischen Tieflandebene im Westen (siehe Abb. 1-2). Es ist eine weitgehend flache Landschaft mit Höhen, die sich überwiegend unter 100 m ü. NN bewegen. Klimatisch wirksames Relief (z. B. durch Ausbildung von autochthonen Windsystemen, warmen Hang- und Kuppenzonen, Kaltluftabflüssen) existiert nur am Südrand des Ruhrgebietes in den Ausläufern des Rheinischen Schiefergebirges. Hier werden zum Teil Höhen von über 400 m ü. NN erreicht.

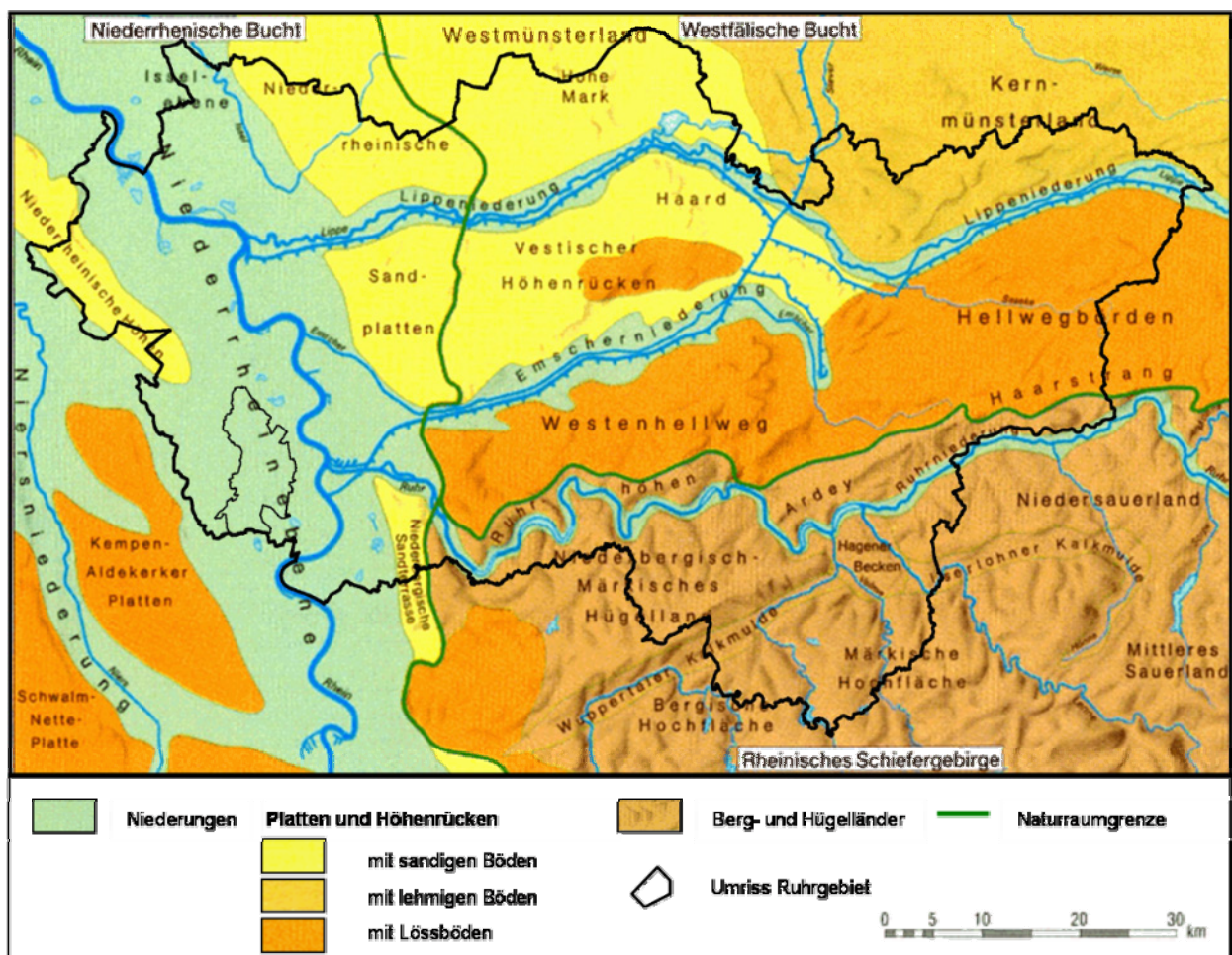


Abb. 1-2 Naturräumliche Gliederung des Ruhrgebietes (RVR 2005)

Der Flächenverbrauch der Industrie, Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur im Ruhrgebiet führt zu nachhaltigen Schäden in der Natur in Form von Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung. Wie in allen urbanen Ballungsräumen wird auch im Ruhrgebiet das Klima maßgeblich durch die Bebauung und Versiegelung beeinflusst. Folgen sind erhöhte Lufttemperaturen in den Innenstädten und ein verringerter Luftaustausch. Die Luftqualität ist in den letzten Jahrzehnten durch Maßnahmen des Immissions- und Emissionsschutzes deutlich verbessert worden.

1.1.2 Siedlungs- und Stadtstrukturen

Siedlungsräumlicher Ausbau

Die Siedlungsstruktur des Ruhrgebietes entstand im Zusammenhang mit der Entwicklung und Nordwanderung des Bergbaus. Dadurch bildete sich eine zonale Anordnung der Siedlungen von der Ruhrzone im Süden über die Hellwegzone, die südliche und die nördliche Emscherzone bis zum nördlichen Saum des Ruhrgebietes heraus (Wehling 2003). Im südlichen Teil des Ruhrgebietes entwickelten und vergrößerten sich die vorhandenen vorindustriellen Städte im Zuge der Industrialisierung. Die Besiedlung des ursprünglich ausschließlich ländlich geprägten nördlichen Ruhrgebietes erfolgte ohne städtische Entwicklungsplanung im Umfeld von Zechen und Stahlwerken. Es entstanden weitgehend planlose Gebilde von Großstädten. Die Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur ist hier viel stärker mit der montanindustriellen Entwicklung verknüpft und dadurch stärker direkt durch den Strukturwandel betroffen (Schmidt & Neumann 2004).

Ein zentrales Problem des Ruhrgebietes ist die mit der Montanindustrie verbundene dichte Besiedlung und Zersiedlung der Landschaft durch den ungelenkten Zuzug einer hohen Zahl von Arbeitskräften in der Vergangenheit. Als ein wesentliches Instrument des Freiraumschutzes wurden vom Vorläufer des Regionalverbandes Ruhr deshalb sieben regionale Grünzüge (A – G) im Ruhrgebiet ausgewiesen (siehe Abb. 1-3), die verbliebene naturnahe Freiflächen bis heute vor dem Zugriff der industriellen Entwicklung schützen (RVR 2005). Der aktuelle und zukünftige Bevölkerungsrückgang im Ruhrgebiet macht die Freiraumsicherung nicht überflüssig, da durch Wanderungsbewegungen vom Kernbereich des Ballungsraumes Ruhrgebiet in die Randzonen das Problem der Suburbanisierung entsteht mit der Folge des Verbrauchs von Grünlandflächen im Außenbereich.

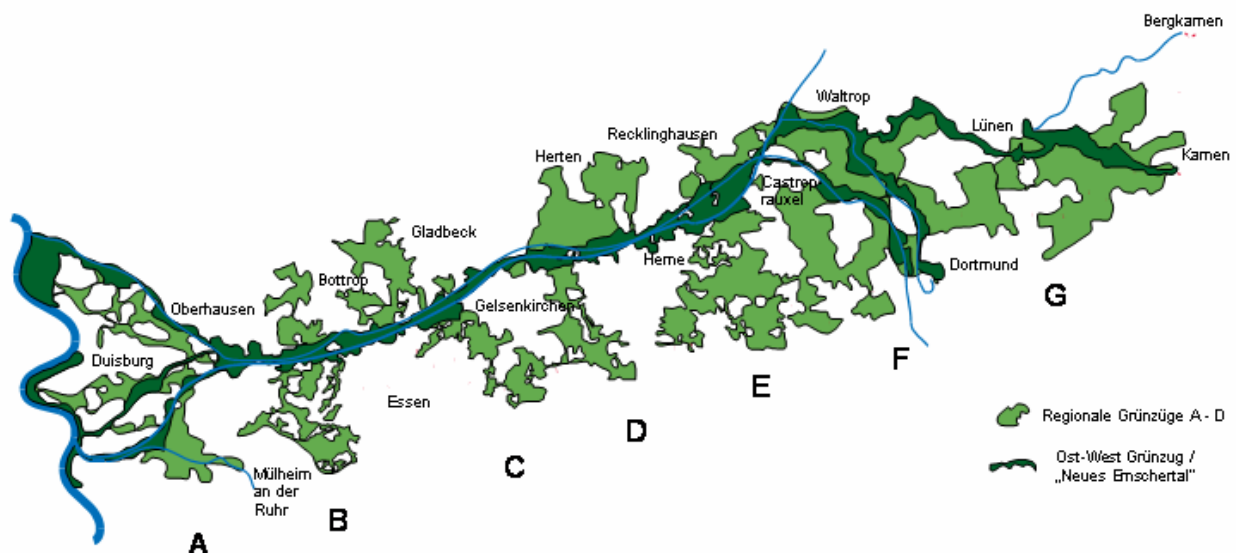


Abb. 1-3 Emscher Landschaftspark mit den sieben regionalen Grünzügen (Quelle: RVR)

Möglichkeiten einer zukünftig positiven Siedlungsentwicklung eröffnen sich durch die im Zuge des wirtschaftlichen Strukturwandels entstandenen Industriebrachen. Diese teilweise innerstädtisch gelegenen Brachflächen können außer zur Neuansiedlung von Gewerbe oder Nutzung als Wohnfläche auch in Grünflächen für die Naherholung umgewandelt werden (Abb. 1-4). Ein gutes Beispiel auf regionaler Ebene stellt der Emscher Landschaftspark dar, der durch Vernetzung von Parks, Naturflächen und Kulturlandschaften auf Industriebrachen zu einer zusammenhän-

genden Naherholungsfläche von 70 km Länge inmitten des Ballungsraumes Ruhrgebiet ausgebaut wird.



Abb. 1-4 Umgestaltung der ehemaligen Zeche Erin (1983/4 stillgelegt) in Castrop-Rauxel in einen Technologie- und Gewerbepark (Quelle: RVR)

Stadtstrukturen:

Die Hellweg- und die Emscherzone, die das Zentrum des Ruhrgebietes bilden, haben sich auf unterschiedliche Weise entwickelt. In der Hellwegzone führte das Wachstum der vorhandenen Städte im Zuge der Industrialisierung zur Entwicklung von Großstädten mit jeweils einem einzigen deutlichen Stadtzentrum. Die explosionsartige Entwicklung von Dörfern in der Emscherzone in Industriedörfer, die zusammenwuchsen und dadurch zu Städten erhoben wurden, ließ dagegen planlose Stadtgebilde entstehen. Eine eindeutige städtebauliche Mitte haben diese Städte bis heute nicht. Sie setzen sich aus größeren und kleineren Stadtkernen, die sich aus den ehemaligen Dörfern entwickelt haben, zusammen. Diese unterschiedliche Entwicklung der Städte der Hellweg- und der Emscherzone zeigt sich aktuell in den unterschiedlichen Ausprägungen der innerstädtischen Wärmeinseln, die in den Städten der der Hellwegzone groß und einzellig, in den Städten der Emscherzone klein und mehrkernig ausgebildet sind.

In den Wachstumsphasen der Städte Mitte des 19. bis Anfang des 20. Jahrhunderts entstanden neben mehrgeschossigen Mietskasernenvierteln auch die für das Ruhrgebiet typischen Arbeitersiedlungen. Viele dieser Zechensiedlungen stehen heute unter Denkmalschutz und sind gute Wohnquartiere, da zu einem Zechenhäuschen immer auch ein Garten gehört. Innerstädtische Grünanlagen resultieren auch aus den heute noch über 600 Kleingartenanlagen in den Städten des Ruhrgebietes. Neben diesen positiven Beispielen der industriellen Stadtviertelentwicklungen gibt es viele Planungsmissstände der Vergangenheit, die zu hoch versiegelten, kaum durchgrünerten Stadtvierteln mit einer hohen Einwohnerdichte führten. Hier versucht die Stadtplanung seit vielen Jahren, durch Maßnahmen zur Wohnumfeldverbesserung benachteiligte Stadtteile aufzuwerten (RVR 2005).

Die Innenstädte der größeren Ruhrgebietsstädte haben sich schon in den letzten Jahrzehnten von Wohn- und Arbeitsvierteln in überwiegend von Dienstleistung geprägte Einkaufszonen umgewandelt. Neben großen innerstädtischen Einkaufszentren entwickelten und entwickeln sich große Zentren mit Einkaufsfunktion, Gastronomie und Freizeitpark außerhalb der Innenstädte, die zu einer weiteren hohen Versiegelung von ehemaligen Freiflächen führen.

In Stadtregionen wie dem Ruhrgebiet gibt es altersspezifische interne Wanderungsbewegungen, die eng mit den Siedlungsstrukturen zusammenhängen (Schmidt & Neumann 2004). Es existieren Stadtteile, in denen vorwiegend ältere, wohlhabende Menschen leben und die sich durch einen höheren Grünanteil auszeichnen. Andererseits gibt es Gebiete, deren Bevölkerung deutlich jünger, aber auch ärmer ist. Meist sind diese Stadtteile durch einen hohen Versiegelungsgrad gekennzeichnet. Einkommensstarke Familien leben vorwiegend im äußeren Bereich der Kernstädte oder in Ballungsrandzonen (urban sprawl) (Schmidt & Neumann 2004). Diese Wanderungsbewegungen führen dazu, dass sich am Ballungsrand des Ruhrgebietes reine Wohnstädte ausbilden, die eine Versorgung der Einwohner, aber keine Arbeitsplätze vor Ort bieten.

Die mittlere Wohnraumfläche pro Kopf ist im Ruhrgebiet mit 36,9 qm sehr niedrig im Vergleich zu Nordrhein-Westfalen (38,7 qm). Hier besteht in Zukunft ein Nachholbedarf der Bevölkerung. Im Zuge der schrumpfenden Bevölkerung ist daher nicht mit freiwerdenden Wohnraumflächen und einem möglichen Rückbau von Infrastruktur zu rechnen (Schmidt & Neumann 2004).

1.1.3 Demographischer Wandel

Seit den 1960er Jahren hat das Ruhrgebiet insgesamt rund eine halbe Million Einwohner verloren. Alle Großstädte und die kreisangehörigen Kernstädte des Ruhrgebietes zeigen eine negativ verlaufende Bevölkerungsentwicklung seit Mitte der 90er Jahre (Abb. 1-5). Dabei mussten die kreisfreien Städte die stärksten Verluste hinnehmen, während die Kreise, außer Ennepe-Ruhr-Kreis, ihre Bevölkerungszahlen zum Teil durch Suburbanisierungsprozesse steigern konnten (Beckord 2008).

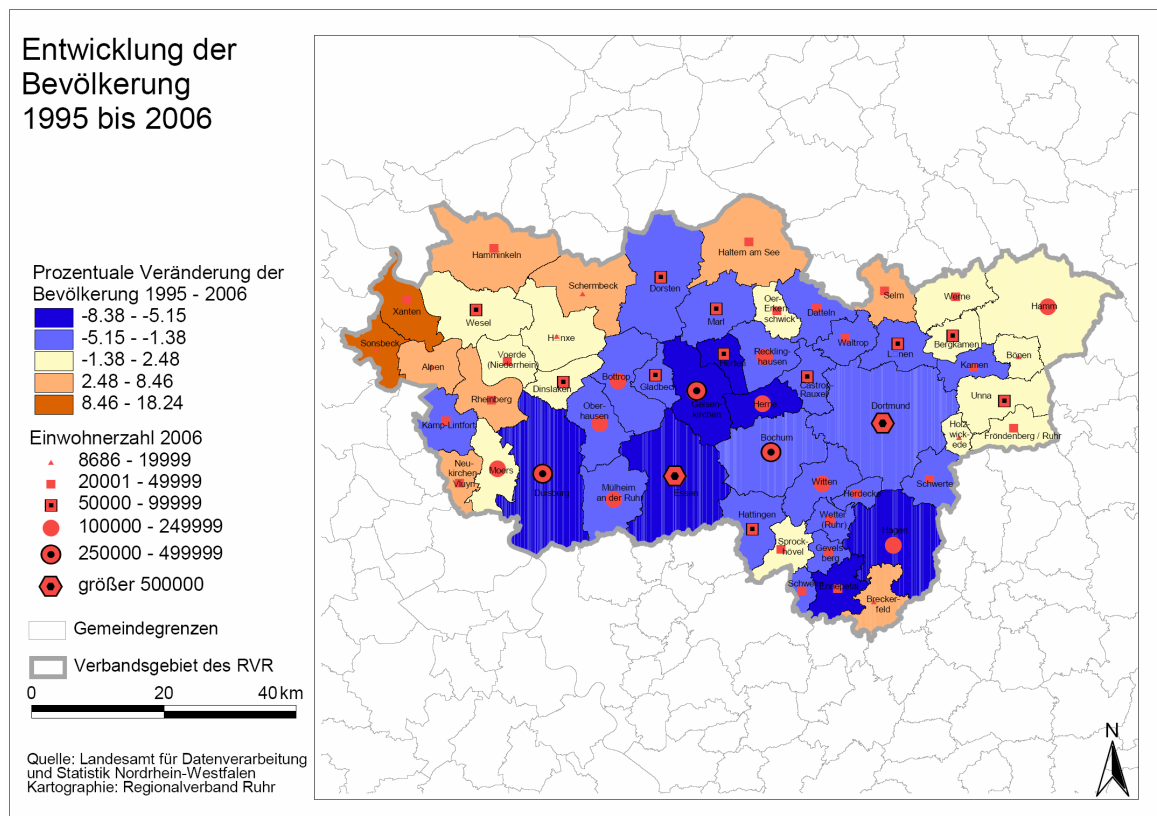


Abb. 1-5 Bevölkerungsentwicklung im Ruhrgebiet 1995 bis 2006 (Beckord 2008)

Die Bertelsmann Stiftung hat einen Demographiebericht für alle Städte und Gemeinden von Deutschland entwickelt. Der Bericht reflektiert die bisherigen Entwicklungen durch die Auswertung statistischer Daten und schaut in die Zukunft. Die Bevölkerungsentwicklung mit ihren Einflussfaktoren wurde in die Zukunft projiziert, um die wahrscheinlichen Veränderungen in der Bevölkerungszahl und der Altersstruktur darzustellen (Bertelsmann Stiftung 2008). In diesem Bericht wurden die Kommunen aufgrund ihrer Ist-Situation und der zu erwartenden Entwicklung bestimmten Demographietypen zugeordnet.

Tabelle 1-1 listet alle vorkommenden Demographietypen der kreisfreien Städte und der Kreise im Ruhrgebiet auf, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Im Ruhrgebiet treten 7 verschiedene Demographietypen auf, die sich überwiegend in 2 Gruppen einteilen lassen: die Gruppe der schrumpfenden Städte und Gemeinden (in Tab. 1-1 orange markiert) und die Gruppe der stabilen/prosperierenden Städte und Gemeinden (in Tab. 1-1 grün markiert).

Tab. 1-1 Demographietypen der Städte und Kreise im Ruhrgebiet (Bertelsmann Stiftung 2008)

	Demographietyp	Legende
Bochum	G2	orange: Schrumpfende Städte und Gemeinden G2: Schrumpfende Großstadt T6: Städte, Gemeinden im ländl. Raum mit geringer Dynamik grün: Stabile/prosperierende Städte und Gemeinden G5: Stabile Großstädte T3: Suburbane Wohnorte T5: Stabile Städte, Gemeinden im ländlichen Raum T7: Prosperierende Städte, Gemeinden im ländl. Raum T1: Stabile Mittelstädte mit geringem Familienanteil
Bottrop	G2	
Dortmund	G2	
Duisburg	G2	
Essen	G2	
Gelsenkirchen	G2	
Hagen	G2	
Hamm	G5	
Herne	G2	
Mülheim a.d. Ruhr	G2	
Oberhausen	G2	
Ennepe-Ruhr-Kreis	G2, T1,T1,T1, T3,T3, T5, T6,T6	T1: Stabile Mittelstädte mit geringem Familienanteil
Kreis Recklinghausen	G2, T1, T3, T6,T6,T6,T6,T6,T6	
Kreis Unna	T1, T3, T6,T6,T6,T6,T6,T6, T7	
Kreis Wesel	G5, T1,T1, T3, T5,T5,T5,T5,T5, T6,T6,T6, T7	

Die insgesamt 31 Städte der Typen G2 und T6 (orange) machen den Kernbereich des Ruhrgebietes mit seiner negativen demographischen Entwicklung aus. Schrumpfungs- und Überalterungsprozesse sind nicht erst in Zukunft zu erwarten, sondern finden schon aktuell und zum Teil seit langem statt.

Bis auf Hamm gehören alle kreisfreien Städte zum **Typ G2: Schrumpfende Großstadt im postindustriellen Strukturwandel**. Von diesem Typ gibt es in Deutschland nur 19 Städte, davon liegen 15 in NRW, überwiegend (12 Städte) im Ruhrgebiet. Die größten Städte dieses Typs sind Essen und Dortmund mit rund 590.000 EW, die kleinste ist Witten mit rund 100.000 EW. Die Kommunen des Typs G2 sind klassisch schrumpfende Städte, deren Schrumpfung aus demographischen wie auch aus wirtschaftlichen Strukturproblemen resultiert. Kennzeichnend für

diese Städte ist ein deutlicher Bevölkerungsrückgang durch Alterung der Gesellschaft und vor allem durch die Abwanderung von Familien und jungen Erwachsenen. Aufgrund des unterdurchschnittlichen Arbeitsplatzangebotes sehen in der Kernregion des Ruhrgebietes immer weniger Berufseinsteiger eine berufliche Perspektive. Grund sind wirtschaftsstrukturelle Probleme, da sich die Großstädte bereits seit langem im Strukturwandel mit rückläufiger Arbeitsplatzentwicklung befinden. Eine höhere Qualifizierung von Arbeitskräften, beispielsweise über Kooperationen zwischen Hochschulen und der Wirtschaft ist in Zukunft anzustreben. Aus demographischer Sicht wird es notwendig, den Stadtumbau auf die Alterungsprozesse auszurichten (Bertelsmann Stiftung 2008).

In der direkten Umgebung der Großstädte des Ruhrgebietes liegen kreisangehörige Städte, die ebenfalls in die Gruppe der schrumpfenden Städte und Gemeinden gehören. Sie werden dem Demographietyp **T6: Städte und Gemeinden im ländlichen Raum mit geringer Dynamik** zugeordnet. Diese Städte sind geprägt durch eine schrumpfende und alternde Bevölkerung, sowie einen für ländliche Gemeinden untypisch niedrigen Anteil an Kindern und Jugendlichen. Probleme entstehen durch Abwanderung junger Erwachsener zur Ausbildung, beschleunigte Alterungsprozesse, wirtschaftliche Strukturschwäche mit geringer Arbeitsplatzzahl bei rückläufiger Entwicklung und eine hohe Arbeitslosenquote. Diese Städte sind klassische Auspendlerorte. Sie werden von der demographischen Veränderung besonders betroffen und müssen wie die G2-Städte die Stadtentwicklung an eine veränderte Altersstruktur anpassen (Bertelsmann Stiftung 2008).

Im Demographietyp **T1: Stabile Mittelstädte und regionale Zentren mit geringem Familienanteil** sind 7 kreisangehörige Städte mit stabiler Bevölkerungsentwicklung auch in Zukunft und Zuwanderung von Berufseinsteigern, aber auch mit einem geringen Anteil an Haushalten mit Kindern und relativ hoher Arbeitslosigkeit zusammengefasst.

Untypisch für das Ruhrgebiet und ausschließlich im ländlichen Randbereich des Ruhrgebietes gelegen sind 15 Städte und Kommunen mit positiven Demographietypen. Hamm und Moers gehören als urbane Subzentren zwischen dem Ruhrgebiet und dem peripheren ländlichen Raum zum Typ **G5: Stabile Großstädte mit hohem Familienanteil**. Hamm ist deutschlandweit die größte Stadt dieses Typs. Dieser Stadttyp hat den höchsten Anteil aller Großstädte an Familienhaushalten mit Kindern, aber auch eine leicht rückläufige Bevölkerungsentwicklung und erkennbare Alterungsprozesse. Kleinere Städte und Gemeinden gehören zu den Demographietypen **T3: Suburbane Wohnorte mit rückläufigen Wachstumserwartungen**, **T5: Stabile Städte und Gemeinden im ländlichen Raum mit hohem Familienanteil** und **T7: Prosperierende Städte und Gemeinden im ländlichen Raum**. Diese 13 Kommunen haben aktuell noch eine positive Bevölkerungsentwicklung durch Suburbanisierungsprozesse mit einem hohen Anteil an Jugendlichen und Familien mit Kindern. Ein hohes Bildungs- und Wohlstandsniveau und niedrige Arbeitslosigkeit führt zu einer überproportionalen Zuwanderung von Familien und Berufseinsteigern. Der hohe Auspendleranteil macht diese Städte und Gemeinden zu Orten mit einer dominanten Wohnfunktion. In Zukunft werden die Wachstumsraten der Bevölkerung geringer und ein langsamer Alterungsprozess setzt ein.

Diese Kommunen profitieren aktuell von der Suburbanisierung im Ballungsraum Ruhrgebiet, wodurch auf der anderen Seite das Problem der Zersiedelung durch Ausweisung neuer Wohnbau- und Gewerbeflächen im grünen Umfeld der Städte entsteht.

Der demographische Wandel der Zukunft wird das Ruhrgebiet rascher und härter treffen als andere Regionen Nordrhein-Westfalens (Schmidt & Neumann 2004). Auch in Zukunft wird eine deutliche Abnahme der Bevölkerung bei einem zunehmenden Anteil von älteren Mitbürgern erwartet. Abbildung 1-6 zeigt die Entwicklung der Bevölkerung im Ruhrgebiet bis 2025. Nach Berechnungen des Landesamtes für Datenverarbeitung und Statistik wird das Ruhrgebiet bis 2025 noch mal rund eine halbe Million Einwohner verlieren (Beckord 2008). Der Bevölkerungsverlust in den Kreisen und kreisfreien Städten liegt zwischen 3,5% und über 16% (Abb. 1-6), während der Durchschnitt des Landes Nordrhein-Westfalen bei nur 2,6% liegt.

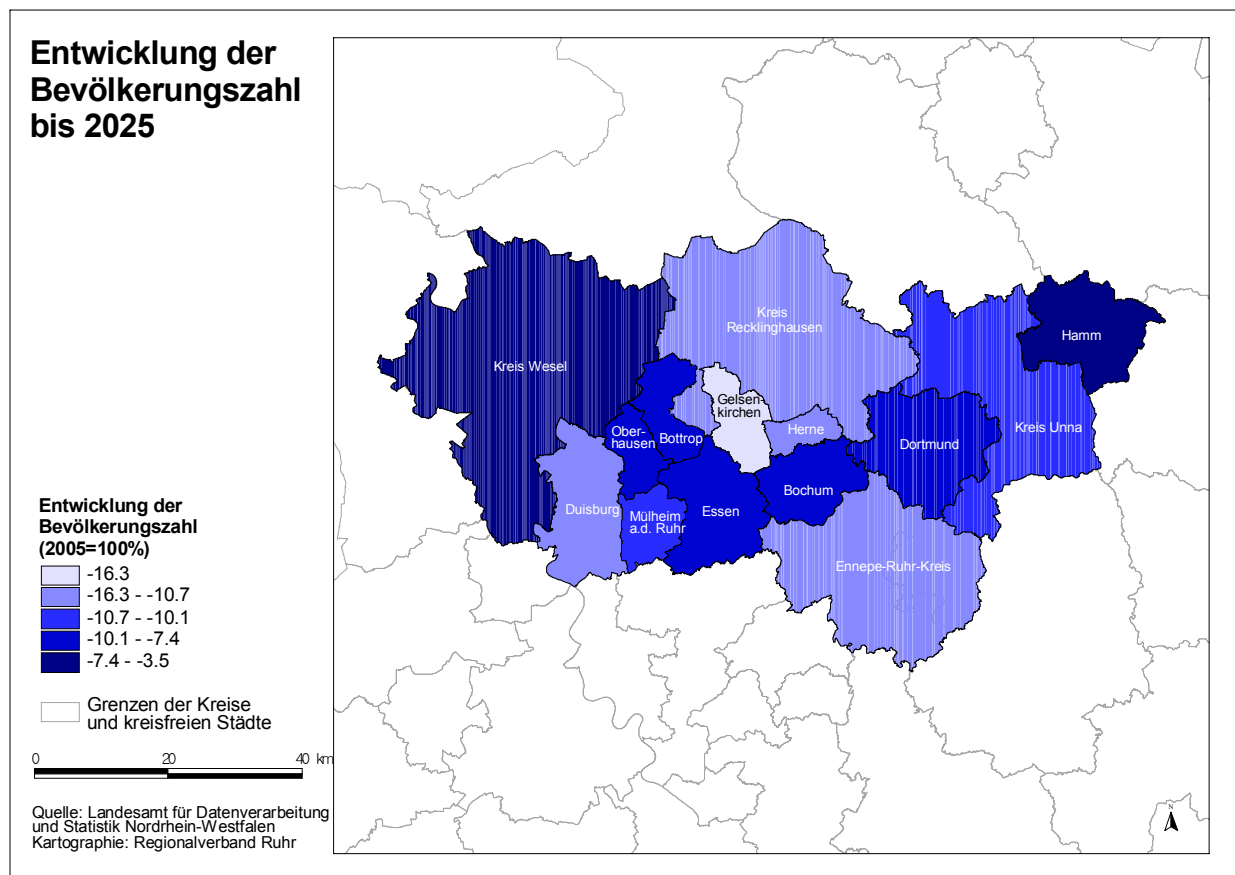


Abb. 1-6 Entwicklung der Bevölkerungszahl im Ruhrgebiet bis 2025 (Beckord 2008)

Die steigende Lebenserwartung und das veränderte generative Verhalten der Bevölkerung mit einer deutlich abnehmenden Geburtenrate führen zu einer Veränderung im Altersaufbau der Bevölkerung. Der deutliche Alterungsprozess in den Städten des Ruhrgebietes ist jedoch weniger auf fehlende Geburten oder unterdurchschnittlich viele Kinder und Jugendliche im Bundesvergleich zurückzuführen. Vielmehr ist der Anteil der Senioren an der Gesamtbevölkerung in den Großstädten des Ruhrgebietes überdurchschnittlich hoch. Der Anteil der über 60-Jährigen wird von aktuell gut einem Viertel bis 2020 auf fast ein Drittel der Einwohner ansteigen und damit um 2,5 % höher liegen als der Durchschnitt in deutschen Großstädten. Der Anteil der über 80-Jährigen wird sich im Ruhrgebiet in diesem Zeitraum fast verdoppeln. Die Alterungsprozesse verlaufen im Vergleich zu anderen Regionen schneller, da es keine ausreichende Zuwanderung junger Erwachsener gibt, die den Prozess verlangsamen könnte (Bertelsmann Stiftung 2008). Die Großstädte des Ruhrgebietes leiden zudem seit Jahren andauernden Wanderungsverlusten insbesondere von Erwerbstätigen mit Familie. Daraus resultiert eine für Großstädte untypische ungünstige Altersstruktur.

In Tabelle 1-2 werden die Bevölkerungsanteile verschiedener Altersgruppen für die zwei Demographietyp-Gruppen „Schrumpfende Städte und Gemeinden“ und „Stabile/prosperierende Städte und Gemeinden“ verglichen.

Die 15 Städte und Gemeinden im ländlichen Randbereich des Ruhrgebietes mit positiv bewerteten Demographietypen zeichnen sich in der aktuellen Situation (Stand 2006) durch eine im Vergleich zu der Gruppe der schrumpfenden Städte und Gemeinden günstigere Altersstruktur aus. Der Anteil der Kinder und Jugendlichen ist deutlich höher, der Anteil der Alten ab 65 Jahre deutlich niedriger. Bis zum Jahr 2025 verlieren diese Kommunen im Durchschnitt nur 2,5 % ihrer Bevölkerung, während der Bevölkerungsrückgang im Kernbereich des Ruhrgebietes in den schrumpfenden Städten und Gemeinden im Mittel bei 6,2 % liegt. Die Altersstruktur der beiden Gruppen gleicht sich im Jahr 2025 an, da der schnelle Alterungsprozess im Ruhrgebiet auch die heute noch stabilen Städte und Gemeinden treffen wird.

Tab. 1-2 Vergleich des Anteils der Altersgruppen an der Bevölkerung 2006 und 2025 (Bertelsmann Stiftung 2008)

	31 Städte und Gemeinden der Demographietypen G2 und T6: Schrumpfende Städte und Gemeinden	15 Städte und Gemeinden der Demographietypen G5, T3, T5, T7: Stabile/prosperierende Städte und Gemeinden
Anteil der Altersgruppe an der Gesamtbevölkerung 2006		
0-18-Jährige	18,2 %	19,7 %
19-24-Jährige	6,7 %	6,3 %
25-44-Jährige	27,3 %	27,1 %
45-64-Jährige	26,6 %	27,0 %
65-79-Jährige	16,1 %	15,5 %
Über 80-Jährige	5,0 %	4,4 %
Anteil der Altersgruppe an der Gesamtbevölkerung 2025		
0-18-Jährige	15,9 %	16,0 %
19-24-Jährige	5,7 %	5,5 %
25-44-Jährige	24,8 %	22,9 %
45-64-Jährige	28,1 %	29,4 %
65-79-Jährige	17,7 %	18,2 %
Über 80-Jährige	7,7 %	7,9 %
Bevölkerungsrückgang 2006-2025	6,2 %	2,5 %

G2: Schrumpfende Großstadt
T6: Städte, Gemeinden im ländl. Raum mit geringer Dynamik

G5: Stabile Großstädte
T3: Suburbane Wohnorte
T5: Stabile Städte, Gemeinden im ländlichen Raum
T7: Prosperierende Städte, Gemeinden im ländlichen Raum

Beispielhaft sind in der Abbildung 1-7 die Alterspyramiden für Dortmund als Vertreterin einer großen Großstadt und Bottrop als Vertreterin einer kleinen Großstadt im Ruhrgebiet dargestellt. Beide Städte zeigen in den nächsten rund 20 Jahren neben der Abnahme des Anteils von Kindern und Jugendlichen und der Zunahme von Einwohnern über 60 Jahre die deutlichsten Veränderungen in den Altersklassen der Mitte-30- bis Mitte-50-Jährigen. Hier spiegeln sich die wirt-

schaftlichen Strukturprobleme in der Alterspyramide wider. Aufgrund der rückläufigen Arbeitsplatzentwicklung mit unterdurchschnittlichem Arbeitsplatzangebot sehen in der Kernregion des Ruhrgebietes immer weniger Berufstätige eine Perspektive.

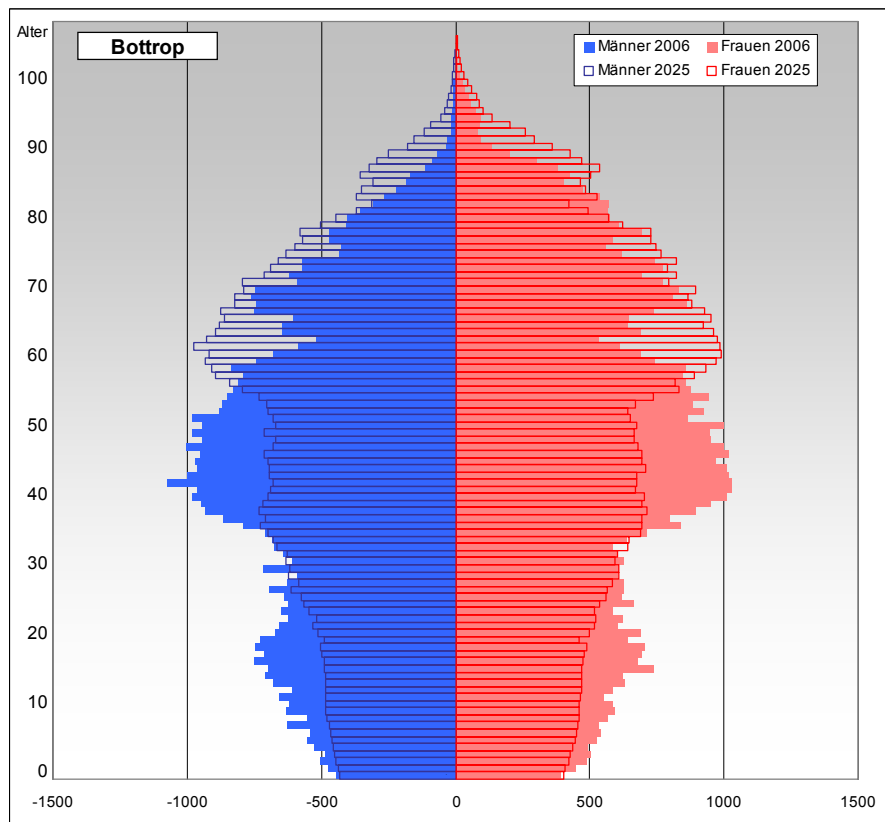
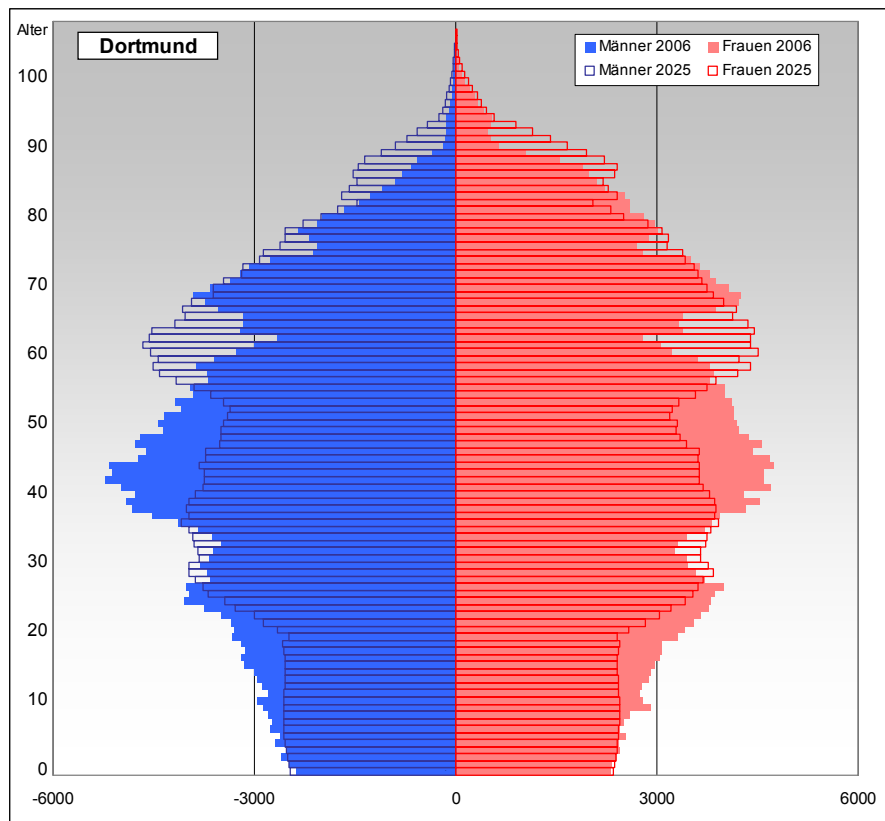


Abb. 1-7 Alterspyramide für Dortmund (oben) und Bottrop (unten) für die Jahre 2006 und 2025 (Bertelsmann Stiftung 2008)

1.1.4 Luftreinhaltung

Die Spurenstoffbelastung der Luft stellt in Ballungsräumen ein großes Problem dar, als deren Hauptverursacher insbesondere der Verkehr, der Hausbrand, die Industrie und die Energiewirtschaft anzusehen sind (vgl. Kap. 1.2). Aus diesem Grund wurden seitens der EU bereits seit den 1990er Jahren Richtlinien zur Durchsetzung der Luftreinhaltung erlassen, die für alle EU-Staaten verbindlich sind und in jeweiliges nationales Recht umgesetzt werden müssen. Hierbei handelt es sich insbesondere um die Luftqualitätsrahmenrichtlinie 96/62/EG und ihre Tochterrichtlinien (1999/30/EG, 2000/69/EG, 2002/3/EG, 2004/107/EG sowie die novellierte Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG), welche für Deutschland in das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG 2009) und die dazugehörigen Verordnungen (22., 35. und 39. BImSchV (2006, 2010)) übernommen wurden. Danach stehen folgende Spurenstoffe im Fokus der Luftreinhaltung: Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Stickoxide, Partikel (PM_x), Blei, Benzol, Kohlenmonoxid, Ozon, Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).

Da die Luftreinhaltung für die genannten Stoffe bereits seit Jahrzehnten praktiziert und die Luftqualität regelmäßig gemessen wird, lassen sich für das Ruhrgebiet Trends in der Spurenstoffbelastung aufzeigen (Abb. 1-8 und Abb. 1-9). Für die Spurenstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffmonoxid und Kohlenmonoxid sind seit den 1990er Jahren rückläufige Trends zu beobachten, während für Stickstoffdioxid und PM_{10} nach einem anfangs deutlich rückläufigen Trend seit 2004 bzw. 2005 eine Stagnation auf einem Niveau im Nahbereich der Grenzwerte zu beobachten ist, die insbesondere auf den Anstieg des Kfz-Verkehrs zurückgeführt wird. Für Stickstoffdioxid wird dabei an Verkehrsstandorten eine Überschreitung des Jahresmittelwertes von $40 \mu\text{g m}^{-3}$ registriert, während beim Feinstaub PM_{10} der Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g m}^{-3}$ im Flächenmittel im Ruhrgebiet unterschritten wird. Allerdings tritt beim PM_{10} das Problem auf, dass lokal insbesondere im Bereich verkehrsreicher Straßen (Hotspots) der Grenzwert von 35 Tagen mit einem Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ häufig überschritten wird (LANUV 2009a).

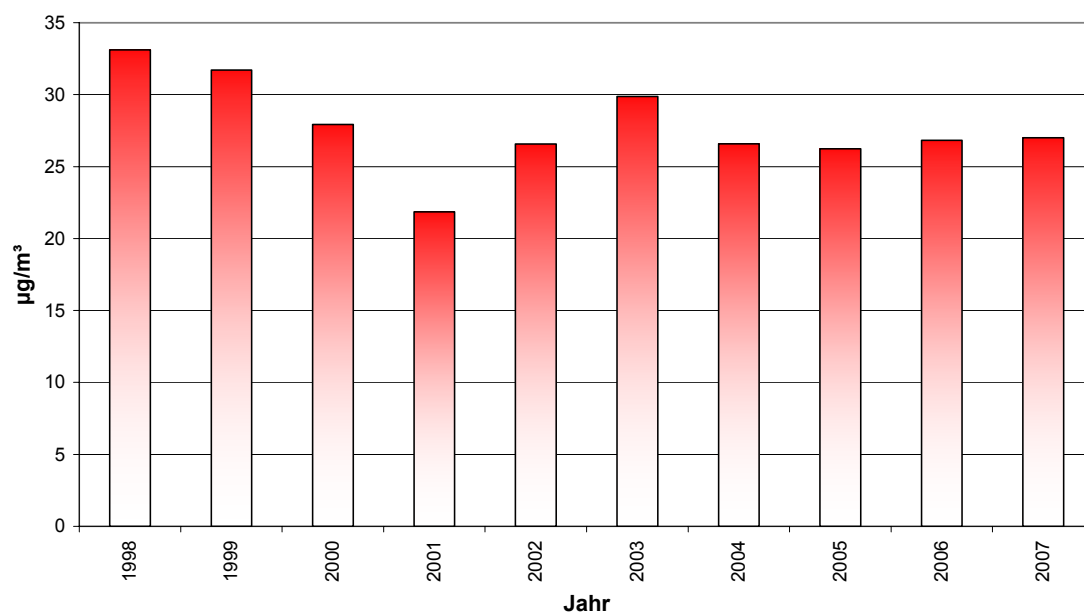


Abb. 1-8 Langjährige Entwicklungen für Feinstaub (PM_{10})-Konzentrationen für das Ruhrgebiet (Flächenmittel) auf Basis von LUQS-Stationsmessungen Ruhrgebiet (Datenquelle: LANUV 2009a)

© LANUV NRW

Kurzfassung Jahreskenngrößen 2009

Februar 2010

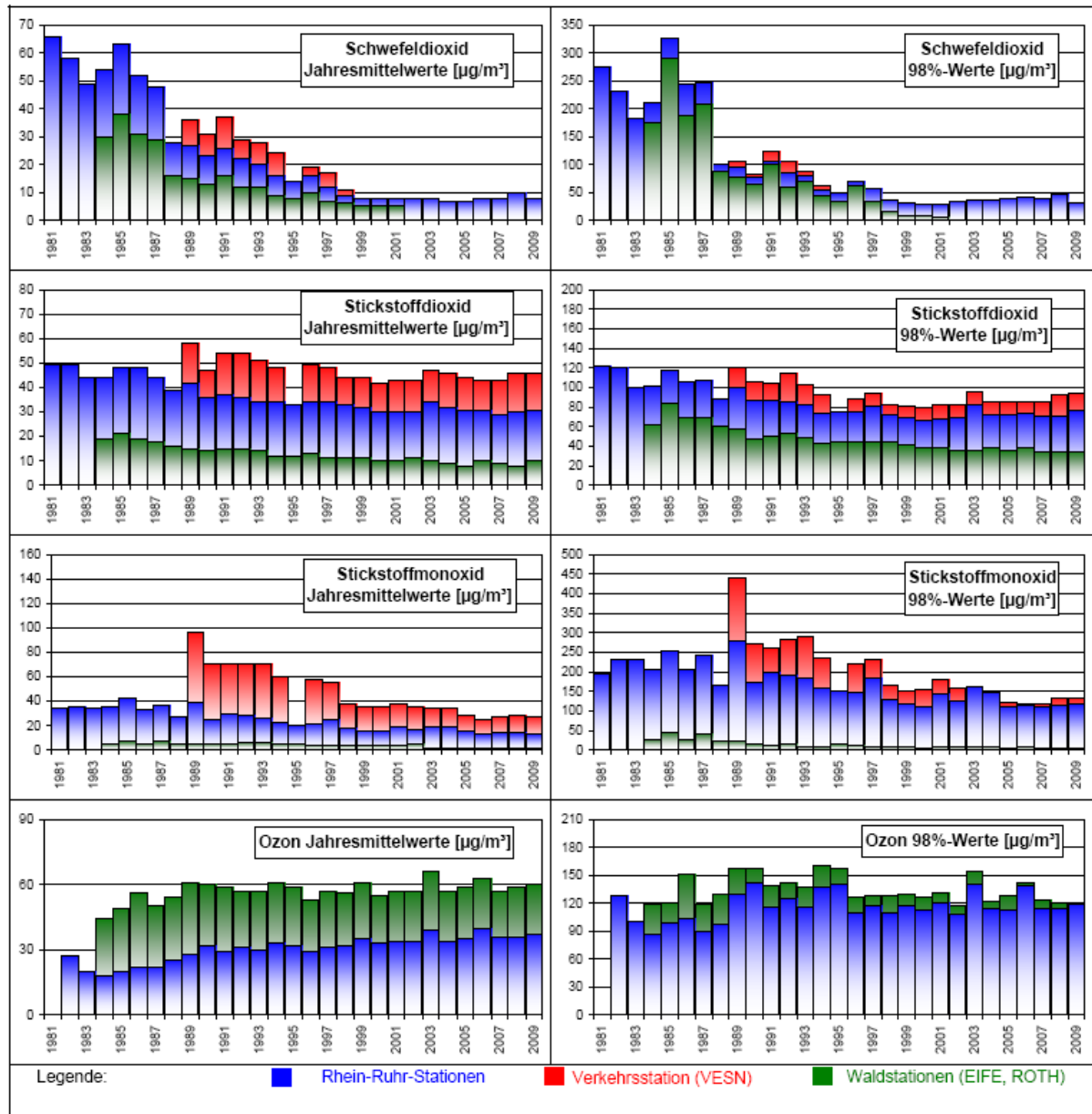


Abb. 1-9 Langjährige Entwicklungen ausgewählter Spurenstoffkomponenten für das Ruhrgebiet (Flächenmittel und Verkehrsflächen) und Waldstationen auf Basis von LUQS-Stationsmessungen (Datenquelle LANUV 2010)

Aufgrund möglicher Grenzwertüberschreitungen von Stickstoffdioxid und PM₁₀ im Verkehrsbe-
reich sind immissionsrechtliche Minderungsmaßnahmen zu ergreifen. Für das Ruhrgebiet wur-
de deshalb ein Luftreinhalteplan aufgestellt, der folgende Aufgaben erfüllt:

- Feststellung und Darstellung der Überschreitung von Grenzwerten im Plangebiet
- Analyse der Ursachen für die Grenzwertüberschreitungen
- Prognose der voraussichtlichen Entwicklung der Belastung am Überschreitungsort
- Erarbeitung von Maßnahmen zur Einhaltung des Grenzwertes.

Der Luftreinhalteplan Ruhrgebiet besteht aus administrativen Gründen aus den drei räumlichen Teilen „West“ (erstellt vom Regierungspräsidium, RP Düsseldorf 2008), „Nord“ (RP Münster 2008) und „Ost“ (RP Arnsberg 2008), kann aber aufgrund der zwischen den Beteiligten abgestimmten einheitlichen Ziele, Methodik und Ergebnisdarstellung als ein Werk betrachtet werden, der das RVR-Verbandsgebiet vollständig abdeckt.

Da insbesondere der Kfz-Verkehr die Hauptquelle für NO_2 und PM_{10} darstellt, wurde vom LANUV ein Verfahren entwickelt, mit dem über die Aussagen der einzelnen LUQS-Verkehrsstationen hinaus eine flächendeckende Abschätzung der Immissionskonzentrationen beider Spurenstoffe entlang der Straßen im Ruhrgebiet rechnerisch abgeschätzt werden kann. Dabei handelt es sich um sog. Ampelkarten, auf denen die berechnete Situation der Zusatzbelastung an Straßen in einer dreistufigen Bewertungsskala dargestellt wird. Entsprechend der Ampelfarben werden kritische bzw. Grenzwert überschreitende Immissionskonzentrationen rot dargestellt, sowie in gelb diejenigen Werte, die eine Überschreitungswahrscheinlichkeit derzeitiger und künftiger Grenzwerte anzeigen. In grün sind Bereiche mit unkritischen Immissionskonzentrationen dargestellt.

Die Berechnungen der Ampelkarten basiert auf folgenden Eingangsparametern:

- Emissionskataster Luft des LANUV mit den Bereichen Verkehr (Straße, Schiff, Schiene, Offroad), Industrie, Hausbrand und sonstige Heizungsanlagen,
- Berechnungen der regionalen Hintergrundbelastung mittels des EURAD-Modells (Frieze et al. 2001),
- Stationäre Messungen des LANUV (LUQS-Stationen) an Standorten der regionalen und urbanen Hintergrundbelastung sowie an Belastungsschwerpunkten,
- Berechnung der Zusatzbelastung durch den Kfz-Verkehr mittels $\text{IMMIS}^{\text{Luft}}$ (Diegmann et al. 2004).

Der Planungsstand bezüglich der Ampelkarten ist relativ dynamisch. Aktuelle Karten und Informationen sind jeweils auf den Seiten des LANUV NRW (www.lanuv.nwr.de) erhältlich. Beispielfhaft werden die Ampelkarten für NO_2 und PM_{10} nachfolgend näher erläutert.

Belastungssituation für NO_2

Um bei der Erstellung der Ampelkarten abschätzen zu können, wie groß die Anteile der Hintergrundkonzentration und die der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr sind, wurde zunächst für das Ruhrgebiet die NO_x -Hintergrundkonzentration mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km berechnet (RP Düsseldorf 2008, Abb. 1-10). Dabei setzt sich die Hintergrundbelastung aus allen Quellen mit Ausnahme des lokalen Straßenverkehrs zusammen.

Als Schwerpunkte der NO_x -Belastung sind die Zentren und die Peripherie der Städte, sowie der Schiffsverkehr am Rhein und die Industriegebiete in der Umgebung von Duisburg und Gelsenkirchen zu erkennen, so dass diese Quellen neben dem nachfolgend zu untersuchenden Straßenverkehr als Hauptemittenten für NO_x zu nennen sind. Die NO_x -Konzentrationen betrugen im Jahr 2004 in diesen Bereichen mehr als $62 \mu\text{g m}^{-3}$. Nach Angaben der RPs wird in diesem Gebiet 2004 auch der Jahresmittelwert der NO_2 -Hintergrundkonzentration von $40 \mu\text{g m}^{-3}$ überschritten.

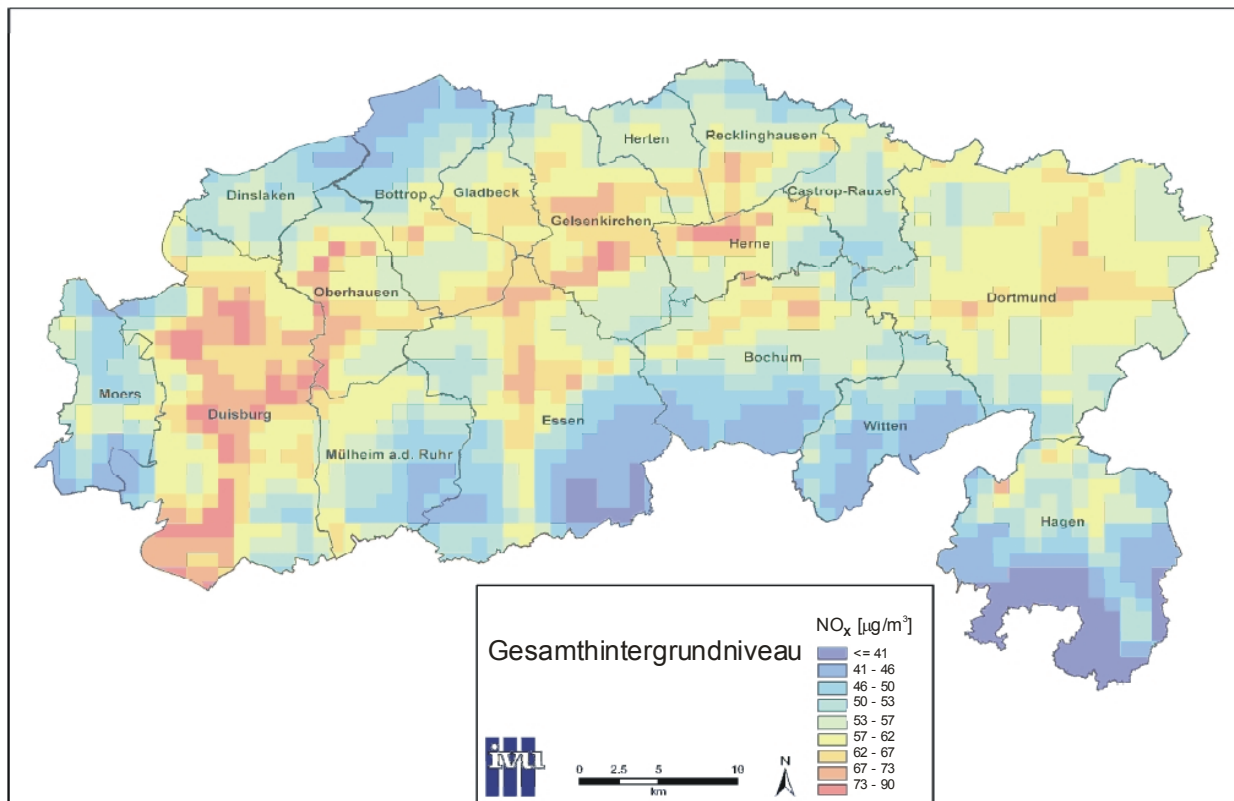


Abb. 1-10 Immissionsbelastung durch Stickoxide (NO_x) im Ruhrgebiet (Hintergrundbelastung ohne den lokalen Straßenverkehr) für das Jahr 2004 (RP Düsseldorf 2008)

Die Immissionssituation für den Straßenverkehr wird in einer NO_2 -Ampelkarte (Abb. 1-11) dargestellt (LANUV 2008a). Die Einteilung der Konzentration erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Rot dargestellt werden Straßen mit NO_2 -Jahresmittelwerten $> 44 \mu\text{g m}^{-3}$. Bei diesem Wert handelt es sich um die Summe aus dem Grenzwert für 2010 von $40 \mu\text{g m}^{-3}$ zuzüglich der Toleranzmarge für das Jahr 2008.
- Gelb gefärbt werden Straßen mit Jahresmittelwerten zwischen 40 und $44 \mu\text{g m}^{-3}$, womit eine Überschreitung des ab 2010 gültigen Grenzwertes von $40 \mu\text{g m}^{-3}$ bzw. der kritische Grenzbereich angezeigt wird.
- Grün dargestellt werden Straßen mit Jahresmittelwerten $< 40 \mu\text{g m}^{-3}$, die Bereiche mit bisher unkritischen Immissionskonzentrationen markieren.

Als derzeitige Belastungsschwerpunkte mit Konzentrationen $> 44 \mu\text{g m}^{-3}$ (rot) sind neben kleineren Hotspots hauptsächlich zu nennen: in Essen einige Abschnitte der B224, der Altenesser Straße, der Ruhrallee, der Steeler Straße sowie der Kraye Straße, ferner die Kurt-Schumacher Straße in Gelsenkirchen, die Mallinckrodtstraße und die B1 in Dortmund sowie die Ruhrorter Straße in Duisburg.

Ampelkarte NO₂ und geplante Umweltzonen im Ruhrgebiet
Stand 31.03.2008

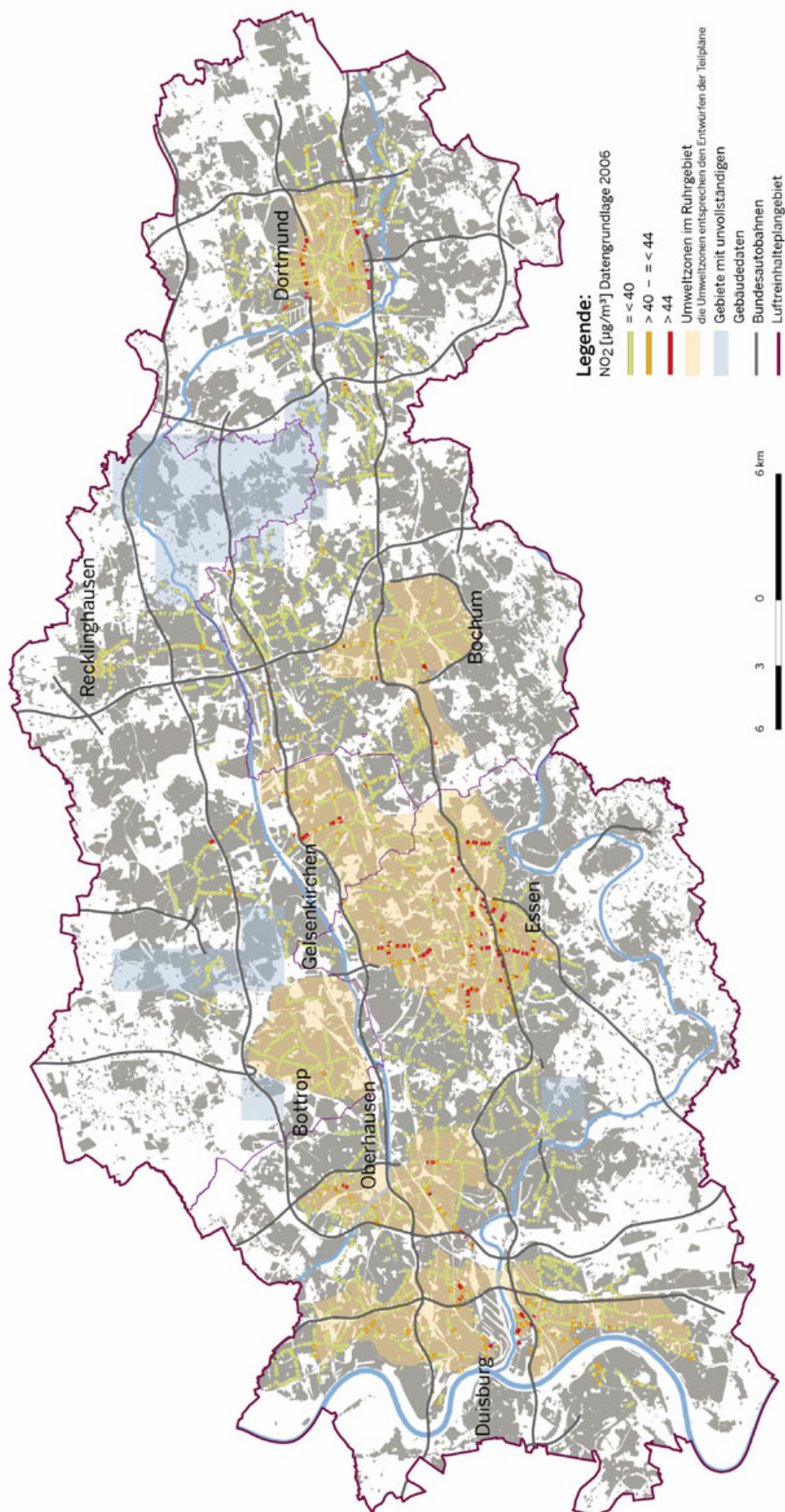


Abb. 1-11 Ampelkarte für NO₂ im Ruhrgebiet (LANUV 2008a)

Darüber hinaus sind für 2010 (gelbe Bereiche) Grenzwertüberschreitungen in fast alle Städten im Bereich von Bundesstraßen und Hauptverkehrsachsen zu erwarten. Es ist ferner davon auszugehen, dass die berechneten Werte an den Straßenabschnitten in der Realität noch höher ausfallen dürften, da die primären NO_2 -Emissionen aus dem Straßenverkehr zunehmend an Bedeutung gewinnen (Lambrecht 2004).

Unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung ist im Flächenmittel der Straßenverkehr als Haupt- NO_2 -Quelle für das Ruhrgebiet zu nennen, gefolgt von dem regionalen Hintergrund. In geringerem Maße tragen auch die Industrie mit ca. 11% sowie der sonstige Verkehr (10%) und der Hausbrand (ca. 3%) zur NO_2 -Belastung bei (RP Düsseldorf 2008).

Belastungssituation für PM10

Auch bei der Erstellung der PM10-Ampelkarte wurde im Vorfeld der Berechnung der Verkehrsimmissionen die Hintergrundbelastung numerisch für das Ruhrgebiet mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km ermittelt (RP Düsseldorf 2008, Abb. 1-12). Auch in dieser Darstellung setzt sich die Hintergrundbelastung aus allen Quellen mit Ausnahme des lokalen Straßenverkehrs zusammen.

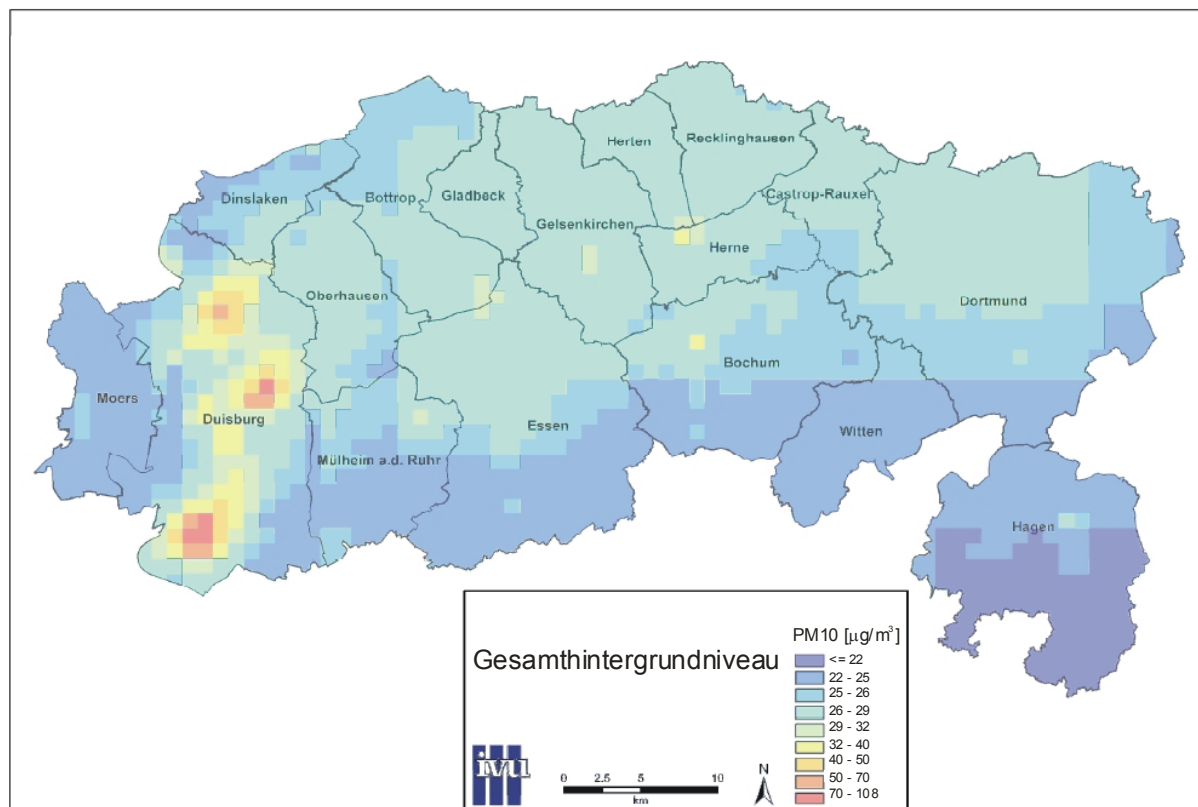


Abb. 1-12 Immissionsbelastung durch Feinstaub (PM10) im Ruhrgebiet ohne den lokalen Straßenverkehr für das Jahr 2004 (RP Düsseldorf 2008)

Die Schwerpunkte der PM10-Belastung mit Grenzwert überschreitenden Jahresmittelwerten $\geq 40 \mu\text{g m}^{-3}$ befinden sich in Industriegebieten entlang des Rheins, sowie als Hotspots in Bochum und Herne. Darüber hinaus wurden in weiten Teilen des Ruhrgebietes Jahresmittelwerte mit Werten zwischen $29 \mu\text{g m}^{-3}$ und $40 \mu\text{g m}^{-3}$ festgestellt. Obwohl dieser Wertebereich unterhalb des Grenzwertes liegt, ist die Situation in den hiervon betroffenen Gebieten als bedenklich einzustufen. Laut RP Münster (2008) kann aus einem Jahresmittelwert von mindestens $30 \mu\text{g m}^{-3}$ darauf geschlossen werden, dass mit 90%-iger Wahrscheinlichkeit der Grenzwert für PM10-

„Überschreitungstage“ übertroffen wird. Dabei darf an höchstens 35 Tagen im Jahr ein Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g m}^{-3}$ überschritten werden.

Für die Immissionssituation im Straßenverkehr existiert eine PM10-Ampelkarte (LANUV 2008b). Im Ruhrgebiet wurden an den untersuchten Straßenabschnitten keine Überschreitungen des derzeitigen PM10-Jahresmittelwertes von $40 \mu\text{g m}^{-3}$ festgestellt (RP Münster, Arnsberg und Düsseldorf, 2008). Allerdings zeigen sich vielerorts Überschreitungen des Jahresmittelwertes von $30 \mu\text{g m}^{-3}$, so dass hier mit mehr als 35 PM10-Überschreitungstagen und damit mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen ist. Dieses betrifft vornehmlich die Hauptverkehrsachsen (ohne Autobahnen) im Ruhrgebiet, insbesondere in Duisburg, Essen und Oberhausen sowie in geringerem Maße auch Oberhausen, Bottrop, Gelsenkirchen und Recklinghausen.

In den Stadtgebieten von Bochum, Bottrop, Dortmund, Gelsenkirchen, Gladbeck, Herten, Herne und Recklinghausen liegt der Anteil des regionalen Hintergrundes an der PM10-Gesamtbelastung bei $> 60 \%$. Auch in Duisburg, Essen, Mülheim und Oberhausen ist die Hintergrundkonzentration mit mehr als 50%-igem Anteil sehr hoch. In den untersuchten Städten trägt neben der Hintergrundkonzentration der Verkehr als zweitgrößter Verursacher zur Feinstaubbelastung bei. Nur in den Duisburger Ortsteilen Bruckhausen, Marxloh und Walsum sowie in Bottrop-Welheim ist die Industrie als primäre PM10-Quelle anzusehen.

Umweltzonen

Da sowohl bei NO_2 als auch beim PM10 bereits die Hintergrundkonzentration auf flächenhafte Grenzwertüberschreitungen in weiten Teilen des Ruhrgebietes hinweisen, wird eine Bekämpfung der lokalen Zusatzbelastung durch Verkehr oder Industrie allein keine Reduzierung der jeweiligen Immissionskonzentrationen auf Werte unterhalb der Grenzwerte bewirken. Daher wurde seit 2007 als neues Minderungskonzept die flächendeckende Reduzierung der Spurenstoffe angestrebt. In den Gebieten mit Grenzwertüberschreitungen wurden sog. „Umweltzonen“ ausgewiesen mit dem angestrebten Ziel, auf Grundlage der 35. BImSchV (2006) durch Fernhalten von Fahrzeugen mit hohem PM10-Ausstoß neben der lokalen Zusatzbelastung auch die städtische und regionale Hintergrundkonzentration senken zu können. Im Ruhrgebiet sind seit spätestens September 2008 entsprechend der Belastungsschwerpunkte in den Ampelkarten neun Umweltzonen ausgewiesen (Abb. 1-13):

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1. Bochum | 6. Gelsenkirchen, Cranger Straße |
| 2. Bottrop | 7. Oberhausen und Mülheim |
| 3. Dortmund | 8. Recklinghausen, Bochumer Straße |
| 4. Duisburg | 9. Recklinghausen Innenstadt |
| 5. Essen und Gelsenkirchen Süd | |

Die Umweltzonen umfassen diejenigen Gebiete, die bezüglich der Hintergrundbelastung und der Zusatzbelastung durch den Straßenverkehr hoch belastet sind. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Bundesautobahnen aufgrund des gebietshoheitlichen Status von den Umweltzonen ausgenommen sind.

Der Planungsstand bezüglich der Umweltzonen ändert sich relativ dynamisch. Aktuelle Karten und Informationen sind jeweils auf den Seiten des LANUV NRW (www.lanuv.nrw.de) erhältlich.

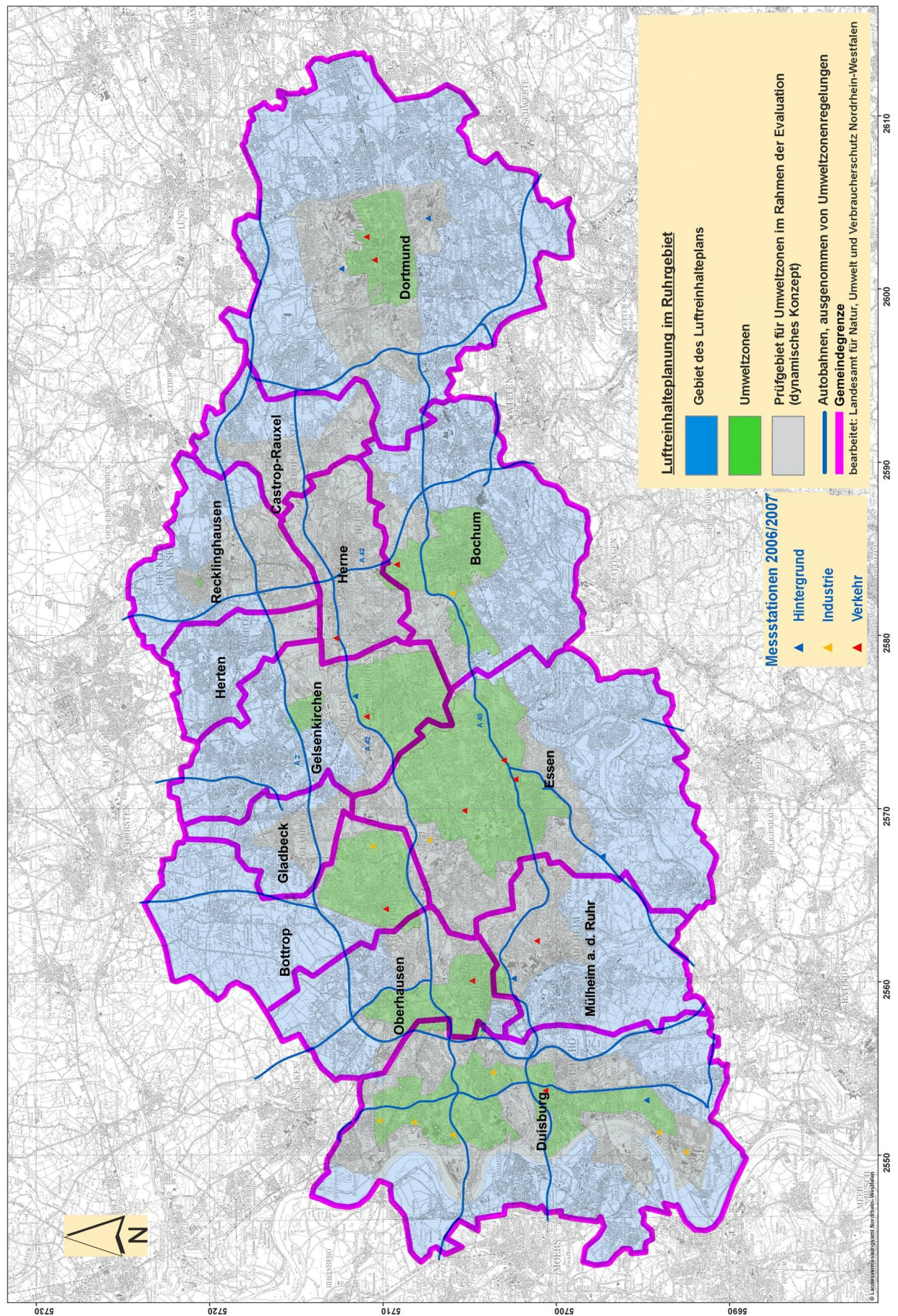


Abb. 1-13 Karte der Umweltzonen im Ruhrgebiet, Stand: 01.10.2008 (LANUV 2009b)

1.1.5 Belastungssituation für Lärm

Der Lärm stellt in Ballungsräumen ein großes Umweltproblem dar. Insbesondere entlang der Hauptstrecken des Straßen- und Schienenverkehrs sowie im Bereich von Großflughäfen und Einflugschneisen werden hohe Lärmbelastungen beobachtet. Der Gesetzgeber sieht daher in diesen Bereichen die Bekämpfung von Lärm vor. Grundlage für die Lärmbekämpfung ist die EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG, die 2005 in deutsches Recht übernommen wurde (Ergänzung des BImSchG von 2009 sowie die hierzu gehörende 34. BImSchV von 2006). Die Richtlinie verpflichtet zur Lärmkartierung und zur Aufstellung von Lärmaktionsplänen.

Die Kartierung erfolgt, wenn für das betroffene Gebiet eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Ballungsraum mit > 250.000 Einwohnern (ab 2012: > 100.000 Einwohnern),
- Hauptverkehrsstraße mit > 6 Mio. Fahrzeugen pro Jahr (ab 2012: > 3 Mio. Fahrzeugen pro Jahr),
- Haupteisenbahnstrecke mit > 60.000 Zügen pro Jahr (ab 2012: > 30.000 Zügen pro Jahr),
- Großflughafen mit > 50.000 Flugbewegungen pro Jahr.

Als Beurteilungsgrundlage der Lärmsituation werden die gemittelten Schalldruckpegel L_{DEN} und L_{Night} verwendet. Der Gesamtpegel L_{DEN} (Level Day Evening Night) berechnet sich aus den Teilpegeln L_{Day} , $L_{Evening}$ und L_{Night} . Die Pegel für die vierstündige Abendzeit bzw. die achtstündige Nachtzeit, die Einwirkungen in Zeiten mit erhöhtem Schutzanspruch abbilden, werden bei dieser Berechnung mit einem Malus von 5 dB bzw. 10 dB berücksichtigt. L_{Night} ist ein gemittelter Schalldruckpegel über die achtstündige Nachtzeit, mit dem Aussagen über Schlafstörungen gemacht werden können. Die Bewertung des Lärms erfolgt nach folgenden Kriterien (nach den UBA-Empfehlungen zu Auslösewerten für die Lärmaktionsplanung):

Umwelthandlungsziel	Zeitraum	L_{DEN}	L_{Night}
Vermeidung von Gesundheitsgefährdung	kurzfristig	65 dB(A)	55 dB(A)
Minderung der erheblichen Belästigung	mittelfristig	60 dB(A)	50 dB(A)
Vermeidung von erheblicher Belästigung	langfristig	55 dB(A)	45 dB(A)

Die Werte für den kurzfristigen Handlungsbedarf liegen unter den Werten von 70 dB(A) für L_{DEN} bzw. 60 dB(A) für L_{NIGHT} , die im Runderlass des MUNLV (Az. V-5 – 8820.4.1 vom 7.2.2008) als sichere Identifikationsmerkmale für Lärmprobleme, die eine Lärmaktionsplanung erfordern, genannt werden. Für das Ruhrgebiet wurden Lärmkarten entsprechend der o. g. Bedingungen erstellt. Eine detaillierte kartographische Lärmdatenbank für die einzelnen Kommunen und Lärmquellen des Ruhrgebietes befindet sich im Internet unter <http://www.umgebungslaerm.nrw.de> (LANUV/MUNLV 2009). Die Analyse der Lärmkarten ergibt, dass in den betroffenen Kommunen des Ruhrgebietes der Verkehrslärm insbesondere im Bereich der Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen zu Gesundheit gefährdenden Belastungen führt. Dieses gilt sowohl für die Tag- als auch für die Nacht-Situation, wie das Beispiel für Dortmund in Abb. 1-14 zeigt. Beim Fluglärm ist die Belastung auf den Bereich der Flugschneisen an den Flughäfen Dortmund und Düsseldorf begrenzt.

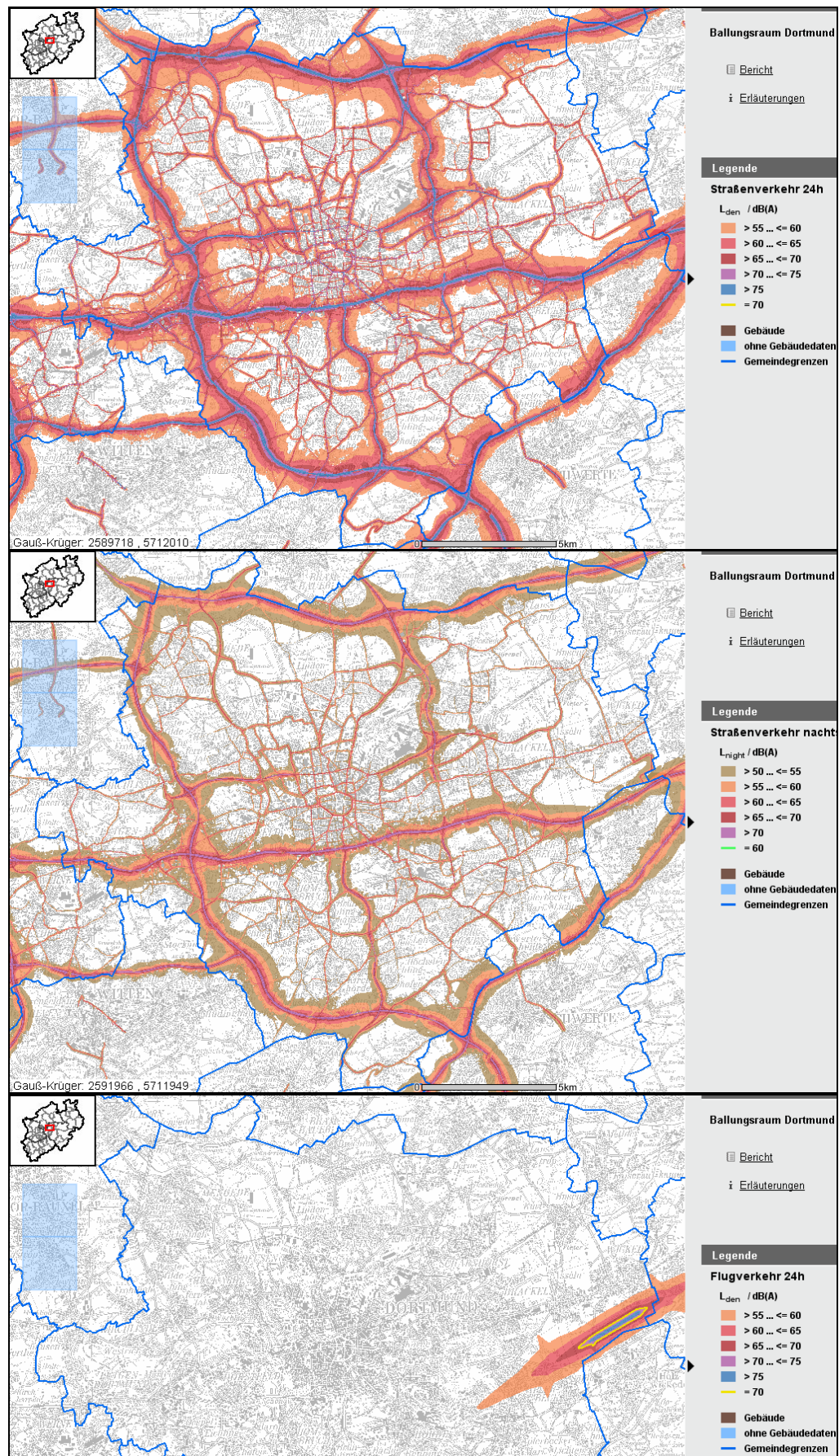


Abb. 1-14 Beispiele von Lärmbelastungskarten für den Straßenverkehr (24h und nachts) sowie für Fluglärm (24h) am Beispiel der Stadt Dortmund (LANUV/MUNLV 2009)

Fazit

Während für die Spurenstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffmonoxid und Kohlenmonoxid seit vielen Jahren im Ruhrgebiet ein Rückgang der Immissionskonzentrationen zu beobachten ist, wird für Stickstoffdioxid, Feinstaub und Ozon seit Mitte dieses Jahrzehnts eine Stagnation bzw. ein Anstieg der Belastung registriert. Neben den Hauptquellen Straßenverkehr und Industrie ist auch die Hintergrundbelastung für Grenzwertüberschreitungen verantwortlich, so dass als flächendeckende Minderungsmaßnahme Umweltzonen im Ruhrgebiet eingerichtet wurden. Neben der lufthygienischen Belastung ist das Ruhrgebiet entlang des dichten Netzes verkehrsreicher Straßen sowie im Bereich der Einflugschneisen von Flughäfen durch hohe Lärmbelastungen geprägt.

1.1.6 Die wasserwirtschaftliche Situation des Ruhrgebiets

Das Ruhrgebiet ist durch drei Flüsse geprägt, die das Gebiet von Osten bis zu ihren Mündungen in den Rhein im Westen durchfließen: die Ruhr im Süden, die Emscher im mittleren Teil und die Lippe im Norden. Während die Ruhr von ihrer Quelle im Sauerland bis kurz vor Mülheim/ Ruhr in einem ausgeprägten Tal am Rande der Mittelgebirgsregion Sauerland/ Bergisches Land liegt, waren Emscher und Lippe im Bereich des Ruhrgebiets typische Fließgewässer des Flachlands mit sehr geringem mittlerem Gefälle (1 ‰) bis zum Rhein. Alle drei Gewässer wurden im Zuge der Industrialisierung stetig an die Bedürfnisse der wasserintensiven Schwerindustrie und der stark anwachsenden Bevölkerung angepasst und entsprechend ausgebaut. Die fünf Ruhrstauseen Hengstey, Harkort, Kemnade, Baldeney und Kettwig wurden zwischen 1929 und 1979 durch den Ruhrverband angelegt, um das Absetzen von Sedimenten und Schwebstoffen zu ermöglichen (sog. „Flusskläranlagen“). Die Wasserkörper werden auch für die Energieerzeugung (Laufwasser- und Pumpspeicherkraftwerke) und die Naherholung genutzt. Die Emscher und zahlreiche ihrer Nebenläufe wurden als Abwasserkanal des Ruhrgebiets auf nahezu vollständiger Länge mit Deichanlagen und einer Sohlsicherung ausgebaut. Im Einzugsgebiet der Lippe wurde insbesondere die Seseke in gleicher Weise genutzt. Die meisten der urbanen, d. h. Siedlungsgebiete durchfließende Gewässer im Ruhrgebiet unterliegen auch heute noch diversen anthropogenen Nutzungen.

Weitere wichtige Wasserkörper in der Region sind die vier westdeutschen Kanäle, die wichtige Produktions- und Kraftwerksstandorte im Großraum Ruhrgebiet miteinander verbinden und darüber hinaus die kommerzielle Schifffahrt zwischen Rhein, Weser und Elbe ermöglichen. Aus den Kanälen wird auch Wasser zur Nutzung als Kühlwasser in Kraftwerken und als Industrie-Brauchwasser entnommen. Durch den Systemverbund der Westdeutschen Kanäle können sowohl Wasserverluste und -entnahmen durch Einspeisungen aus dem Rhein und aus der Lippe ausgeglichen, als auch ein Mindestabfluss der Lippe gesichert werden (Abb. 1-15).

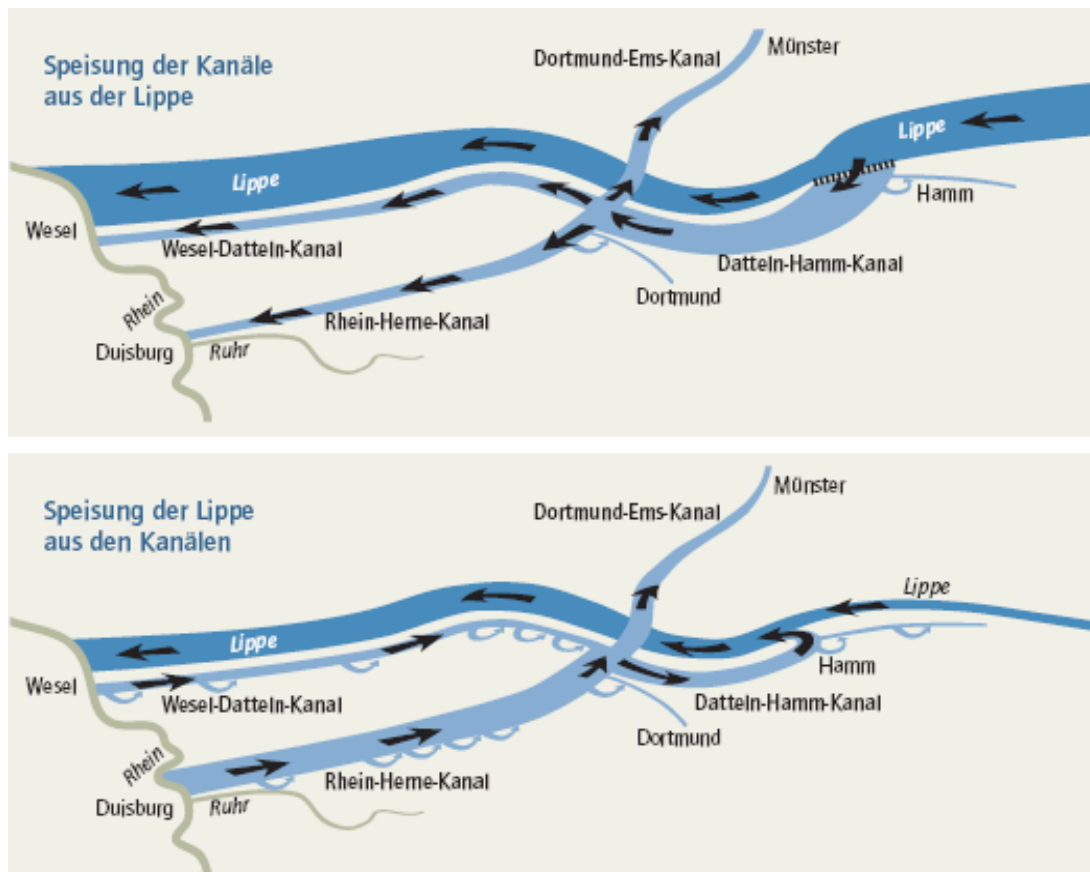


Abb. 1-15 Schematische Darstellung des Systemverbunds Lippe – Westdeutsche Kanäle (WWK 1994)

Trink- und Brauchwasser für das Ruhrgebiet werden aus historischen Gründen hauptsächlich im Ruhrtal gewonnen, wo die Entwicklung des Ruhrgebiets einsetzte und sich dann nach Norden hin fortsetzte. Die Wasserwerke haben aufgrund der Verunreinigungen der Ruhr durch häusliche und industrielle Abwässer schon früh damit begonnen, Flusswasser in den Ruhrkies zu versickern und das auf diese Weise angereicherte Grundwasser für die Trinkwassergewinnung zu nutzen. Zur Versorgung der Industriegebiete und der Bevölkerung des Ruhrgebiets werden der mittleren und unteren Ruhr seit über 130 Jahren erhebliche Wassermengen entnommen, die die niedrigste, natürliche Wasserführung bei Weitem übersteigen würden. Diese Entnahmeverluste werden seit 1906 mit Zuschusswasser aus dem Talsperrensystem des Ruhrverbands (bis 1990: Ruhrtalsperrenverein) ausgeglichen. Dazu wurden zwischen 1899 und 1965 im Sauerland insgesamt sechs große und mehrere kleine Talsperren errichtet, um die nötige Wasserführung für die Wasserwerke an der Ruhr sicherzustellen (Abb. 1-16). Die nordwestlichen Teile des Ruhrgebiets werden überwiegend mit Trinkwasser aus den Grundwasservorkommen nördlich der Lippe in den Bereichen der Haard und der Hohen Mark (bei Haltern am See) bzw. durch künstliche Grundwasseranreicherung mit Rohwasser aus dem Haltenauer Stausee bzw. aus der Talsperre Hüllen versorgt.



Abb. 1-16 Das Talsperrensystem des Ruhrverbands und die wesentlichen Wasserüberleitungen der Ruhr-Wasserwerke (Ruhrverband 2009)

Mit dem steigenden industriellen und häuslichen Wasserverbrauch war auch ein höherer Abwasseranfall verbunden, der der Ruhr und wenig später auch der Emscher ungeklärt zugeleitet wurde. In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts führten diese großen Abwassermengen zu einer erheblichen Verschlechterung der Rohwasserqualität für die Trinkwasserversorgung an der Ruhr und zu hygienischen Missständen und Krankheiten wie Malaria, Typhus und Ruhr im gesamten Revier (Ruhrverband 2009). Aufgrund dieser drängenden wasserwirtschaftlichen Probleme des Ruhrgebiets wurden in den folgenden Jahren durch den preußischen Staat Sondergesetze erlassen, mit denen die Wasserverbände Emschergenossenschaft (1899), Ruhrverband und Ruhrtalsperrenverein (1913) und Lippeverband (1926) als eigenständige Genossenschaften eingerichtet wurden. Alle Kommunen, der Bergbau, die großen Industriebetriebe und andere Bedarfsträger im jeweiligen Verbandgebiet (wie die Wasserwerke) sind gemäß der Sondergesetze Pflichtmitglieder in den drei Körperschaften des öffentlichen Rechts. Die drei Verbände sind in den ihnen per Gesetz anvertrauten Flussgebieten die regionalen Träger der wasserwirtschaftlichen Belange. Die wesentlichen Aufgaben der Wasserverbände umfassen heute die Wassermengen- und Wassergütwirtschaft, den Hochwasserschutz, die naturnahe Umgestaltung ausgebauter Wasserläufe, die Niederschlagswasserbehandlung und z. T. auch die Regelung des Grundwasserstandes in ihren Einzugsgebieten.

Um die enormen Schmutz- und Niederschlagswassermengen aus dem Ruhrgebiet ableiten zu können, wurde sehr bald entschieden, die Emscher und viele der ihr zufließenden Bachläufe als

offene Abwasserkanäle zu nutzen. Diese wurden nach Gründung der Emschergenossenschaft aktiv zur Sicherung der Vorflut im Ruhrgebiet ausgebaut. Die offene Abwasserführung blieb jahrzehntelang bestehen: Solange die durch den Steinkohlebergbau verursachten Bergsenkungen anhielten, wären unterirdische Kanäle immer wieder beschädigt worden.

Die eingesetzten Sohlbefeestigungen und insbesondere die Schutzdeiche mussten aufgrund der Bergsenkungen in den kommenden Jahrzehnten wiederholt überarbeitet und erhöht werden. Während sich durch das großflächige Absinken der Geländeoberflächen sogenannte „Polder“ bildeten, die nur durch den Einsatz von Pumpen trocken gehalten bzw. entwässert werden können, verlaufen die Emscher und einige ihrer Nebenläufe heute in einigen Teilen der Region mehrere Meter über dem umgebenden Gelände. Insbesondere Emschergenossenschaft und Lippeverband betreiben in ihren Verbandsgebieten mehrere hundert Pumpwerke zur Sicherung der Vorflut kleiner Fließgewässer, zur Grundwasserhaltung oder zur Hebung von Abwasserströmen. Diese Anlagen sind mit den durch die Städte und Gemeinden betriebenen Siedlungsentwässerungsnetzen eng verflochten und übernehmen Abwasser aus diesen Netzen in die Emscher und anderen urbanen Wasserläufe der Wasserverbände.

In den 59 Kläranlagen von Emschergenossenschaft und Lippeverband werden die Abwässer von 3,8 Millionen Einwohnern und zusätzliche 3 Millionen Einwohnergleichwerte aus Industrie und Gewerbe gereinigt (Emschergenossenschaft 2009). Der Ruhrverband betreibt in seinem Verbandsgebiet insgesamt 72 Kläranlagen mit einer Gesamtkapazität von knapp 3,3 Millionen Einwohnerwerten (Ruhrverband 2009).

Die Nordwanderung des Bergbaus aus dem Kernbereich des Ruhrgebiets hinaus und das Abklingen der Bergsenkungen ermöglichte es, seit Ende der 1980er Jahre Planungen zum Umbau des Emscher-Systems aufzunehmen. Eckpunkte des Projekts Emscherumbau sind die zukünftige Ableitung des Abwassers in geschlossenen Kanälen, dezentrale Abwasserreinigung und möglichst naturnah umgebaute Gewässer bei Gewährleistung des Hochwasserschutzes. Zugleich sind wesentliche Ziele der Flussgebietsbewirtschaftung die Vorgabe der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), einen guten ökologischen Zustand eines Gewässers zu erreichen, und die Wirtschaftlichkeit der Umbau- und Unterhaltungsmaßnahmen. Die Umwandlung der offenen Abwasserkanäle und verrohrten Bäche im Einzugsgebiet der Emscher sowie in den Gebieten südlich der Lippe in ansprechende urbane Fließgewässer hat in den 1990er Jahren begonnen und wird voraussichtlich bis 2020 abgeschlossen sein. Auch aus diesen Maßnahmen ergibt sich ein erhebliches Entwicklungspotenzial für urbane Räume.

Das Emschereinzugsgebiet sowie die direkt angrenzenden Siedlungsgebiete im Bereich der Ruhr bzw. der Lippe (d. h. das Ruhrgebiet) gehören mit einer Bevölkerungsdichte von im Ruhrgebietsmittel 1.200 Einwohnern/km² zu den am dichtest besiedelten Gebieten Europas. Die dichte Bebauung und der hohe Anteil versiegelter Flächen führen zu einem abflusswirksamen Flächenanteil von über 40 %. Dieser Wert bedeutet, dass 40 % des anfallenden Niederschlags nicht versickern (können) oder in das nächste Gewässer fließen, sondern über die öffentliche Kanalisationen und Anlagen der Kommunen bzw. der Wasserverbände abgeleitet werden müssen. Aufgrund der stark land- und forstwirtschaftlich geprägten Landnutzung liegen diese Werte in den Einzugsgebieten der Ruhr und der Lippe erheblich niedriger. Die Beherrschung von Starkniederschlagsereignissen und die konsequente Abkopplung abflusswirksamer Flächen sind deshalb zwei wesentliche wasserwirtschaftliche Herausforderungen für das Ruhrgebiet.

1.2 Grundlagen der Stadtklimatologie

1.2.1 Merkmale des Stadtklimas

Der urbane Siedlungsraum verursacht im Vergleich zu seiner nicht bebauten Umgebung klimatische und lufthygienische Veränderungen, die allgemein unter dem Begriff Stadtklima zusammengefasst werden (Kuttler 2004a). Entstehungsursachen des Stadtklimas sind die dreidimensionale Vergrößerung der Erdoberfläche durch die städtische Bebauung, die damit verbundene weitestgehende Versiegelung der Oberfläche bei gleichzeitiger Reduzierung der Vegetations- und Wasserflächen sowie die anthropogenen Emissionen von Wärme und Spurenstoffen aus den Quellen Verkehr, Hausbrand und Industrie (Kuttler 2008). Basierend auf diesen Voraussetzungen verursachen die Eigenschaften der versiegelten Oberflächen, deren eingeschränktes Evaporationsvermögen sowie die stadtbedingte Erhöhung der Oberflächenrauigkeit neben der aktinisch-thermischen Modifikation der Stadtatmosphäre durch Spurenstoffe eine Veränderung sowohl des Strahlungs- und Energiehaushaltes als auch eine Beeinflussung des turbulenten Austausches (Hupfer & Kuttler 2006).

Das Stadtklima bildet sich am deutlichsten während autochthoner, das heißt windschwacher und strahlungsreicher Wetterlagen aus, jenen als 'eigenbürtig' zu bezeichnenden Witterungsabschnitten, die vornehmlich bei antizyklonalen Großwetterlagen entstehen und durch ausgeprägte Tagesgänge der meisten meteorologischen Elemente gekennzeichnet sind. In Mitteleuropa weisen derzeit durchschnittlich etwa 20% der Tage und 30% der Nächte eines Jahres die Charakteristika von Strahlungswetter auf (Gerstengarbe et al. 1999), die Nordhälfte Deutschlands, und damit auch NRW, liegt unter diesen Mittelwerten. Zu der erwähnten räumlichen Abgrenzung ergibt sich somit auch eine zeitliche Abhängigkeit des Stadtklimas, die an die Dauer der meist nach Tagen zu bemessenden Witterungsabschnitte gebunden ist. Die klimatischen Zustandsgrößen des Stadtklimas sind im Vergleich zum Umland nach Tab. 1-3 unterschiedlich ausgeprägt.

Urbane Energiebilanz

Die Zusammensetzung der Stadtluft, die Horizonteinschränkungen durch städtische Bebauung und die Eigenschaften der Baumaterialien verändern den Energiehaushalt einer Stadt. Die Sonnenscheindauer ist in urbanen Straßenschluchten aufgrund der durch die Bebauung verursachten größeren Verschattung verkürzt, wobei Extremwerte durch ungünstige Ausrichtung, Höhe und Bestandsdichte der Gebäude erreicht werden. Die verbleibende, als Globalstrahlung auftretende Sonneneinstrahlung wird durch die urbane Dunstglocke, die aus anthropogenen Spurenstoffeinträgen in der Stadtatmosphäre resultiert, abgeschwächt. Die mit der Globalstrahlung transportierte Energie wird durch die städtische Bebauung absorbiert und als Wärme gespeichert. Im Gegensatz zur Einstrahlung sind die Werte der aus dem Halbraum über der Stadt zum Boden gerichteten langwelligen atmosphärischen Gegenstrahlung im Allgemeinen erhöht. Das ist nicht nur auf die stärkere Absorption und Reemission infrarotaktiver Gase und Partikeln in der Stadtluft zurückzuführen, sondern auch darauf, dass die Stadtatmosphäre insbesondere bei schwachem übergeordnetem Gradientwind wärmer ist als die Umlandluft.

Die ultraviolette Strahlung führt zu günstigen, in hohen Dosen aber auch zu gesundheitsschädigenden Wirkungen (Auslösung von Erythemen sowie Hautkrebserkrankungen). Sie wird in der verschmutzten Stadtatmosphäre bevorzugt ausgefiltert und weist insbesondere in den Wintermonaten deutlich niedrigere Werte im Vergleich zum Umland auf.

Tab. 1-3 Charakteristika des Stadtklimas einer Großstadt in den mittleren Breiten im Vergleich zum unbebauten Umland (nach verschiedenen Autoren; aus Kuttler 2004a, ergänzt)

Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber Umland	Einflussgrößen	Veränderungen gegenüber Umland
Strahlungs- und Wärmehaushalt		Hygrische Verhältnisse	
Sonnenscheindauer		Luftfeuchtigkeit	Geringe Unterschiede
– Im Sommer	bis –8%	Nebel	
– Im Winter	bis –10%	– Großstadt	Weniger
Globalstrahlung	bis –10%	– Kleinstadt	Mehr
Albedo	Geringe Unterschiede	Niederschlag	
Gegenstrahlung	bis +10%	– Regen	Mehr (leeseitig)
UV-Strahlung		– Schnee	Weniger
– Im Sommer	bis –5%	– Tauabsatz	Weniger
– Im Winter	bis –30%	Verdunstung	Weniger
Sensibler Wärmestrom	bis +50%	Austausch und Lufthygiene	
Wärmespeicherung im Stadtkörper	bis +40%	Wind	
Thermische Verhältnisse		– Geschwindigkeit	Bis –20%
Lufttemperatur		– Richtungsböigkeit	Stark variierend
– Jahresmittel	~ + 2 K	– Geschwindigkeitsböigkeit	Erhöht
– Winterminima	bis + 10 K	Luftverunreinigungen	
– In Einzelfällen	bis + 15 K	– CO, NO _x , PM _x , AVOC ¹⁾ ,	Mehr
Dauer der Frostperiode	bis –30%	– O ₃	Weniger (Spitzenwerte höher)
Bioklima		1) = anthropogene Kohlenwasserstoffe	
Vegetationsperiode	bis zu 10 Tage länger		
Humane Wärmebelastung	Mehr		
Humaner Kältereiz	Weniger		

Die turbulenten Ströme der sensiblen Wärme und der zur Verdunstung aufgewendeten latenten Wärme sind in Stadtgebieten in Abhängigkeit zur jeweiligen Flächennutzung, der vorherrschenden Witterung sowie von der Tages- und Jahreszeit deutlich modifiziert (Grimmond & Oke 2002). Dabei überwiegt im Flächenmittel der sensible Wärmestrom im Vergleich zum latenten Wärmestrom, da mangels Oberflächenwasser und Vegetation weniger Verdunstung stattfindet.

Städtische Wärmeinsel

Die tagsüber in den Baumaterialien von Gebäuden, Straßen und Plätzen gespeicherte Wärme stellt aufgrund der überwiegend hohen Speicherkapazität ein wichtiges Glied im urbanen Energiehaushalt dar. Als Ergebnis der veränderten Energiebilanz sind die städtischen Lufttemperaturen im Vergleich zum Umland im Jahresmittel um 1 bis 2 K erhöht und stellen somit eine städtische Wärmeinsel dar (Abb. 1-17). Jedoch bestimmen Stadtgröße und -struktur sowie Wetterlage und Jahreszeit erhebliche Abweichungen von diesen Werten, die im Einzelfall und über kurze Zeit nachts durchaus 10 K bis 15 K betragen können.

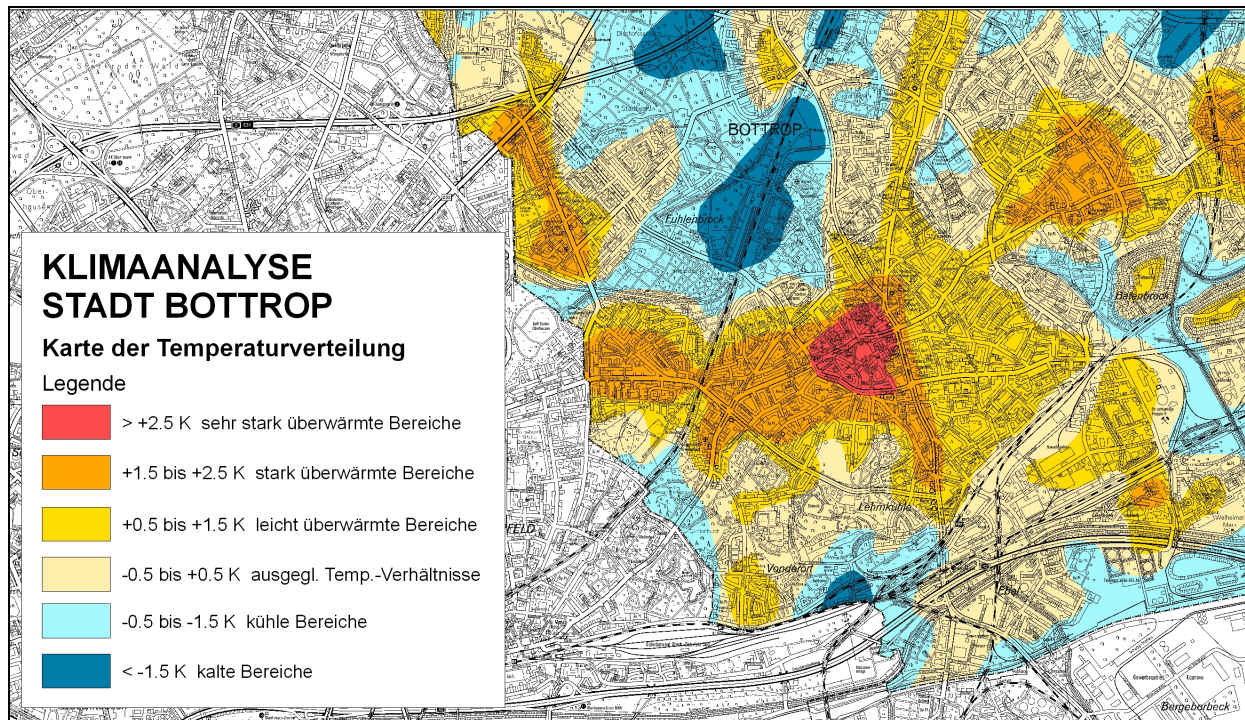


Abb. 1-17 Strahlungsnächtliche Wärmeinsel der Stadt Bottrop, dargestellt als Isanomalen der Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. während austauscharmer, wolkenloser Nächte (RVR 2006a)

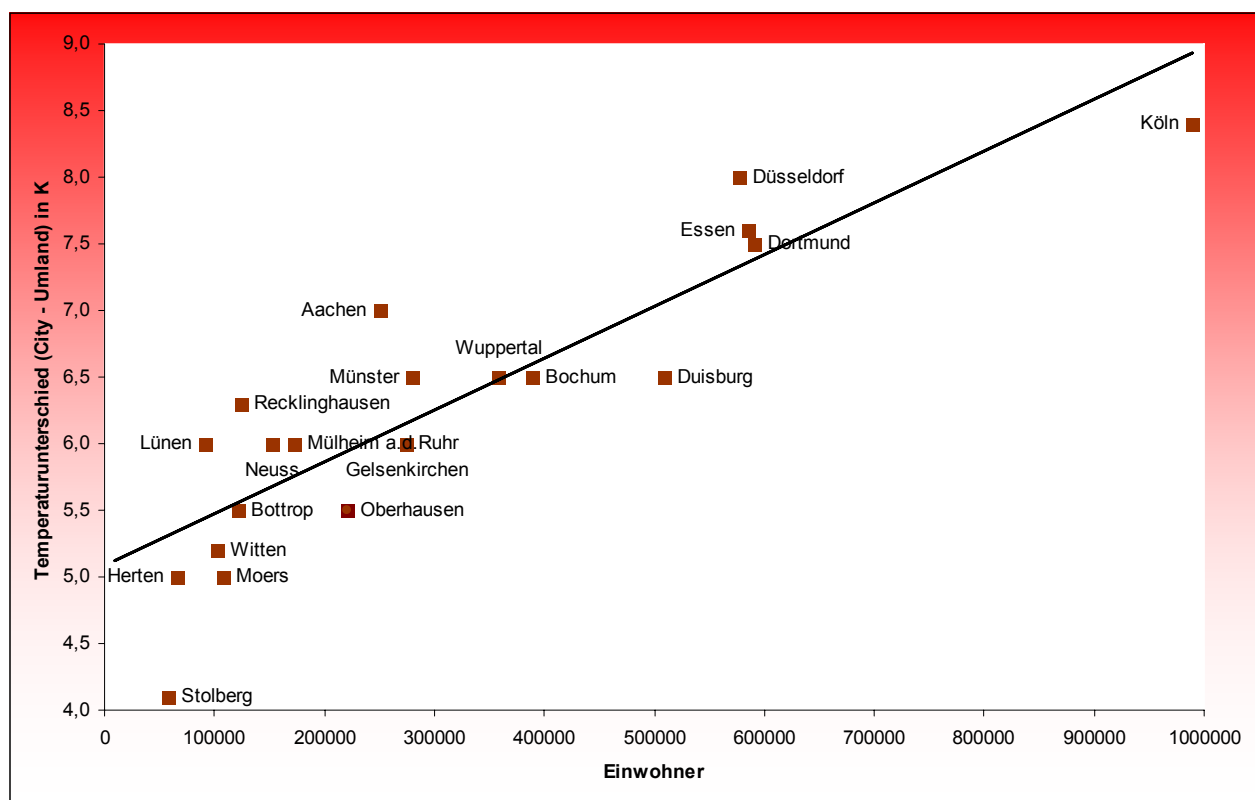


Abb. 1-18 Maximale Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für Städte in NRW (Messdaten des RVR und der Abt. Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie, Universität Duisburg-Essen)

Die klimatischen Eigenschaften einer Stadt resultieren u. a. aus dem Versiegelungsgrad und der Stadtgröße. Abb. 1-18 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Wärmeinseleffektes und der Stadtgröße für verschiedene Städte in Nordrhein-Westfalen. Es wird deutlich, dass der maximale Temperaturunterschied der großen Innenstädte gegenüber dem Umland bis zu 9 Kelvin beträgt. Es ist zusätzlich erkennbar, dass auch bei kleineren Städten unter 100.000 Einwohner ein messbarer Wärmeinseleffekt auftreten kann.

Aus der jahres- und tageszeitlichen Verteilung der städtischen Überwärmung in Abb. 1-19 ist zu erkennen, dass die erhöhten Lufttemperaturen in Städten der mittleren Breiten insbesondere während autochthoner Sommernächte deutlich ausgeprägt auftreten.

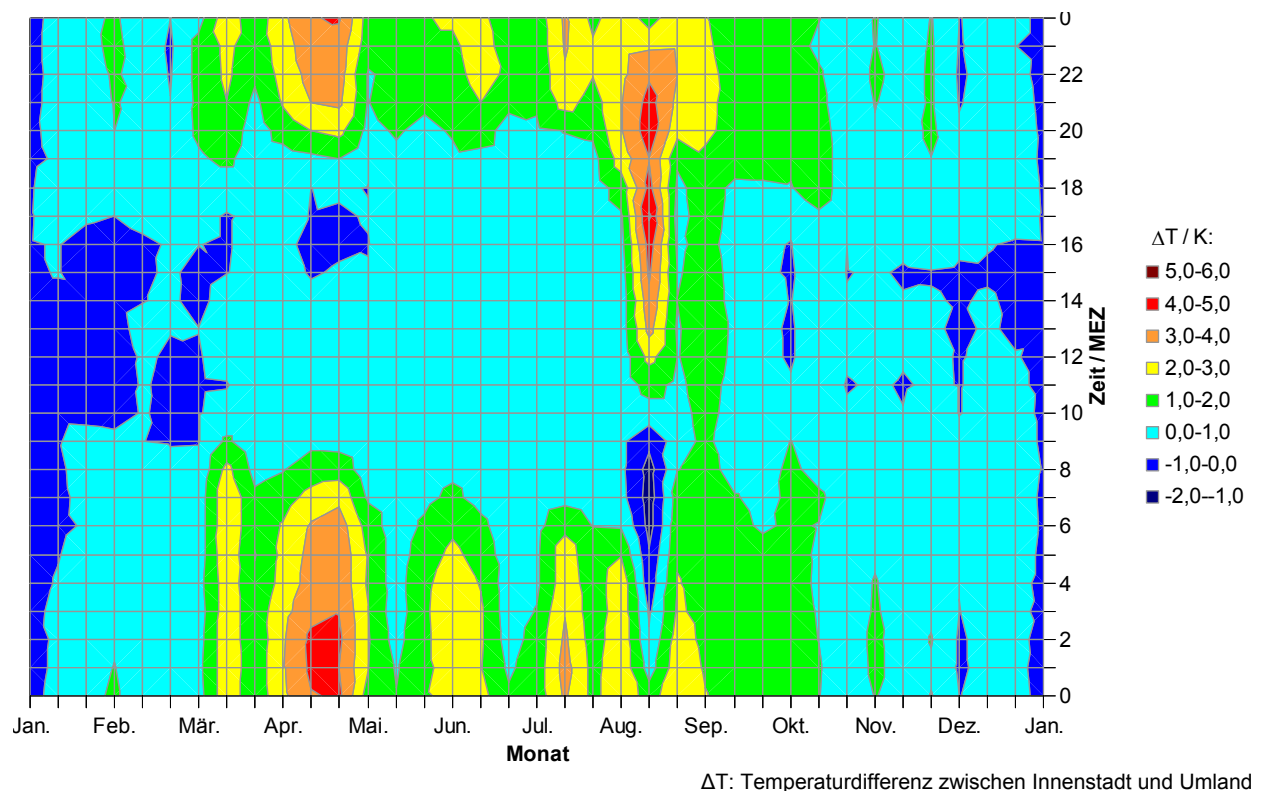


Abb. 1-19 Isoplethendiagramm der städtischen Wärmeinselintensität ΔT in Bochum für den Messzeitraum Okt. 06 bis Okt. 07 auf Basis von 8784 Stundenmittelwerten (Kuttler et al. 2008)

Städtisches Windfeld

Die durch die übergeordnete Strömung vorgegebene Windrichtung erfährt in der Stadt starke Modifikationen, die sich insbesondere in bodennahen Umlenkungseffekten äußern und zu Kanalisierungs- und Düseneffekten im Bereich von Straßenschluchten und Gebäudelücken führen (siehe Abb. 1-20).

Die Windgeschwindigkeit ist in den Städten gegenüber dem Umland im Durchschnitt geringer, da die durch die Bebauung verursachte Erhöhung der Bodenrauigkeit die Strömung abbremst. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass anthropogene Spurenstoffe und die Warmluft in den Straßenschluchten kaum abgeführt werden können. Allerdings ist die Böigkeit an Gebäudekanten sowie in Nachlaufwirbeln hinter Gebäuden erhöht, während die Windrichtung stark variiert.

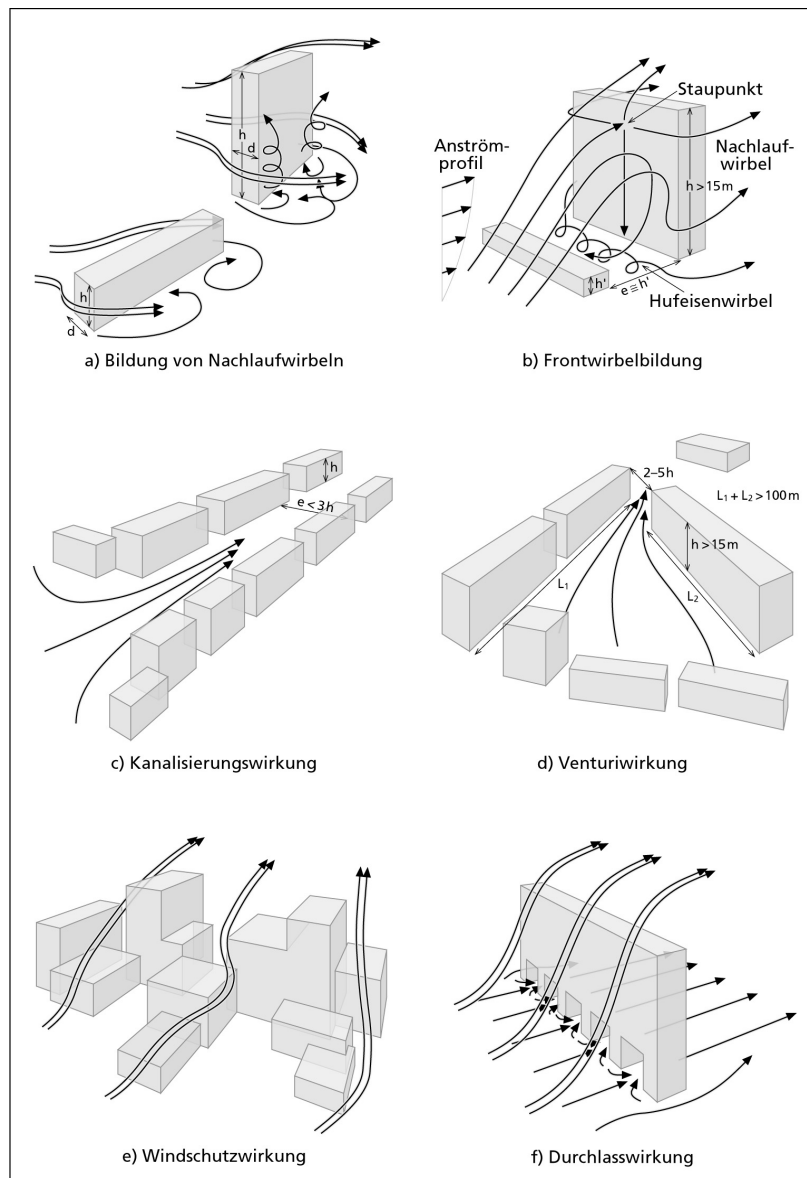


Abb. 1-20 Modifikationen des Windfeldes durch Bebauung (Gandemer 1977, verändert)

Ferner sind urbane Gebiete bei hinreichender Überwärmung in der Lage, eigenständige lokale Windsysteme auszubilden, indem die über den Städten aufsteigende Warmluft zu einer Kompensation durch den Zustrom kühlerer, bodennaher Luft aus dem Umland (Flur) führt. Eine derartige bodennahe, intermittierend auftretende Luftströmung wird daher als Flurwind (oder UHI-Zirkulation) bezeichnet (Hidalgo et al. 2008). Da dieses Windsystem nur schwach ausgeprägt ist, tritt es insbesondere dann in Erscheinung, wenn die übergeordnete Strömung gering oder unterbunden ist, was vor allem während autochthoner Strahlungsnächte der Fall ist.

Stadtklimatologische Untersuchungen haben unter anderem zum Ziel, Ventilationsbahnen zwischen Stadtgebiet und Umland zu erfassen, durch die während austauscharmer Wetterlagen Kalt- oder Frischluft aus dem Umland in die Stadt fließen kann. Eine derartige Luftzufuhr entsteht thermisch als Flurwind oder in reliefiertem Gelände durch gravitativen Antrieb. Die Eindringtiefe in den städtischen Raum hängt von der Stärke des Antriebs und der möglichst geringen Rauigkeit der Ventilationsbahn ab.

Feuchtehaushalt in Städten

Die relative Luftfeuchtigkeit weist in Städten wegen der eingeschränkten Evapotranspiration im Allgemeinen am Tage niedrigere Werte auf. Nachts jedoch können höhere städtische Oberflächentemperaturen Tauabsatz im Vergleich zum kühleren Umland verzögern oder sogar gänzlich verhindern, wodurch sich gleich hohe oder höhere relative Luftfeuchtwerte in den urbanen Gebieten einstellen (Kuttler et al. 2007).

Nebel ist in Großstädten im Gegensatz zu früheren Zeiten seltener anzutreffen als im Umland, was auf die inzwischen geringere Kondensationskerndichte infolge von Luftreinhaltemaßnahmen, die höheren Lufttemperaturen und die geringere relative Luftfeuchtigkeit zurückzuführen sein dürfte (Sachweh & Koepke 1995). Niederschläge hingegen sind insbesondere im Lee urbaner Siedlungsräume erhöht (Schütz 1996, Shepherd 2005). Ferner ist im Zusammenhang mit Niederschlägen das Abflussregime gegenüber dem Umland deutlich modifiziert. Statt vor Ort im Boden zu versickern, wird der Niederschlag in der Stadt hauptsächlich an der Oberfläche abgeleitet und steht damit für die Grundwasserneubildung nur eingeschränkt zur Verfügung, während gleichzeitig die Gefahr von intraurbanen Überschwemmungen durch Starkregenereignisse steigt (Helbig et al. 1999). Dies war in Dortmund am 26.07.2008 eindrucksvoll zu beobachten. Innerhalb weniger Stunden fielen dort bis zu 200 mm Niederschlag, was knapp einem Viertel der jährlichen Niederschlagssumme entspricht (Meteomedia 2008).

Lufthygienische Situation

Die Zusammensetzung der urbanen Luft unterscheidet sich gegenüber der Umlandatmosphäre durch den verstärkten Eintrag anthropogener Spurenstoffe, die zu einer gesundheitlichen Belastung führen können. Im Vergleich zu früheren Jahren, die hauptsächlich durch Industrie- und Hausbrandemissionen geprägt waren, stellen heute Emissionen aus dem Straßenverkehr ein Problem dar. Aktuell sind aus Sicht der Luftreinhaltung die Spurenstoffe Stickstoffoxid und Stickstoffdioxid (NO und NO_2), Feinstaub (PM_{10}), Ozon (O_3) sowie organische Verbindungen (NMVOC, Benzol, PAK) von Bedeutung, während Schwefeldioxid (SO_2) und Kohlenmonoxid (CO) dank strenger Umweltschutzauflagen der letzten Jahrzehnte in Deutschland eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Immissionskonzentrationen für die Spurenstoffe Feinstaub (PM_{10}) und Stickstoffdioxid (NO_2) sind im Ruhrgebiet im Gebietsmittel um das Zwei- bis Dreifache höher als in Waldgebieten des Umlandes, für NO ist sogar eine vierzehnfache Überhöhung zu verzeichnen. An Verkehrsflächen treten weitere Erhöhungen der Spurenstoffkonzentrationen auf, die auf eine lokale Zusatzbelastung hindeuten. Beim sekundären Spurenstoff Ozon (O_3) ist hingegen ein umgekehrter Effekt mit höheren Konzentrationen im Randbereich der Ballungsräume zu beobachten, was auf die niedrigeren NO -Konzentrationen und die biogene Emission von NMVOC als Vorläufergase für Ozon im Freiland zurückzuführen ist (Kuttler und Zmarsly 1996).

Bezüglich der Emission anthropogener Treibhausgase stellen die Städte die bedeutendsten Quellen dar, da dort der Energiebedarf, der vornehmlich aus fossilen Energieträgern gedeckt wird, am größten ist. Abb. 1-21 zeigt die Emittentenstruktur für Deutschland im Jahr 2006. Ein Großteil der Quellen wie Industrie, Gewerbe, Haushalte, Handel und Dienstleistungen sowie Teile des Verkehrs und des Energiesektors sind hierbei dem urbanen Raum zuzuordnen.

Kohlendioxid (CO₂) - Emittentenstruktur Deutschland 2006

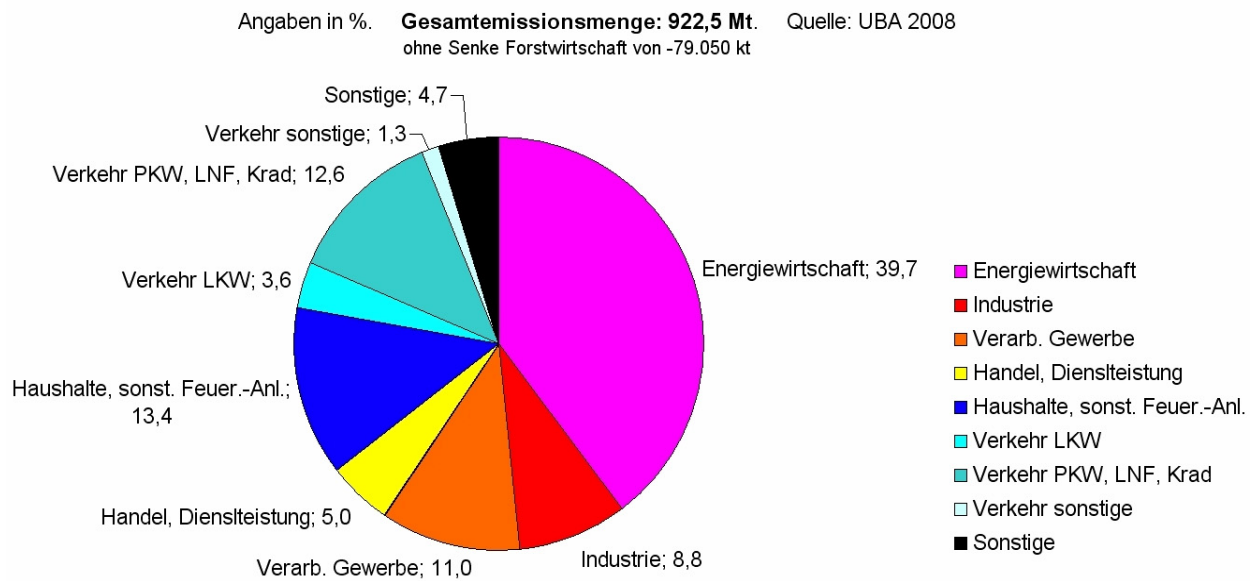


Abb. 1-21 Relative Anteile der Quellen an den Kohlendioxidemissionen in Deutschland für 2006 (nach Daten aus UBA 2008)

Das Stadtklima wirkt in vielfältiger Weise negativ, aber auch positiv auf die in Städten lebenden Bewohner sowie Pflanzen und Tiere. Während unter human-biometeorologischen Gesichtspunkten im Bereich des thermischen Sektors im Sommer eher Nachteile für die Stadtbewohner zu erwarten sind, führen höhere Stadttemperaturen im Winter zu einem geringeren Heizenergiebedarf und einer selteneren Schneebeseitigung, wodurch sich wirtschaftliche Einsparungen ergeben (Brandt 2007). Bei Pflanzen bewirken die höheren Stadttemperaturen eine Veränderung der Aspektwechsel durch vorgezogene Blüh- und Reifephasen sowie eine deutlichen Verlängerung der Vegetationsperioden im Vergleich zum Umland.

1.2.2 Angewandte Stadtklimatologie

Die angewandte Stadtklimatologie ist ein Forschungs- und Arbeitsfeld, das die klimatischen und lufthygienischen Eigenschaften des Stadtklimas untersucht sowie ihre Wirkung auf die Menschen beschreibt. Die Notwendigkeit dieser Aufgabe ergibt sich aus dem Sachverhalt, dass viele Eigenschaften des Stadtklimas bei zu starker Ausprägung negativ auf die belebte und unbelebte städtische Umwelt wirken können (Kuttler 2004a). Eine weitere Aufgabe der angewandten Stadtklimatologie ist es daher, für diese Problemfelder Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Zahlreich vorliegende Stadtklimaanalysen belegen das Bemühen der Stadtplanung vieler Kommunen, diesen wichtigen Aspekt innerhalb des kommunalen Handlungsrahmens aufzugreifen. Allerdings wird bisher dem Klimawandel nicht genügend Rechnung getragen. Ferner beziehen sich vorliegende Stadtklimaanalysen lediglich auf die jeweiligen kommunalen Grenzen, mit der Folge, dass Klimafunktionen des interurbanen Raumes nicht genügend Berücksichtigung finden. Beide aufgeführte Aspekte werden im vorliegenden Handbuch Stadtklima Ruhrgebiet aufgegriffen.

Die Forschungs- und Arbeitsfelder der angewandten Stadtklimatologie lassen sich in drei Bereiche untergliedern.

- **Human-Biometeorologie:** Dieser Teilbereich untersucht die Wirkung des Stadtklimas auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung, wobei der Schwerpunkt in den Bereichen der thermischen und lufthygienischen Belastung liegt (Mayer 2006, Möller 2003).
- **Klimagerechtes Bauen:** Dieses Aufgabenfeld widmet sich neben Fragestellungen zur thermischen Behaglichkeit in Gebäuden (Innenraumklimatologie) (Hausladen et al. 2006, Kuttler 1993) insbesondere auch der Energienutzung in Gebäuden (Wärme und Strom) und berücksichtigt darüber hinaus Aspekte der Beeinflussung des Außenklimas durch den städtischen Baukörper.
- **Hydrologie:** Hier werden die urbanen Niederschlags-, Abfluss- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse sowie ihre Folgen untersucht. Die Luftfeuchtigkeit ist für die thermische Behaglichkeit in der Human-Biometeorologie von Bedeutung, während der Niederschlag mit Blick auf die hohen Versiegelungsgrade urbaner Flächen auch hinsichtlich der ordnungsgemäßen Siedlungsentwässerung und der Vermeidung von Überflutungen sowie einer ausreichenden Grundwasserneubildung eine wesentliche Rolle spielt. Diese Aufgabenstellungen der Siedlungswasserwirtschaft werden in Kapitel 1.3 näher erläutert und in den Zusammenhang gestellt.

Die ersten beiden Arbeitsfelder sollen nachfolgend näher erläutert werden. Eine ausführliche Darlegung der in diesen Arbeitsbereichen auftretenden Problemfelder erfolgt in Kap. 3.1.

Human-Biometeorologie

Das menschliche Wohlbefinden und die Gesundheit werden maßgeblich durch die meteorologischen und lufthygienischen Umwelteinflüsse bestimmt. Hierzu zählen das thermische Niveau und die Spurenstoffbelastung der Luft sowie die kurzweilige Sonneneinstrahlung. Deren Auswirkungen auf den menschlichen Organismus werden im thermischen, lufthygienischen und aktinischen Wirkungskomplex zusammengefasst. Anwendungsbezüge und Bewertungsmöglichkeiten nennt die VDI RL 3787, Blatt 2 (2008).

Thermischer Wirkungskomplex

Der thermische Wirkungskomplex beschäftigt sich mit dem Wärmehaushalt des Menschen und den damit verbundenen Möglichkeiten der Wärmeabgabe des Körpers bei gegebenen meteorologischen Randbedingungen. Eine optimale Thermoregulation des Menschen ist nur innerhalb bestimmter, eng begrenzter Klimaparameter gewährleistet. Abweichungen von diesen Parametern wirken auf den Organismus als thermische Belastung, die sich als Wärmebelastung im Sommer oder als Kältestress im Winter äußern kann. Von den meteorologischen Größen sind vor allem Globalstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit für die thermische Behaglichkeit von Bedeutung. Hohe Lufttemperaturen können die Wärmeabgabe über die Haut erschweren. Hohe Luftfeuchtigkeit kann ebenfalls die thermische Behaglichkeit

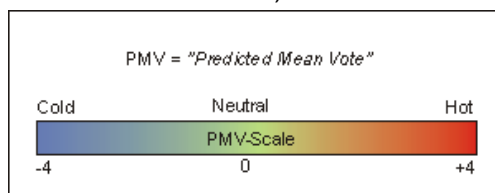
beeinträchtigen, wenn das Dampfdruckgefälle zwischen Haut und Atmosphäre zu gering ist. Niedrige Temperaturen und hohe Windgeschwindigkeiten verstärken hingegen die Wärmeabgabe des Körpers. Die direkte Sonneneinstrahlung erwärmt die Körperoberfläche und kann den Abkühlungseffekt von niedrigen Lufttemperaturen und Wind abschwächen. Die Wirkung der genannten meteorologischen Größen auf die thermische Behaglichkeit lässt sich integrativ und objektiv über verschiedene Maßzahlen bewerten (z. B. Mayer 2006), wobei eine Differenzierung nach dem Grad der Belastung möglich ist (Tab. 1-4).

Während Kältereize durch geeignete Kleidung gemindert werden können, sind der Milderung von Wärmebelastungen bekleidungstechnisch Grenzen gesetzt, wenn an heißen Sommertagen trotz leichter Sommerbekleidung die thermische Belastung ansteigt, wie der Hitzesommer 2003 deutlich gezeigt hat (Jendritzky 2007). In diesen Situationen sind die Städte aufgrund der Überwärmung gegenüber dem Umland hinsichtlich der Wärmebelastung benachteiligt (Abb. 1-22).

Tab. 1-4 Beurteilungsmaßstäbe für thermische Behaglichkeit (kombiniert nach verschiedenen Verfassern; aus Kuttler 2004a)

PMV	PET	pt	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
-3,5	4°C		sehr kalt	extreme Kältebelastung
-2,5	8°C	-39°C	kalt	starke Kältebelastung
-1,5	13°C	-26°C	kühl	mäßige Kältebelastung
-0,5	18°C	-13°C	leicht kühl	schwache Kältebelastung
± 0	20°C	0°C	behaglich	keine Wärmebelastung
0,5	23°C	20°C	leicht warm	schwache Wärmebelastung
1,5	29°C	26°C	warm	mäßige Wärmebelastung
2,5	35°C	32°C	heiß	starke Wärmebelastung
3,5	41°C	38°C	sehr heiß	extreme Wärmebelastung

PMV: Das PMV Modell (= Predicted Mean Vote Model) (nach Untersuchungen von FANGER 1972, erweitert durch JENDRITZKY 1993) beruht auf der Energiebilanz des Menschen und berücksichtigt das persönliche Komfortempfinden von Durchschnittspersonen. Die Werte der PMV-Skala bewegen sich zwischen -4, was einem Empfinden von „sehr kalt“ entspricht, bis +4 („sehr warm“). Ein PMV-Wert von 0 entspricht einer neutralen, also komfortablen thermischen Situation (nicht zu kalt und nicht zu warm).



PET: In die Physiologische Äquivalente Temperatur fließen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie die kurz- und langwellige Strahlung der Umgebung und natürlich physiologische Größen ein.

pt: Die Gefühlte Temperatur umfasst sämtliche für den Wärmehaushalt des Menschen thermisch relevante Größen (Verhältnis von Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und der Einfluss der Intensität des Sonnenscheins je nach Jahreszeit und Bewölkungsgrad).

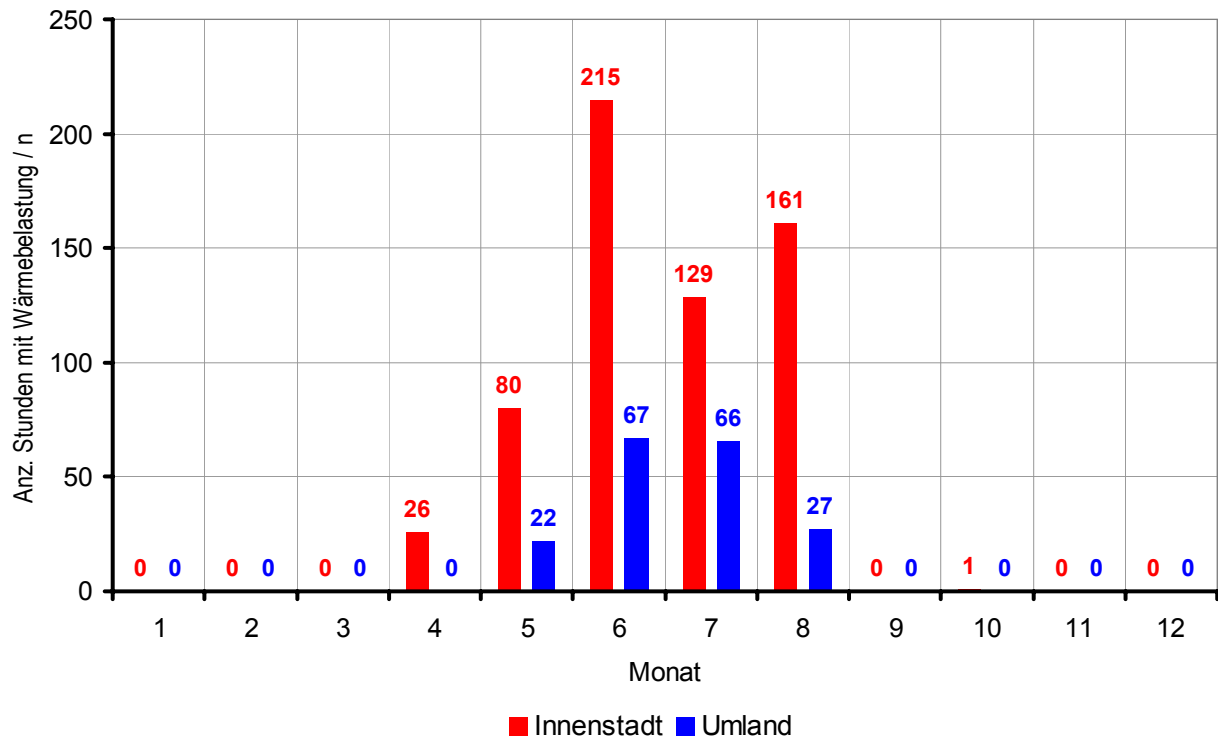


Abb. 1-22 Jahreszeitliche Verteilung der Stunden mit mindestens mäßiger Wärmebelastung ($PMV > 1,5$; siehe auch Tab. 1-4) in der Innenstadt und im Umland der Stadt Bochum für den Messzeitraum Okt. 06 bis Okt. 07 auf Stundenmittelwertbasis (Kuttler et al. 2008)

Lufthygienischer Wirkungskomplex

Neben der thermischen Belastung ist die Bevölkerung in Städten auch erhöhten Spurenstoffkonzentrationen ausgesetzt, die zu Gesundheitsschäden hauptsächlich im Bereich der Atemwegs-, Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen führen können. Als wichtige primäre Spurenstoffe sind im Hinblick auf die derzeit aktuelle Luftreinhaltungspolitik zu nennen (LANUV 2009a):

- Im Bereich Atemweg- und Herz-Kreislauferkrankungen: Feinstäube (PM_{10} und $PM_{2,5}$), Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxid (CO), sowie Ozon (O_3).
- Im Bereich Krebserkrankungen: Kohlenwasserstoffe (NMVOC, u. a. Benzol, Benzo[a]pyren und andere polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)).

Neben ihrer gesundheitsschädlichen Wirkung dienen die primären Spurenstoffe Stickstoffdioxid und NMVOC auch als Vorläufersubstanzen für troposphärisches bodennahes Ozon (O_3) (Kuttler und Zmarsly 1996). Die Stickoxide umfassen die Spurenstoffe Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2), wobei NO_2 seinerseits ein sekundärer Spurenstoff ist, der photochemisch aus NO gebildet wird. Allerdings wird in jüngster Zeit eine zunehmende Emission von NO_2 als primärer Spurenstoff beobachtet, die auf die Zunahme von Oxidationskatalysatoren und Partikelfiltern bei Dieselfahrzeugen zurückzuführen ist (Lambrecht 2004).

Abbildung 1-23 zeigt die Emittentenstruktur für wichtige gesundheitsrelevante Spurengase in Gesamtdeutschland für das Jahr 2006, bei denen – wie auch beim CO_2 in Abb. 1-21 – ein

Großteil der Quellen eindeutig dem urbanen Raum zuzuordnen ist. Hierbei handelt es sich um die Quellentypen Industrie, Gewerbe, Haushalte sowie Handel und Dienstleistungen. Auch die Emissionen aus dem Kfz-Verkehr und dem Energiesektor werden zum großen Teil in Städten erzeugt. Somit ist die Spurenstoffbelastung in Städten – und dort insbesondere an verkehrsreichen Straßen – um ein Vielfaches höher als im Umland (Abb. 1-24).

Die Ursachen der lufthygienischen Belastungen sind die hohe räumliche Dichte der Emittenten auf urbanem Gebiet sowie eine im Vergleich zum Umland reduzierte Durchlüftung, die eine Durchmischung der bodennahen Atmosphäre erschwert. Dieses führt insbesondere während austauscharmer, autochthoner Wetterlagen zu erhöhten Spurenstoffbelastungen in der Stadt. Möglichkeiten der Einflussnahme werden in Kap. 4 vorgestellt.

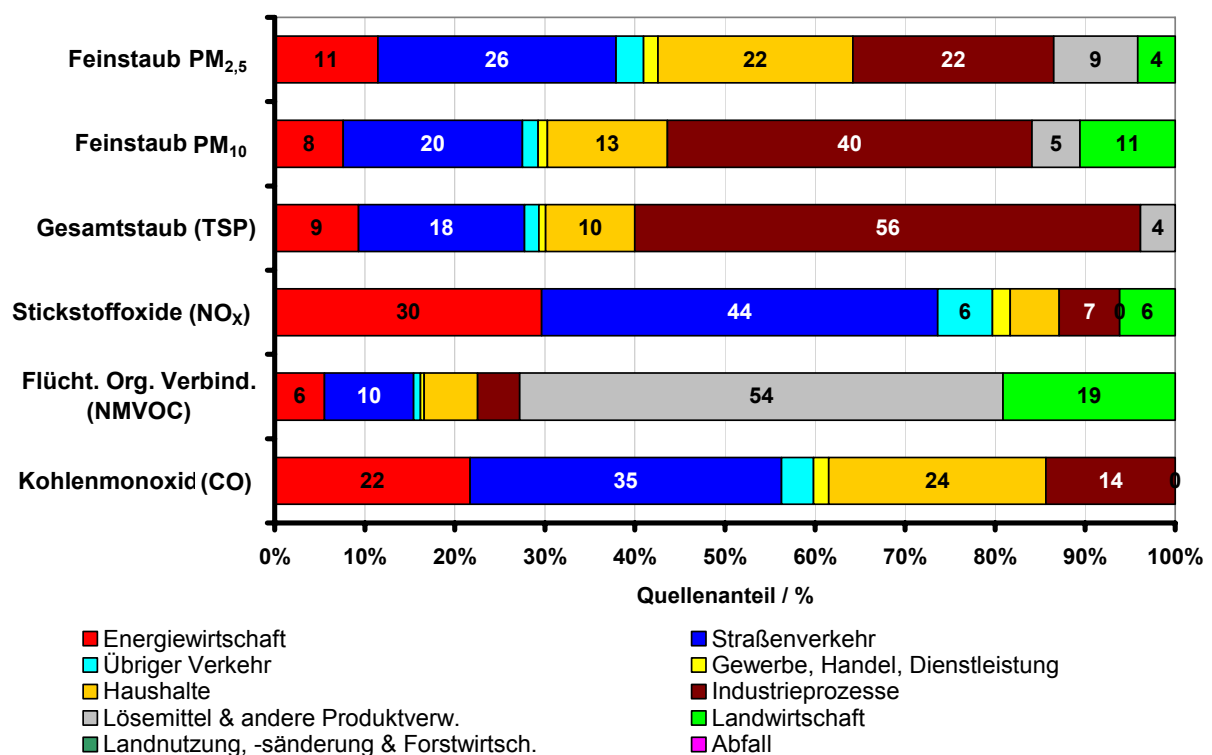
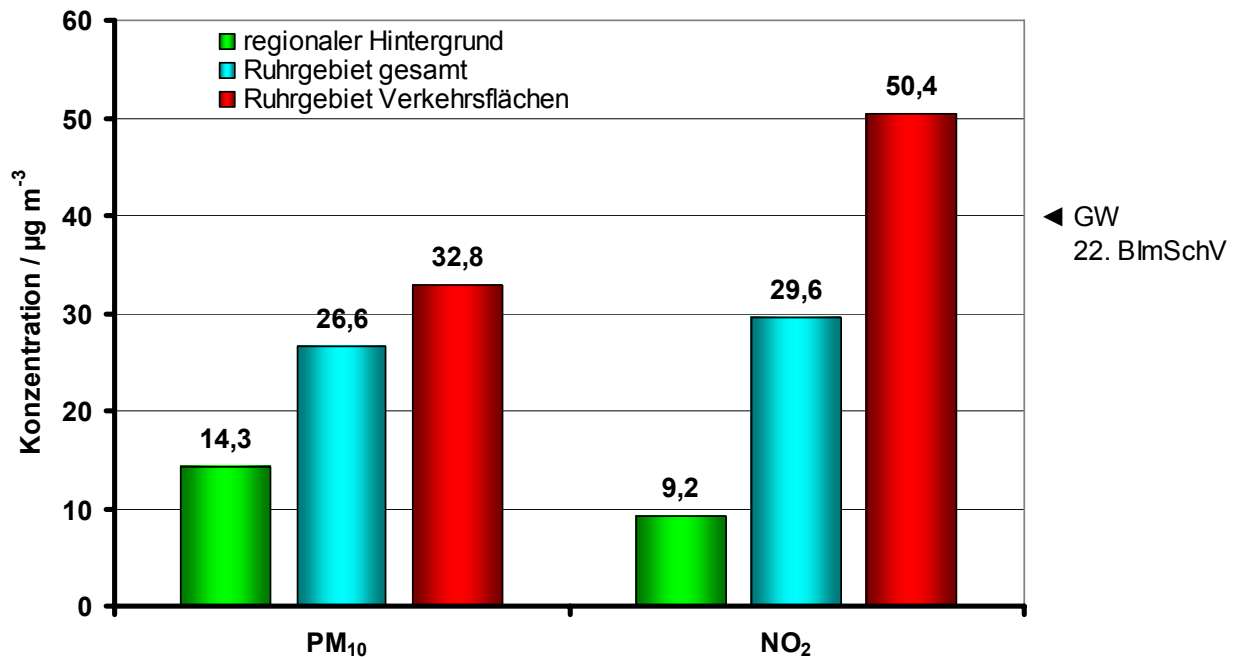


Abb. 1-23 Relative Anteile der Quellen an den Gesamtemissionen wichtiger primärer Spurenstoffe in Deutschland für 2006 (nach Daten aus UBA 2008)



Datengrundlage: LUQS-Stationen Ruhrgebiet (Dortmund, Essen, Mülheim, Schwerte), Verkehr (12 Stationen) und Walgebiete (Horn-Bad Meinberg (Egge), Simmerath (Eifel), Netphen (Rothaargebirge)). GW = Grenzwerte 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ Jahresmittelwert für PM₁₀ und NO₂ nach 22. BImSchV

Abb. 1-24 Beispiel der Stadt-Umland-Unterschiede der Spurenstoffbelastung anhand der Jahresmittelwerte der PM₁₀- und NO₂-Immissionskonzentrationen im Ruhrgebiet (Gebietsmittel und Verkehrsflächen) und im Umland (Reinluft-Waldgebiete) für das Jahr 2007 (Datenquelle: LUQS-Daten, LANUV 2009a)

Aktinischer Wirkungskomplex

Eine strahlungsklimatische gesundheitliche Beeinträchtigung des Menschen, insbesondere durch hohe UV-Strahlung (im Spektralbereich von 100 nm bis 400 nm) stellt unter den gegenwärtigen mitteleuropäischen Klimaverhältnissen noch kein spezifisch urbanes Problem dar. Das könnte sich jedoch ändern, wenn es vor dem Hintergrund einer weiteren Abnahme der stratosphärischen Ozonkonzentrationen zu einem Anstieg der erythemauslösenden beziehungsweise melanominduzierenden ultravioletten Strahlung kommt (Hupfer & Kuttler 2006). Die Belastung durch UV-Strahlung ist über den UV-Index bewertbar (Kuttler 1999) und findet Anwendung in Frühwarnsystemen für die Bevölkerung (DWD 2009a).

Bei der UV-Bestrahlung liegt zwar im Vergleich zum Umland für den Menschen grundsätzlich keine ungünstigere Situation in der Stadt vor, jedoch bedingt die hier höhere Dichte sich im Freien aufhaltender Personen eine besondere Verantwortung sowie Möglichkeiten, durch planerische Maßnahmen für Beschattung (Bäume, Überdachungen, Arkaden etc.) zu sorgen (Ali-Toudert & Mayer 2007, Mayer & Matzarakis 2006).

Klimagerechtes Bauen

Die Bebauung beeinflusst das Außenklima hinsichtlich des thermischen Niveaus und der Durchlüftungsverhältnisse. Ferner führt die Nutzung von Energie, Gebäudeklimatisierung und Elektrizität zu Emissionen von treibhausgaswirksamen oder gesundheitsschädlichen Spurenstoffen. Das stadtklimatische Aufgabenfeld der „klimagerechten Bebauung“ umfasst daher zwei Bereiche:

- **Flächennutzungsorientierter Bereich:**

Die städtische Überwärmung und die reduzierte urbane Durchlüftung sind hauptsächlich auf die thermophysikalischen und strömungsdynamischen Eigenschaften der Bebauung zurückzuführen. Die urbane Gebäudesubstanz absorbiert die solare Einstrahlung und speichert diese als Wärme, während die hohe räumliche Dichte und die geometrische Lageanordnung zur Reduzierung der Austauschverhältnisse führen. In der Flächennutzungs- und Bauleitplanung sind daher Lösungen zu finden, die das thermische Niveau senken und die urbane Durchlüftung verbessern können.

- **Objektorientierter Bereich:**

Vor dem Hintergrund der globalen Erwärmung sollen die anthropogenen Treibhausgasemissionen, welche u. a. aus der Energieversorgung der Häuser resultieren, reduziert werden. Nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA 2008) ist der private Hausbrand in Deutschland zu einem Anteil von rund 11 % an den nationalen Treibhausgasemissionen beteiligt. Zusätzliche Anteile müssen bei der Bereitstellung von Strom berücksichtigt werden, welche extern in Kraftwerken erzeugt werden. Diesen Energieverbrauch gilt es langfristig zu reduzieren, um die Treibhausgasemissionen senken zu können. Ferner werden durch den Hausbrand Spurenstoffe emittiert, die zu einer gesundheitlichen Belastung führen können. Die Aufgabe der Stadtklimatologie in diesem Bereich ist es, Wege aufzuzeigen, die den Energieverbrauch und die damit verbundenen Spurenstoffemissionen minimieren, und insbesondere durch Planungsempfehlungen die Durchlüftungseigenschaften von Städten zu optimieren.

Für die aus den Arbeitsfeldern Human-Biometeorologie und klimagerechtes Bauen ableitbaren Problemfelder gilt es, in der Praxis das Ausmaß der Probleme zu quantifizieren, um den Handlungsbedarf abschätzen und Minderungsmaßnahmen einleiten zu können. Die Quantifizierung erfolgt über die Beobachtung und Kontrolle derjenigen meteorologischen Größen und lufthygienischen Elemente, die zur Verursachung stadtklimatischer Probleme führen (Kuttler & Düttemeyer 2003). Schaut man sich für die Problembereiche Human-Biometeorologie und klimagerechtes Bauen die betroffenen Klimaparameter an, so sind es hier insbesondere drei, auf die die stadtklimatischen Probleme zurückzuführen sind:

- Thermisches Niveau im Bereich der thermischen Belastung, das über die Luft- und Strahlungstemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit beschrieben wird,
- Spurenstoffeinträge im Bereich der Luftreinhaltung und der globalen Erwärmung,
- Durchlüftung im Bereich der Luftreinhaltung und thermischen Belastung, erfassbar durch Windgeschwindigkeit und Windrichtung.

1.2.3 Rechtliche Grundlagen und Bewertungsmaßstäbe

Die genannten Probleme im Bereich der Stadtklimatologie führen, sofern nicht Abhilfe geschaffen wird, zu einer Beeinträchtigung der natürlichen Umweltressourcen, die sowohl im Hinblick auf die zukünftige Erhaltung der Lebensgrundlagen eine nachhaltige Entwicklung behindern als auch akut zu volkswirtschaftlichen Schäden führen können. Daher sieht der Gesetzgeber vor, dass in der räumlichen Planung die Belange der Schutzgüter Klima und Luft in besonderer Weise berücksichtigt werden, um die natürlichen Umweltressourcen auch zukünftig zu erhalten. Hierzu existieren Gesetze aus den Bereichen des Planungswesens, des Immissionsschutzes und der Energienutzung (Baumüller & Reuter 2003, Möller 2003).

Im Bereich des Planungswesens wird insbesondere im Baugesetzbuch (BauGB 2006) der Schutz von Klima und Luft gefordert. Dabei sind „die Belange des Umweltschutzes, (...) insbesondere (...) der Luft (...) sowie das Klima“ zu berücksichtigen. Das BauGB bietet mit einem gesetzlichen Katalog zulässiger Festsetzungen in Bebauungsplänen differenzierte Möglichkeiten für eine klimagerechte Stadtplanung. Die Berücksichtigung dieser Belange wird mit dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG 2008) konkretisiert, indem die Auswirkungen von Planvorhaben auf die Umwelt ermittelt, beschrieben und bewertet werden müssen. Im Bereich der Luftreinhaltung werden die Anforderungen an das Schutzgut Luft im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG 2005) umfassend geregelt. Dabei wird nicht nur auf die Immissionssituation in urbanen Flächennutzungsstrukturen eingegangen, sondern auch der anlagenbezogene Umweltschutz zur Reduktion von Emissionen berücksichtigt. Die effiziente Nutzung von Energie im häuslichen Bereich wird im Energieeinspargesetz (EnEG 2005) festgeschrieben. Hierbei stehen der Wärmeschutz sowie verbesserte Hausanlagentechnik (Elektrizität und Warmwasserversorgung) im Vordergrund.

Die Quantität der zu erfüllenden Umweltauflagen wird in den Gesetzen nicht geregelt. Hierzu bestehen jeweils Durchführungsverordnungen, die Beurteilungsmaßstäbe enthalten, anhand derer die Einhaltung der Gesetze geprüft werden kann. Hierzu zählen im Bereich des Planungswesens insbesondere die Baunutzungsverordnung (BauNVO 1993), im Bereich des Immissionsschutzes die Verordnungen zum Immissionsschutz (BImSchV) und TA-Luft (2002) sowie für die Energienutzung die Energieeinsparverordnung (EnEV 2007, ehemals Wärmeschutzverordnung) sowie weitere Verordnungen.

Für die Energienutzung in Gebäuden und den Immissionsschutz enthalten die Energieeinsparverordnung sowie die Bundesimmissionsschutzverordnungen und die TA-Luft Beurteilungsmaßstäbe, die den Charakter von Grenzwerten haben, so dass bei deren Eintreten Maßnahmen von Amts wegen eingeleitet werden müssen. Beispielsweise sind bei Überschreitung der in Tabelle 1-5 dargestellten Immissionskonzentrationen diverser Spurenstoffe kurzfristige Aktionspläne oder langfristig orientierte Luftreinhaltepläne zu erstellen. Neben der Bewertung einzelner Spurenstoffe wurden Verfahren entwickelt, die eine zusammenfassende Beurteilung der Luftqualität mittels sog. Luftqualitätsindices erlauben (Air Stress Index AIR oder Daily Air Quality Index DAQX, Mayer et al. 2002).

Im Bereich der Bewertung der thermischen Behaglichkeit existieren gleichfalls Beurteilungsmaßstäbe (siehe Tab. 1-4 weiter oben), die eine integrative Bewertung der Einflüsse von Luft- und Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Wind auf die menschliche Gesundheit ermöglichen (Mayer 2006). Allerdings besteht in diesem Bereich bis heute das Problem, dass es für die thermischen Belange keine Grenzwerte gibt, die Handlungsmaßnahmen erzwingen könnten.

Stattdessen fließen die thermischen Belange im Planungsprozess in einen Abwägungsprozess ein, so dass eine ausreichende Würdigung des Sachverhaltes von Fall zu Fall unterschiedlich bewertet werden kann und ggf. nicht hinreichend ist.

Tab. 1-5 Beurteilungsmaßstäbe zur Luftqualität für wichtige Spurenstoffe (nach versch. Autoren)

Spurenstoff und Zeitbezug	Bemerkungen	Richt-/ Grenz-/ Ziel-/ Schwellen-Wert (Stand: 2008, 2010, 2015, 2020)	Deutsche Vorschriften (in Klammern: EU-Richtlinie)
Schwefeldioxid (SO₂)			
Jahresmittel		50 µg/m ³	TA Luft
Tagesmittel		125 µg/m ³ / 3 Tage im Jahr	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Stundenwert		350 µg/m ³ / 24 mal im Jahr	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Stundenwert (3 Stunden)	2) Alarmwert	500 µg/m ³	22. BImSchV (1999/30/EG)
Halbstundenwert		1000 µg/m ³ (0,5-h-MIK-Wert)	VDI 2310, Bl. 11
Tagesmittel		300 µg/m ³ (24-h-MIK-Wert)	VDI 2310, Bl. 11
Feinstaub PM₁₀			
Tagesmittel		50 µg/m ³ / 35 (7) Tage im Jahr	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Jahresmittel		40 (20) µg/m ³	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Feinstaub PM_{2,5}			
Jahresmittel	National	25 µg/m ³ (20 µg/m ³)	(2008/50/EG)
Jahresmittel	Urbane Räume	20 µg/m ³	(2008/50/EG)
Stickstoffdioxid (NO₂)			
98%-Wert (1 h)	6) Gültig bis 31.12.2009	200 µg/m ³	22. BImSchV
Stundenmittel	1d) Übergangsfrist bis 2010	200 µg/m ³ / 18 mal im Jahr	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Stundenmittel (3 Stunden)	2) Alarmwert	400 µg/m ³	22. BImSchV (1999/30/EG)
Jahresmittel	1e) Übergangsfrist bis 2010	40 µg/m ³	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Tagesmittel		50 µg/m ³ (24-h-MIK-Wert)	VDI 2310, Bl. 12
Jahresmittel		20 µg/m ³ (nicht toxikologisch abgeleitet)	VDI 2310, Bl. 12
Stickstoffmonoxid (NO)			
Halbstundenwert		1000 µg/m ³ (0,5-h-MIK-Wert)	VDI 2310
Tagesmittel		500 µg/m ³ (24-h-MIK-Wert)	VDI 2310
Ozon (O₃)			
Achtstundenwert	7) Zielwert ab 2010	120 µg/m ³ / an 25 Tagen	33. BImSchV (2002/3/E)
Einstundenwert	Informationsschwelle	180 µg/m ³	33. BImSchV (2002/3/E)
Einstundenwert	Alarmschwelle	240 µg/m ³	33. BImSchV (2002/3/E)
Halbstundenwert		120 µg/m ³ (0,5-h-MIK-Wert)	VDI 2310, Bl. 15
Kohlenmonoxid (CO)			
Achtstundenwert		10 mg/m ³	22. BImSchV (2000/69/EG)
Halbstundenwert		50 mg/m ³ (0,5-h-MIK-Wert)	VDI 2310
Tagesmittel		10 mg/m ³ (24-h-MIK-Wert)	VDI 2310
Jahresmittel		10 mg/m ³ (Jahres-MIK-Wert)	VDI 2310
Benzol			
Jahresmittelwert	1g) Übergangsfrist bis 2010	5 µg/m ³	22. BImSchV (2000/69/EG), TA Luft
Blei			
Jahresmittelwert in PM ₁₀		0,5 µg/m ³	22. BImSchV (1999/30/EG), TA Luft
Cadmium			
Jahresmittelwert in PM ₁₀	Zielwert	5 ng/m ³	22. BImSchV (2004/107/EG), LAI (2004)
Jahresmittelwert in PM ₁₀	9)	20 ng/m ³	TA Luft
Nickel			
Jahresmittelwert	Zielwert	20 ng/m ³	22. BImSchV (2004/107/EG), LAI (2004)
Arsen			
Jahresmittelwert	Zielwert	6 ng/m ³	22. BImSchV (2004/107/EG), LAI (2004)
Benzo[a]pyren			
Jahresmittelwert	Zielwert	1 ng/m ³	22. BImSchV (2004/107/EG), LAI (2004)
PCDD/F, Coplanare PCB			
Jahresmittelwert	8) Zielwert	150 fg WHO-TEQ/m ³	LAI (2004)

- 1) In der Übergangszeit gelten Toleranzmargen, die jährlich geringer werden und Auslöseschwellen für Luftreinhaltepläne darstellen. Im Nachfolgenden sind die Toleranzmargen für die einzelnen Jahre aufgelistet. Der gültige Toleranzbereich für das entsprechende Jahr ergibt sich durch Addition von Grenzwert und Toleranzmarge. **Beispiel:** Der gültige Toleranzbereich im Jahr 2003 für den 1h-Wert von SO₂ ist 410 µg/m³ = 350 µg/m³ + 60 µg/m³
- | Bezug | Einheit | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---------------------|-------------------|------|------|------|------|
| 1d) NO ₂ | µg/m ³ | 40 | 30 | 20 | 10 |
| 1e) NO ₂ | µg/m ³ | 8 | 6 | 4 | 2 |
| 1g) Benzol | µg/m ³ | 4 | 3 | 2 | 1 |
- 2) An drei aufeinanderfolgenden Stunden
3) Jahresmittel für den Zeitraum 01.04. bis 31.03. des Folgejahres
4) darf von maximal 5% der Tagesmittelwerte im Zeitraum 01.04. bis 31.03. des Folgejahres überschritten werden
5) einmalige Exposition; 150 µg/m³ an aufeinanderfolgenden Tagen
6) darf von maximal 2% der Stundenmittelwerte eines Kalenderjahres überschritten werden
7) Ab 2010 darf der Zielwert an höchstens 25 Tagen pro Kalenderjahr - gemittelt über 3 Jahre - überschritten werden.
8) Zielwert des LAI für die langfristige Luftreinhaltung
9) Vorläufiger Wert bis zum Inkrafttreten eines Grenzwertes in der 22. BImSchV

1.2.4 Handlungsfelder der Stadtklimatologie

Die Verbesserung von Klima und Luft in Ballungsräumen und Städten sollte von der Vorstellung getragen sein, ein „ideales Stadtklima“ durch planerische Eingriffe für die Stadtbewohner anzustreben. Hierunter wird ein „räumlich und zeitlich variabler Zustand der Atmosphäre in urbanen Bereichen (verstanden), bei dem sich möglichst keine anthropogenen Schadstoffe in der Luft befinden und den Stadtbewohnern im bodennahen Bereich eine möglichst große Vielfalt an urbanen Mikroklimaten unter Vermeidung von Extremen geboten wird“ (Mayer 1989).

Eine derartige Forderung lässt sich in strengem Sinne nur dort realisieren, wo Neugründungen von Städten vorgesehen sind und bereits in der Planungsphase Stadtklimatologen in enger Abstimmung mit den Entscheidungsträgern zusammenarbeiten. Das dürfte in großem Stil zum Beispiel auf den asiatischen, insbesondere auf den chinesischen Raum zutreffen, wo eine Vielzahl von Millionenstädten entstehen. Realistischerweise gilt dies für bestehende Siedlungsräume nicht. Hier kann es allenfalls Aufgabe der Stadtplanung sein, diesem Ideal durch Maßnahmen zur Minimierung der Belastungen und zu stadtklimatisch wirksamen Umfeldverbesserungen möglichst nahe zu kommen, so dass zumindest ein 'tolerierbares Stadtklima' angestrebt werden kann. Die derzeit in einigen deutschen Großstädten zu beobachtende Bevölkerungsabwanderung und die dadurch bewirkte Schrumpfung der Städte eröffnet die Möglichkeit, bestehende Stadtstrukturen zukunftsweisend auf neue Anforderungen auszurichten und dabei stadtklimatische Erkenntnisse in den Planungsvollzug zu integrieren. Das sollte als Chance gesehen werden, freiwerdenden Raum auch stadtklimatologisch sinnvoll zu gestalten.

Von Barlag (1997) werden in diesem Zusammenhang verschiedene Handlungsfelder genannt, auf die hier Bezug genommen werden soll. Dabei sind flächenbezogene von verkehrs- und objektorientierten Maßnahmen zu unterscheiden. Zu den flächenbezogenen Maßnahmen zählen zum Beispiel eine Auflockerung der Bebauungsstruktur, die Schaffung oder Sicherung klimarelevanter naturbelassener Freiflächen sowie die Erhaltung bzw. strukturelle Verbesserung von Luftleitbahnen, über die Umlandluft in bebauten Gebiet geführt werden kann (Dütemeyer et al. 2004). Neben Wasserflächen spielen in diesem Zusammenhang innerstädtische Grünflächen eine besondere Rolle (Weber et al. 2004, Ropertz 2008). Bei optimaler Gestaltung verhindern oder reduzieren diese die thermische Belastung, wenn ein Luftaustausch zwischen ihnen und der bebauten Fläche gewährleistet ist (Weber & Kuttler 2005). Klimameliorierende Eigenschaften mit Fernwirkung werden von Horbert (2000) allerdings nur solchen Grünflächen zuerkannt, die eine Mindestgröße von 50 ha aufweisen. Aber auch kleinere Flächen können Stadtklima verbessernd wirken, wie die Untersuchungen von Bongardt (2006) gezeigt haben. Die Schaffung zusätzlicher Grünflächen sollte bei Nutzungsänderungen (Industriebrachen, Bebauungslücken, ungenutzte Bahnlinien, Verlegung von Parkraum unter die Erde etc.) ebenso ins Auge gefasst werden, wie die Möglichkeit der Begrünung von Hausfassaden und Dachflächen, die nicht nur für das Einzelobjekt, sondern auch darüber hinaus positive Wirkungen auf das Stadtklima haben (Köhler 1993).

Zu den verkehrsorientierten Maßnahmen zählen eine weitere Reduzierung der Kfz-Emissionen bzw. der verstärkte Einsatz emissionsarmer Fahrzeuge (Hybrid-, Elektro- und Wasserstoffantrieb), die Vermeidung unnötiger Individualfahrten, ein optimales Verkehrsmanagement, das durch entsprechende Leitsysteme einen möglichst kontinuierlichen Verkehrsfluss sichert, ein Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) mit Erhöhung der Taktfrequenz und – bei der Anlage neuer Wohngebiete – diese so zu gestalten, dass der Gebrauch des Kfz für Versorgungsfahrten grundsätzlich minimiert werden kann.

Zu den objektorientierten Maßnahmen zählt eine Einschränkung des Energieverbrauchs für den Gebäudebetrieb (Heizen, Kühlen, Lüften, Beleuchten) durch klimagerechtes Bauen (Kuttler 2008). Hierunter ist eine optimale Standortwahl von Neubaugebieten mit entsprechender Gebäudekonzeption, -ausrichtung, -form, -anordnung und -wärmedämmung zu verstehen. Da nach wie vor ein großer Teil der Primärenergie in den winterkalten Gebieten für die Hausbeheizung aufgewendet werden muss, ist auf energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden besonders zu achten. Dabei würde nicht nur sparsamer mit Energie umgegangen, sondern auch auf lokaler Ebene den insbesondere in Städten erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentrationen entgegengearbeitet (Henninger und Kuttler 2004).

1.3 Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft

Die Siedlungswasserwirtschaft umfasst nach heutigem Verständnis alle drei Teilbereiche des urbanen Wasserkreislaufs (siehe Abb. 1-25), die durch die mehrheitlich zentral organisierten Systeme der Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung eng miteinander verbunden sind:

- die Trinkwassergewinnung aus Grund-, Quell- oder Oberflächenwasser, die Wasseraufbereitung und die Verteilung von Trink- und Brauchwasser an Haushalte und an Industrie und Gewerbe,
- die Wassernutzung und die daraus resultierende Abwassererzeugung einschließlich des Niederschlagswassers, welches auf versiegelten Flächen anfällt und heute noch größtenteils in die öffentliche Kanalisation fließt, und
- die Abwasserentsorgung von der Ableitung von Abwasser- und Niederschlagswasser über die öffentliche Kanalisation zur Abwasserreinigungsanlage („Kläranlage“), von der aus das gereinigte Abwasser wieder einem Gewässer, dem „Vorfluter“, zugeführt wird. Bei länger andauernden Regenfällen kann das aus Siedlungsgebieten abgeleitete Abwasser-Regenwasser-Gemisch (Mischwasser) die Behandlungskapazität einer Kläranlage temporär übersteigen. In den öffentlichen Entwässerungssystemen sorgen deshalb spezielle Mischwasser- und Regenwasserbehandlungsanlagen dafür, dass diese Wassermengen von Grob- und Feststoffen gereinigt werden, bevor sie in einen Vorfluter fließen. Eine andere Lösung sind Regenspeicherbecken, in denen Misch- und Niederschlagswasser aus der öffentlichen Kanalisation zwischengespeichert werden kann, bis in der Kläranlage wieder ausreichend Behandlungskapazitäten frei sind.

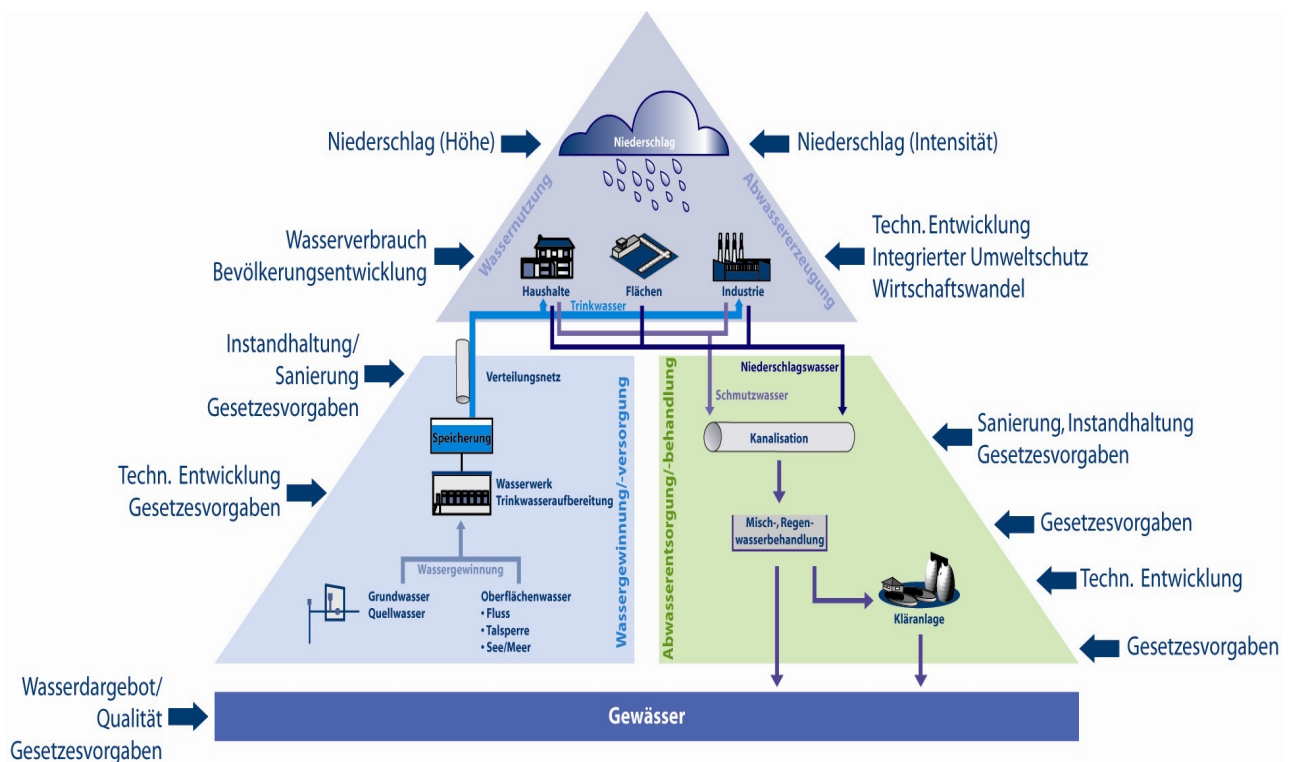


Abb. 1-25 Teilbereiche und Elemente der Siedlungswasserwirtschaft (Eigene Darstellung FiW)

Die Siedlungswasserwirtschaft erbringt seit dem Bau der ersten öffentlichen Wasserversorgungs- und Siedlungsentwässerungsanlagen in Deutschland vor über 140 Jahren zwei wesentliche Aufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge, ohne die das Leben in dicht besiedelten urbanen Räumen und ein Erhalt der Umwelt nicht möglich wäre. Verbunden sind damit die besonderen Pflichten der öffentlichen Hand, jeden Bürger jederzeit mit einer ausreichenden Menge Trinkwasser zu versorgen und die ordnungsgemäße Entwässerung der Siedlungsgebiete und die Entsorgung des anfallenden Abwassers sicherzustellen.

Die Siedlungswasserwirtschaft ist in Deutschland sehr dezentral organisiert mit einer historisch bedingten vielfältigen Aufgabenverteilung. Die reine Wassergewinnung liegt meist in der Hand von öffentlich-rechtlichen Verbänden oder regionalen Organisationen. Die Wasseraufbereitung und –verteilung erfolgt häufig durch regionale Organisationen oder Unternehmen. Wenn kommunale Stadtwerke den Aufgabenteil der Wasserverteilung übernehmen, erhalten sie das aufbereitete Tiefenwasser von regionalen Unternehmen.

Das Abwasserableitungsnetz und das Niederschlagswassermanagement liegt sehr häufig in kommunaler Hand (Tiefbauamt, Eigenbetrieb Netz o.ä.), kann aber auch im Auftrag des kommunalen Eigentümers durch einen Zweckverband oder ein Entsorgungsunternehmen betrieben werden. Zuständig für die Abwasserreinigung können sowohl flussgebietsweit zuständige Wasserverbände, als auch Kommunen sein. Organisatorische Mischformen sind zum Beispiel Abwasserzweckverbände aus dem Zusammenschluss mehrerer Kommunen.

Wesentliche Anlagen und Einrichtungen der Siedlungswasserwirtschaft liegen im öffentlichen Raum, auch wenn die zentralen Wasserversorgungs- und Kanalisationsnetze im Untergrund häufig erst wahrgenommen werden, wenn Unterhaltungs- und Umbaumaßnahmen oder Investitionen erforderlich werden. Bei der Planung und Neuausweisung von Wohn- oder Gewerbegebieten in den bereits dicht besiedelten Gebieten Europas sind die Stadt- und Regionalplanung einschließlich der kommunalen Wirtschaftsentwicklung und die siedlungswasserwirtschaftlichen Planungen zukünftig noch weiter zu integrieren, damit die Sicherheit der öffentlichen Ver- und Entsorgung im 21. Jahrhundert gewährleistet werden kann.

1.3.1 Gewinnung von Trinkwasser

Durch die Ausweisung von Wasserschutzgebieten und einen weitreichenden Grundwasserschutz sollen in Deutschland die für die Gewinnung von Trinkwasser erforderlichen Fassung- und Einzugsgebiete vor Verunreinigungen und Beeinträchtigungen geschützt werden. Gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) können bestimmte Handlungen in Wasserschutzgebieten verboten oder für beschränkt zulässig erklärt und Eigentümer oder Nutzungsberechtigte zur Duldung bestimmter Schutz- oder Beobachtungsmaßnahmen verpflichtet werden.

Der eigentliche Entnahmebereich einer Gewinnungsanlage (Zone I eines Schutzgebiets) ist von zwei weiteren Zonen II bzw. III umgeben, deren Ausdehnungen von den umgebenden hydrogeologischen Verhältnissen definiert wird. So reicht eine Zone II bis zu der Linie, von der aus das genutzte Grundwasser eine Verweildauer von mindestens 50 Tagen bis zum Eintreffen in der Zone I hat. Eine Zone III umfasst das gesamte unterirdische Einzugsgebiet einer Trinkwassergewinnungsanlage und kann auch oberirdische Gebiete umfassen, aus denen Niederschlagswasser in eine Zone II eingeleitet wird. Die in den DVGW (Deutscher Verein des Gas-

und Wasserfaches e.V.) - Arbeitsblättern W 101 bis W 105 enthaltenen Richtlinien zur Einrichtung von Trinkwasserschutzgebieten für Grundwasser, Talsperren, Seen, Bodennutzung und Waldnutzung sind anzuwenden.

Im Hinblick auf den Schutz der lokalen Wasserressourcen besteht eine kritische Entwicklung in der stetig fortschreitenden Flächeninanspruchnahme durch neu ausgewiesene Wohn- und Gewerbegebiete und die Ausdehnung dieser Siedlungsentwicklungen in Gebiete, die eigentlich als „Engere Schutzzonen“ (Zonen II) einzuordnen wären. Die Qualität lokaler Rohwasserressourcen, die in der Nähe von Siedlungsgebieten vorliegen, wird durch solche Entwicklungsaktivitäten zunehmend gefährdet.

Darüber hinaus führen stetig zunehmende Rohwasserentnahmen aus dem Grundwasser zu einer nicht ausreichenden Grundwasserneubildung, durch die die Ergiebigkeit und die Qualität der erschlossenen Wasserressourcen gefährdet werden können. Die durch den fortschreitenden Flächenverbrauch zunehmende Flächenversiegelung im Zuflussgebiet trägt ebenfalls wesentlich zu einer nicht ausreichenden Grundwasserneubildung bei, wenn der lokale Wasserkreislauf nicht durch gezielt eingerichtete Versickerungsmaßnahmen und -möglichkeiten aufrechterhalten wird.

1.3.2 Wasseraufbereitung und Wasserversorgung

Die Maßnahmen zur Aufbereitung von Grund- und Oberflächenwasser zu Trinkwasser ergeben sich aus der Verfügbarkeit und Qualität von Rohwasser einerseits und aus den gesetzlichen Anforderungen andererseits, wie sie in der bundesweit gültigen Trinkwasserverordnung (TrinkwV) festgelegt sind. Als Teil ihrer Verpflichtung zur öffentlichen Daseinsvorsorge haben die Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland jederzeit eine in qualitativer und quantitativer Hinsicht „sichere“ Versorgung mit Trinkwasser zu gewährleisten, ungeachtet der Schwankungen und Entwicklungen der Rohwassermengen und -qualitäten.

Als Konsequenz haben alle Wasserversorgungsunternehmen umfangreiche Aufbereitungsanlagen und Sicherheitssysteme angelegt, die aufgrund der damit verbundenen Abschreibungskosten zu einem hohen Fixkostenanteil in den Wassergebühren beitragen (BDEW 2008). Die stetige Ausweitung von Siedlungsgebieten und verschiedenste Flächennutzungsänderungen erhöhen den Druck auf die natürlichen Wasserressourcen und führen dazu, dass technischer Aufwand und Kosten für die Trinkwasseraufbereitung in vielen Teilen Deutschlands weiterhin steigen.

99 % der Einwohner und der Wirtschaft in Deutschland sind über ein weit verzweigtes Verteilnetz an eine zentrale Wasserversorgung angeschlossen (BDEW 2008). Zentrale Wasserversorgungen wurden vor etwa 130 Jahren in Großstädten wie Hamburg, Berlin, Frankfurt und Köln eingeführt, um die Versorgung der Bevölkerung mit sauberem Trinkwasser sicherzustellen. Insbesondere in den Städten Deutschlands liegt damit eine Netzinfrastruktur im Untergrund, die in vielen Teilen über 70 Jahren alt ist (BDEW 2008) und insbesondere in den industriell geprägten Siedlungsgebieten für technische Anforderungen vorgesehen war, die im Zuge des wirtschaftlichen Strukturwandels seit den 1970er Jahren größtenteils entfallen sind.

So ist der Wasserverbrauch in vielen Gebieten Deutschlands durch die Schließung großer Teile der wasserintensiven Produktionsanlagen der Kohle- und Stahlindustrie stark zurückgegangen. Der Wasserbezug der Industrie aus der zentralen Wasserversorgung wurde in den letzten Jah-

ren durch Maßnahmen des produkt- oder prozessintegrierten Umweltschutzes und eine vermehrte Eigenförderung noch weiter reduziert (BDEW 2008). Aufgrund eines veränderten, umweltfreundlichen Verhaltens der privaten Wassernutzer ist auch der Wasserverbrauch der Haushalte in den letzten dreißig Jahren signifikant zurückgegangen (BDEW 2008). Diverse Wassersparmaßnahmen, wie wassersparende Toilettenspülungen und Waschmaschinen, die private Autowäsche in einer Autowaschanlage statt zu Hause und ein insgesamt verändertes Bewusstsein im Umgang mit Wasser, haben dazu beigetragen.

Ein kritischer Effekt mit Auswirkungen auf die Kosten und die Sicherheit der Wasserverteilung ist der demographische Wandel, der sich sowohl durch Änderungen des Nutzungsverhaltens, als auch durch signifikante Änderungen der Bevölkerungszahlen in einzelnen Versorgungsgebieten bemerkbar macht. In solchen wirtschaftlich und demographisch schrumpfenden Gebieten wie sie in Ostdeutschland, aber auch in einigen Bereichen des Ruhrgebiets zu finden sind, fällt die Gesamtwasserabnahme so weit, dass es in den nun zu groß dimensionierten Versorgungsleitungen zu längeren Aufenthaltszeiten des Trinkwassers kommt. Dadurch besteht dort zunehmend die Gefahr hygienischer Risiken für die Wassernutzer durch Wiederverkeimung des Wassers.

Auf der Kostenseite bringen der wirtschaftliche und demographische Wandel mit sich, dass die gleichbleibend hohen Fixkosten der Wasserverteilung (Abschreibungskosten für bestehende Leitungen bzw. Neuinvestitionen und Kosten für den anhaltend hohen Unterhaltungs- und Sanierungsaufwand zur Vermeidung hygienischer Probleme) auf eine kleiner werdende Zahl von Kunden verteilt werden müssen. Als Resultat steigen die Wasserpreise, obwohl bzw. gerade weil weniger Wasser verbraucht wird (BDEW 2008).

1.3.3 Abwassererzeugung und –ableitung, Niederschlagswassermanagement

Die Abwassererzeugung (das Abwasseraufkommen) in Haushalten und in Industrie und Gewerbe unterliegt in den letzten Jahren genauso wie die Wassernutzung signifikanten Veränderungen aufgrund des wirtschaftlichen und demographischen Wandels und des veränderten privaten und gewerblichen Nutzerverhaltens in einigen Regionen Deutschlands (BDEW 2008). Kritische Auswirkungen ergeben sich daraus insbesondere für die Funktionen der dortigen Kanalisationen und Abwasserreinigungsanlagen und für die spezifische Gebührensituation für Kanalnutzung und Abwasserbehandlung (siehe Abb. 1-26).

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Abwassermengen und deren Zusammensetzung in Deutschland ist die zunehmende Ablösung der Mischkanalisation durch die Trennkanalisation, um die Vermischung von gering oder mäßig belastetem Niederschlagswasser mit Abwasser zukünftig zu vermeiden. Hierzu sollen bei Neuerschließungen von Siedlungs- oder Gewerbegebieten zukünftig keine Mischwasserkanäle mehr angeordnet werden. Außerdem ist zum Erhalt des lokalen Wasserkreislaufs anzustreben, dass Niederschlagswasser möglichst dort verbleibt, wo es (entwässerungstechnisch) anfällt, und weitestgehend versickert wird.

Ist eine örtliche Versickerung aufgrund der Bodensituation oder des Grundwasserschutzes nicht möglich, wird bei einer Trennkanalisation das anfallende Niederschlagswasser getrennt vom häuslichen oder gewerblichen Abwasser in separat verlegten Kanälen besonderen Niederschlagswasserbehandlungsanlagen zugeführt, sodass nur das hoch belastete Abwasser über kleiner dimensionierte Schmutzwasserkanäle in die zentrale Kläranlage eingeleitet wird. Da-

durch können Konzentrations- und Mengenschwankungen im Zulauf verringert und die Effizienz der Kläranlage verbessert werden.

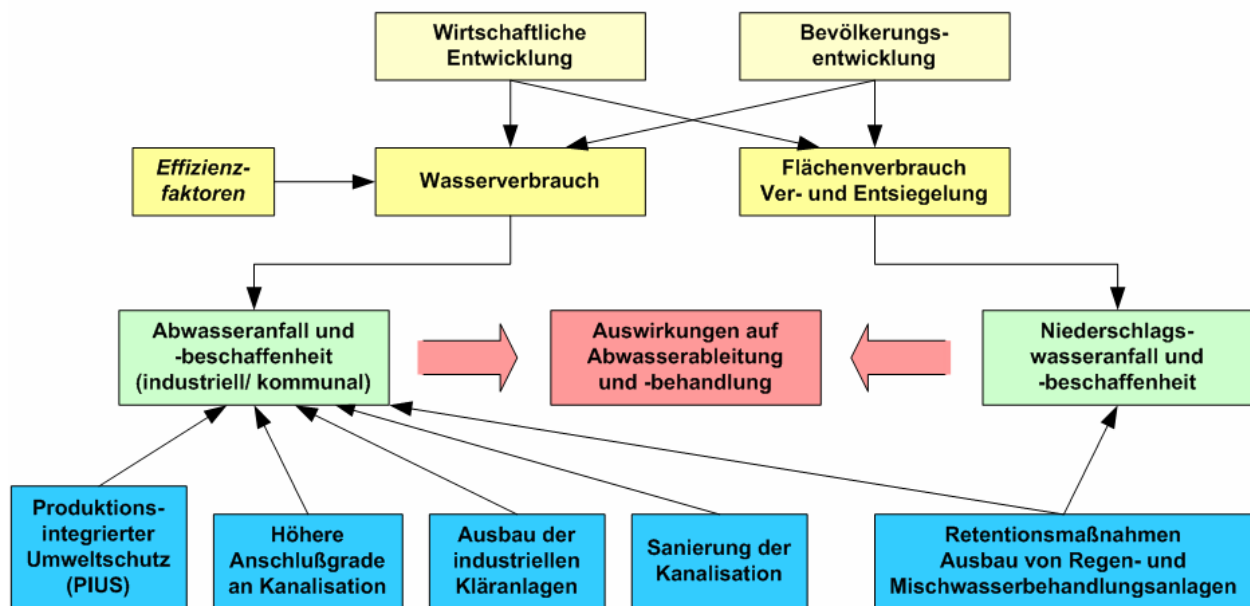


Abb. 1-26 Siedlungswasserwirtschaftliche und andere Einflussfaktoren mit Auswirkungen auf den Abwasseranfall und die Abwasserbehandlung

Das in Behandlungsanlagen wie Regenüberlaufbecken, Regenrückhaltebecken oder Stauraumkanälen mechanisch behandelte Niederschlagswasser wird nachfolgend gedrosselt in einen geeigneten Vorfluter eingeleitet. Der heute in Deutschland maßgebliche Ansatz eines integrierten Niederschlagswassermanagements kombiniert das Gebot, den lokalen Wasserhaushalt möglichst zu erhalten, mit weiteren Zielen der Wasserwirtschaft:

- dem Überschwemmungsschutz in Siedlungsgebieten (Unterführungen, Senken, Tiefgaragen u.ä.) durch Reduzierung der abzuleitenden Mengen durch Entsiegelung und Abkopplung von Flächen sowie durch Schaffung ausreichender, möglichst dezentraler Rückhalte- und Speicherkapazitäten (d. h., ein möglichst weitgehender „Rückhalt in der Fläche“ zur Verzögerung oder Reduzierung des Abflusses von Niederschlagswasser); Abwasserpumpwerke zur Entwässerung niedrig liegender Gebiete oder solchen ohne eigene Vorflut (Polder) leisten ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung von Überschwemmungen durch überlaufende Kanalisationen, sofern Sie über ausreichende Leistungsreserven und einen ausreichenden Überflutungsschutz verfügen (Abb. 1-27);
- dem Gewässerschutz, d. h. der Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Wasserqualität und des natürlichen Zustands durch Reduzierung der Mischwassereinleitungen und der damit verbundenen Schadstofffrachten;
- dem Hochwasserschutz entlang der Vorfluter durch Anordnung und Unterhalt von Hochwasserschutzdeichen und Retentionsräumen, dem Erhalt eines möglichst hohen Abflusses des Fließgewässers und dem konsequenten Rückhalt von Niederschlagswasser in der Fläche, um einen zu schnellen Zufluss von Niederschlagswasser in den Vorfluter zu vermeiden.

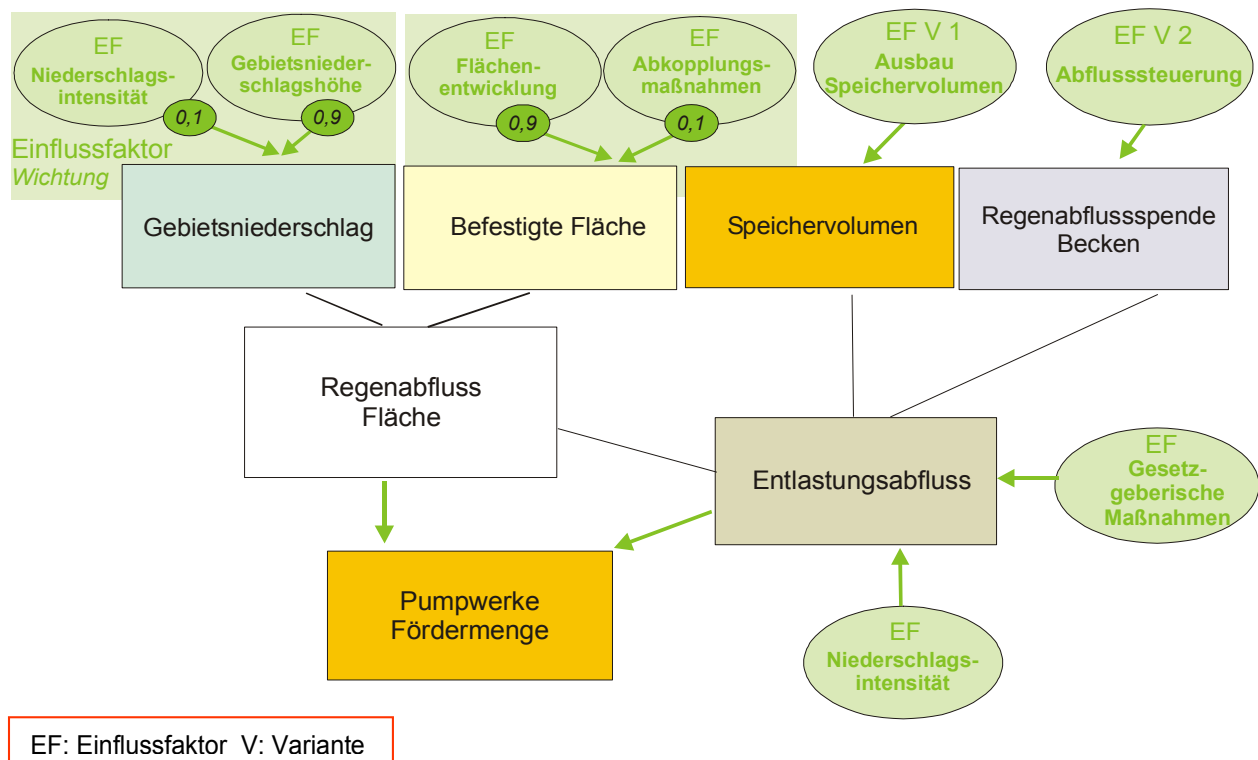


Abb. 1-27 Beispielhafte Darstellung verschiedener siedlungswasserwirtschaftlicher Einflussfaktoren auf die Niederschlagswasserabflüsse und nachfolgenden Entwässerungseinrichtungen

Besondere Beachtung seitens der kommunalen Verwaltungen und der kommunalen Entwässerungspflichtigen muss den kleinen (urbanen) Fließgewässern und Entwässerungsgräben zukommen. Diese unverrohrten, meist wenig sichtbaren Wasserläufe und Gräben leiten Niederschlagswasser entweder in einen nächstgrößeren Bach oder Fluss (Vorfluter), in einen verrohrten Wasserlauf oder in das kommunale Kanalnetz ein. Sie fallen im Sommer zwar häufig trocken, sind aber für eine gefahrlose Ableitung stärkerer Niederschläge aus semi-urbanen und ländlichen Siedlungsgebieten von großer Bedeutung. Entsprechend wichtig sind eine regelmäßige Begehung und ein angemessener Unterhalt der Kleingewässer durch den Entwässerungspflichtigen, um potenzielle Gefährdungspunkte frühzeitig zu erkennen und eine gute Abflussfähigkeit zu erhalten. Obwohl kleine urbane Fließgewässer häufig auf privaten Grundstücken verlaufen, sind dennoch meist die Kommunen unterhaltungspflichtig und für die ordnungsgemäße Funktion des Wasserlaufs oder Grabens verantwortlich. Gleichzeitig ist den Anrainern solcher Kleingewässer in vielen Fällen die Funktion und Bedeutung „ihres“ Grabens für das Gesamtsystem nicht ausreichend bekannt. Informationskampagnen der Kommune oder z. B. die Initiierung von sog. Bachpatenschaften zur Unterstützung der Kommune beim Unterhalt eines Gewässers können hier dazu beitragen, größere Konflikte und Gefährdungsrisiken zu vermeiden.

Auch wenn sich die Zunahme der Flächenversiegelung in Deutschland in den letzten Jahren verlangsamt hat und heute vermehrt Flächen mit wasserdurchlässigeren Materialien befestigt werden, wird das Niederschlagswasseraufkommen - gerade in prosperierenden Gebieten - auch in Zukunft weiter ansteigen. Das heißt, dass in diesen Gebieten besondere Anstrengungen erforderlich sind, um die Vorfluter und die örtlichen zentralen Kläranlagen nicht stärker als bisher zu belasten. Neben einem kontinuierlich optimierten „Rückhalt in der Fläche“ können hierzu betriebliche Optimierungen der Siedlungsentwässerung wie sie z. B. Netz- bzw. Abfluss-

steuerungen darstellen, ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten. Vor diesem Hintergrund ist es zukünftig die Aufgabe einer abgestimmten, voll integrierten Stadt- und Wasserwirtschaftsplanung, die aus technischer, finanzieller, rechtlicher und ökologischer Sicht besten Lösungen zu erarbeiten und umzusetzen.

In nach Einwohnern schrumpfenden Gebieten kann das reduzierte Abwasseraufkommen dagegen dazu führen, dass Schmutzwasser in größeren, wenig genutzten Mischwasserkanälen stehen bleibt und es zu Ablagerungen kommt. Um daraus resultierende Gefahr der Korrosion, Geruchsbildung und erhöhten Ungezieferzahlen zu verhindern, sind also häufigere Kanalspülungen und unter Umständen ein Einsatz von Chemikalien erforderlich. Dieser erhöhte Betriebsaufwand trägt dann wiederum zu einer Erhöhung der Betriebskosten des zuständigen Entsorgungsunternehmens bei. Ersatzinvestitionen oder Umnutzungsmaßnahmen zur Anpassung der überdimensionierten Netze und Anlagen an den verminderten Abwasseranfall sind mit Hilfe von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu prüfen, in die auch die städtebaulichen Rückbau- oder Entwicklungsplanungen für das Gebiet einzubeziehen sind.

Die Abwasserbehandlung, d. h. die ordnungsgemäße Reinigung von Schmutz- oder Mischwasser in zentralen oder dezentralen Kläranlagen, wird in diesem Handbuch nicht weiter betrachtet. Abwasserreinigungsanlagen stellen zwar wichtige Einrichtungen der Siedlungswasserwirtschaft dar, es ist aber so, dass – auch weil zentrale Anlagen heute meist außerhalb von Siedlungsgebieten liegen und in vielen Fällen große Aufwendungen z. B. zur Geruchsreduzierung vorgenommen wurden – wohl keine wahrnehmbaren Auswirkungen dieser Anlagen auf das Stadtklima, die Sicherheit oder die Lebensqualität der Bevölkerung zu erwarten sind.

1.4 Globaler und regionaler Klimawandel

Laut des aktuellen IPCC-Reports (IPCC 2007) gilt es als gesichert, dass in den nächsten Jahrzehnten mit einem weiteren Anstieg der mittleren globalen Lufttemperatur zu rechnen ist. Es wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel im regionalen Maßstab in Abhängigkeit von der geographischen und topographischen Lage sowie der Landnutzung und Klimazonenzugehörigkeit in unterschiedlicher Differenzierung in Erscheinung treten wird.

In diesem Kapitel 1.4 soll die zukünftig zu erwartende Ausprägung des Klimawandels für das Ruhrgebiet dargelegt werden, um den Handlungsbedarf für die regionalen Akteure abschätzen und Anpassungsoptionen in einem Maßnahmenkatalog darstellen zu können. Nach einer kurzen Einführung zur globalen Erwärmung werden Methoden und Ergebnisse zur Abschätzung der Ausprägung des Klimawandels für das Ruhrgebiet aufgezeigt.

1.4.1 Der globale Klimawandel

Seit der Industrialisierung Mitte des 18. Jahrhunderts bis zum Anfang des 21. Jahrhunderts wird ein Anstieg der globalen mittleren Lufttemperatur beobachtet. Als Ursache gilt die anthropogene Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, die über den natürlichen Treibhauseffekt hinaus eine Steigerung der Lufttemperatur bewirkt. Zu den Spurenstoffen, die diesen zusätzlichen Treibhauseffekt hervorrufen, zählen insbesondere Kohlendioxid (CO_2) mit einem Anteil am zusätzlichen Treibhauseffekt von ca. 60 %, Methan (CH_4 , 15 % Anteil), Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW, 11 % Anteil), Ozon (O_3 , 9 % Anteil), Distickstoffoxid (Lachgas N_2O , 4 % Anteil) sowie mit geringeren Anteilen weitere Spurenstoffe. Als anthropogene Quellen dieser Spurenstoffe sind die Verbrennung fossiler Energieträger, Zerstörung der natürlichen Vegetation sowie intensive Land- und Viehwirtschaft zu nennen. Gleichzeitig werden ebenfalls durch anthropogene Eingriffe die bedeutenden natürlichen CO_2 -Senken Vegetation und ozeanisches Phytoplankton (durch Meeresverschmutzung und -versauerung) reduziert. Durch diese Prozesse ist seit der Industrialisierung die mittlere Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre um ca. 36% von ca. 280 ppm im Jahr 1750 auf derzeit 383 ppm (2008) gestiegen (siehe Abb. 1-28).

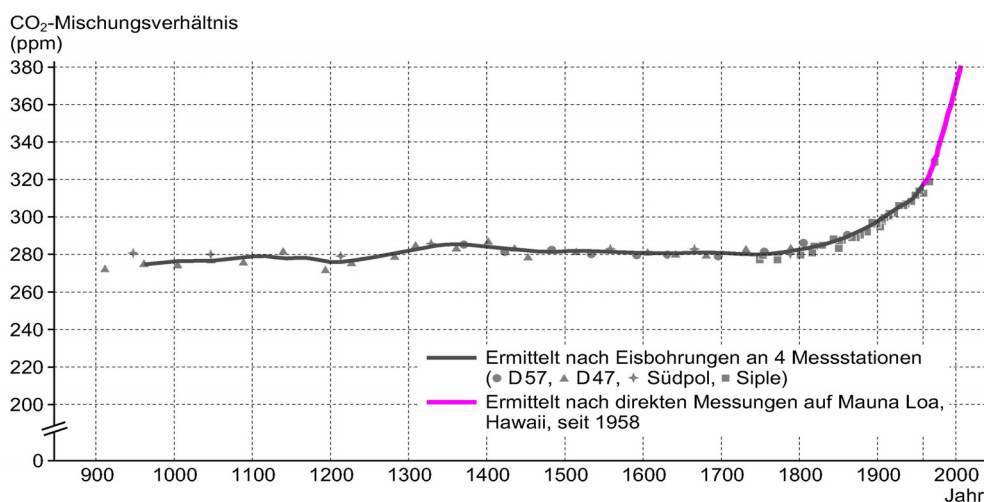


Abb. 1-28 Entwicklung der CO_2 -Konzentration während des letzten Jahrtausends (nach Schönwiese 2000, aus Kuttler 2009)

Für den Zeitraum der Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen kann eine globale Zunahme der mittleren Lufttemperatur beobachtet werden (Abb. 1-29). Gegenüber dem Vergleichsjahr 1860 hat sich bis zum Jahr 2000 die Temperatur um ca. 0,8 K erhöht. Dieser Betrag würde auf 1 K ansteigen, wenn nicht gleichzeitig feine Partikel durch Abschwächung der Sonneneinstrahlung (Solar-Dimming) der Erwärmung teilweise entgegenwirken würden. In Abbildung 1-29 wird dieser Effekt anhand des Sulfataerosols verdeutlicht.

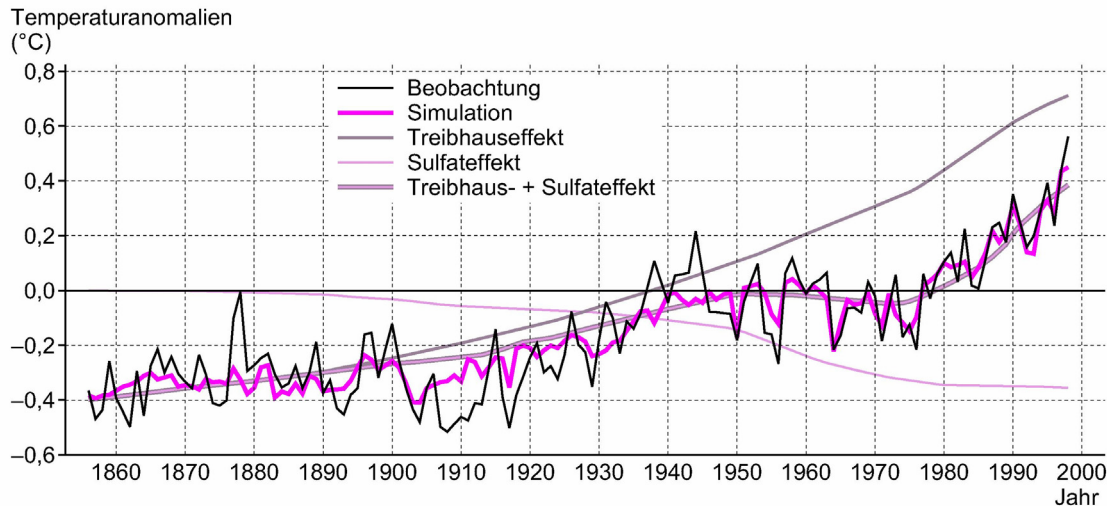


Abb. 1-29 Beobachtete Abweichung der Globaltemperatur von der Referenzperiode 1961-1990 seit 1860 in Abhängigkeit vom Treibhauseffekt, der Wirkung von Sulfataerosol und der kombinierenden Wirkung von Treibhaus- und Sulfateffekt auf die Lufttemperatur (nach Walter & Schönwiese 2002, aus Kuttler 2009, verändert)

Der Zusammenhang zwischen der anthropogenen Erhöhung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen und der globalen Erwärmung während der letzten zwei Jahrhunderte gilt als gesichert (IPCC 2007). Es ist daher davon auszugehen, dass die mittlere globale Lufttemperatur weiter ansteigen wird, wenn anthropogene Treibhausgase weiterhin in die Atmosphäre emittiert werden.

Um das Ausmaß der zukünftig zu erwartenden globalen Erwärmung abschätzen zu können, lässt das IPCC im Rahmen der Grundlagenforschung seit vielen Jahren den Treibhauseffekt mit verschiedenen mathematischen Verfahren simulieren. Hierbei werden in numerischen Klimasimulationsmodellen die physikalischen Prozesse der Atmosphäre unter Berücksichtigung der Einflüsse verschiedener Klimafaktoren (u. a. globale atmosphärische und marine Zirkulationssysteme, Land-Meer-Verteilung, Relief, Topografie, Vegetation, Flächennutzung und Treibhausgasemissionen) rechnerisch nachgebildet. Vor dem Hintergrund der Komplexität der atmosphärischen Prozesse und der nur begrenzten Rechenkapazität der Simulationscomputer muss die mathematische Modelphysik der Klimamodelle dahingehend vereinfacht werden, dass komplexe oder bisher unbekannte Teilprozesse durch Vorgaben parametrisiert werden und die Abbildung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung der atmosphärischen Prozesse in diskrete Schritte zerlegt wird. So erlauben die Klimamodelle auf der Zeitskala nur Aussagen zu mittleren atmosphärischen Verhältnissen (Jahres- oder Dekadenmittelwerte) bei einer räumlichen Genauigkeit (Raumgittergröße) von 100 bis 200 km (Paeth 2007). Unter diesen Voraussetzungen kann die raumzeitliche Entwicklung des atmosphärischen Zustandes ab einem gegebenen Zeitpunkt bis in die Zukunft berechnet werden. Dabei treten hinsichtlich der Aussagekraft der Simulationsergebnisse drei Probleme auf:

1. Historisch bedingt gibt es mehrere Klimamodelle, die sich in Ihrer Schwerpunktsetzung bei der Ausgestaltung der mathematisch beschriebenen Modellphysik unterscheiden, aber dennoch plausibel sind, so dass verschiedene Modelle unter gleichen Ausgangsbedingungen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.
2. Die für die Simulation benötigten Randbedingungen bei den Klimafaktoren müssen so gewählt werden, dass sie die zukünftige Situation realistisch widerspiegeln. Dieses betrifft insbesondere die Abschätzung der zukünftigen Treibhausgasemissionen.
3. Die dritte Unsicherheit resultiert aus dem Einfluss der Anfangsbedingungen auf das Simulationsergebnis.

Das erste Problem wird gelöst, indem das IPCC die Klimaentwicklung von bis zu 23 verschiedenen Modellen berechnen lässt und die variierenden Ergebnisse zu sogenannten Ensembles bzw. Multimodellergebnissen zusammenfasst, welche keinen konkreten Wert, sondern einen wahrscheinlichen Wertebereich liefern. Zu diesen Modellen zählt auch das deutsche Modell ECHAM5 des Max-Planck-Institutes für Meteorologie, auf dessen Ergebnisse die Modellierungen der deutschen regionalen Klimasimulationsmodelle aufbauen.

Zur Beurteilung der zukünftigen Treibhausgasemissionen müssen deren Emissionen für die Zukunft realistisch abgeschätzt werden. Da jedoch nicht bekannt ist, wie sich die anthropogenen Treibhausgasemissionen entwickeln, werden diesbezüglich sogenannte Emissionsszenarien entworfen, die verschiedene mögliche Entwicklungswege der Treibhausgasemissionen aufzeigen. Dabei werden ausgehend von der Theorie, dass die Treibhausgasemissionen das Resultat der globalen Gesellschaft und ihres Handelns sind, Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Weltwirtschaft, der Bevölkerungsentwicklung, des Umweltschutzes und der Energiegewinnung getroffen, aus denen die Treibhausgasemissionen der kommenden Jahrzehnte abgeleitet werden (IPCC 2007). Auf Basis der Szenarien werden anschließend die Randbedingungen für die Klimamodelle festgelegt. Im IPCC-Bericht werden vier Familien von Emissionsszenarien (A1, A2, B1, B2) unterschieden (siehe Tab. 1-6).

Das **Emissionsszenario A1** geht von einem starken globalen Wirtschaftswachstum unter Einsatz effizienter Technologien und eines mäßigen Umweltschutzes sowie einer Globalisierung der Gesellschaft mit nur geringen regionalen Entwicklungstendenzen aus, welche das Bevölkerungswachstum ab Mitte des 21. Jahrhundert abschwächt. Hinsichtlich der Energieerzeugung und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen werden drei Entwicklungstendenzen definiert, die als separate (Unter-) Szenarien klassifiziert werden. Das Szenario A1FI geht von einer weiterhin vornehmlichen Nutzung fossiler Energieträger aus und wird daher als sog. „Business as usual“ - Szenario bezeichnet. Daraus resultieren für die kommenden Jahrzehnte die höchsten CO₂-Emissionen aller Szenarien (Abb.1-30), die gegenüber der Dekade 1980 bis 1999 zur stärksten Erwärmung von ca. 4 K bis zum Ende des 21. Jahrhunderts führen („Worst Case Szenario“). Im Gegenzug würde die Fokussierung regenerativer Energiequellen im Szenario A1T nur zu einem mäßigen Anstieg der Treibhausgasemissionen bis zur Mitte dieses Jahrhunderts sowie einem anschließenden deutlichen Rückgang führen, aus dem eine schwächere Erwärmung von ca. 2,4 K resultiert. Als dritter Weg der Energiegewinnung wird im Szenario A1B eine Mischform angenommen, bei der die fossilen Energieträger sukzessiv durch regenerative Energieerzeugung ersetzt werden, so dass auch hier ab Mitte des 21. Jahrhunderts die Treibhausgasemissionen zurückgehen. Die hierdurch bedingte Erwärmung nimmt eine Mittelstellung ein und wird auf ca. 2,8 K geschätzt (Tab. 1-6 und Abb. 1-31).

Das Szenario A1B wird vor dem Hintergrund der derzeitigen globalpolitischen Bestrebungen als das realistischste Szenario angesehen, so dass aktuell die öffentliche Diskussion über die Auswirkungen des Klimawandels auf Basis von Klimasimulationen mit diesem Szenario stattfindet. Daher wird die Abschätzung der Folgen des Klimawandels für das Ruhrgebiet ebenfalls anhand des A1B-Szenarios durchgeführt. Die weiteren Szenarien werden der Vollständigkeit halber nachfolgend kurz erläutert.

Tab. 1-6 Ökonomische, demographische, energetische und klimatische Merkmale der IPCC-Emissionsszenarien zur globalen Klimaänderung (nach Angaben aus IPCC 2007)

Szenariofamilie	A1			A2	B1	B2
Ökonomie + Demographie						
Wirtschaftswachstum	Stark			Stark	stark	mittel
Technologieeffizienz	Hoch			Gering	hoch	mittel
Ökologische Nachhaltigkeit	Mittel			Gering	hoch	hoch
Wirtschaftliche Globalisierung	Hoch			Gering	hoch	gering
Kulturelle + soziale Globalisierung	Hoch			Gering	hoch	gering
Bevölkerungs-entwicklung	ansteigend, ab Mitte 21. Jh. abfallend			Ansteigend	ansteigend, ab Mitte 21. Jh. abfallend	ansteigend
Energie + Emissionen						
Szenario	A1FI	A1B	A1T	A2	B1	B2
Hauptenergieträger	fossil	Mix (fossil + reg.)	Regenerativ	Fossil	regenerativ	Mix (fossil + reg.)
Treibhausgas-emissionen	Stark ansteigend	Mäßig ansteigend, ab Mitte 21. Jh. abfallend	Mäßig ansteigend, ab Mitte 21. Jh. stark abfallend	stark ansteigend	gering ansteigend, ab Mitte 21. Jh. abfallend	gering ansteigend
Klimaänderung in der Dekade 2090-2099 im Vergleich zum Zeitraum 1980-1999						
Globale Erwärmung / K	2,4 – 6,4	1,7 – 4,4	1,4 – 3,8	2,0 – 5,4	1,1 – 2,9	1,4 – 3,8
Beste Schätzung / K	4,0	2,8	2,4	3,4	1,8	2,4
Meeresspiegelanstieg /m	0,26 – 0,59	0,21 – 0,48	0,20 – 0,45	0,23 – 0,51	0,18 – 0,38	0,20 – 0,43

Im **A2-Szenario** tritt die Globalisierung zugunsten regionaler Autonomiebestrebungen in den Hintergrund. Wirtschaftswachstum und technologische Entwicklung sowie Umweltschutzmaßnahmen bleiben auf entwickelte Regionen beschränkt, während in den Entwicklungsländern ein kontinuierliches Bevölkerungswachstum über das gesamte 21. Jahrhundert zu erwarten ist. Dieses Szenario führt zu einem starken Anstieg der Treibhausgasemissionen und infolgedessen zu einer Erwärmung von im Mittel 3,4 K. Dieses Szenario ist bezüglich der Auswirkungen mit dem A1FI-Szenario vergleichbar.

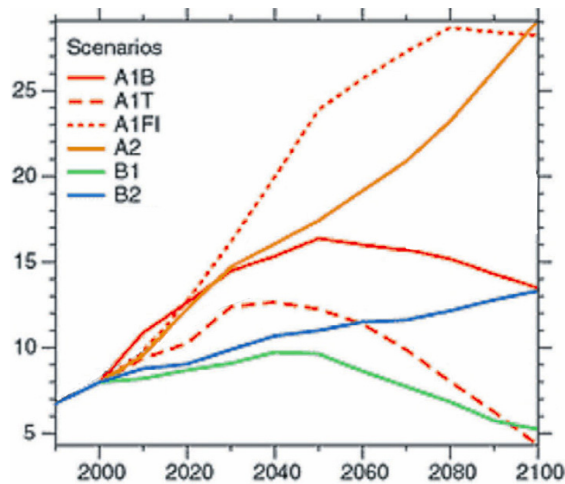


Abb. 1-30 Gemessene und prognostizierte globale atmosphärische Kohlendioxidemissionen in Gigatonnen Kohlenstoff für den Zeitraum 1990- 2100 (Paeth 2007).

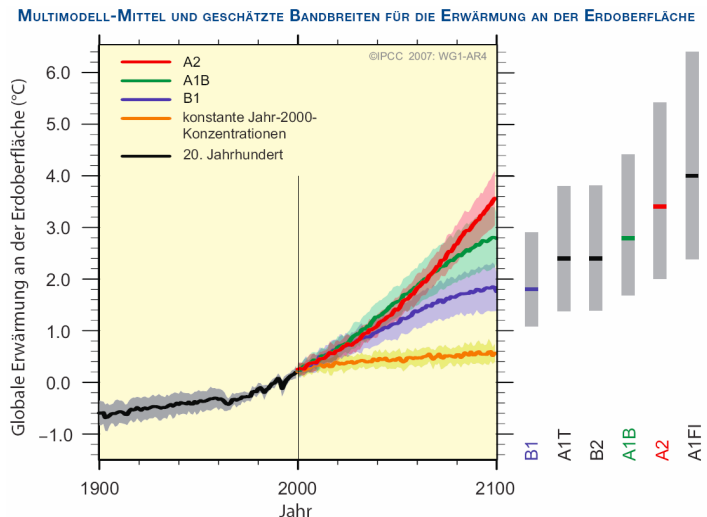


Abb. 1-31 Anomalien der global gemittelten bodennahen Lufttemperatur im Zeitraum 1990 – 2100 gegenüber der Referenzperiode 1980 bis 1999 (IPCC 2007)

Das **B1-Szenario** geht von einer globalisierten Gesellschaft mit einer ab Mitte des Jahrhunderts rückläufigen Bevölkerung aus, die sich von der Industrie- zur Informationsgesellschaft wandelt und mit Hilfe ressourceneffizienter Technologien und überwiegend regenerativer Energiegewinnung die ökologische Nachhaltigkeit fokussiert. Bei diesem „Best Case Szenario“ sind die Emissionen am geringsten und die globale Erwärmung wird auf lediglich 1,8 K geschätzt.

Das **Szenario B2** bildet eine Mischform aus den Szenarien B1 und A2. Die Bestrebungen im Umweltschutz sind deutlich ausgeprägt, werden aber regional unterschiedlich umgesetzt. Es wird von einer mäßigen Entwicklung der Weltwirtschaft und Ressourcen schonenden Technologien ausgegangen. Die Erdbevölkerung wächst stetig bis zum Ende des Jahrhunderts, aber auf einem etwas geringeren Niveau als im A2-Szenario. Die Treibhausgasemissionen steigen mäßig, aber stetig an, so dass für das Ende des Jahrhunderts ein mittlerer Temperaturanstieg von 2,4 K erwartet wird.

Die Ergebnisse der Ensemble-Simulationen für das A1B-Szenario sind in Abbildung 1-32 anhand der globalen Verteilung der Änderungen der Lufttemperatur dargestellt. Im Vergleich zum Zeitraum 1980–1999 ist für die Dekade 2020 – 2029 eine Zunahme der Lufttemperatur von maximal 2,5 K sowie für die Dekade 2090 - 2099 von maximal 7,5 K im Bereich der nördlichen Polarkappen zu erwarten. Weiterhin sind regionale Differenzierungen zu erkennen mit einer stärkeren Erwärmung auf der Nordhalbkugel. Im Mittel wird sich Europa bis 2020-2029 um 1 K bis 2 K und bis zum Ende dieses Jahrhunderts um 3 K bis 4 K erwärmen.

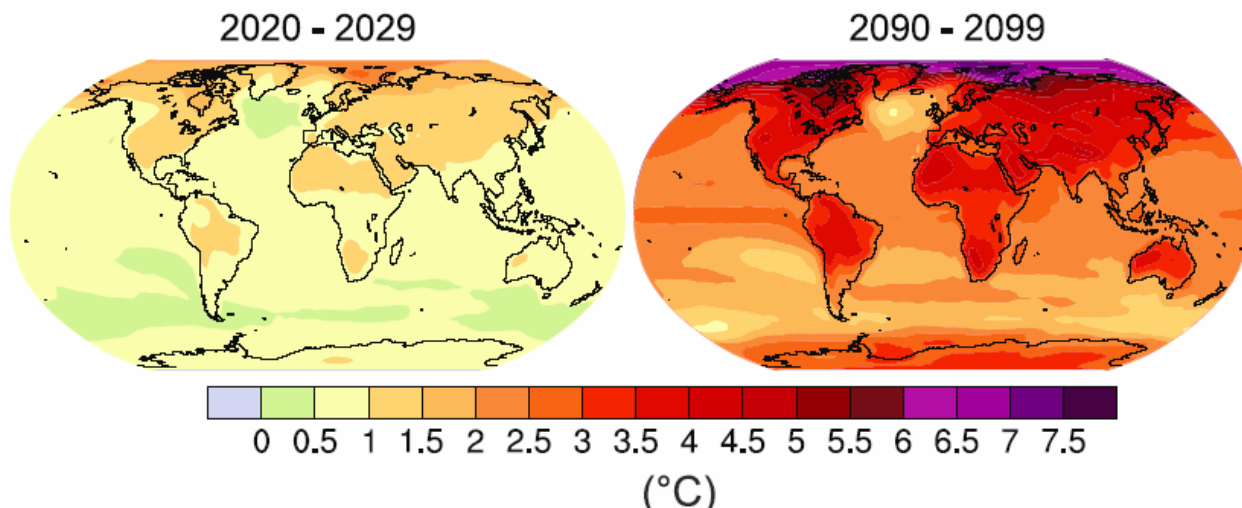


Abb. 1-32 Projizierte Änderungen der bodennahen Lufttemperaturen für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Zeitraum 1980–1999 als Ergebnis von Multimodell-Mittel-Projektionen für das A1B-Szenario, gemittelt über die Jahrzehnte 2020–2029 und 2090–2099 (IPCC 2007)

Auch für die Niederschlagsverteilung sind nach Abb. 1-33 bis zum Ende des Jahrhunderts deutliche Veränderungen zu erwarten. In den subtropischen Trockengebieten wird der Niederschlag gegenüber dem Zeitraum 1980 – 1999 um mehr als 10% abnehmen, während in den mittleren und polaren Breiten eine allgemeine Zunahme von mehr als 10% zu verzeichnen ist. Eine genauere Betrachtung für die Region Europa zeigt jedoch, dass es zu einer Verlagerung der jährlichen Niederschlagsverteilung kommen wird. Während im Sommer der Niederschlag um 10% bis 20% zurückgeht, steigt er im Winter um den gleichen Betrag an. Bezogen auf Deutschland bedeutet dieses eine Verlagerung des Niederschlagsmaximums vom Sommer auf den Winter.

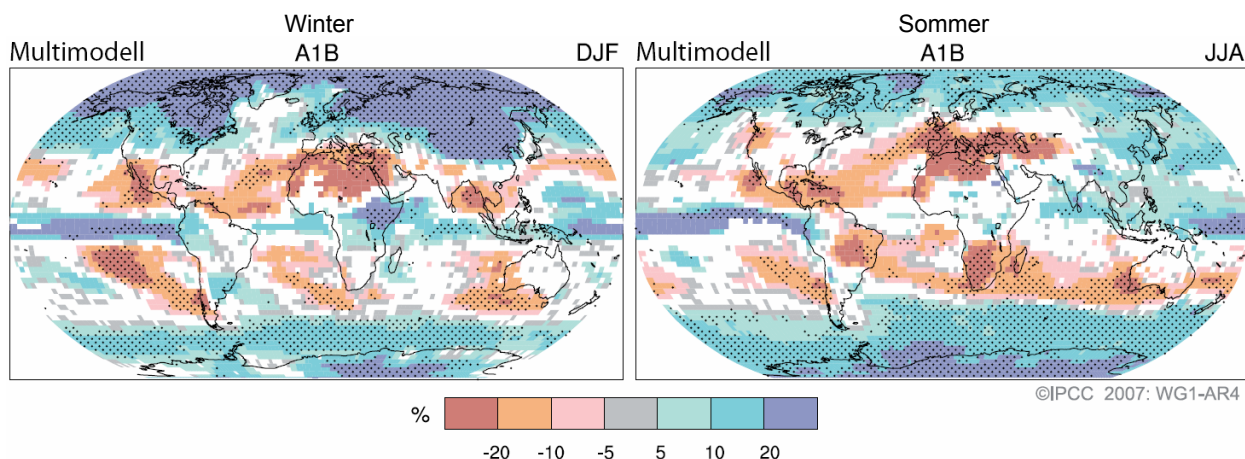


Abb. 1-33 Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999 als Ergebnis von Multimodell-Mittel-Projektionen für das A1B-Szenario Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Weiße Flächen: Bisher keine plausiblen Aussagen erhältlich (IPCC 2007)

Hinsichtlich der Brauchbarkeit der Ergebnisse der Klimasimulationen geht man davon aus, dass unter Berücksichtigung der modellinternen Annahmen über die Randbedingungen und die Ausgangsbedingungen derzeit seriöse Abschätzungen der globalen Erwärmung bis zum Jahr 2060 möglich, weiterreichende Projektionen aufgrund fehlender Kenntnisse über die zukünftige Ent-

wicklung der Randbedingungen, insbesondere der Emissionen von Treibhausgasen, unzuverlässig sind.

1.4.2 Regionale Klimamodellierung für das Ruhrgebiet

Da die räumliche Auflösung der Klimamodelle mit Raumgittergrößen von 100 km bis 200 km zu gering ist, um für einzelne Regionen differenzierte Aussagen zur Ausprägung des Klimawandels treffen zu können, wird auf regionale Klimamodelle zurückgegriffen. Die für das Ruhrgebiet geeigneten Modelle werden nachfolgend näher beschrieben.

Für diese Arbeit kommen Simulationsergebnisse von vier verschiedenen regionalen Klimamodellen in Betracht, die das Ruhrgebiet räumlich abdecken. Da im Rahmen dieser Arbeit nicht alle Modelle ausgewertet werden können, wurden die Modelle zunächst verglichen, um das für die hiesige Fragestellung geeignetste Modell zu ermitteln.

Die Ergebnisse des Szenarios A1B liegen als synthetische Tagemittelwerte im Jahresgang für einzelne Dekaden vor. Zusätzlich gibt es für den Zeitraum 1971 bis 2000 Messzeitreihen von nordrhein-westfälischen Klimastationen für Vergleichszwecke. Für die Auswertung der mehr als 110.000 Datensätze wurde die Software IDP (Kreienkamp & Spekat 2008) zu Verfügung gestellt und angewendet.

Bei den vier zur Verfügung gestellten Modellen handelt es sich um zwei numerische und zwei statistische Modelle (siehe Tab. 1-7).

Tab. 1-7 Merkmale von Klimamodellen zur Abschätzung der regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels in NRW

Modelltypen	Numerische Simulation		Statistische Regression		Messwerte
Modell	CLM	REMO 10	STAR II	WETTREG	NRW
Autor	DWD	MPI-M	PIK	PIK/CEC	LANUV/DWD
Verfahren	Num. Simulation nicht-hydrostatisch	Num. Simulation hydrostatisch	Statist. Regression trendbasiert	Statist. Regression wetterlagenbasiert	Messreihen
Räumlich. Auflösung	18 x 18 km	10 x 10 km	Interpolation	Interpolation	- / -
Ruhrgebiet	8 x 3 Zellen	10 x 7 Zellen	Interpolation	Interpolation	- / -
Vertikale Differenzierung	ja	nein	- / -	- / -	- / -
Stationen im Ruhrgebiet	- / -	- / -	27	2	2
Zeitraum, von	1961	1951	1981	1961	1971
Zeitraum, bis	2100	2100	2060	2100	2010

- Bei den numerischen Modellen CLM (Werner & Gerstengarbe 2007) und REMO 10 (UBA 2008) wird, wie bei den globalen Klimamodellen auch, die regionale Klimaänderung über physikalische Gleichungssysteme, welche die atmosphärischen Prozesse abbilden, berechnet. Die Randbedingungen für diese Modelle werden aus den Ergebnissen des globalen Klimamodells ECHAM5 bereitgestellt, d. h. diese regionalen Modelle sind in die globale Simulation eingebettet („Nesting“). Die beiden Modelle unterscheiden sich in ihrem Berechnungsansatz und der räumlichen Auflösung. Das Modell CLM ist nicht-hydrostatisch. Die räumliche Auflösung beträgt 18 km x 18 km. Das Modell REMO

10 arbeitet hydrostatisch. Die räumliche Auflösung ist mit 10 km x 10 km besser als beim Modell CLM.

- Die Modelle STAR II (Werner & Gerstengarbe 2007) und WETTREG (Spekat et al. 2007) arbeiten nach statistischen Verfahren, indem bereits vorhandene klimatische Messreihen der letzten Dekaden in die Zukunft projiziert werden. Der Verlauf der Trendfunktionen wird dabei aus den Ergebnissen der globalen Simulationen gewonnen. Für WETTREG wird die Trendfunktion aus der zukünftigen Wetterlagenverteilung gewonnen. Die räumliche Auflösung bei diesen beiden Modellen ist nicht an starre Raumgitter gebunden, sondern wird aus der räumlichen Verteilung der zur Verfügung stehenden Klimastationen, für welche die Trendanalysen durchgeführt wurden, interpoliert. Die räumliche Aussagegenauigkeit wächst somit mit der räumlichen Dichte von Klimastationen.

Für die einzelnen Modelle liegen die Ergebnisse unterschiedlicher Zeiträume vor. Den kleinsten Zeitraum deckt STAR II mit den Dekaden 1981 – 2060 ab, während die anderen Modelle Projektionen bis zum Jahr 2100 bereitstellen. Um die vier regionalen Modelle hinsichtlich ihrer Aussagen zur zukünftigen Klimaentwicklung vergleichen zu können, ist daher eine Normierung der Auswerte- und Bezugsdekade auf einen einheitlichen Zeitraum notwendig. Als Bezugsdekade (Ist-Zustand) wird hier der Zeitraum der letzten vollständigen Dekade von 1991 bis 2000 gewählt. Die zukünftigen Klimaprojektionen werden für die Auswertedekade 2051 bis 2060 dargestellt. Somit umfasst der Vergleichszeitraum sechs Dekaden.

Anhand der vier regionalen Klimamodelle WETTREG, STAR II, CLM und REMO10 lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels für das gesamte Ruhrgebiet flächenhaft darstellen. Der Modellvergleich liefert dabei vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Modellansätze sowohl Aussagen zur räumlichen Differenzierung als auch zur Bandbreite der Wertebereiche dargestellter meteorologischer Größen. Unter diesen Aspekten werden nachfolgend die Auswirkungen des Klimawandels für das Ruhrgebiet anhand des Temperaturfeldes und des Niederschlagsregimes untersucht. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt hierbei in der Darstellung der Änderung der meteorologischen Kenngrößen für die Dekade 2051 bis 2060 im Vergleich zur Bezugsdekade 1991 bis 2000. Anschließend werden die projizierten Auswirkungen des Klimawandels für die Modellstädte Dortmund und Bottrop untersucht.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Simulationsergebnisse der regionalen Klimamodelle keine Vorhersagen zum zukünftigen Klima liefern, sondern lediglich Abschätzungen auf Basis hypothetischer Annahmen. Zum Teil sind die räumlichen Unterschiede im Untersuchungsgebiet kleiner als die Modellfehler. Bei den Auswertungen werden die mittleren Zustände betrachtet.

Die von den vier Modellen berechnete und zu erwartende Änderung der Jahresmitteltemperatur der Luft ist in Abbildung 1-34 als absolute Differenz zwischen der Auswertedekade (2051-2060) und der Bezugsdekade (1991-2000) dargestellt. Um die Modellergebnisse vergleichen zu können, wurde für alle vier Modelle die gleiche Temperaturskala gewählt. Die Bandbreite der Temperaturänderungen zeigt modellübergreifend eine Temperaturerhöhung der Jahresmitteltemperatur der Luft zwischen 1,5 K und 2,1 K an, d. h. die Variation der Modellergebnisse beträgt max. 0,6 K. Der Vergleich der Modelle zeigt allerdings Unterschiede sowohl hinsichtlich der Ausprägung der Erwärmung als auch der räumlichen Differenzierung. Die stärkste Erwärmung wird vom Modell STAR II mit Werten zwischen 1,9 K und 2,1 K projiziert, während das Modell WETTREG im Modellvergleich die schwächste Erwärmung zwischen 1,5 K und 1,7 K simuliert.

Für die übrigen Modelle liegt der Wertebereich der Temperatur im mittleren Bereich. Er beträgt für das Modell CLM 1,6 K bis 1,9 K und für REMO10 1,8 K bis 2,0 K. Aus diesem Vergleich wird deutlich, dass die Unterschiede zwischen den Modellen mit Beträgen von wenigen zehnteln Kelvin genauso gering sind wie die innerhalb der einzelnen Modelle vorgefundenen räumlichen Unterschiede von höchstens 0,3 K. Bei der räumlichen Differenzierung der Jahresmitteltemperatur sind bei den numerischen Modellen Beschränkungen durch die Größe der Raumgitter vorgegeben. Das Modell CLM deckt mit einer Maschenweite von 18 km das Ruhrgebiet mit lediglich 8 x 3 Zellen ab, während das Modell REMO10 bei einer Maschenweite von 10 km eine Abdeckung von 10 x 7 Zellen aufweist. Diese grobe Auflösung gestattet Aussagen nur im Bereich der Großlandschaften. Eine diesbezügliche Auswertung der Modelle zeigt ein heterogenes Verteilungsmuster. Die Modelle WETTREG und CLM weisen vor allem die Region Niederrhein als einen der Schwerpunkte der Erwärmung aus. STAR II zeigt hier hingegen eine schwächere Erwärmung an. Die Erwärmungsschwerpunkte dieses Modells liegen im Bereich der Hellwegbörde, des Südmünsterlandes und den Regionen Bergisches Land sowie Sauerland. Für die letzten beiden Regionen wiederum geht WETTREG von einer relativ schwächeren Temperaturerhöhung aus. Bezüglich des Südmünsterlandes deuten WETTREG und CLM auf eine relativ schwächere Erwärmung hin. In dem Modell REMO10 sind im Vergleich zu den übrigen Modellen fast keine räumlichen Erwärmungsschwerpunkte zu erkennen.

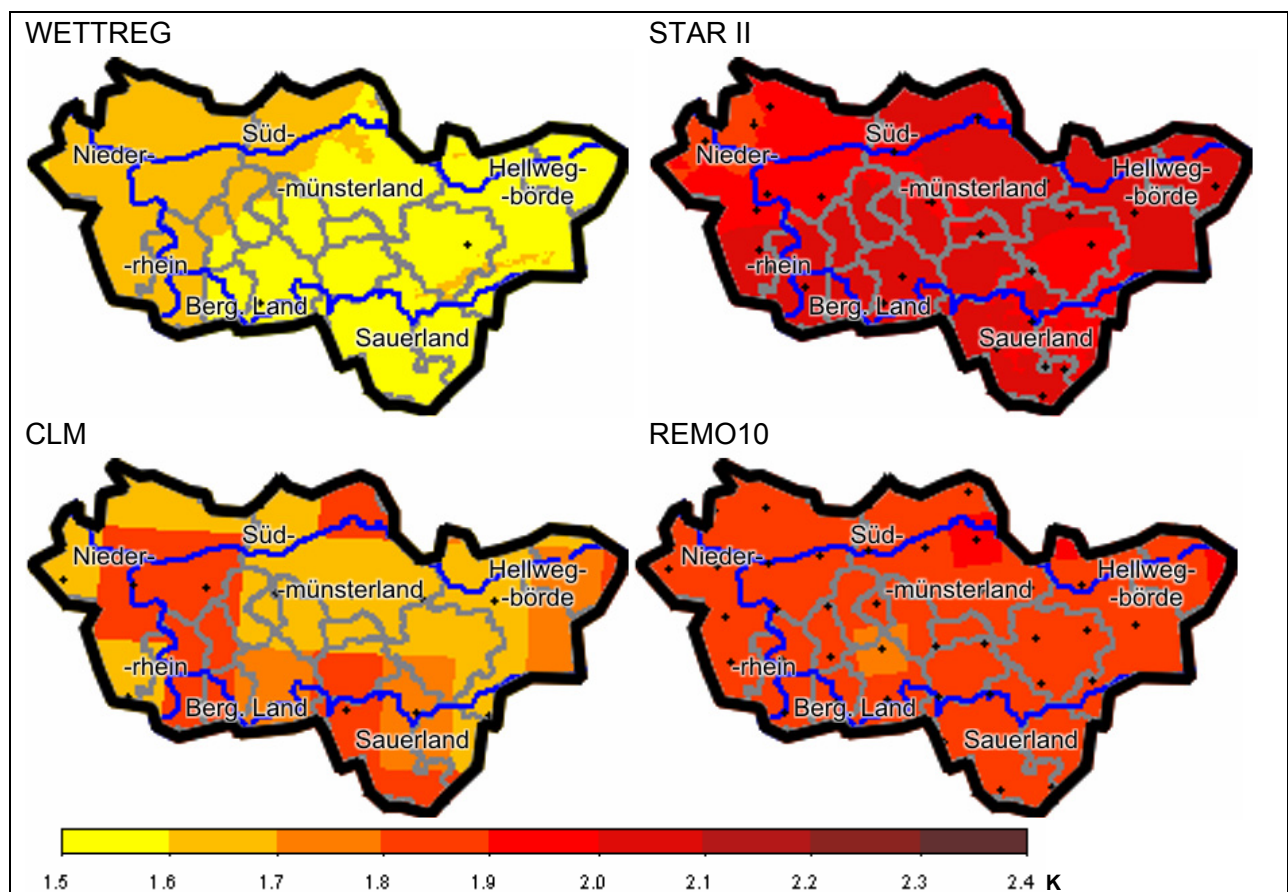


Abb. 1-34 Differenz des Jahresmittels der Lufttemperatur in K zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Linienetz: Stadt- / Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)

Bezüglich der zu erwartenden Änderung der Jahresmitteltemperatur der Luft ist festzuhalten, dass für das Ruhrgebiet eine Erwärmung von 1,5 K bis 2,1 K erwartet wird. Räumliche Schwerpunkte der Erwärmung sind nicht eindeutig feststellbar. Es ist darauf hinzuweisen, dass die räumlichen Differenzierungen in Anbetracht der geringen Bandbreiten der Temperaturunterschiede lediglich als Tendenzen interpretiert werden können.

Im Hinblick auf die thermische Belastung der Bevölkerung sind die zu erwartenden Änderungen der sommerlichen Höchsttemperaturen von Interesse. Abbildung 1-35 zeigt im Modellvergleich den projizierten Anstieg der mittleren maximalen Lufttemperatur für die Sommermonate Juni bis August zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060. In diesem Vergleich fällt das Modell STAR II besonders auf, da es mit Werten zwischen 2,1 K und 2,7 K den Temperaturanstieg wesentlich höher einschätzt als die übrigen Modelle. Das Modell CLM gibt einen Wertebereich von 1,5 K bis 1,9 K an, bei den Modellen WETTREG und REMO10 erreicht der Temperaturanstieg 1,1 K bis 1,6 K respektive 1,4 K. Der über alle vier Modelle gemittelte Wertebereich des Anstiegs der sommerlichen Maximaltemperaturen beträgt 1,5 K bis 1,9 K. Bei der räumlichen Differenzierung liegt der Schwerpunkt der Überwärmung im südlichen Ruhrgebiet im Bereich der Ausläufer des rheinischen Schiefergebirges. Ein relativ geringer Temperaturanstieg wird für den nördlichen Niederrhein projiziert. Vor dem Hintergrund der geringen Gebietsdifferenzen innerhalb der jeweiligen Modelle sind die Ergebnisse ebenfalls als Tendenzen zu betrachten.

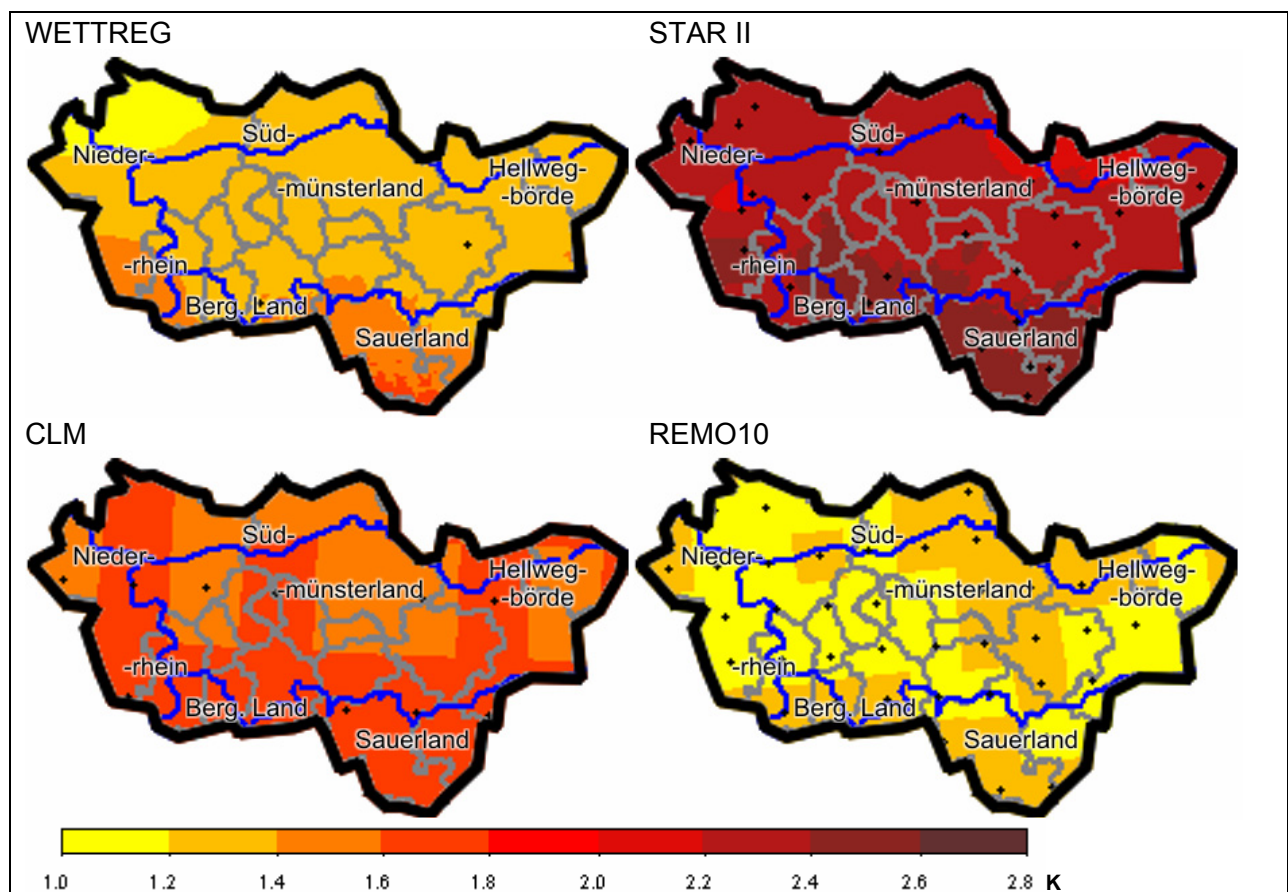


Abb. 1-35 Differenz der mittleren maximalen Lufttemperatur in K für die Sommermonate Juni bis August (JJA) zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- / Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)

Die für das Ruhrgebiet zu erwartenden Änderungen der Niederschlagsverhältnisse werden gleichfalls mit den regionalen Modellen abgeschätzt. Die relative Differenz der Jahressumme des Niederschlages zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet ist in Abbildung 1-36 dargestellt.

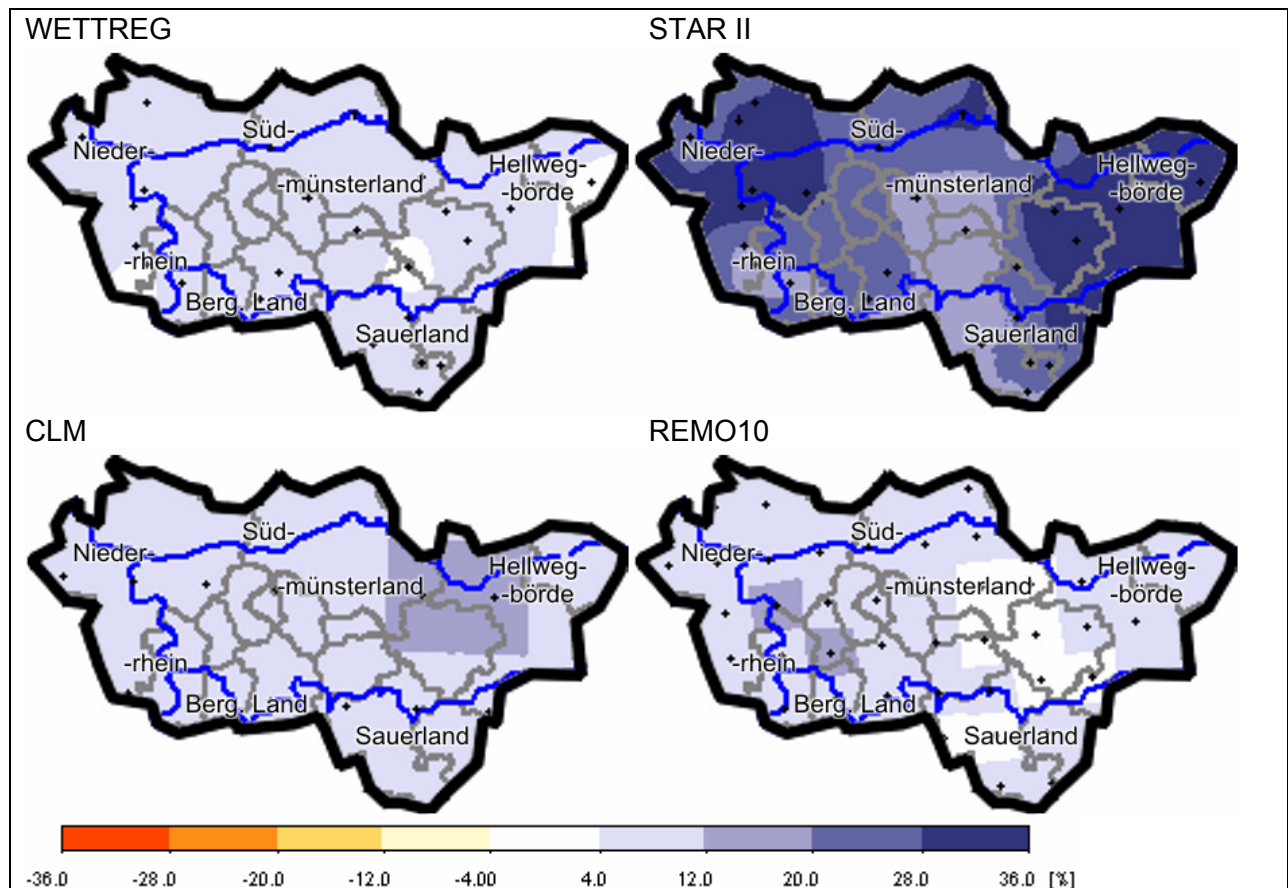


Abb. 1-36 Differenz der Jahressumme des Niederschlages in Prozent zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- / Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)

In allen Modellen ist ein relativer Anstieg des Jahresniederschlages zu verzeichnen. Während die Modelle WETTREG und REMO10 nur einen leichten Niederschlagsanstieg von 2,4% bis 10,8% bzw. von 0,9% bis 12,4% projizieren, ist beim Modell CLM ein mäßiger Niederschlagszuwachs von 6,1% bis 13,4% zu beobachten. Demgegenüber weist das Modell STAR II mit Zuwächsen zwischen 12,7% und mehr als 36% deutlich höhere Abschätzungen auf. Eine Zuordnung räumlicher Schwerpunkte der Niederschlagsänderungen ist nicht möglich. Während die Modelle STAR II und CLM den größten Niederschlagsanstieg für das östliche Ruhrgebiet projizieren, liegt der Schwerpunkt im Modell REMO10 in der Region Niederrhein. Das Modell WETTREG weist im Vergleich zu den anderen Modellen keinen räumlichen Schwerpunkt mit erhöhten Niederschlagsanstiegen auf.

Die Untersuchung der sommerlichen Niederschlagsverhältnisse in Abbildung 1-37 zeigt gleichfalls ein heterogenes Bild bezüglich der Trends und der räumlichen Differenzierungen.

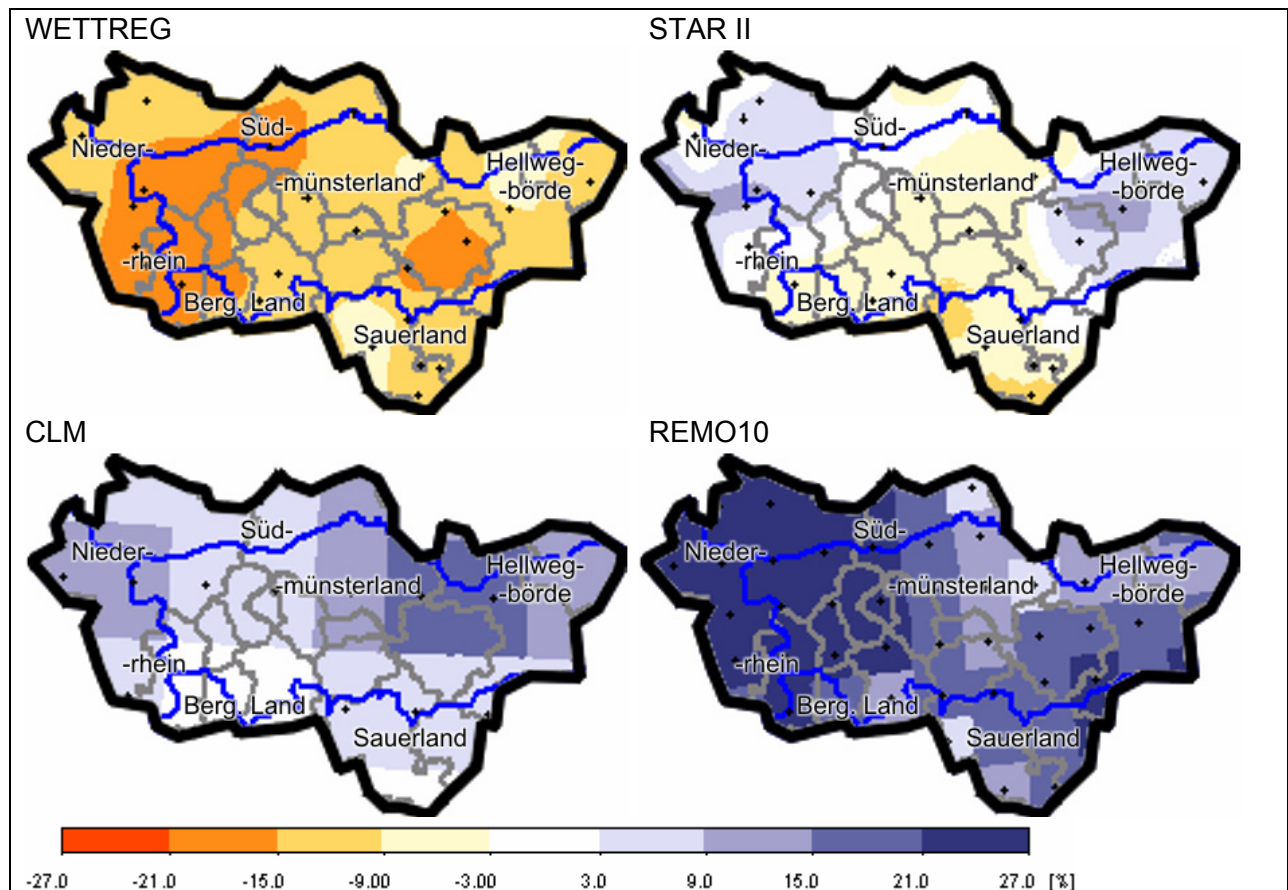


Abb. 1-37 Relative Differenz der Summe des Niederschlages in Prozent für die Sommermonate Juni - August zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- und Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)

Das Modell WETTREG projiziert für das gesamte Ruhrgebiet einen Rückgang des Sommerniederschlags von -0,3% bis -21,0%. Demgegenüber zeigt das Modell STAR II für den Niederrhein und die Hellwegbörde mit einem Niederschlagszuwachs von bis zu 15% einen gegenläufigen Trend an, während für das mittlere Ruhrgebiet und das Rheinische Schiefergebirge ein Rückgang von bis zu 9% erkennbar ist. Die numerischen Modelle CLM und REMO10 berechnen dagegen leicht zunehmende Niederschläge mit Werten von +1,9% bis +22,9%, wobei die Zunahme beim Modell REMO10 deutlich stärker ausgeprägt ist.

Die in Abbildung 1-38 dargestellte Änderung der winterlichen Niederschlagssituation zeigt im Vergleich zu den vorherigen Niederschlagsuntersuchungen die höchste Bandbreite der relativen Änderungen. Während WETTREG und STAR II für das gesamte Ruhrgebiet einen Anstieg von 25% bis 45% berechnen, verzeichnen CLM und REMO10 in dieser Region Niederschlagsrückgänge von -5% bis -15%. Verglichen mit dieser Diskrepanz fällt die räumliche Differenzierung in den einzelnen Modellen nicht mehr ins Gewicht.

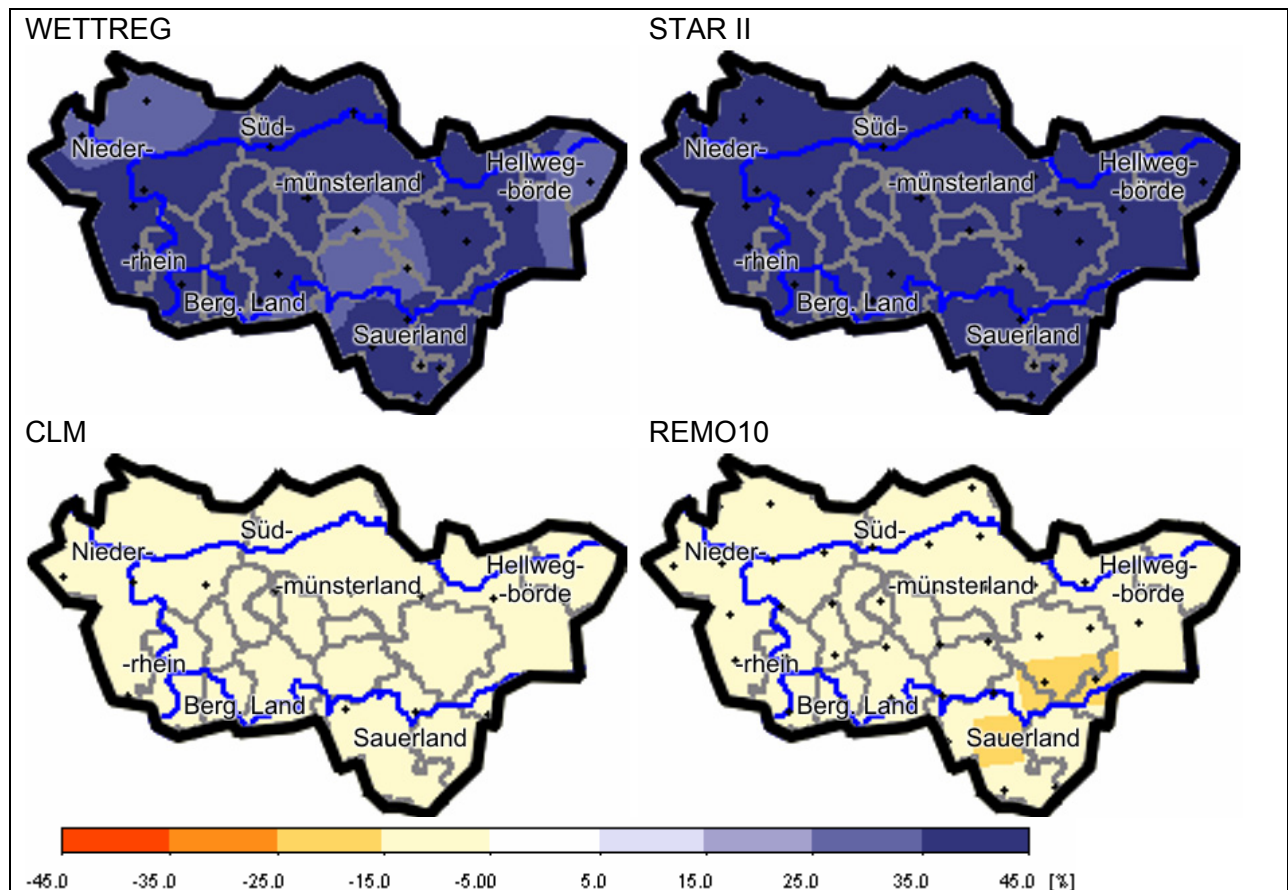


Abb. 1-38 Relative Differenz der Summe des Niederschlages in Prozent für die Wintermonate Dezember - Februar zwischen den Dekaden 1991-2000 und 2051-2060 für das Ruhrgebiet von vier verschiedenen Klimamodellen für das IPCC-Szenario A1B (graues Liniennetz: Stadt- und Kreisgrenzen) (Datenbasis: LANUV 2008)

Fasst man die drei Ergebnisse zu den sommerlichen, winterlichen und jährlichen Niederschlagsveränderungen zusammen, so bleibt festzuhalten, dass eine eindeutige Bestimmung der Niederschlagstrends nur für den Gesamtjahresniederschlag möglich ist. Eindeutige Aussagen zur Sommer- oder Wintersituation können jedoch anhand der vier vorliegenden regionalen Modelle aufgrund der stark divergierenden Ergebnisse weder für das gesamte Ruhrgebiet noch für die einzelnen Naturräume getroffen werden. Ferner kann nicht festgestellt werden, welches Modell die wahrscheinlichsten Ergebnisse liefert, da alle Modelle auf plausiblen Berechnungsansätzen beruhen. Daher besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

Zusammenfassend ist bezüglich der zu erwartenden Änderung der Jahresmitteltemperatur in der Dekade 2051-2060 im Ruhrgebiet im Vergleich zur Bezugsdekade 1991-2000 je nach Regionalmodell mit einer Erwärmung von 1,5 K bis 2,1 K zu rechnen. Räumliche Schwerpunkte der Erwärmung sind nicht eindeutig feststellbar. Die sommerlichen Maximaltemperaturen können um 1,5 K bis 1,9 K ansteigen, wobei im südlichen Ruhrgebiet der Bereich des Rheinischen Schiefergebirges stärker betroffen sein kann als das übrige Ruhrgebiet. Bei der Niederschlagsverteilung ist für den gesamten Jahresniederschlag je nach Modell eine Zunahme von 0,9% bis über 36% zu verzeichnen. Eine Beurteilung der sommerlichen oder winterlichen Niederschlagstrends ist anhand der vier vorliegenden regionalen Modelle aufgrund der stark divergierenden

Ergebnisse derzeit weder für das gesamte Ruhrgebiet noch für die einzelnen Naturräume mit Sicherheit möglich.

Für die Modellstadt Dortmund ist nach den Projektionen des Modells STAR II, das „wärmste“ der vier Regionalmodelle, ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,9 K möglich. In Folge dessen ist mit einem Rückgang der Eis- und Frosttage um 60% bzw. 40% zu rechnen. Gleichzeitig könnten die Sommertage um 80% sowie die Heißen Tage um 140% zunehmen. Die Tropennächte können sich fast verdreifachen und die Tage mit Wärmebelastung ansteigen. Bei den Niederschlägen ist ein Anstieg der Jahressumme zu erwarten, wobei eine saisonale Verschiebung vom Sommer- zum Winterregen stattfinden kann.

In der Modellstadt Bottrop kann aufgrund der STAR II - Projektionen eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur um ebenfalls rund 2 K erwartet werden. Entsprechend wird die Anzahl der Eis- und Frosttage sinken. Die Anzahl der Sommertage kann um 95% ansteigen, ebenso die Heißen Tage (+147%) und die Tropennächte (+130%). Bei den Tagen mit Wärmebelastung kann ebenfalls eine Verdopplung erwartet werden. Die Jahressumme des Niederschlages kann sich erhöhen. Das saisonale Niederschlagsregime ändert sich möglicherweise ebenfalls vom Sommer- zum Winterregen.

Bei den dargestellten Ergebnissen der Zukunftsprojektionen handelt es sich nur um mögliche Szenarien und nicht um die tatsächlich eintreffende Wahrheit. Die Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen von Bottrop und Dortmund liegen innerhalb der Unsicherheiten des Modells. Beide Modellstädte zeigen die gleichen Trends der Klimaentwicklung wie NRW. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsnotwendigkeiten berücksichtigt werden.

2. Informationsgewinnung und Datenbasis

2.1 Methoden der Informationsgewinnung

Zur Bearbeitung von klimatisch-lufthygienischen Fragestellungen, die sich bei der Behandlung der stadtklimatischen Problemfelder (siehe auch Kapitel 3.1) ergeben, ist es notwendig, die urbane Situation zu erfassen, hinsichtlich der Ursachen zu analysieren und bezüglich der Auswirkungen zu beurteilen (Kuttler & Düttemeyer 2003). Hieraus können anschließend planerische Handlungskonzepte abgeleitet werden (Baumüller & Reuter 2003).

Im Mittelpunkt des stadtklimatischen Untersuchungsinteresses steht die räumliche und zeitliche Struktur der klimatischen und lufthygienischen Situation von Städten oder urbanen Teilräumen (Helbig et al. 1999). Bei der Ursachenanalyse des Stadtklimas findet daher die Berücksichtigung der Klimafaktoren besonderes Interesse, insbesondere wenn die zu erwartenden klimatisch-lufthygienischen Modifikationen Folgen einer Umnutzung der Flächennutzungsstruktur sind. Stadtklimatische Untersuchungen beschränken sich daher nicht nur auf die Analyse der bestehenden stadtklimatischen Situation im Sinne der diagnostischen Feststellung des sog. Ist-Zustandes, sondern erfordern ggf. auch die prognostische Abschätzung eines zukünftigen Plan-Zustandes (Kuttler 2004). Ebenfalls in den Bereich der Prognose fällt die Untersuchung der stadtklimatischen Situation und der veränderten makroklimatischen Randbedingungen, wie sie für den Klimawandel erwartet werden.

Da die klimatisch-lufthygienische Situation eines Untersuchungsraumes nicht in Form einer integrativen Bewertungsgröße erfasst werden kann, besteht die Notwendigkeit der separaten Untersuchung der einzelnen meteorologischen und lufthygienischen Zustands- und Messgrößen, aus denen anschließend eine Gesamtaussage abgeleitet werden muss (Mayer 2006). In der Regel werden die Aussagen nicht nur für einzelne Standorte oder Flächen benötigt, sondern für übergeordnete Raumeinheiten, z. B. für Stadtquartiere oder für die gesamte Stadtfläche.

Welche Messgrößen bzw. stadtklimatischen Charakteristika für die einzelnen Thermenfelder zu untersuchen sind, ist im Rahmen der Aufgabenstellung festzulegen. Zu den meteorologischen Standardmessgrößen zählen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Windgeschwindigkeit und Windrichtung. In speziellen Fällen kann die Erfassung weiterer Größen notwendig sein. Hierzu gehören Strahlungstemperatur, Bodentemperatur, kurz- und langwellige Strahlungsströme, Energiebilanz, Verdunstung, atmosphärische Turbulenz, Mischungsschichthöhe, Bewölkung, fallender und abgesetzter Niederschlag, Schlagregen, Nebelart und -häufigkeit, Sichtweite sowie ggf. meteorologisch bedingte Lärmausbreitungen. Auch die Analyse des Klimas in Wohnungen, Büroräumen, Nahverkehrsmitteln und Kraftfahrzeugen kann – mit einer darauf abgestimmten Methodik – Gegenstand stadtklimatischer Arbeiten sein. Die meisten Messgrößen werden heutzutage mit hinreichender Genauigkeit (zehntel bis hundertstel Maßeinheit) und bei Bedarf mit hoher zeitlicher Auflösung (> 1 Hz) elektronisch erfasst und aufgezeichnet, was insbesondere für die Ermittlung der Spurenstoffausbreitung von Bedeutung ist (Hupfer & Kuttler 2006).

Im Rahmen der Luftreinhaltung werden auf Grundlage des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG) und seiner Verordnungen nur diejenigen Substanzen untersucht, denen Indikatorfunktionen in Bezug auf entsprechende Quellen bzw. auf vermutete Akzeptorschäden in Frage kommen. Das Spektrum der überwiegend gemessenen Spurenstoffe umfasst primäre und sekundäre Luftverunreinigungen (NO , NO_2 , O_3 , CO , SO_2 , Staubbiederschlag, Schwebstaub

(PM₁₀, PM_{2,5}) sowie Ruß)). Je nach Fragestellung werden der Messumfang um CO₂, anthropogene Kohlenwasserstoffe (AVOC, z. B. BTEX) oder pflanzliche Kohlenwasserstoffe (BVOC, z. B. Isopren, Terpen, etc.) erweitert. Ferner kann die Luftqualität durch Gerüche (Industrie, Intensivtierhaltung, Entsorgungsanlagen) belastet werden, die meist aus einem Gemisch gasförmiger Substanzen bestehen und in summa oder einzeln nachzuweisen sind.

2.1.1 Untersuchungskonzepte

Für die Untersuchung stadtklimatischer Fragestellungen existieren verschiedene etablierte Untersuchungskonzepte, die sich hinsichtlich der Untersuchungsziele, der Methodik, des technischen, zeitlichen und monetären Aufwandes und der Aussagegenauigkeit unterscheiden (Kuttler & Düttemeyer 2003, Foken 2006). Grundsätzlich lässt sich, wie in Abb. 2-1 dargestellt, eine stadtklimatische Untersuchungsmethodik in vier Arbeitsabschnitte untergliedern:

- Fachwissenschaftliche Auswertung vorhandenen Datenmaterials,
- Datenerhebung im Gelände durch in-situ-Messungen und Beobachtung bzw. Einsatz von Fernerkundungsverfahren sowie Phänologie und Bioindikation,
- Anwendung physikalischer bzw. numerischer Modellsimulationen zur Diagnose und Prognose sowie
- Bewertung der Ergebnisse.

Die Fragestellung entscheidet jeweils darüber, welche der genannten Untersuchungsschritte zur Problemlösung herangezogen werden können. Bei Auswertung vorhandenen Datenmaterials ist der technische Aufwand gering, allerdings besteht die Gefahr, dass aus den vorhandenen Unterlagen keine zufrieden stellende Beantwortung spezifischer Fragestellungen möglich ist. In diesem Falle sind aufgabenspezifische Untersuchungen unter Einbeziehung analytischer Verfahren (Messung und/oder Modellierung) empfehlenswert, da hierdurch konkrete Aussagen bezüglich der Aufgabenstellung getroffen werden können. Allerdings ist bei den analytischen Methoden der technische und zeitliche Aufwand besonders hoch. In jedem Fall wird eine stadtklimatische Untersuchung mit der Bewertung der Ergebnisse abgeschlossen, um die Auswirkungen der festgestellten klimatisch-lufthygienischen Situation korrekt einschätzen und ggf. Handlungsmaßnahmen erarbeiten zu können.

Die genannten Untersuchungsschritte werden in Abbildung 2-1 und im folgenden Text näher erläutert.

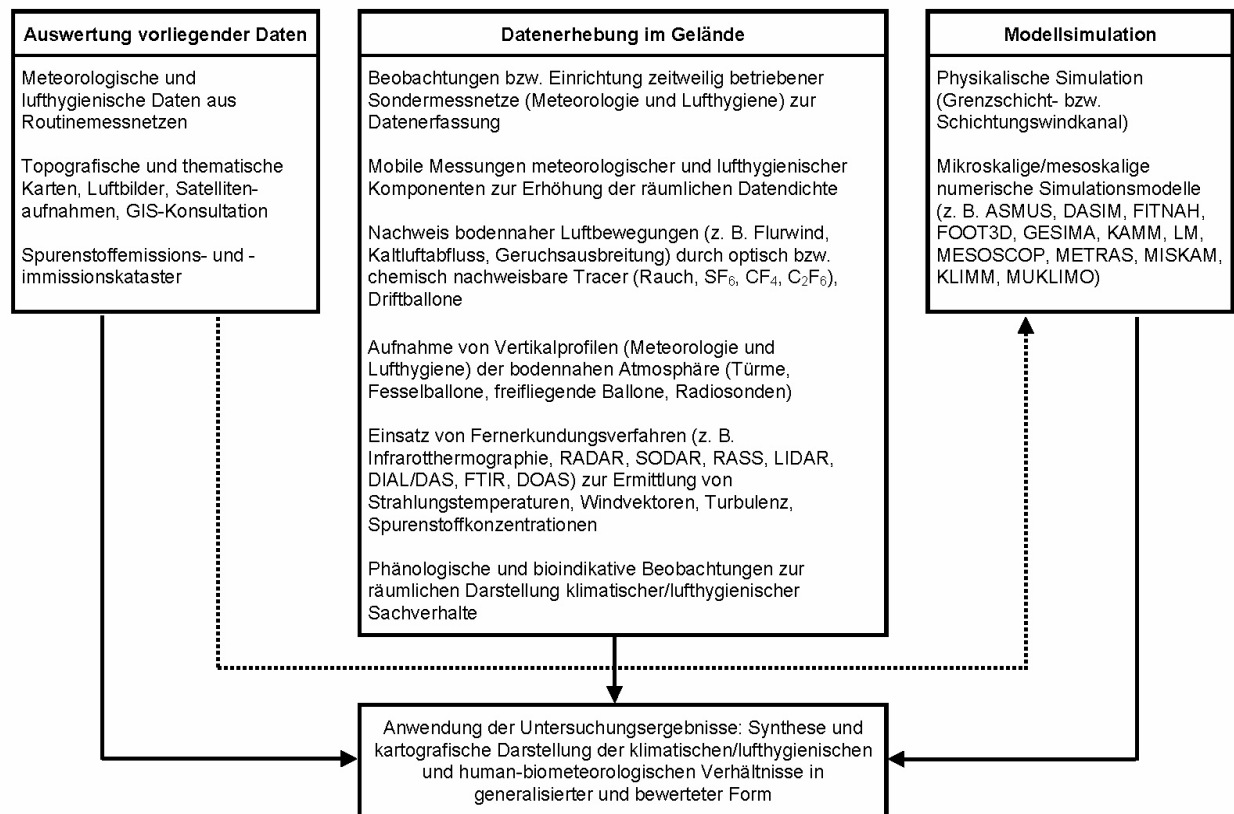


Abb. 2-1 Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden (nach VDI RL 3787, Bl. 9, 2004, verändert)

2.1.2 Auswertung vorhandener Daten und Unterlagen

Der erste Untersuchungsschritt bei einer stadtklimatisch-lufthygienischen Fragestellung besteht in der Recherche nach bestehenden Unterlagen, die für den konkreten Untersuchungsraum bereits Informationen zum Thema oder einer vergleichbaren Aufgabenstellung enthalten könnten. Insbesondere im Ruhrgebiet liegen für zahlreiche Kommunen umfangreiche Informationen zur stadtklimatischen und lufthygienischen Situation vor (Kap. 2.2.1), die häufig flächendeckende Aussagen zu den unterschiedlichsten Klima- und Lufthygieneigenschaften enthalten. Diese Informationen können oftmals für die Bearbeitung aktueller Problemstellungen herangezogen werden, indem sie günstigstenfalls eine direkte Beantwortung erlauben oder aber wertvolle Hinweise für das weitere methodische Vorgehen geben können. Es ist jedoch auf die Aktualität der bestehenden Unterlagen zu achten, da ihre Nutzung nur dann sinnvoll ist, wenn die dargestellten Informationen zum Zeitpunkt der Inanspruchnahme in natura noch Gültigkeit besitzen. Dieses ist jedoch in Städten aufgrund der stetigen, dynamischen Änderung von Flächennutzungen, welche dominierende Klimafaktoren darstellen, nicht immer für alle Flächen oder Quartiere gewährleistet.

Für den Fall, dass zu Fragestellungen keine stadtklimatischen oder lufthygienischen Fachinformationen für das Untersuchungsgebiet vorliegen, besteht die Möglichkeit, in einer ersten Annäherung die stadtklimatische oder lufthygienische Situation über eine sog. Analogieschlussbetrachtung abzuschätzen (Kuttler & Düttemeyer 2003). Dabei werden bereits andernorts ermittelte

Sachverhalte für vergleichbare Fragestellungen auf das betroffene Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung lokaler Spezifika übertragen. Bei diesem Verfahren werden die Klimafaktoren (Tab. 2-1) des Untersuchungsraumes analysiert. Da die Einzelwirkungen der Klimafaktoren auf das Klima oder die Lufthygiene prinzipiell bekannt sind, können für das Untersuchungsgebiet hinsichtlich der Fragestellung Plausibilitätsbetrachtungen zur Ausprägung der zu untersuchenden Sachverhalte vorgenommen werden. Dabei werden die in anderen Untersuchungen nachgewiesenen Wirkungen der betreffenden Klimafaktoren auf diejenigen Flächenbereiche des eigenen Untersuchungsraumes angewendet, in denen die gleichen Klimafaktoren vorkommen. Dieses Prinzip der räumlichen Übertragbarkeit von klimatisch-lufthygienischen Sachverhalten stößt jedoch an Grenzen, wenn mehrere Klimafaktoren den Untersuchungsraum prägen und dadurch eine kombinatorische Wirkung auf Klima und Lufthygiene aufweisen. Dieses Problem wird umso gravierender, je größer das zu untersuchende Gebiet ist, da hiermit auch die Vielfalt sowie die Anzahl und die räumliche Anordnung der Klimafaktoren zunehmen. Somit ist eine Beurteilung größerer Areale oder gesamter Städte über diese Methode kaum möglich. Besser ist die Analogieschlussbetrachtung für kleinräumige Fragestellungen geeignet, da hier häufig homogene Flächennutzungen mit einer überschaubaren Anzahl von Klimafaktoren vorherrschen.

Tab. 2-1 Typen und Merkmale von stadtklimatischen Umweltfaktoren (Kuttler & Dütemeyer 2003)

Typ	Merkmale
Bebaute Gebiete	Grund-/Aufriss, Rauigkeit, thermophysikalische Materialeigenschaften, Versiegelungsgrad, Bebauungs-/Straßengeometrie, Oberflächenfarbe, Horizontüberhöhung (Himmelssichtfaktor SVF, Straßenbreiten-/Hauhöhenverhältnis), Hindernishöhen/Zwischenraum-Verhältnis (Aspect ratio)
Bodenoberfläche	Nutzung, Typ, Art, Struktur, Farbe, Bedeckung (Staub, Laub, Schnee), Feuchtigkeit, Höhe des Grundwasserspiegels, Bewirtschaftungsform, Rauigkeit
Anthropogene Emissionssituation	Quellentypen, -höhe, Emissionszusammensetzung, raum-zeitliche Emissionsmuster (z. B. Heizverhalten, Verkehrsdichte, Fahrverhalten, industrielle Produktionszyklen, Bewirtschaftungszyklen landwirtschaftlicher Nutzflächen, Massentierhaltung, etc.)
Vegetation	Art, Dichte, Bestandsstruktur, saisonaler Aspekt, Blattflächenindex (BFI/LAI) bzw. Gesamtflächenindex (PAI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Ratio Vegetation Index (RVI), Biogene Kohlenwasserstoffemissionen (BVOC), Rauigkeit
Relief	Geographische Lage (Ebene, Tal, Hang), Höhenlage (absolut, relativ), Reliefenergie, Hangexposition, Hangneigung, Horizontüberhöhung, Rauigkeit

Die Ergebnisse von Auswertungen vorhandener Unterlagen oder von Analogieschlussbetrachtungen sind als Abschätzungen klimatisch-lufthygienischer Sachverhalte zu betrachten. Dabei kann vor dem Hintergrund der methodischen Einschränkungen nicht garantiert werden, dass die Situation in natura auch tatsächlich auftritt. Sofern im Rahmen der Aufgabenstellung verlässliche bis hin zu gerichtsverwertbaren Informationen zur klimatisch-lufthygienischen Situation des Untersuchungsraumes benötigt werden, sind analytische Verfahren anzuwenden. Hierbei ist zwischen direkten Messungen im Gelände und numerischen oder physikalischen Modellierungen zu unterscheiden.

2.1.3 Analytische Untersuchungsmethoden

Zur Entscheidung, ob Datenerhebungen im Gelände oder Modellsimulationen durchgeführt werden sollen, sind die Vor- bzw. Nachteile beider Verfahren zu berücksichtigen:

Geländemessungen besitzen u. a. den Vorteil, dass ortsbezogene Messwerte mit hoher zeitlicher und je nach Meßmethode auch hoher räumlicher Auflösung generiert werden können. Erfolgen die Messungen über einen Zeitraum, der die zeitlichen Variationen der Klimateigenschaften abdeckt, können die Sachverhalte als reproduzierbar und zeitlich repräsentativ gelten. Werden im Untersuchungsgebiet mehrere Messstationen eingerichtet, können über singuläre Standortwerte hinaus raum-zeitliche Mittelwerte gebildet werden, die jedoch nur eine geringe räumliche Repräsentativität aufweisen und dreidimensional nur unzureichend aufgelöst sind. Dies kann vor allem in kleinräumig unterschiedlich strukturierten urbanen Flächennutzungen und reliefiertem Gebiet zu Verständnisproblemen führen und gibt Hinweise darauf, dass mobile Messungen vorgenommen werden sollten.

Die Vorteile der Anwendung physikalischer oder numerischer Modellsimulationen hingegen liegen in der Darstellung meist hoch aufgelöster dreidimensionaler Datenfelder, woraus Raumaussagen abgeleitet werden können, sowie in der Erstellung von Prognosen, die verschiedene Szenarien berücksichtigen können. Der Nachteil des Einsatzes von Modellsimulationen ist darin zu sehen, dass viele der verwendeten Größen parametrisiert werden müssen und deshalb nur ein unvollkommenes Bild der Realität widerspiegeln. Ferner ist die räumliche Auflösung der Modelle begrenzt.

Untersuchungen im Gelände können ggf. durch die Anwendung indirekter in-situ-Verfahren, wie Phänologie und Bioindikation, ergänzt werden.

2.1.3.1 Geländemessungen

Die Erfassung realer klimatologischer oder lufthygienischer Daten im Gelände kann über stationäre oder mobile Messungen sowie über Vertikalsondierungen und Tracerexperimente erfolgen. Bei der anschließenden Analyse von Geländedaten muss berücksichtigt werden, dass sich die Messwerte aus einer regionalen (Hintergrundwert) und lokalen Komponente (ortsspezifischer Wert) zusammensetzen (Kuttler & Düttemeyer 2003). Die Wahl der geeigneten Methode richtet sich dabei nach der Aufgabenstellung und ist individuell zu treffen. Die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Geländemessmethoden werden nachfolgend erläutert.

Stationäre Messungen

Stationäre Messmethoden werden benutzt, um die zeitliche Variabilität der klimatisch-lufthygienischen Situation im Untersuchungsraum zu ermitteln (Hupfer & Kuttler 2006). Hierbei handelt es sich um saisonale und diurnale Effekte sowie Unterschiede in den Witterungsbedingungen. Bei letzteren sind die austauscharmen, autochthonen Witterungsepisoden von großem Interesse, da hier die lokalen Mikrokimate besonders deutlich hervortreten. Die Ausprägung der Mikrokimate ist stark von lokalen Klimafaktoren abhängig, so dass die vor Ort erhobenen Daten nur für die nähere Messstandortumgebung repräsentativ sind. Der urbane Raum ist jedoch aufgrund der heterogenen Flächennutzungsstruktur und der daran geknüpften Klimafaktoren in eine Vielzahl von Arealen mit unterschiedlichen Mikroklimaten, den sog. Klimatopen (VDI RL 3787, Blatt 1, VDI RL 3785 Blatt1), gegliedert. Um ein vollständiges Bild der urbanen klimatisch-lufthygienischen Situation zu erhalten, ist daher in der Regel die Messung in jeweils mindestens

einem der vorliegenden Klimatope notwendig. Um dieses Ziel zu erreichen, ist normalerweise die Einrichtung eines eigenen, temporären Messnetzes mit Klimastationen (Abb. 2-2) erforderlich, da die offiziellen Messstationen der Wetterdienste und Umweltbehörden diesbezüglich zwei Nachteile aufweisen. Erstens ist die räumliche Dichte der Messstationen in diesen Messnetzen zu gering, um eine kleinräumige Differenzierung der urbanen klimatisch-lufthygienischen Situation zu gewährleisten. Zweitens sind die Klimastationen der Wetterdienste gemäß ihres Auftrages als überregional geltende Freilandstationen ausgelegt, so dass sie in der Regel außerhalb des urbanen Raumes liegen. Für die Messung in urbanen Räumen ist deshalb der Aufgabe entsprechend direkt in den betroffenen Klimatopen mit den jeweiligen flächennutzungstypischen Standorteigenschaften zu messen (WMO 2006). Die Daten der Wetterdienste sollten als Referenzdaten (lange Messreihen) in die Auswertung der stationären Messungen einfließen und dienen der gesamtstädtischen klimatischen Einordnung.



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)

Zum Nachweis der Luftqualität werden aktive und passive Probennahmeverfahren eingesetzt (Moriske 2000). Aktive Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass Luft mittels einer Pumpe durch ein Messgerät geleitet wird. Unterschieden werden dabei kontinuierliche Messungen, die aus einer selbstständig erfolgenden Probennahme, analytischen Bestimmung sowie anschließenden Messwerterzeugung vor Ort bestehen, von diskontinuierlichen Verfahren, bei denen die Probennahme von der Analyse getrennt ist. Mit Hilfe von Passivverfahren werden gas- oder partikelförmige „Immissionsraten“ bestimmt. Die zeitliche Auflösung ist bei kontinuierlichen Messverfahren von der Einstellzeit und der Nachweisgrenze der Analysatoren, bei diskontinuierlichen und Passivsammlerverfahren von der Art der Probennahme abhängig. Da sich die

Messdauer bei nicht registrierenden Geräten im Allgemeinen über mehrere Tage erstreckt, ist eine Verknüpfung der lufthygienischen mit meteorologischen Daten kaum möglich.

Kontinuierliche Immissionsmessungen erfordern in der Regel einen hohen apparativen, logistischen und damit kostenintensiven Aufwand. Sie werden deshalb seltener eingesetzt als diskontinuierliche Verfahren, die zwar wesentlich kostengünstiger, aus den o. g. Gründen jedoch auch ungenauer sind.

Mobile Messungen

Mobile Messungen dienen der flächenhaften Verdichtung punktuell erhobener Daten. Während diese im Rahmen stadt- und geländeklimatischer Analysen – insbesondere zum Nachweis der Lufttemperatur und auch der Luftfeuchtigkeit – schon seit langer Zeit Bestandteil der anwendungsorientierten Forschung sind (Persson 1997), werden lufthygienische Messfahrten und mobile Messungen ausgewählter Strahlungsgrößen erst seit einigen Jahren erfolgreich durchgeführt (Blankenstein & Kuttler 2004, Henninger & Kuttler 2007).

Mobile Messungen erfolgen meist während schwachwindiger Strahlungswetterlagen auf vorher festgelegten Routen, die durch repräsentative Flächennutzungen führen und durch die Wetterlagenabhängigkeit reproduzierbar sind. Die Messstrecken werden entweder mit geeigneten Fahrzeugen (Abb. 2-3) bei geringer Geschwindigkeit befahren oder auch mit entsprechender Messausrüstung – im Falle meteorologischer Untersuchungen – begangen (Messgänge). Die räumliche Datendichte ist sowohl vom Verlauf der Messroute und der Ansprechgeschwindigkeit der Erfassungsgeräte als auch von der Geschwindigkeit abhängig, mit der das Analysegerät durch das Untersuchungsgebiet bewegt wird.



Abb. 2-3 Mobiles meteorologisch-lufthygienisches Messlabor der Abteilung Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen. Messgrößen: Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind, Luftdruck, UV- und Globalstrahlung, NO, NO₂, CO₂, O₃, VOC, PM_x (Foto: Ptak/Nekes)

Eine hohe Erfassungsfrequenz wird durch die Messsysteme mit Taktfrequenzen von etwa 1 Hz bereits vielfach garantiert. Bei längeren Messzeiträumen ist die tageszeitliche Variabilität übergeordneter Effekte (z. B. Tagesgang der Lufttemperatur) durch geeignete Korrekturverfahren zu kompensieren (Danzeisen 1983). Die geringe zeitliche Repräsentativität kann durch Wiederholungsmessungen erhöht werden. Erfolgt die räumliche Zuordnung der Messdaten durch den Einsatz von Global Positioning Systemen (GPS), ist eine unmittelbare digitale Weiterverarbeitung gewährleistet.

Die Daten können mit Hilfe einfacher Interpolationsverfahren bzw. durch numerische Modellierung zu flächendeckenden Karten weiter verarbeitet werden. Auch besteht die Möglichkeit, für vorherrschende Flächennutzungstypen Mittelwerte anzugeben oder diese in Form von Linien-signaluren kartographisch darzustellen.

Vertikalsondierungen

Vertikalsondierungen dienen zur Erfassung der meteorologischen und lufthygienischen Verhältnisse in Abhängigkeit von der Höhe über Grund. Entsprechende Messungen können an Türmen, frei fliegenden Ballonen, Fesselballonen (Abb. 2-4), Zeppelinen, Hubschraubern oder Flugzeugen vorgenommen werden (Baumbach & Vogt 1999).



Abb. 2-4 Fesselballonsonde zur klimatologischen Untersuchung der vertikalen Struktur der bodennahen Atmosphäre (Foto: Düttemeyer)

Darüber hinaus lassen sich Fesselballone als „mobile Messmasten“ (meteorological towers) einsetzen, wenn das Halteseil des Trägerballons bei voreingestellter Flughöhe mehrere Instrumente in zuvor festgelegten Höhenstufen trägt. Diese und die an Türmen vorgenommenen Messungen erlauben kontinuierliche Untersuchungen. Sie sind jedoch, im Vergleich zu anderen Messgeräteträgern, räumlich nicht bzw. nur eingeschränkt variabel verwendbar.

Der Einsatz von Zeppelin, Hubschraubern oder Flugzeugen (letztere auch als ferngesteuerte Miniaturfluggeräte) bietet sich an, wenn ein größeres Areal in der vertikalen Struktur untersucht werden soll, oder wenn die zu untersuchenden Messgrößen aufgrund der Instrumentengewichte den Einsatz von Ballonen verhindern.

Tracerexperimente

Tracer sind luftfremde Spurenstoffe, die im Rahmen emittentenbezogener Untersuchungen zum Nachweis der Windbewegung, insbesondere von Schwachwindströmungen, bei Kaltluftuntersuchungen und Geruchsausbreitungen eingesetzt werden (Eggert 1999, Röckle et al. 1998, Dütemeyer et al. 2004). Es handelt sich dabei sowohl um optische Tracer wie Raucherzeuger, als auch um chemisch nachzuweisende Spurenstoffe, die in der Atmosphäre nicht oder nur in geringen Konzentrationen enthalten sind (z. B. Schwefelhexafluorid (SF_6), Tetrafluormethan CF_4 , Hexafluorethan C_2F_6).

Die Anwendung von Raucherzeugern (Abb. 2-5) hat den Nachteil, dass diese nur visuell und damit qualitativ nachgewiesen werden können, jedoch nur geringen logistischen Aufwand verursachen.



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)

Die Markierungsstoffe SF_6 , CF_4 und C_2F_6 können zum quantitativen Nachweis herangezogen werden und geben z. B. über die Eindringtiefe von Kaltluft in Bebauungsgebiete hinein Auskunft (Abb. 2-6) (VDI RL 3787, Blatt 5). Die genannten chemisch nachzuweisenden Tracer besitzen ein z. T. hohes Treibhauspotenzial. Ihre Freisetzung sollte deshalb sparsam und nur in dringend notwendigen Fällen erfolgen. Durch Einsatz von Multitracertechniken können innerhalb eines Untersuchungsgebietes z. B. unterschiedliche Luftströmungen durch gleichzeitige Verwendung verschiedener Tracersubstanzen erfasst werden (Rühling & Lohmeyer 1999).

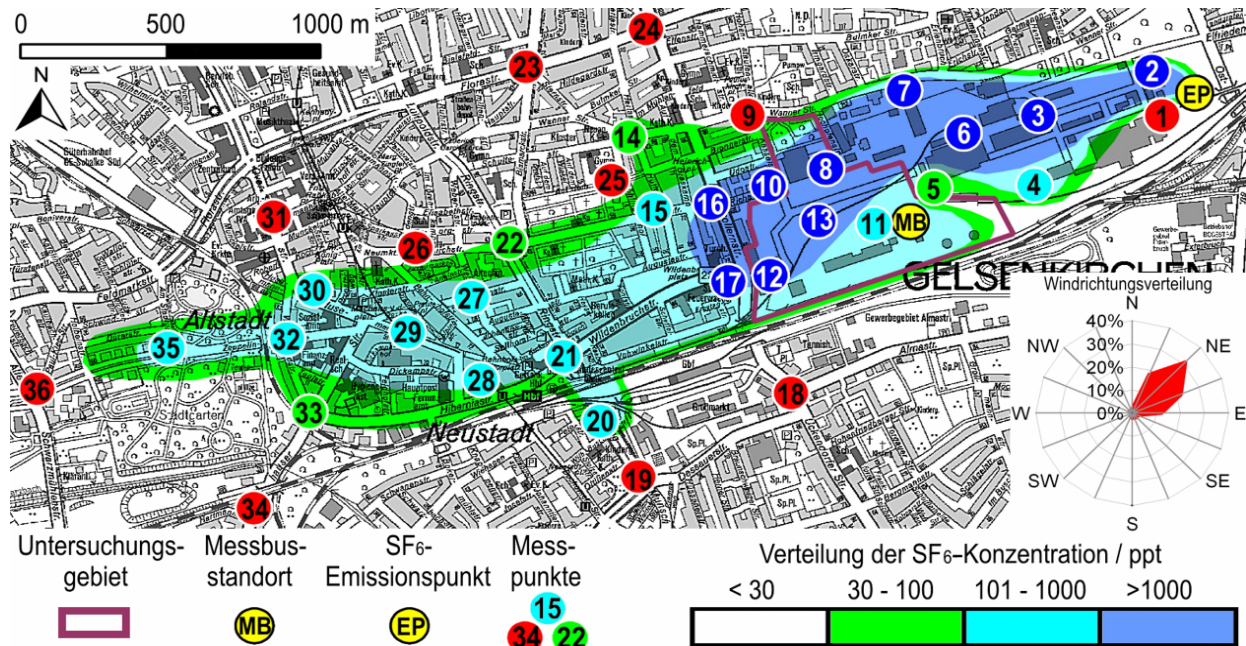


Abb. 2-6 Nachweisgebiet des Tracers Schwefelhexafluorid (SF_6) während einer strahlungsächtlichen Kaltluftausbreitungskampagne in Gelsenkirchen (4./5.09.2003), Farbe der Messpunkte entsprechend der SF_6 -Konzentration (rot = Konzentration < 30 ppt) (Dütemeyer et al. 2004)

2.1.3.2 Fernerkundungsverfahren

Im Vergleich zu in-situ-Messungen handelt es sich bei den Fernerkundungsmethoden um berührungslose Messverfahren, die sich weder durch Probennahme und Probenaufbereitung noch durch Beeinflussung des Probenvolumens durch das Messsystem auszeichnen. Die Verfahren beruhen auf der Wechselwirkung von Schallwellen oder elektromagnetischer Strahlung verschiedener Wellenlängen mit festen, flüssigen bzw. gasförmigen Bestandteilen der Atmosphäre oder dem Erdboden. Der Einsatz von Fernerkundungsverfahren kann vom Boden, Flugzeug oder Satelliten aus erfolgen. Boden gestützte Messungen bieten im Gegensatz zu luft- oder weltraumgestützten Verfahren den Vorteil, dass sie kontinuierlich eingesetzt werden können. Die bodengestützten Verfahren dienen routinemäßig zur Vertikalsondierung verschiedener meteorologischer und lufthygienischer Messgrößen. In Einzelfällen können auch horizontale Messungen vorgenommen werden (Ropertz 2008). Im Vergleich zu Ballonsondierungen bieten fernerkundungsgestützte Vertikalsondierungen grundsätzlich den Vorteil einer höheren zeitlichen Auflösung sowie kontinuierlichen Messung der einzelnen Parameter. Akustische Verfahren (z. B. SODAR-Messungen) haben allerdings den Nachteil, dass sie einerseits Schall emittieren (in bewohnten Gebieten problematisch), andererseits Umweltlärm die Messwertgüte beeinflusst.

Werden Fernmessverfahren zum Nachweis atmosphärischer Spurenstoffe eingesetzt (Abb. 2-7), greifen diese auf unterschiedliche Spektralbereiche (UV, VIS und/oder IR) zurück. Die Anwendung erfolgt entweder wegstreckenintegrierend oder orts aufgelöst entlang eines Messstrahls. Diese Messverfahren bieten insbesondere bei der Untersuchung räumlich ausgedehnter und diffuser Spurenstoffquellen Vorteile, da durch das größere Probevolumen ein Dominieren kleinräumiger Inhomogenitäten innerhalb der Messstrecke vermieden wird. Darüber hinaus können mit einem Messsystem gleichzeitig verschiedene Komponenten in demselben Probevolumen bestimmt werden.



Abb. 2-7 Optische Fernerkundungssysteme DOAS (auf dem Fahrzeug) und FTIR (neben dem Fahrzeug) zur wegstreckenintegrierten Erfassung lufthygienischer Komponenten (Foto: Lamp)

Die Infrarot-Thermographie ist das gebräuchlichste Fernerkundungsverfahren in der Stadtklimatologie. Eine in einem Flugzeug oder Satelliten installierte Thermalkamera liefert ein flächendeckendes Bild der momentanen Temperaturen an der Erdoberfläche. Kleinere Probleme ergeben sich aus der verfälschten Erfassung der Temperaturen von Glas- oder Metallflächen. Bei der Interpretation von Thermalbildern ist zu beachten, dass die gemessenen Oberflächentemperaturen nicht identisch sind mit den jeweiligen Lufttemperaturen vor Ort. Man erhält lediglich Hinweise auf die Temperaturstruktur eines Untersuchungsgebietes. Potentielle Wärmeinseln sowie Kaltluftentstehungs-, -abfluss- und -sammelgebiete lassen sich auf Thermalbildern gut lokalisieren.



Abb. 2-8 Thermalbild (Nachtsituation) der Ruhr-Universität Bochum und Umgebung (Quelle: RVR)

2.1.3.3 Modellsimulationen

Modellsimulationen werden ergänzend zu den bisher genannten Untersuchungsmethoden herangezogen, wenn entweder im Rahmen einer Diagnose die Bewertung von geschlossenen dreidimensionalen Feldern meteorologischer und lufthygienischer Verhältnisse oder eine Prognose potentieller Auswirkungen geplanter Umwelteingriffe vorgenommen werden soll.

Unterschieden werden numerische Modelle von physikalischen Windkanal-Simulationen. Im Rahmen der numerischen Modellierung werden sowohl mikro- als auch mesoskalige Modelle verwendet, die in Abhängigkeit der Raumgittergrößen mehr oder weniger detaillierte, flächendeckende Felder verschiedener klimatisch-lufthygienischer Größen generieren können (Abb. 2-9). Jüngste Modellgenerationen berücksichtigen bei der Ausbreitungssimulation neben den übergeordneten Windverhältnissen auch potentielle chemische Spurenstoffreaktionen in der Atmosphäre sowie heterogene Flächennutzungsstrukturen und das Relief (Schlünzen 2002). Den Vorteilen bei der Anwendung numerischer Modelle stehen auch Nachteile gegenüber. Dazu zählen, dass sie eine begrenzte räumliche Auflösung haben und die Realität aufgrund unvollkommener Gleichungssysteme nicht vollständig und damit nur über erforderliche Parametrisierungen widerspiegeln können. Dieses hat zur Folge, dass einerseits zur Generierung der Modellatmosphäre Eingangsdaten bereitgestellt werden müssen, die idealerweise aus Messungen im betreffenden Untersuchungsraum stammen und dass andererseits die Modellergebnisse gleichfalls durch Messungen in natura verifiziert werden sollten.

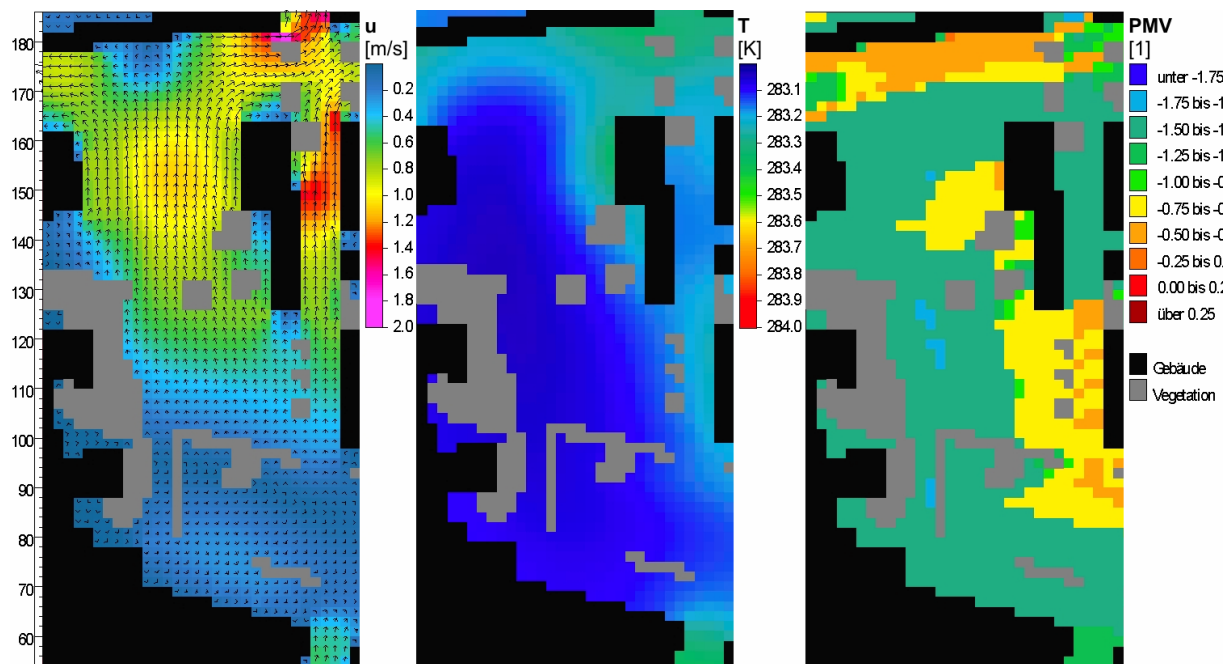


Abb. 2-9 Beispielergebnisse der numerischen Simulation des Windfeldes u (links), des Temperaturfeldes T (Mitte) und des thermischen Behaglichkeitsfeldes PMV (rechts) für ein horizontales 2-Meter-Raster in 2 m ü. Gr. um 16 Uhr Ortszeit in einer urbanen Flächennutzungsstruktur (Eigene Darstellung Düttemeyer)

Physikalische Modelle (insbesondere Windkanäle) werden eingesetzt, wenn detailgetreue Analysen in einem Untersuchungsgebiet z. B. zur Strömungsdynamik, Ausbreitung von Luftverunreinigungen, zur Klärung human-biometeorologischer Probleme oder zu Fragen der Windlast

und des Windkomforts geklärt werden sollen (Plate 1996). Im Vergleich zu numerischen Modellen sind als Nachteil der Windkanalmodellierung neben den hohen Kosten die nur eingeschränkten Möglichkeiten zur Untersuchung von Schwachwindströmungen, unterschiedlichen atmosphärischen Schichtungen, Feuchtefeldern und zeitlichen Zustandsänderungen meteorologischer Parameter zu nennen.

Zu den Modellanwendungen sind letztlich auch empirisch-statistische Verfahren zu zählen, bei denen die atmosphärische Umwelt nicht räumlich simuliert, sondern der Atmosphärenzustand – basierend auf den Umweltfaktoren – integrierend im Sinne eines Gesamtergebnisses aus empirischen Beziehungen berechnet wird (z. B. Wiesner 1986, Düttemeyer 2000, Wienert 2002).

2.1.3.4 Phänologie und Bioindikation

Ergänzend zu den physikalischen Messungen und zu Modellsimulationen wird die Pflanzenphänologie – seltener die Tierphänologie – als indirekte Methode zur räumlichen Differenzierung des Klimas herangezogen. Da die Klimaelemente in ihrer Gesamtheit auf das Pflanzenwachstum wirken, lassen die Ergebnisse phänologischer Untersuchungen keinen Rückschluss auf einen bestimmenden Faktor zu, sondern spiegeln die integrierende Wirkung aller wirksamen Klimaeinflüsse eines Standortes flächenhaft wider. Die phänologische Methode wird nicht nur zur kleinklimatischen Differenzierung verwendet, sondern auch zum Nachweis von Klimaänderungen eingesetzt (Rutishauser & Studer 2007, Chmielewski & Rötzer 2002).

2.1.4 Bewertung und Darstellung umweltmeteorologischer Sachverhalte

Um die Ergebnisse umweltmeteorologischer Messungen oder Berechnungen ihrer Bedeutung entsprechend möglichst objektiv einschätzen zu können, müssen diese einem Bewertungsverfahren unterworfen werden. Die Ziele einer Evaluation liegen vor allem in der Ausweisung klimatischer und/oder lufthygienischer Belastungs- bzw. Ausgleichsräume, in der Klassifizierung der Empfindlichkeit einer Fläche gegenüber bestimmten Nutzungen oder der Bonität eines klimatisch-lufthygienischen Phänomens im Hinblick auf die vorausschauende Optimierung von Flächennutzungen. Hinsichtlich der Bewertungsverfahren unterscheidet man relative von absoluten Evaluationen. Bei der relativen Bewertung werden räumliche bzw. zeitliche Unterschiede von gemessenen Größen festgestellt, ohne dass diese auf Standards bezogen werden. Eine absolute Bewertung orientiert sich hingegen an entsprechenden Prüfgrößen, die rechtsverbindlichen Charakter tragen können.

Neben der Interpretation der Ergebnisse sollten die klimatisch-lufthygienischen Sachverhalte, sofern sie einen Flächen- bzw. Raumbezug aufweisen, in kartographischer Form dargestellt werden, um daraus Handlungsstrategien ableiten zu können (VDI 3787 Bl.1). Dazu bieten sich sowohl „Synthetische Klimafunktionskarten“ (Abb. 2-10) an, in denen in generalisierter Form maßstabsgerecht raumnutzungsbezogene „Klimafunktionsräume“ bewertend dargestellt werden

als auch sog. „Planungshinweiskarten“ (VDI 3787 Bl. 1, Bl. 9), die Handlungsanweisungen enthalten und zwecks Weiterverarbeitung in geobasierten Umweltdatenbanken eingebunden werden können.

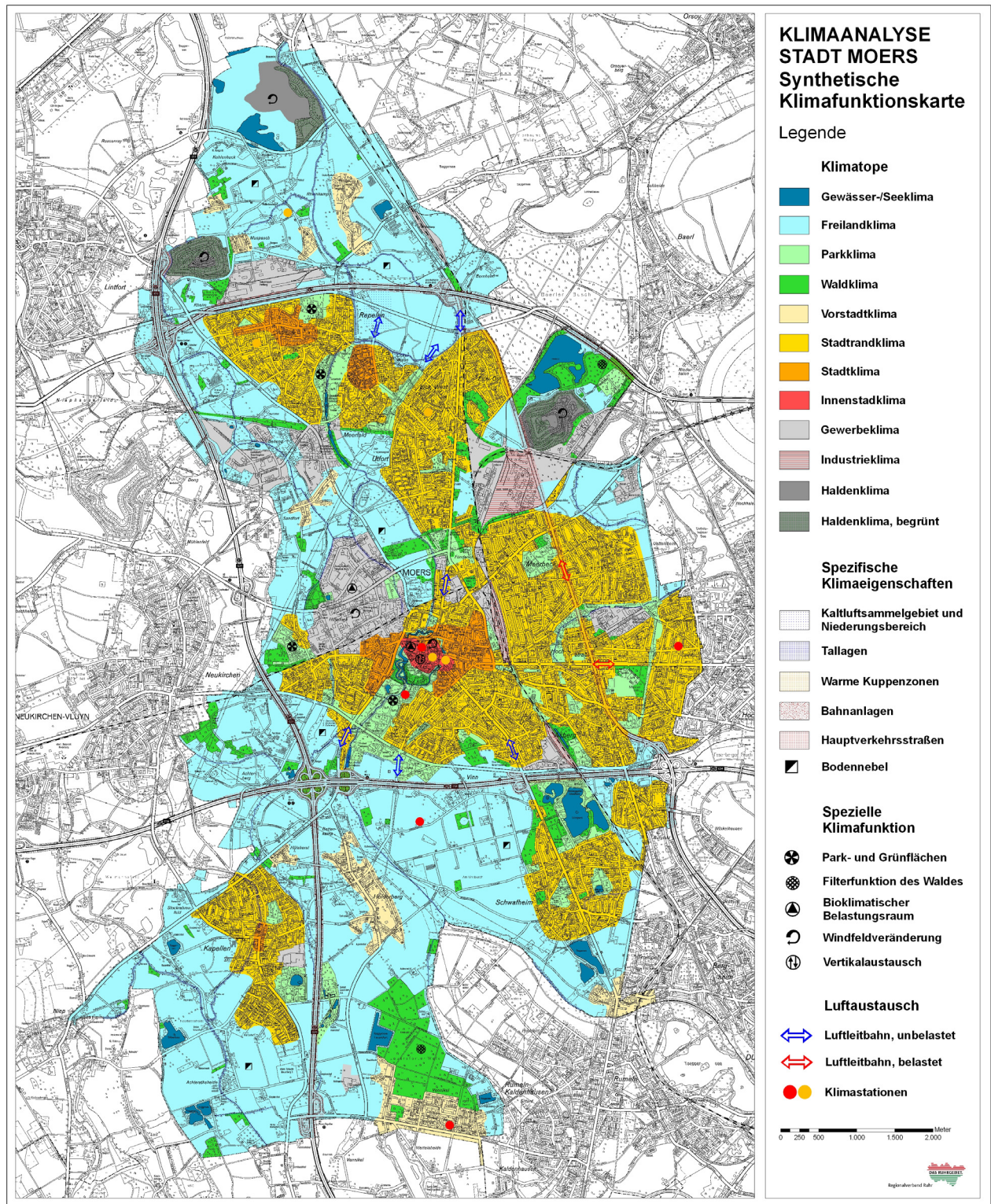


Abb. 2-10 Beispiel einer Synthetischen Klimafunktionskarte (Klimaanalyse Stadt Moers, RVR 2006b)

2.2 Datenbasis der Klimainformationen im Ruhrgebiet

2.2.1 Allgemein verfügbare Datenbasis

Für das Ruhrgebiet liegen zahlreiche klimatisch-lufthygienische Fachinformationen vor, die als Grundlage zur Bearbeitung unterschiedlicher umweltmeteorologischer Fragestellungen herangezogen werden können und nachfolgend beschrieben werden. Das Kontingent der verfügbaren Fachinformationen ist bezüglich der dargestellten Inhalte, der Maßstabsebenen, der Aktualität sowie der Verfügbarkeit sehr heterogen. Die Informationen können unterschiedliche Sachverhalte aus dem Bereich der Stadtklimatologie, der Luftreinhaltung oder der planerischen Anwendbarkeit (umweltmeteorologische Handlungsstrategien) einzeln oder zusammenfassend darstellen. Dabei erstreckt sich der räumliche Bezug der Informationen vom regionalen Maßstab (1:100.000 oder kleiner) mit allgemeinen, räumlich wenig differenzierbaren Aussagen, über kommunale, z. T. gesamtstädtische Betrachtungen mit flächennutzungsspezifischen Informationen im Maßstab 1:50.000 bis 1:5.000 bis hin zu detaillierten Informationen ausgewählter einzelner Standorte (Maßstab 1:5.000 oder größer). Auch bezüglich der Aktualität gibt es Unterschiede. Während viele Fachinformationen – insbesondere aus dem Bereich der Luftreinhaltung – häufig einen aktuellen Stand aufweisen, sind in manchen räumlichen Bereichen die vorhandenen Informationen bereits mehrere Jahre alt, insbesondere hinsichtlich stadtklimatischer Sachverhalte.

Während ein Teil der Daten frei zugänglich und verwertbar ist, insbesondere wenn es sich um allgemeine klimatisch-lufthygienische Informationen auf überkommunaler, regionaler Ebene handelt, entstammen Informationen gerade mit Bezug zur kommunalen Ebene häufig aus Gutachten und sind in der Regel der Öffentlichkeit nicht zugänglich (sog. „graue Literatur“). In wenigen Fällen werden kommunale Fachinformationen in wissenschaftlichen oder administrativen Fachpublikationen veröffentlicht.

Neben der Nutzung der vorhandenen Fachinformationen besteht die Möglichkeit, für eigenständige Untersuchungen auf das Datenkontingent aus permanenten betriebenen Messnetzen verschiedener Institutionen und Organisationen zuzugreifen.

Der nachfolgende Überblick über die vorhandenen stadtklimatisch-lufthygienischen Fachinformationen zum Ruhrgebiet ist nach Maßstabsebenen gegliedert. Zunächst werden in Kap. 2.2.1.1 Klimainformationen auf kleinmaßstäbiger, überregionaler Ebene beschrieben, die einen klimatisch-lufthygienischen Überblick über das gesamte Ruhrgebiet erlauben. Anschließend erfolgt in Kap. 2.2.1.2 eine Darstellung von umweltmeteorologischen Informationen, die in großem Maßstab vorliegen und damit konkrete Raumbezüge auf kommunaler Ebene zulassen. In Kap. 2.2.1.3 wird abschließend auf mögliche weitere Datenquellen eingegangen.

2.2.1.1 Kleinmaßstäbige Fachinformationen

Die kleinmaßstäbigen Fachinformationen stellen umweltmeteorologische Sachverhalte auf regionaler oder überregionaler Ebene in einem Maßstab von 1:100.000 oder kleiner dar. Bei einer maximalen räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km ist eine Beuteilung von Fragestellungen auf FNP- oder Bebauungsplanebene nicht möglich. Allerdings können diese Informationen erste

Hinweise auf umweltmeteorologische Sachverhalte oder für das weitere methodische Vorgehen bei stadtklimatischen oder lufthygienischen Untersuchungen geben. Für Klimainformationen, die das gesamte Ruhrgebiet abdecken, stehen diverse Kartenwerke zur Verfügung. Hier sind insbesondere der Klimaatlas Nordrhein-Westfalen (MURL NRW 1989) sowie der Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland (DWD 1999 bis 2006) zu nennen. Während der Klimaatlas Nordrhein-Westfalen einen relativ großen Darstellungsmaßstab von 1:1 Mio. aufweist, aber auf veralteten klimatischen Daten aus dem Zeitraum zwischen 1931 und 1980 beruht, sind die Daten im Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland zwar aktueller (Datenbasis 1961 bis 2000), jedoch in kleinerem Maßstab von 1:2,5 Mio. abgebildet. Ferner unterscheiden sich beide Werke hinsichtlich der Inhalte.

Der Klimaatlas Nordrhein-Westfalen (MURL NRW 1989) zeigt hauptsächlich mehrfarbige, kartographische Darstellungen, die aus Stationsmessungen mittels topographischer Korrekturverfahren in die Fläche interpoliert wurden. Die Darstellungsschwerpunkte liegen bei der Lufttemperatur und dem Niederschlag. Für beide Messgrößen sind sowohl die monatlichen als auch die jährlichen Mitteltemperaturen bzw. Niederschlagssummen abgebildet (Abb. 2-11 und Abb. 2-12). Entsprechende Messwerttabellen sind für ausgewählte Stationen des Ruhrgebiets veröffentlicht. Für die Lufttemperatur sind dieses die Stationen Essen und Dortmund, für den Niederschlag zusätzlich die Stationen Gelsenkirchen-Buer und Moers. In weiteren Karten sind die Sonnenscheindauer, die Anzahl von Nebel-, Schneebedeckungs-, Starkregen- und Schwindtagen sowie Tagen mit Wärmebelastung und Kältereizen dargestellt. Ferner enthält der Atlas Karten zur potenziellen Verdunstung, zu Nebelobergrenzen sowie zur Pflanzenphänologie (Frühlings-, Frühsommer-, Hochsommer- und Herbstinzugskarten).

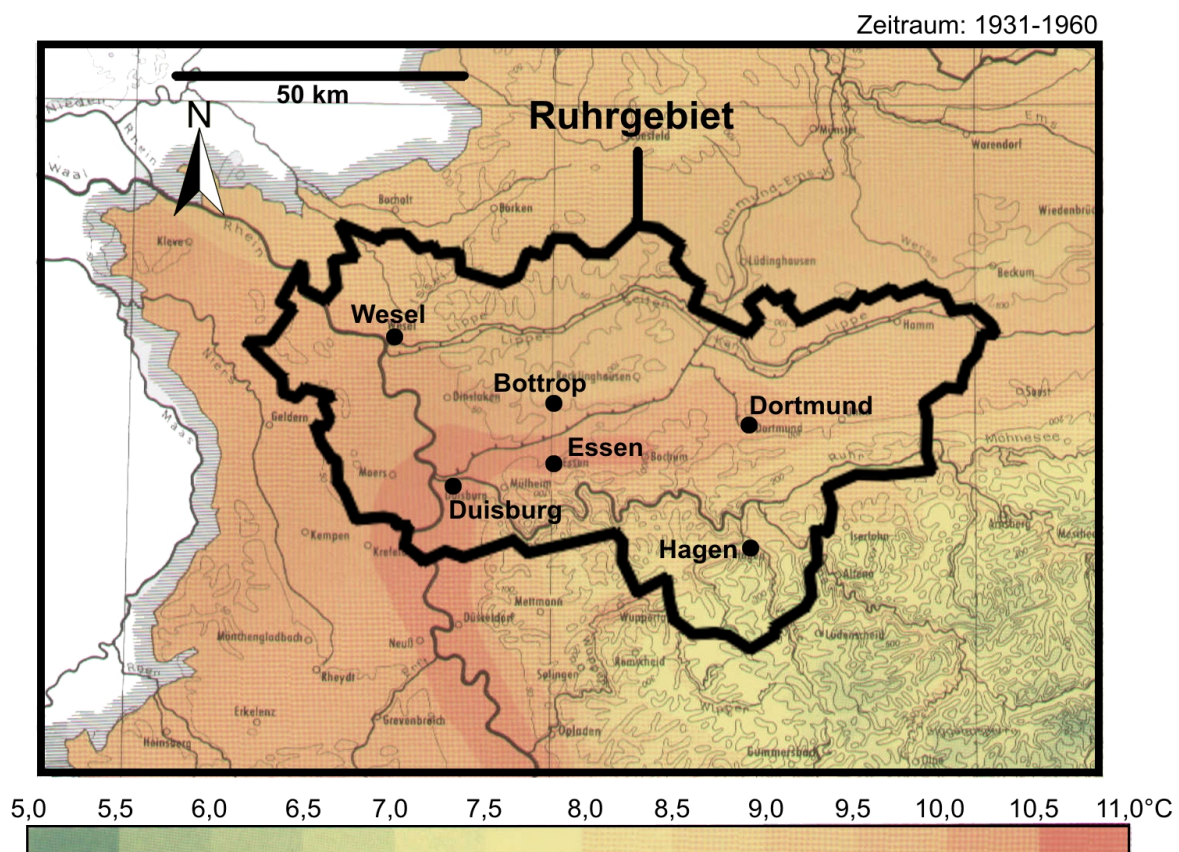


Abb. 2-11 Kartographische Darstellung des mittleren jährlichen Tagesmittels der Lufttemperatur im Klimaatlas Nordrhein-Westfalen (MURL NRW 1989, verändert)

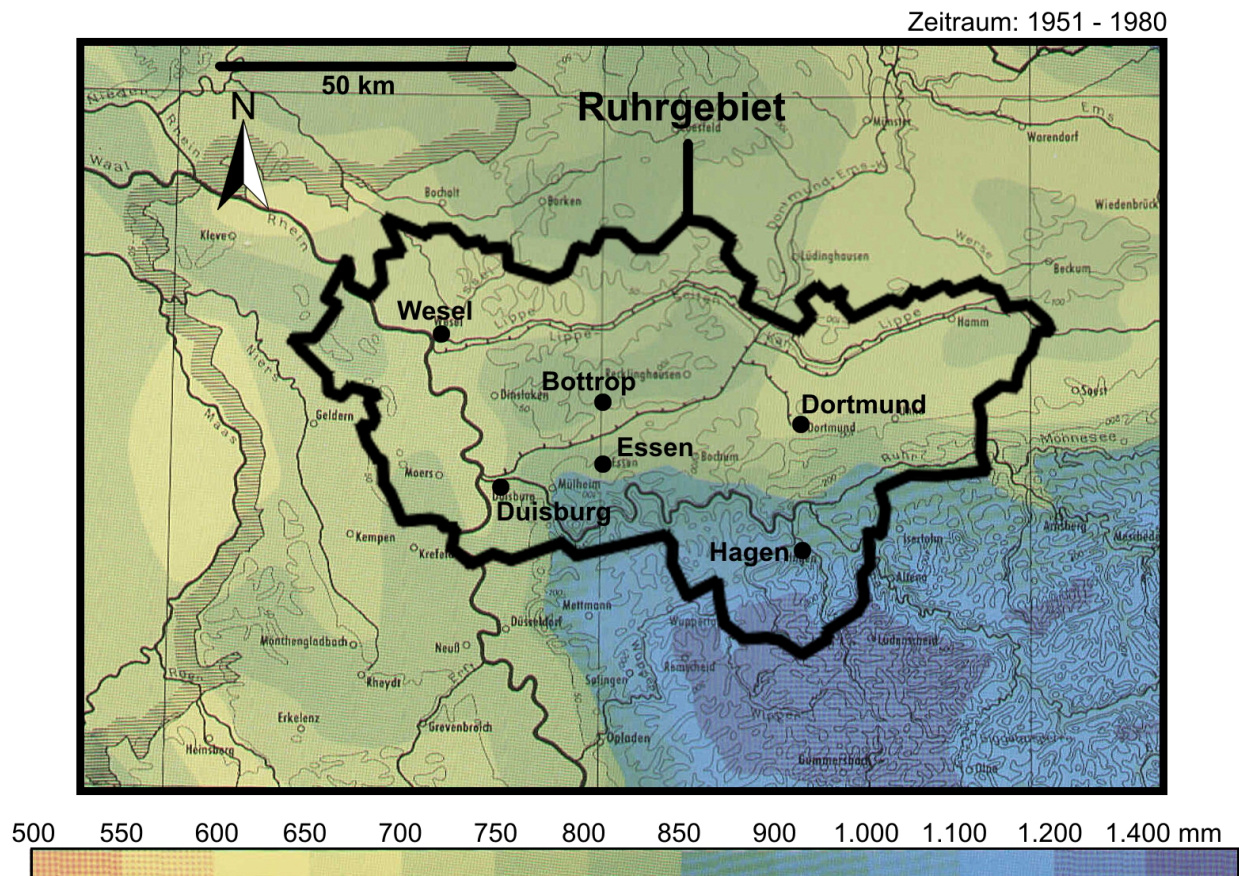


Abb. 2-12 Kartographische Darstellung der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe im Klima-atlas Nordrhein-Westfalen (MURL NRW 1989, verändert)

Als weiteres kartographisches Werk ist der vierbändige Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland (DWD 1999, 2001, 2003, 2006) zu nennen. Er enthält wie der Klimaatlas Nordrhein-Westfalen mehrfarbige, kartographische Darstellungen zu einer Vielzahl klimatischer Themen, die aus Messungen mittels topographischer Korrekturverfahren in die Fläche interpoliert wurden. Neben der Papirausgabe werden die Karten auch digital ausgeliefert, allerdings nicht im GIS-Format.

Eine Übersicht der Themenkarten enthält Tabelle 2-2. Bis auf die Globalstrahlung beruhen alle Klimakarten des Atlases auf Daten der Messnetze des DWD aus den Jahren 1961-1990. Für die Globalstrahlung wurden Daten des Strahlungsmessnetzes des DWD und des europäischen Wettersatelliten METEOSAT aus dem Zeitraum 1981-2000 verwendet. Mit wenigen Ausnahmen wurden alle klimatologischen Größen als Mittelwerte für die einzelnen Monate, die meteorologischen Jahreszeiten, die Halbjahre Sommer und Winter sowie für das Jahr kartographisch dargestellt. Pro Klimatelement ergeben sich somit 19 Klimakarten.

Tab. 2-2 Übersicht über die klimatischen Themenkarten des Klimaatlasses der Bundesrepublik Deutschland (DWD 1999, 2001, 2003, 2006)

Messgröße, Thema	Ausgabe Band	Anzahl Themenkarten			
		Jahreswerte	Halbjahreswerte	Jahreszeitenwerte	Monatswerte
Lufttemperatur	1	1	2	4	12
Niederschlagshöhe	1	1	2	4	12
Sonnenscheindauer	1	1	2	4	12
Verdunstung	2	1	2	4	12
Mittleres tägliches Maximum der Lufttemperatur	2	1	2	4	12
Mittleres tägliches Minimum der Lufttemperatur	2	1	2	4	12
Kontinentalität	2	1			
Wolkenbedeckungsgrad	3	1	2	4	12
Globalstrahlung	3	1	2	4	12
Mittlere Anzahl von Tagen eines Jahres mit Über- bzw. Unterschreitung von Schwellenwerten	3	6 Themenkarten: Eistage, Frosttage, Sommertage, heiße Tage, Niederschlag ≥ 1 mm, Niederschlag ≥ 10 mm			
Ausgewählte pflanzenphänologische Phasen	3	4 Themenkarten: Schneeglöckchenblüte, Apfelblüte, Knospung und Laubverfärbung Hängebirke			
Klimatische Wasserbilanz	4	1	2	4	12
Mittlere tägliche Temperaturschwankung	4	1	2	4	12
Mittlere Windgeschwindigkeit	4	1	2	4	12
Variabilität der Windgeschwindigkeit im Jahresgang	4	1			
Mittlerer Dampfdruck	4	1			
Mittlere Zahl von Tagen mit einer Schneedecke	4	1			

Neben den vorgestellten Atlanten existieren weitere kleinmaßstäbige Karten mit klimatischen Spezialinformationen. Die Bioklimakarte Deutschland (Jendritzky et al. 2003, siehe Abb. 2-13) im Maßstab 1:2,5 Mio. gibt mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km einen qualitativen Überblick über das mittlere Niveau der human-biometeorologischen thermischen Belastung, indem die Häufigkeiten der Wärmebelastung bzw. des Kältereizes ausgewiesen werden.

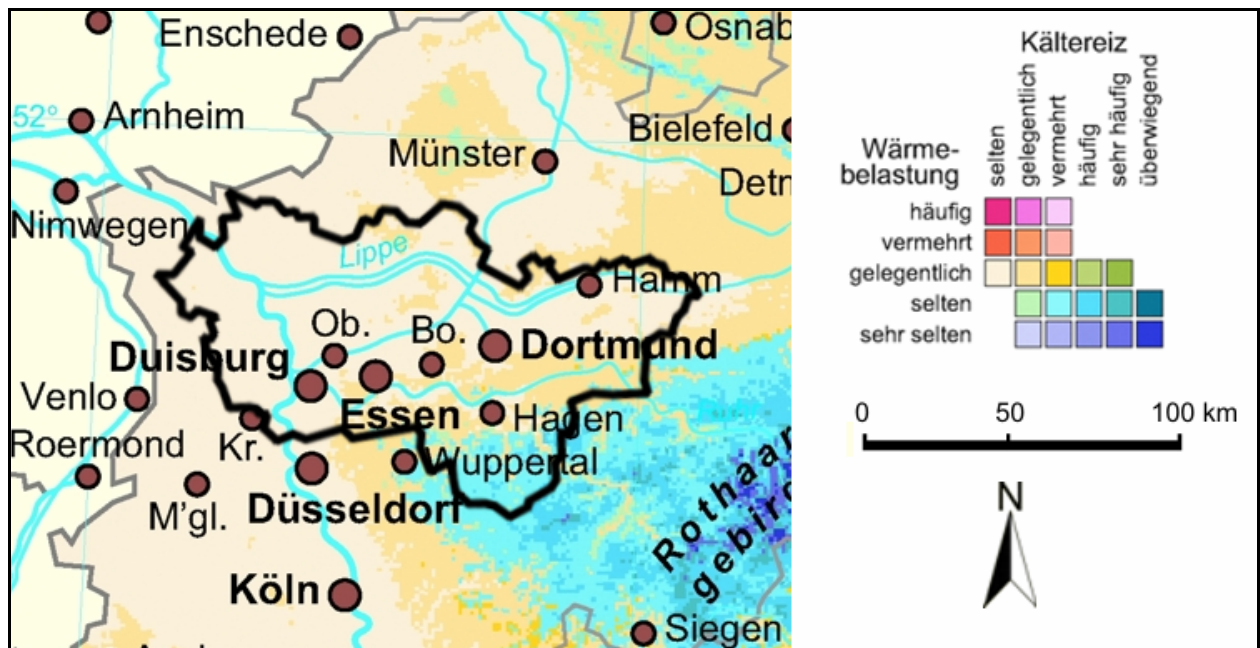


Abb. 2-13 Auszug aus der Bioklimakarte Deutschland (Jendritzky et al 2003, verändert)

Im Bereich der Lufthygiene gibt das Emissionskataster NRW (LANUV NRW 2009) einen regionalen Überblick über die Emissionssituation verschiedener Spurenstoffe im Ruhrgebiet. Das Emissionskataster ist im Internet über die Internetadresse des LANUV NRW (<http://www.lanuv.nrw.de>) zu finden und frei zugänglich und nutzbar. Es enthält sowohl eine Datenbank für genehmigungsbedürftige Anlagen gemäß BImSchG / 11. BImSchV und TA-Luft als auch ein GIS-System für die flächenhafte Darstellung von Emissionen. Somit sind neben den Emissionsmengen diverser Spurenstoffe der einzelnen Emittenten auch nach Verursachergruppen sortierte Emissionen von Spurenstoffen abruf- und kartographisch darstellbar. Die Emittentengruppen unterscheiden sich in Industrie, Verkehr, Kleinf Feuerungsanlagen und Landwirtschaft. Ferner werden gruppenübergreifende Gesamtemissionen gezeigt.

Die im Emissionskataster erfassten Spurenstoffe lassen sich in folgende Kategorien zusammenfassen:

- Treibhausgase: Distickstoffmonoxid (N_2O), Kohlendioxid, Methan
- Andere Gase: Ammoniak, Chlor und –verbindungen als HCl, Fluor und –verbindungen als HF, Kohlenmonoxid, NMVOC (Organische Gase und Dämpfe ohne Methan), Schwefeldioxid, Stickstoffoxide als Stickstoffdioxid (NO_2)
- Schwermetalle: Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Vanadium, Zink
- Chlorhaltige organische Stoffe: Dioxine/Furane al I-TE
- Andere organische Stoffe: Benzo(a)pyren (BaP), Benzol, Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
- Anorganische Stoffe: Dieselruß, Staub (Gesamtstaub), Staub (PM10)

Die Aktualität der Daten ist für die Verursachergruppen Industrie, Verkehr, Kleinf Feuerungsanlagen auf 2004 datiert, für die Landwirtschaft auf 2003. Damit ist aufgrund des Alters bei der Interpretation der Daten Vorsicht geboten. Neuere Daten sind nur im Rahmen der aktuellen Luft-

reinhaltplanung für die Spurenstoffe Stickoxide und Feinstaub erhältlich. (s. u., vgl. auch Kap. 1.1.4).

Sämtliche Informationen des Immissionskatasters sind in Tabellenform oder in kartographischer Form darstellbar. Bei der kartographischen Ausgabe kann zwischen den Darstellungsarten Raster (4 km x 4 km, Abb. 2-14, links) sowie zwischen den Gebietseinheiten Regierungsbezirke, Landkreise oder kreisfreie Städte und Gemeinden (Abb. 2-14, rechts) gewählt werden.

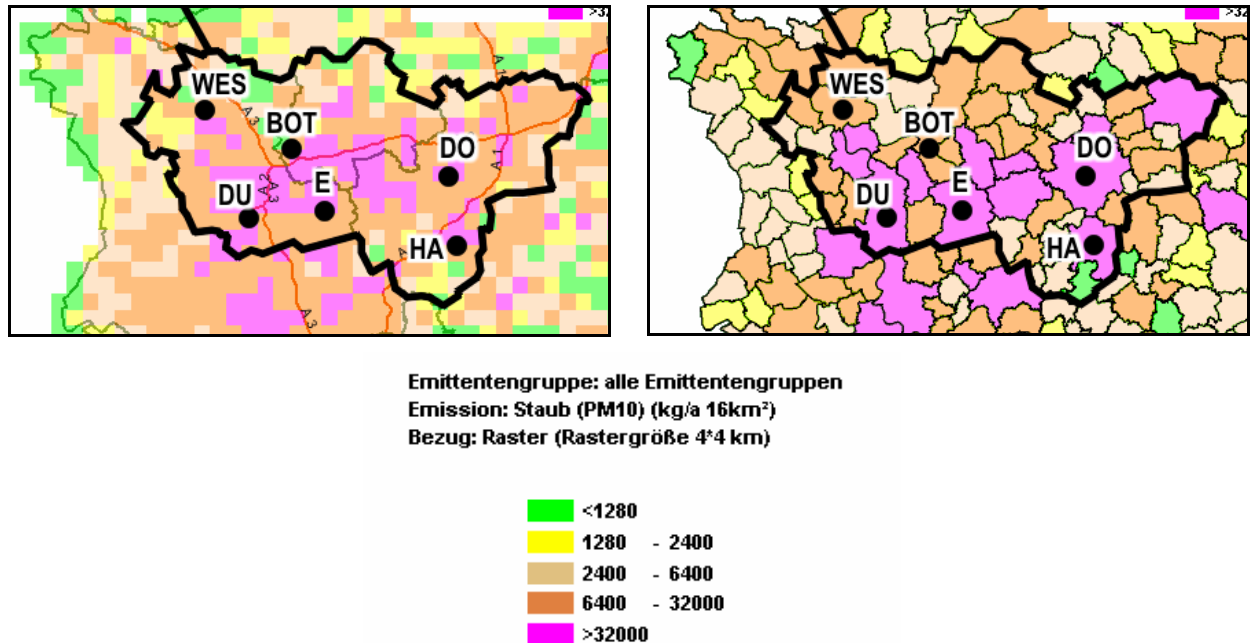


Abb. 2-14 Ausschnitt aus dem Emissionskataster NRW 2004 mit PM10-Emissionen links: für das 4 km x 4 km Raster, rechts: für Gemeinden (LANUV NRW 2009, verändert)

2.2.1.2 Großmaßstäbige Fachinformationen

Unter großmaßstäbigen Fachinformationen werden hier alle Daten zusammengefasst, die eine Beurteilung der klimatisch-lufthygienischen Situation auf kommunaler Planungsebene erlauben. Mit Maßstäben $\geq 1:50.000$ werden die Flächennutzungs- und die Bauleitplanung abgedeckt, so dass klimatisch-lufthygienische Aussagen mit konkretem Ortsbezug getroffen werden können. Bezüglich der Informationsdichte und räumlichen Auflösung sind die Klimaanalysen des Regionalverbands Ruhr (RVR) herauszustellen. Diese Gutachten sind teilweise als internetbasierte Datenbank auf dem Klimaserver Ruhrgebiet des RVR abrufbar und werden weiterentwickelt zum Klimaatlas Ruhrgebiet. Eine detaillierte Beschreibung dieser Daten- und Kartengrundlagen für das gesamte Ruhrgebiet erfolgt im Kapitel 2.2.2 „Klimaatlas Ruhrgebiet“.

Im Bereich der Lufthygiene liefern die Luftreinhalte- und Aktionspläne sowie die Pläne zu Umweltzonen detailreiche Informationen zur Immissionssituation auf kommunaler Ebene. Die vom LANUV NRW erstellten Kartenwerke behandeln vor dem Hintergrund der Grenzwerteinhaltung sowie der damit verbundenen potenziellen Grenzwertüberschreitung insbesondere die Spurenstoffe Stickoxide und Feinstaub (vgl. Kap. 1.1.4).

Für viele Kommunen des Ruhrgebiets wurden entsprechende Pläne bereits aufgestellt und vom LANUV NRW im Internet (<http://www.lanuv.nrw.de>) veröffentlicht. Derzeit sind im Ruhrgebiet folgende Pläne in Kraft (Stand: Dezember 2009):

Luftreinhaltepläne

- Ruhrgebiet West (Duisburg, Essen, Mülheim a. d. Ruhr, Oberhausen)
- Ruhrgebiet Nord (Bottrop, Castrop-Rauxel, Gelsenkirchen, Gladbeck, Herten, Recklinghausen)
- Ruhrgebiet Ost (Bochum, Dortmund, Herne)
- Hagen
- Castrop-Rauxel (Industrie)

Ampelkarte Feinstaub und Umweltzonen im Ruhrgebiet

Stand 31.03.2008

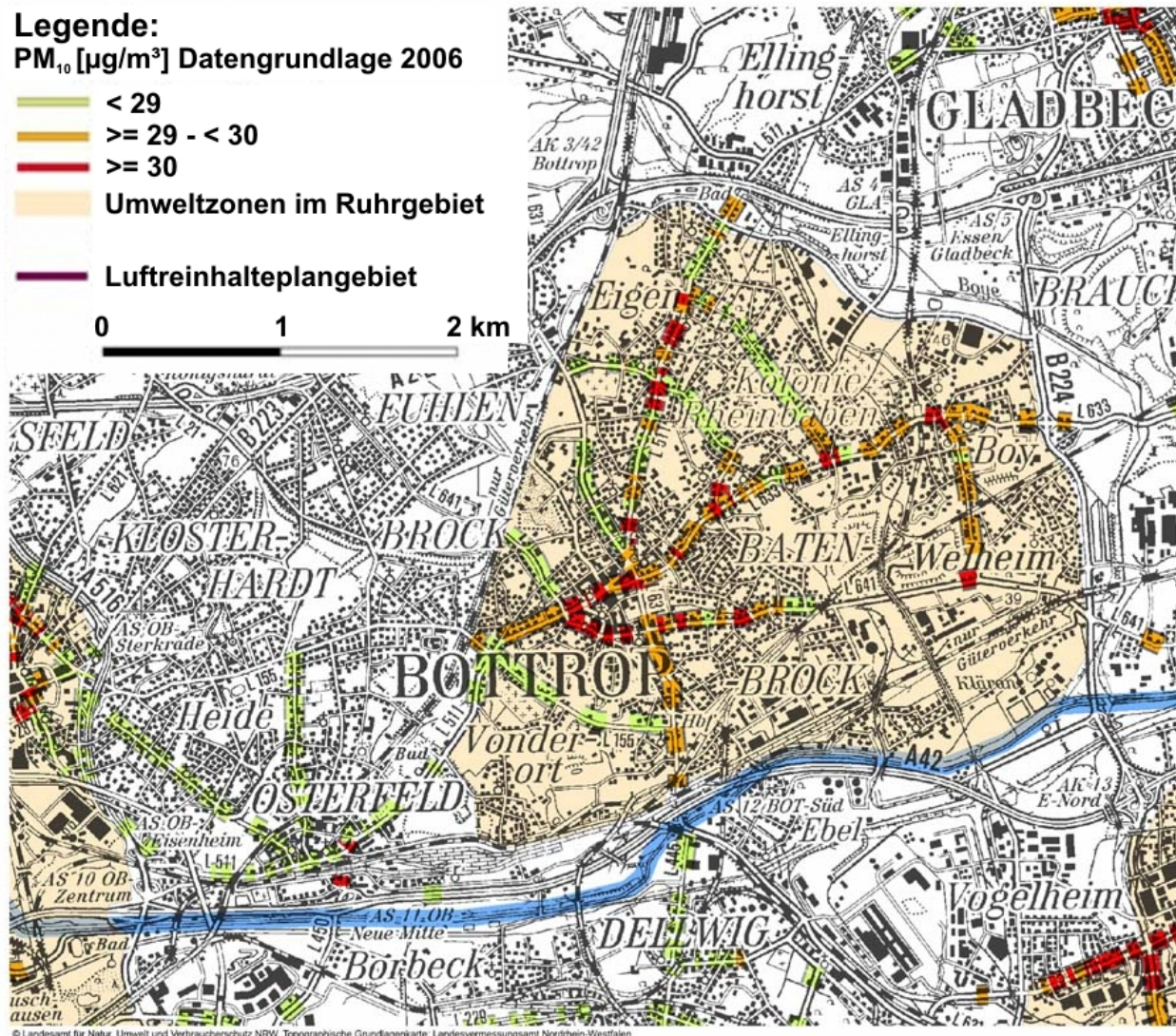


Abb. 2-15 Beispiel einer Ampelkarte für Feinstaub, dargestellt für die Stadt Bottrop (LANUV NRW 2008)

Neben der Beschreibung der Immissionssituation werden in den Luftreinhalteplänen auch die Ursachen eingehend analysiert. In diesem Zusammenhang sind die Ampelkarten besonders erwähnenswert (Abb. 2-15). Diese stellen eine flächendeckende rechnerische Abschätzung der Immissionskonzentrationen der Spurenstoffe NO_2 und PM_{10} entlang der Straßen im Ruhrgebiet mit Hilfe einer dreistufigen Bewertungsskala dar (vgl. Kap. 1.1.4).

In den Gebieten mit NO_2 - oder PM_{10} -Grenzwertüberschreitungen wurden sog. „Umweltzonen“ ausgewiesen mit dem angestrebten Ziel, auf Grundlage der 35. BImSchV (2006) durch Fernhalten von Fahrzeugen mit hohem PM_{10} -Ausstoß neben der lokalen Zusatzbelastung auch die städtische und regionale Hintergrundkonzentration senken zu können. Im Ruhrgebiet sind seit spätestens September 2008 entsprechend der Belastungsschwerpunkte in den o. g. Ampelkarten neun Umweltzonen ausgewiesen (siehe Kap. 1.1.4). Die Karten der einzelnen Umweltzonen sind beim MUNLV NRW im Internet erhältlich (<http://www.umwelt.nrw.de>). Abbildung 2.16 zeigt exemplarisch die Umweltzone der Stadt Bottrop.

Umweltzone: Bottrop

Landesamt für Natur,
Umwelt und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen



Legende:

- Gebiet des Luftreinhalteplans
- Umweltzonen
- Prüfgebiet für Umweltzonen im Rahmen der Evaluation (dynamisches Konzept)
- Autobahnen, ausgenommen von Umweltzonenregelung
- Messstationen 2006/2007
- Hintergrund
- Industrie
- Verkehr

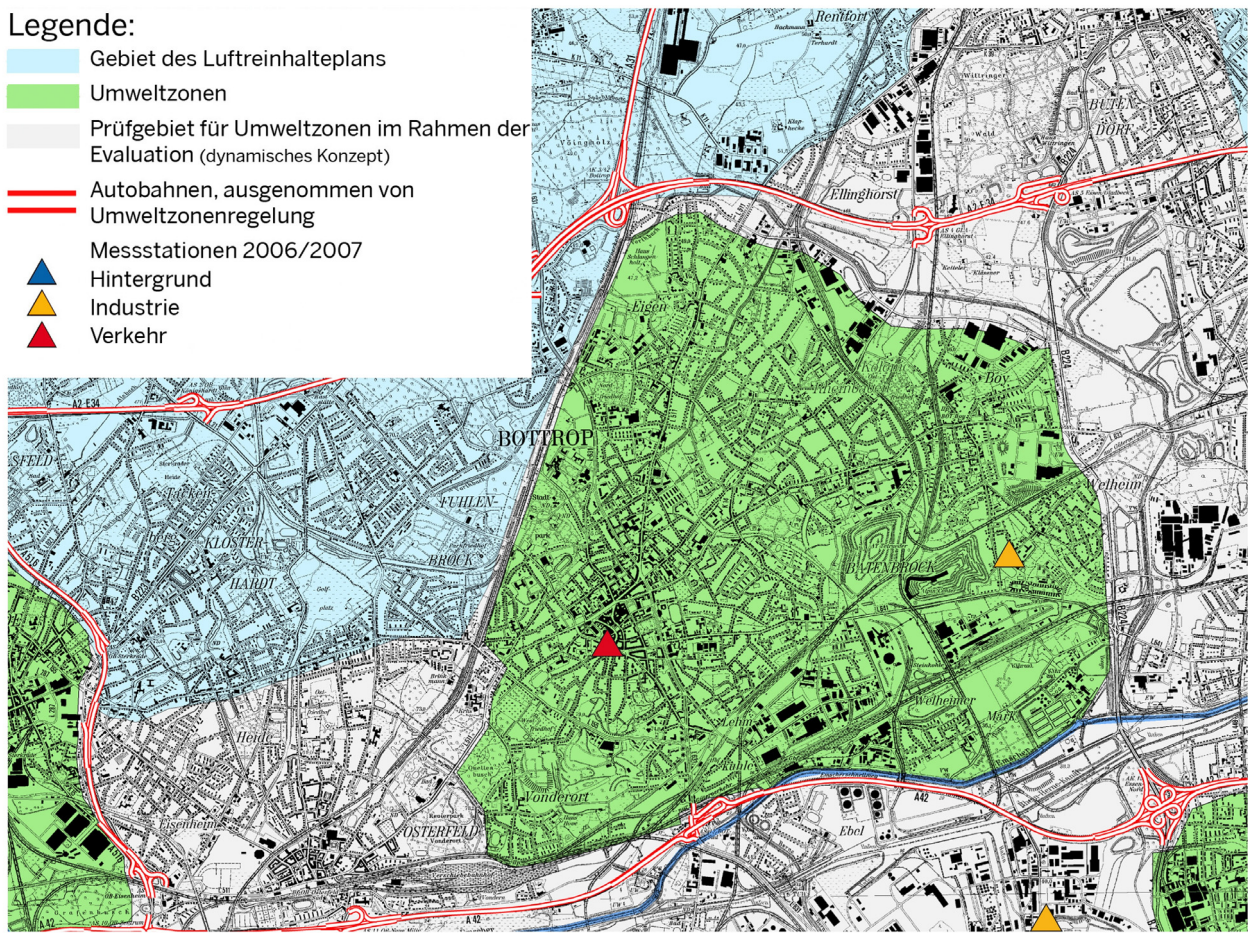


Abb. 2-16 Beispiel einer Umweltzonenkarte, dargestellt für die Stadt Bottrop (LANUV NRW 2008)

Neben dem bisher vorgestellten, allgemein zugänglichen klimatischen und lufthygienischen Datenmaterial existieren für viele Teilräume des Ruhrgebietes weitere fachspezifische Informationen, die im Rahmen spezieller Untersuchungen gewonnen wurden. Der Fokus dieser Arbeit

ten liegt auf ausgewählten Einzelgebieten (Kreisgebiete, Stadtgebiete oder Stadtteilgebiete sowie Sonderuntersuchungsflächen) oder speziellen umweltmeteorologischen Fragestellungen. Ein Großteil dieser im Auftrag von Behörden durchgeführten Arbeiten wurde nicht publiziert und ist daher der sog. „grauen Literatur“ zuzuordnen. Vor diesem Hintergrund ist darauf hinzuweisen, dass neben den nachfolgend genannten Untersuchungen weitere Arbeiten existieren können.

Eine Übersicht über die klimatisch-lufthygienischen Sonderuntersuchungen gibt Tabelle 2-3. Hierbei handelt es sich um 64 Untersuchungen aus 31 Kommunen oder Landkreisen des Ruhrgebietes, die bis in das Jahr 1977 zurückreichen. Da die Erläuterung der einzelnen Arbeiten aufgrund der vielfältigen und individuellen Fragestellungen hier nicht möglich ist, wird bezüglich der Inhalte lediglich auf die Themenschwerpunkte Klima oder Lufthygiene hingewiesen.

Tab. 2-3 Liste der stadtklimatisch-lufthygienischen Sonderuntersuchungen im Ruhrgebiet

Erläuterung: Jahr: Jahr der Untersuchung, K: Klima, L: Lufthygiene;

RVR: Regionalverband Ruhr, RUB: Geographisches Institut der Ruhr-Universität Bochum, UDE: Abt. Angew. Klimatologie und Landschaftsökologie im Fachbereich Biologie und Geographie der Universität Duisburg-Essen

Stadt/Kreis	Raumbezug	Themenschwerpunkt	Jahr	Ausführung	Veröffentlichung und Quelle
Bergkamen	Stadtgebiet	K	1985	RVR	Stadt Bergkamen, 1987
Bochum	Stadtgebiet	K, L		RVR, UDE	in Bearbeitung
Bochum	Stadtgebiet	K	1988	RVR, UDE	Stadt Bochum, 1991
Bönen	Gemeindegebiet	K	1992	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1995
Bottrop	Stadtgebiet	K	2005	RVR, RUB	Stadt Bottrop, 2007
Bottrop	Stadtgebiet	K	1988	RVR, UDE	Planungshefte Ruhrgebiet, P023, KVR, 1989
Castrop-Rauxel	Habinghorst	L	2002	UDE	unveröffentlicht, StUA Herten
Castrop-Rauxel	Stadtgebiet	K		RVR	unveröffentlicht, KVR
Dorsten	Stadtgebiet	K	1991	RVR	Stadt Dorsten, 1993
Dortmund	Stadtgebiet	K	2004	RVR	unveröffentlicht, RVR
Dortmund	Stadtgebiet	K	1985	RVR	Planungshefte Ruhrgebiet, KVR, 1986
Duisburg	Stadtgebiet	K	2009	RVR	in Vorbereitung
Duisburg	Stadtgebiet	K	1996	RVR	unveröffentlicht, RVR
Duisburg	Landsch.-Park DU-Nord	K	1995	UDE	unveröffentlicht, LEG - Landesentwicklungsgesellschaft Nordrhein-Westfalen
Duisburg	Angerbogen	K, L	1994	UDE	unveröffentlicht, Stadt Duisburg
Duisburg	Stadtgebiet	K	1978	RVR	Planungshefte Ruhrgebiet, KVR, 1982
Essen	Einzelfläche	L	2009	UDE	unveröffentlicht, Stadtwerke Essen
Essen	Stadtgebiet	L	2004	UDE	unveröffentlicht, Stadt Essen
Essen	Stadtgebiet	K	2003	RVR	Beiträge zum Umweltschutz 29, Stadt Essen
Essen	Grugapark	K, L	1996, 1998	UDE	Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. (FAT), Frankfurt/Main
Essen	Stadtgebiet	K	1983	RVR	Planungshefte Ruhrgebiet, KVR, 1985
Fröndenberg	Stadtgebiet	K	1989	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1991
Gelsenkirchen	Scholven	K, L	2007	UDE	unveröffentlicht, Deutsche BP AG
Gelsenkirchen	Schalke-Nord	K	2005	UDE	unveröffentlicht, Stadt Gelsenkirchen
Gelsenkirchen	Graf, Bismarck / Schalcker Verein	K, L	2003	UDE	unveröffentlicht, Stadt Gelsenkirchen

Stadt/Kreis	Raumbezug	Themen- schwer- punkt	Jahr	Ausführung	Veröffentlichung und Quelle
Gelsenkirchen	Stadtgebiet	K, L	2000	UDE	unveröffentlicht, Stadt Gelsenkirchen
Gelsenkirchen	Stadtgebiet	K	1981	RVR	unveröffentlicht, KVR
Gladbeck	Stadtgebiet	K	1990	RVR	Umweltbericht, Stadt Gladbeck, 1992
Hagen	Stadtgebiet	K	1997	RVR	Stadt Hagen, Umweltamt
Hagen	Sudfeldstraße	K, L	1995	UDE	Stadt Hagen, Umweltamt
Hagen	Roderberg	K	1991	UDE	unveröffentlicht, KVR
Hagen	Stadtgebiet	K	1977	RVR	Weißer Reihe, KVR, 1980
Hamm	Stadtgebiet	K	1995	RVR	Weißer Reihe, Freiraumentwicklungsheft, KVR
Herne	Stadtgebiet	K	1996	RVR	unveröffentlicht, KVR
Herten	Stadtgebiet	K	1991	RUB, RVR	Stadt Herten, 1993
Holzwickede	Gemeindegebiet	K	1989	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1991
Kamen	Stadtgebiet	K	1991	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1993
Kamp-Lintfort	Stadtgebiet	K	1986	RVR	Weißer Reihe, KVR, 1986
Lünen	Stadtgebiet	K	1981	RVR, UDE	Weißer Reihe, KVR, 1981
Marl	Stadtgebiet	K	1983	RVR	Stadt Marl, Amt für Statistik und Stadtentwicklung, 1985
Moers	Stadtgebiet	K	2005	RVR	Stadt Moers, 2006
Moers	Stadtgebiet	K	1987	RVR	Weißer Reihe, KVR, 1988
Mülheim an der Ruhr	Stadtgebiet	K	2002	RVR, RUB	unveröffentlicht, KVR
Mülheim an der Ruhr	Teilraum Heißen	K	1999	RVR	Beitrag zur Stadtentwicklung, Stadt Mülheim an der Ruhr, 1999
Mülheim an der Ruhr	Teilraum Styrum / Dümpten	K	1997	RVR	Beitrag zur Stadtentwicklung, Stadt Mülheim an der Ruhr, 1997
Mülheim an der Ruhr	Teilraum Stadtmitte	K	1995	RVR	Beitrag zur Stadtentwicklung, Stadt Mülheim an der Ruhr, 1996
Mülheim an der Ruhr	Rumbachtal	K	1993	UDE	unveröffentlicht, KVR
Mülheim an der Ruhr	Teilraum Broich / Speldorf	K	1989	RVR	Beitrag zur Stadtentwicklung, Stadt Mülheim an der Ruhr, 1990
Mülheim an der Ruhr	Teilraum Saarn	K	1988	RVR	Beitrag zur Stadtentwicklung, Stadt Mülheim an der Ruhr, 1988
Mülheim an der Ruhr	Stadtgebiet	K	1982	RVR	Weißer Reihe, KVR, 1983
Oberhausen	Stadtgebiet	K	2004	RVR, RUB	unveröffentlicht, KVR
Oberhausen	Stadtgebiet	K	1992	RVR	unveröffentlicht, KVR
Recklinghausen	Stadtgebiet	K	2000	RVR	unveröffentlicht, KVR
Recklinghausen	Fritzberg	K	1995	UDE	unveröffentlicht, Stadt Recklinghausen
Recklinghausen	Stadtgebiet	K	1983	RVR	Weißer Reihe, KVR
Schwelm	Stadtgebiet	K	1998	RVR, RUB	KVR, 1998
Schwerte	Stadtgebiet	K	1988	RVR	Stadt Schwerte, Amt für Stadtentwicklung, 1990
Selm	Stadtgebiet	K	1992	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1993
Unna	Kreisgebiet	K	1995	RVR	unveröffentlicht, KVR
Unna	Kreisgebiet	L	1992	UDE	unveröffentlicht, KVR
Unna	Stadtgebiet	K	1991	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1993
Waltrop	Stadtgebiet	K	2002	UDE	Unveröffentlicht, Stadt Waltrop
Werne	Stadtgebiet	K	1990	RVR	Umweltbericht 9, Kreis Unna, Umweltamt, 1991
Wesel / Voerde	Stadtgebiet	K	1984	RVR	Weißer Reihe, KVR, 1985
Wesel / Voerde / Büdericher Insel	Stadtgebiet	K	1984	RVR	Weißer Reihe, KVR, 1986
Witten	Stadtgebiet	K	2007	RVR	unveröffentlicht, RVR

Tab. 2-4 Liste sonstiger stadtklimatisch-lufthygienischer Veröffentlichungen im Ruhrgebiet

Sonstige Untersuchungen	Raumbezug	Thema	U-Jahr	Ausführung	Veröffentlichung und Quelle
Landschaftsökologische Modelluntersuchung Hexbachtal	Hexbachtal	K	1974	RVR	Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk (SVR), 1977
Landschaftsökologische Modelluntersuchung Hexbachtal (Kartenteil)	Hexbachtal	K	1974	RVR	Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk (SVR), 1977
Kartenkatalog regionaler Grünzug D - Grenzbereich der Städte Bochum, Gelsenkirchen, Herne, Herten	Grenzbereich der Städte Bochum, Gelsenkirchen, Herne, Herten	K	1975	RVR	Planungshefte Ruhrgebiet, P018, KVR, 1980
Klimatische Untersuchungen an Bergehalden im Ruhrgebiet	ausgewählte Bergehalden	K	1983	RVR	Arbeitshefte Ruhrgebiet, A030, KVR, 1986
Windfeld und Abgasausbreitung an Bergehalden	typische Bergehalden	K, L	1983	RVR	Arbeitshefte Ruhrgebiet, A026, KVR, 1986
Wuchsklimakarte des Ruhrgebietes und angrenzender Bereiche	Ruhrgebiet	K		RVR	Arbeitshefte Ruhrgebiet, A033, KVR, 1985
Thermalkarte Ruhrgebiet	Ruhrgebiet	K	1985	RVR	Arbeitshefte Ruhrgebiet, A035, KVR, 1985
Klima und Lufthygiene als Planungsfaktoren, Aufsätze zur 1. Fachtagung 19.2.1987, Gelsenkirchen	Ruhrgebiet	K, L	1987	RVR	Planungshefte Ruhrgebiet, P020, KVR, 1988
Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet	Ruhrgebiet	K	1991	RVR	Arbeitshefte Ruhrgebiet, A040, KVR, 1992
Regionale Klimafunktionskarte Ruhrgebiet	Ruhrgebiet	K	2007	RVR	Städte Bochum, Mülheim, Oberhausen, Herne, Essen, Gelsenkirchen, 2007

2.2.1.3 Messnetze und Datenquellen

Die bisher vorgestellten Fachinformationen beinhalten konkrete Aussagen zu umweltmeteorologischen oder lufthygienischen Sachverhalten für das Ruhrgebiet. Sofern für bestimmte Orte oder Fragestellungen keine Fachinformationen vorliegen, besteht die Möglichkeit, entsprechende Untersuchungen auf Basis von Messungen durchzuführen. Hierbei kann für das Ruhrgebiet auf einen bereits bestehenden Datenpool aus Messnetzen verschiedener Anbieter zurückgegriffen werden. Die Messnetze der nachfolgend vorgestellten Datenquellen sind ihrer Aufgabe entsprechend auf die Erfassung regionaler klimatischer oder lufthygienischer Parameter ausgelegt, so dass die räumliche Dichte an Messstandorten relativ gering und damit abseits der ein-

zelen Messstandorte für großmaßstäbige Untersuchungen auf FNP- oder Bebauungsplanebene wenig geeignet ist. Die Messnetze werden von öffentlich-rechtlichen Institutionen oder kommerziellen Wetterdiensten betrieben. Für die Nutzung der Messnetzdaten können Nutzungsgebühren anfallen.

Die Messnetze lassen sich in meteorologische und lufthygienische Messnetze unterscheiden. Die größten meteorologischen Messnetze werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD), Offenbach/M (Abb. 2-17 und Tabelle 2-5) sowie von der Meteomedia AG, Gais (CH) bzw. Meteomedia GmbH, Bochum (Abb. 2-18) betrieben.

Beide Anbieter liefern von ihren Klimastationen Daten in hoher zeitlicher Auflösung (Stundenwerte oder kleiner) zu den meteorologischen Standardgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Windrichtung. An ausgewählten Stationen werden ferner Strahlungsgrößen, Bedeckungsgrad, Sichtweite und Bodentemperaturen erfasst. Der DWD verfügt neben den Standardmessstationen über ein ergänzendes Niederschlagsmessnetz mit einer höheren räumlichen Stationsdichte (Tabelle 2-5 und Abb. 2-17).

Darüber hinaus können durch den DWD-Radarverbund flächendeckende Niederschlagsdaten für die Region Ruhrgebiet erfasst werden. Das Doppler-Wetter-RADAR der DWD-Station Essen (R 2567263, H 5696444, 150 m ü. NN) erlaubt im Umkreis von 128 km die Erfassung des Niederschlages in einer hohen zeitlichen Auflösung von 5 Minuten.

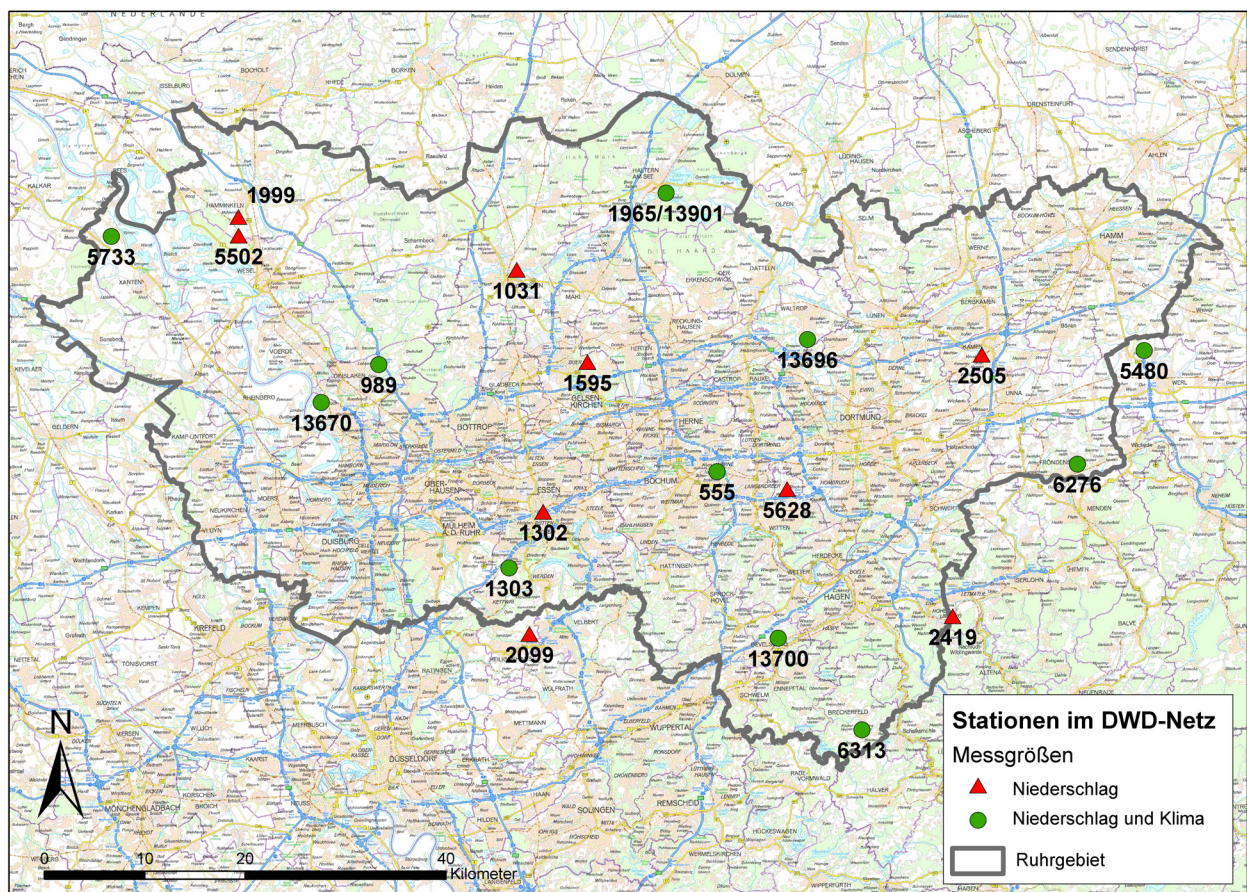


Abb. 2-17 Lage von Klima- und Niederschlagsmessstationen des DWD-Messnetzes, Stationsnummern siehe Tabelle 2-5

Tab. 2-5 Übersicht der klimatologischen Messstationen des Deutschen Wetterdienstes im Gebiet des Regionalverbandes Ruhr (DWD 2009b)

Standort	St.-Nr	Lagekoordinaten			Messgrößen*
		Rechts / m	Hoch / m	Höhe / m NN	
Bochum	555	2587977	5706032	101	N, K
Breckerfeld-Wengeberg	6313	2602387'	5680337	440	N, K
Dinslaken	989	2554288	5716687	53	N, K
Dorsten-Hervest	1031	2568024	5726124	33	N
Duisburg-Baerl	13670	2548548	5712920	25	N
Essen (Ruhrhaus)	1302	2570665	5702053	100	N
Essen-Bredeney	1303	2567263	5696444	150	N, K
Fröndenberg-Hohenheide	6276	3415494	5705973	240	N, K
Gelsenkirchen-Buer	1595	2575079	5716952	93	N
Gevelsberg-Oberbroeking	13700	2594072	5689450	205	N, K
Haltern	1965 / 13901	2582890	5733765	40	N, K
Hamminkeln-Muehlenrodt	1999	2540309	5731390	23	N
Heiligenhaus-Abtsküche	2099	2569300	5689900	130	N
Iserlohn-Letmathe	2419	3402478	5691369	124	N
Kamen	2505	3406439	5717259	62	N
Waltrop-Abdinghof	13696	2596989	5719179	68	N
Werl	5480	3422610	5716987	85	N, K
Wesel-Flueren	5502	2540324	5729536	25	N
Witten-Stockum	5628	2594957	5704303	130	N
Xanten	5733	2527651	5729450	20	N, K

*N = Niederschlag, K = Klima (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Windrichtung)

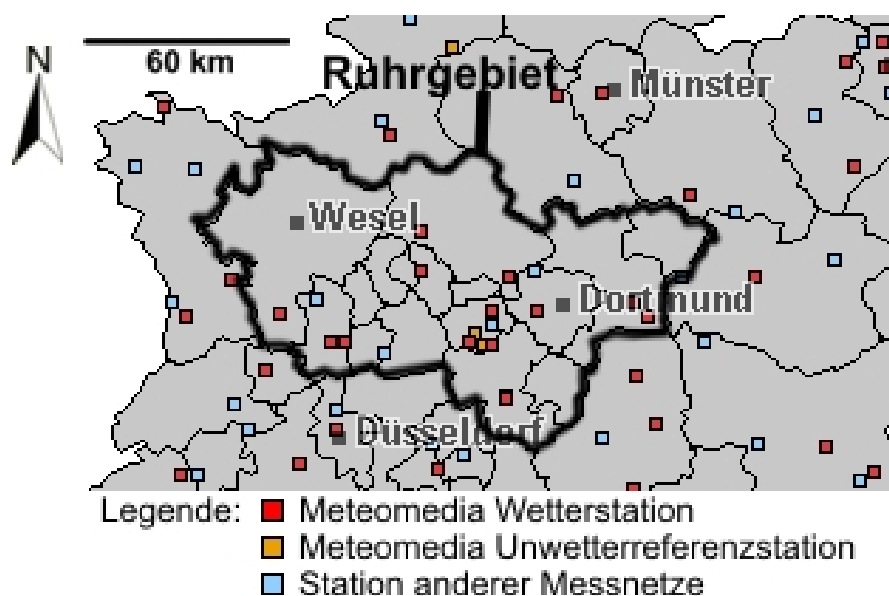


Abb. 2-18 Meteomedia-Messnetz (Meteomedia AG 2009, verändert)

Zur Untersuchung der regionalen Niederschlagsverhältnisse im Ruhrgebiet kann auf die speziellen Niederschlagsmessnetze der Wasserwirtschaftverbände Ruhrverband, Essen (Tab. 2-6) und Emschergenossenschaft/Lippeverband, Essen (Abb. 2-19 und Tab. 2-7) zurückgegriffen werden, die zusammen eine hohe räumliche Messstationsdichte aufweisen.

Tab. 2-6 Übersicht der klimatologischen Messstationen des Ruhrverbandes im Gebiet des Regionalverbandes Ruhr (Ruhrverband 2009a)

Standort	Lagekoordinaten			Messgrößen*
	Rechts / m	Hoch / m	Höhe / m NN	
Duisburg - Kläranlage	2550700	5701220	25	N
Ennepetalsperre	2598430	5679690	279	N, T
Essen - Ruhrhaus	2571040	5702020	100	N, T
Essen Burgaltendorf - Kläranlage	2579180	5699240	62	N
Essen-Kettwig - Kläranlage	2564290	5693440	41	N
Essen-Kupferdreh - Kläranlage	2575120	5696100	60	N
Essen-Steele - Kläranlage	2574200	5701340	61	N
Hagen - Kläranlage	2598810	5697000	91	N
Heiligenhaus - Abtsküche - Kläranlage	2569300	5689900	130	N
Hohenlimburg	3398844	5693572	111	N, T
Wetter - Kläranlage	2596445	5695180	85	N

*N = Niederschlag, T = Lufttemperatur

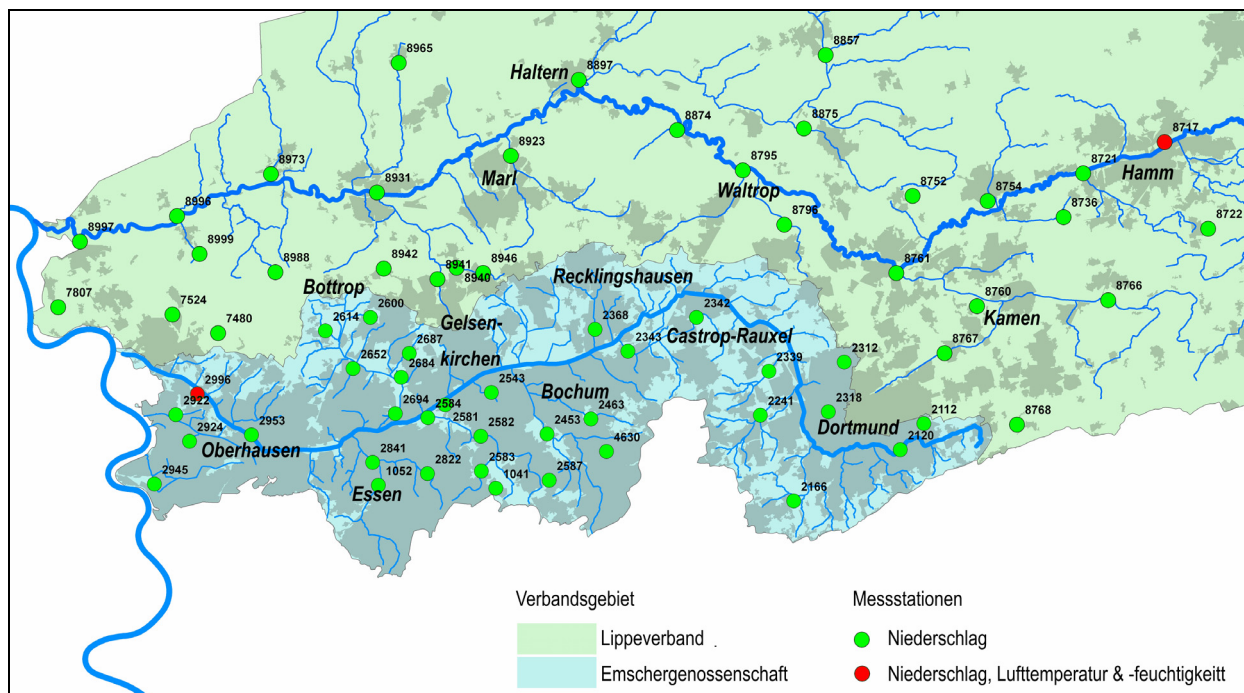


Abb. 2-19 Lage von Klimastationen der Emschergenossenschaft/Lippeverband, Stationsnummern siehe Tabelle 2-7 (EG/LV 2009, verändert)

Tab. 2-7 Übersicht der klimatologischen Messstationen von Emschergenossenschaft/Lippeverband im Gebiet des Regionalverbandes Ruhr (EG/LV 2009)

Standort	St.-Nr	Lagekoordinaten			Messgrößen*
		Rechts / m	Hoch / m	Höhe / m NN	
Bochum DMT	4630	2584483	5707037	77	N
Boenen	8766	2621885	5718301	58	N
Bottrop-Boye	2694	2568743	5709860	29	N
Bottrop-Boye-Oberlauf	2614	2563525	5716018	40	N
Bottrop-Eigen	2652	2565590	5713218	38	N
Castrop-Rauxel-Habinghorst	2342	2591192	5717012	56	N
Dinslaken-Emschermündung	2996	2553980	5711320	32	N, T, F
Dorsten-Harsewinkel	8931	2567373	5726314	29	N
Dortmund-Aplerbeck MPA	2112	2607011	5708877	108	N
Dortmund-Kruckel VEW	2166	2598436	5703347	100	N
Dortmund-Marten Bauh.	2241	2595952	5709744	71	N
Dortmund-Nettebach	2339	2596590	5713009	65	N
Duisburg-Huelsermanngraben	2922	2552371	5709772	15	N
Essen-Hesselbruch	2841	2567050	5706227	36	N
Essen-Schurenbach	2584	2571156	5709551	30	N
Essen-Stoppenberg	2822	2571141	5705391	40	N
Gelsenkirchen-Altstadt	2582	2575192	5708186	37	N
Gelsenkirchen-Bismarck	2543	2575900	5711430	36	N
Gelsenkirchen-Hessler	2581	2572458	5710506	32	N
Gladbeck-Hahnenbach	2684	2569182	5712560	31	N
Haltern	8897	2582420	5734700	41	N
Hamm-Mattenbecke	8717	2626093	5730074	57	N, T, F
Herne-Horsthausen	2343	2586045	5714454	55	N
Herringen	8721	2619805	5728071	62	N
Huenxe	8996	2552466	5724557	27	N
Kamen	8763	2613979	5718191	59	N
Kamen-Braunebach	8760	2612113	5717856	60	N
Kurl	8767	2609728	5712579	69	N
Lembeck	8965	2568952	5735980	53	N
Luenen/Sesekemuendung	8761	2606099	5720312	52	N
Marl-Ost	8923	2577350	5729050	42	N
Oberhausen-Buschhausen	2953	2558100	5708275	33	N
Recklinghausen-Reitwinkel	2368	2583627	5716121	48	N
Rhynern	8722	2629344	5723611	96	N
Schermbeck	8973	2559463	5727684	30	N
Selm	8875	2599200	5731080	50	N
Unna-Billmerich	8768	2615086	5709035	125	N
Waltrop	8796	2597790	5723981	53	N
Wattenscheid	2587	2580216	5704900	78	N
Werne	8754	2612916	5725634	57	N
Westerholt	8946	2575290	5720337	67	N

*N = Niederschlag, T = Lufttemperatur, F = Luftfeuchtigkeit

Neben diesen messnetzgestützten Datenquellen existieren in den Städten Bochum und Essen Klimamessstationen, die aufgrund vergleichender Messungen zwischen dicht bebauter Innenstadt und unversiegeltem Umland auf die Untersuchung des Stadtklimas dieser Städte spezialisiert sind. Die stadtklimatischen Untersuchungen in Bochum werden vom Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum durchgeführt. Die innerstädtische „Ludger-Mintrop-Stadtklimastation“ befindet sich unmittelbar nordöstlich des Stadtzentrums (Koordinaten: R 2584339, H 5706650, 106 m ü. NN) in einer Kleingartensiedlung (Schmechtingwiesental), die von mehrgeschossiger Wohnbebauung umgeben ist. Im südöstlichen Stadtgebiet von Bochum, außerhalb der bebauten Gebiete befindet sich auf dem oberen Nordhang des Ruhrtals die „Rudolf-Geiger-Klimastation“, die einen typischen Umlandstandort repräsentiert (R 2579962, H 5700333, 124 m ü. NN). Das Umfeld der Station ist mit Ausnahme des Nordwestsektors, in dem mehrgeschossige Gebäude liegen, durch extensiv genutzte Landwirtschaftsflächen geprägt.

In Essen werden die vergleichenden Stadt-Umlandmessungen durch die Abteilung Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie der Universität Duisburg-Essen durchgeführt. Die innerstädtisch gelegene „Albert-Kratzer-Klimastation“ befindet sich auf dem Essener Campus der Universität (R 2570000, H 5703870, 56 m ü. NN). Das Stationsumfeld ist durch angrenzende Hochhäuser und große versiegelte Verkehrsstellflächen gekennzeichnet. Das Windfeld weist einen Schneisencharakter auf. Es handelt sich um einen stark lokal beeinflussten Stadtstandort. Die Umlandstation befindet sich am südwestlichen Essener Stadtrand (R 2565988, H 5698773, 130 m ü. NN) im Ortsteil Haarzopf. Der reliefgeprägte Standort befindet sich in der nördlichen, oberen Hangzone des Rumbachtals und ist mit Ausnahme des Ostsektors, der durch aufgelockerte Wohnbebauung mit hohem Grünflächenanteil geprägt ist, von weitläufigen Landwirtschaftsflächen umgeben.

Sowohl an den Essener als auch den Bochumer Stationen werden verschiedene meteorologische Messgrößen erfasst. Hierzu zählen nach DWD-/WMO-Standard Lufttemperatur- und -feuchtigkeitsmessungen in 2 m ü. Gr, die Messung von Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Niederschlagsmessungen. Darüber hinaus werden an den jeweiligen Stationen weitere Kenngrößen in verschiedenen zusätzlichen Messhöhen erfasst, u. a. Luftdruck, Strahlungshaushaltsgrößen und Bodentemperaturen. Die Messgrößen werden elektronisch mit hoher zeitlicher Auflösung im Minutenbereich erfasst. Es liegen bereits mehrjährige Messreihen vor. Langjährige Klimabetrachtungen sind mit der Bochumer Stadtklimastation möglich. Hier existieren Temperaturmessungen seit 1912, die Niederschlagsmessreihe der Bochumer Ludger-Mintrop-Stadtklimastation beginnt 1888. Detaillierte Informationen zu den Messstationen stehen im Internet für Bochum unter <http://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de> und für Essen unter <http://www.uni-due.de/klimatologie> bereit.

Im Bereich der Luftreinhaltung stellt das Messnetz LUQS (Luftqualitäts-Überwachungssystem) des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW), Recklinghausen, die größte Datenquelle dar (Abb. 2-20). Das Ruhrgebiet wird mit 30 Messstationen abgedeckt, die ihrer Aufgabe entsprechend Hintergrund-, Verkehrs- oder Industriestandorte repräsentieren. Die Stationen sind bezüglich der Messgrößen nicht einheitlich, sondern aufgabenspezifisch konfiguriert. Das Kontingent an Messgrößen beinhaltet kontinuierliche Messungen in Halbstundendatenauflösung von Ozon, NO, NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, Lufttemperatur- und -feuchtigkeit sowie Windrichtung oder Windgeschwindigkeit. Bei den diskonti-

nuierlichen Messverfahren können Kohlenwasserstoffe (NMVOC) wie Benzol, Toluol, Ethylbenzol oder Xylol, Ruß sowie ferner verschiedene Metalle oder PAK erfasst werden.

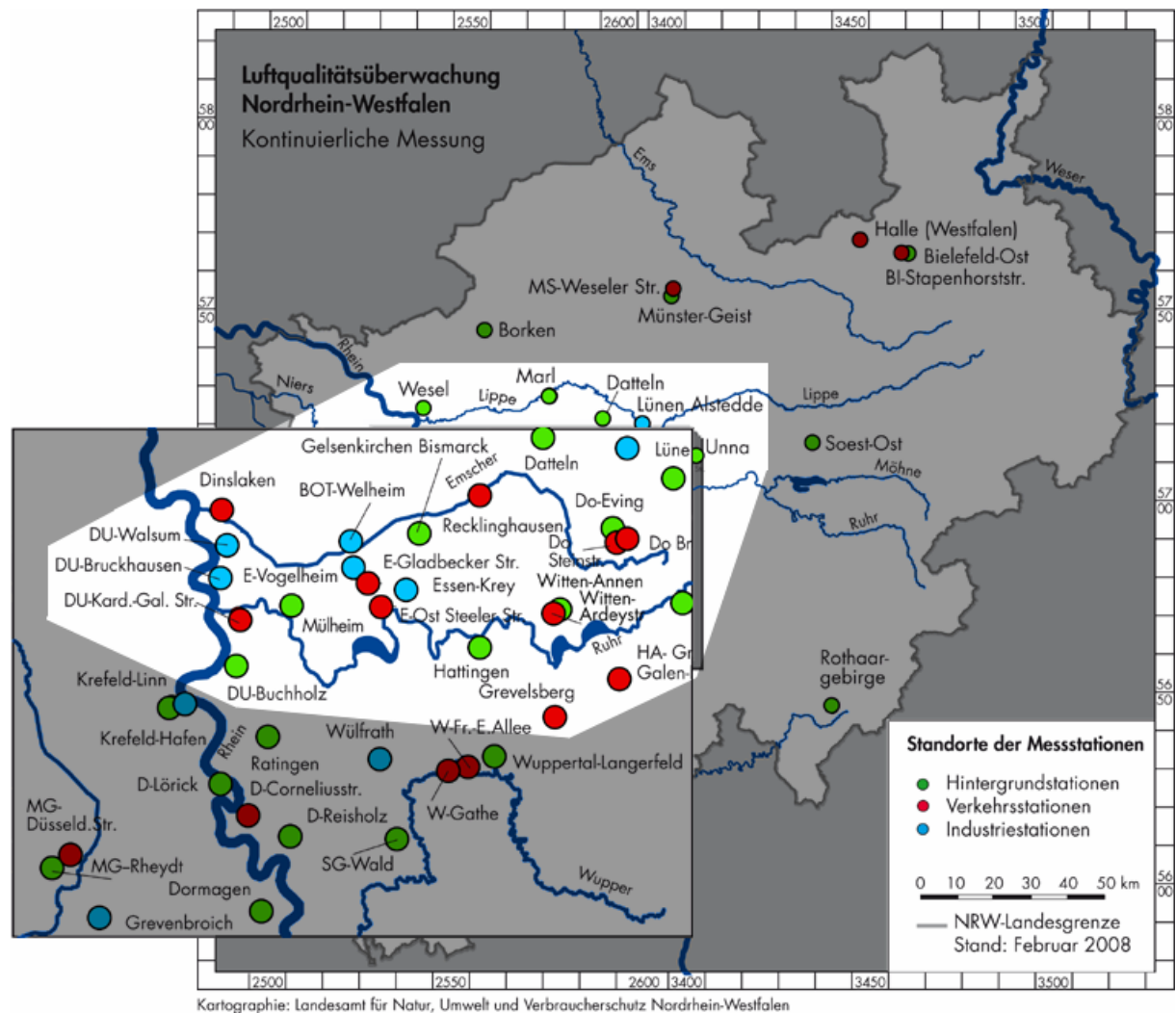


Abb. 2-20 Lage und Typisierung der LUQS-Stationen des LANUV NRW im Ruhrgebiet (weißes Gebiet) in 2009 (Quelle: LANUV NRW, verändert)

2.2.2 Klimaatlas Ruhrgebiet

2.2.2.1 Klimagutachten im Ruhrgebiet

Für alle größeren Städte und Kommunen des Ruhrgebietes liegen Klimaanalysen vor, die die Beschreibung und Bewertung der klimatischen Ist-Situation und die Ableitung von Planungsempfehlungen zur Erreichung optimaler human-biometeorologischer und immissionsklimatischer Verhältnisse enthalten. Abbildung 2-21 zeigt die Kommunen, für die bereits ein Klimagutachten erstellt wurde, differenziert nach der Aktualität des Gutachtens (Untersuchung vor 2001 in blau; ab 2001 in rot).

Zur Bewertung der klimatischen Situation werden umfangreiche Klimamessungen und Auswertungen durchgeführt (siehe Kapitel 2.1). In der Regel werden dabei die folgenden stadtklimatischen Untersuchungsziele verfolgt:

- Bewertung des Einflussgrades anthropogener Faktoren auf das thermische Milieu
- Charakterisierung der Windfeldmodifikationen durch die Bebauungsstrukturen
- Lokalisierung regionaler und lokaler Ausgleichsräume im Stadtgebiet
- Ermittlung potentieller Luftleitbahnen als Frischluftlieferanten für höher belastete Areale

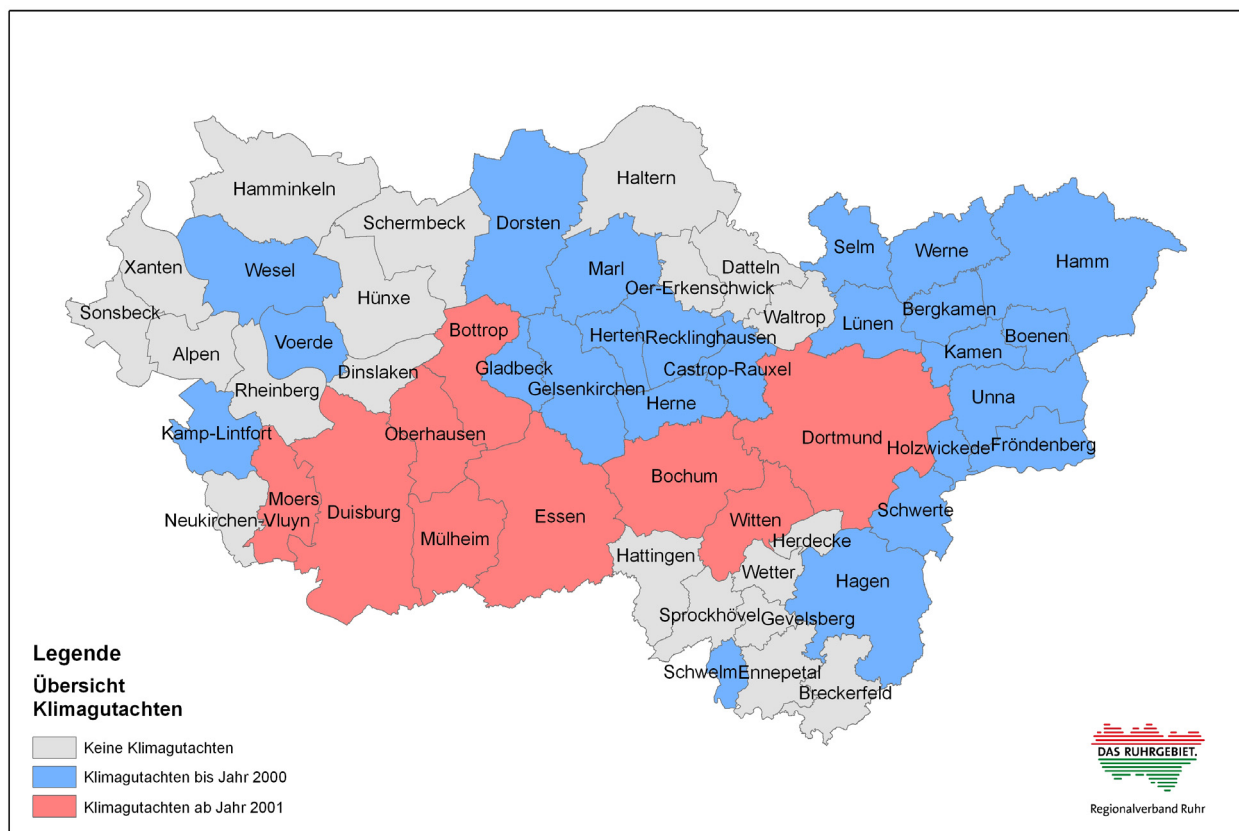


Abb. 2-21 Übersicht der Klimagutachten im Ruhrgebiet (Quelle: RVR)

Herkömmliche Klimakarten stellen in der Regel nur einen Teilaspekt dar, in dem sie sich auf die räumliche Darstellung einzelner Klimatelemente wie z. B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit

und Windrichtung beschränken. Zur Beurteilung der klimatischen Situation eines Raumes und zur Ableitung planungsrelevanter Aussagen ist es jedoch erforderlich, sich einen Gesamtüberblick über mehrere Klimatelemente zu verschaffen. Aus diesem Grund werden synthetische Klimafunktionskarten durch die Zusammenfassung komplexer Struktur-, Beziehungs- und Funktionsgeflechte erstellt (VDI 3787 Bl.1 1997). Damit bieten Synthetische Klimafunktionskarten einen flächenbezogenen Überblick über klimatische Sachverhalte eines Raumes und bilden die Basis für Planungshinweiskarten. Mit Hilfe einer Synthetischen Klimafunktionskarte ist es möglich, Belastungsräume und Entlastungspotentiale zu identifizieren und den Handlungs- und Planungsbedarf einer Stadt abzuleiten.

Abbildung 2-22 zeigt einen Ausschnitt aus einer Planungshinweiskarte für ein Stadtgebiet. Unter anderem werden in einer solchen Karte Vorschläge zur Sicherung von Ausgleichsräumen und Luftleitbahnen gegeben, indem für bebaute Gebiete keine weitere Verdichtung zugelassen oder Bebauungsgrenzen festgelegt werden können. Zur Verbesserung der klimatischen Verhältnisse in den Lasträumen gibt es Vorschläge zu Innenhofbegrünungen; Dach- und Fassadenbegrünung, Begrünung im Straßenraum, Öffnen von Bebauungsrändern und zur Grünvernetzung.

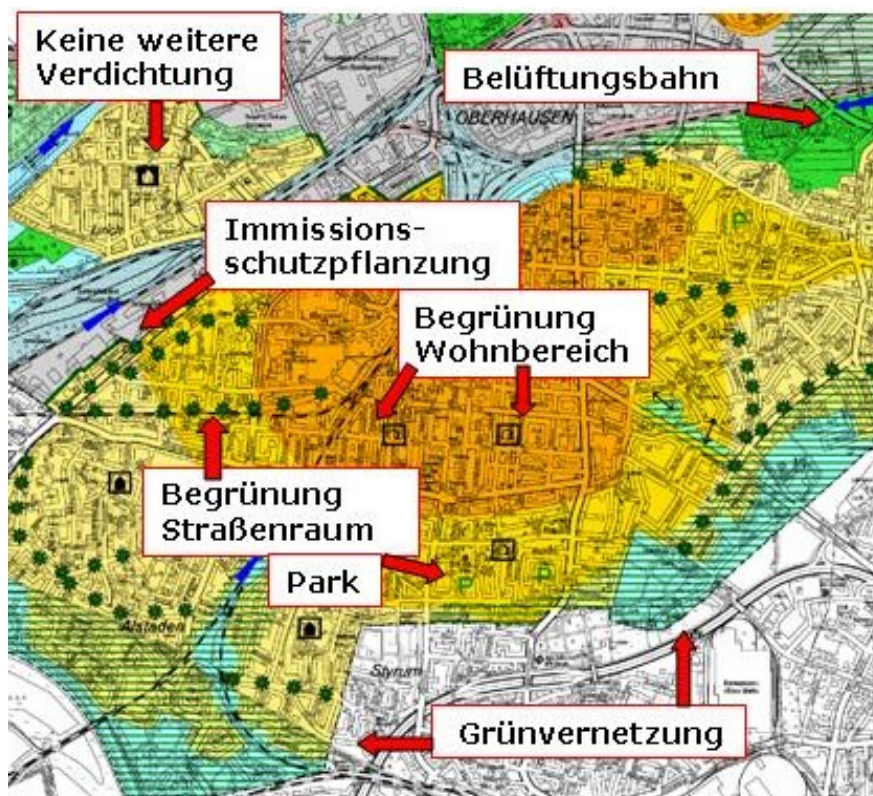


Abb. 2-22 Ausschnitt aus einer Planungshinweiskarte (Quelle: RVR)

Die vorhandenen Klimauntersuchungen im Ruhrgebiet, die bisher der Verbesserung des Stadtklimas unter den heutigen Klimabedingungen dienen, können als Grundlage für die Entwicklung von Anpassungsstrategien für die Stadtplanung an die Auswirkungen des Klimawandels in Städten herangezogen werden.

2.2.2.2 Die regionale Synthetische Klimafunktionskarte Ruhrgebiet

Zur Erstellung der regionalen Synthetischen Klimafunktionskarte wurden zunächst alle im Laufe der Jahre erstellten Klimaanalysen für die Ruhrgebietskommunen zusammengetragen (siehe Abb. 2-21). Da die Ausarbeitungen der einzelnen Klimagutachten deutlich variieren, war z.T. eine starke Generalisierung hinsichtlich der Detailschärfe erforderlich, um eine vergleichbare Information für das gesamte Ruhrgebiet zu erreichen. Die Generalisierung erfolgte auf den Maßstab 1:50.000. Details, wie der Verlauf von kleinräumigen Hangabwinden, sind in dieser Maßstabebene nicht relevant und wurden daher vernachlässigt.

Die klimatische Situation in den Ruhrgebietskommunen ohne Klimaanalysen wurde aus der Flächennutzungskartierung unter Heranziehung der Geländedaten abgeleitet. Die Flächennutzungsstrukturen sind neben dem Relief wichtige Klimafaktoren, die für die Zuordnung eines Gebietes zu einem Klimatop entscheidend sind. So ist in der Regel von vergleichbaren mikroklimatischen Bedingungen auszugehen, wenn ähnliche oder gleiche Flächennutzungsstrukturen bei gleichen oder ähnlichen Reliefeigenschaften vorliegen. Auf Grund dieser Zusammenhänge wurden im ersten Schritt die über 200 Flächennutzungsarten je nach Klimatopzugehörigkeit klassifiziert, so dass eine kleinteilige Klimatopkarte resultierte. Unter Heranziehung von Luftbildern wurde diese im nächsten Schritt generalisiert.

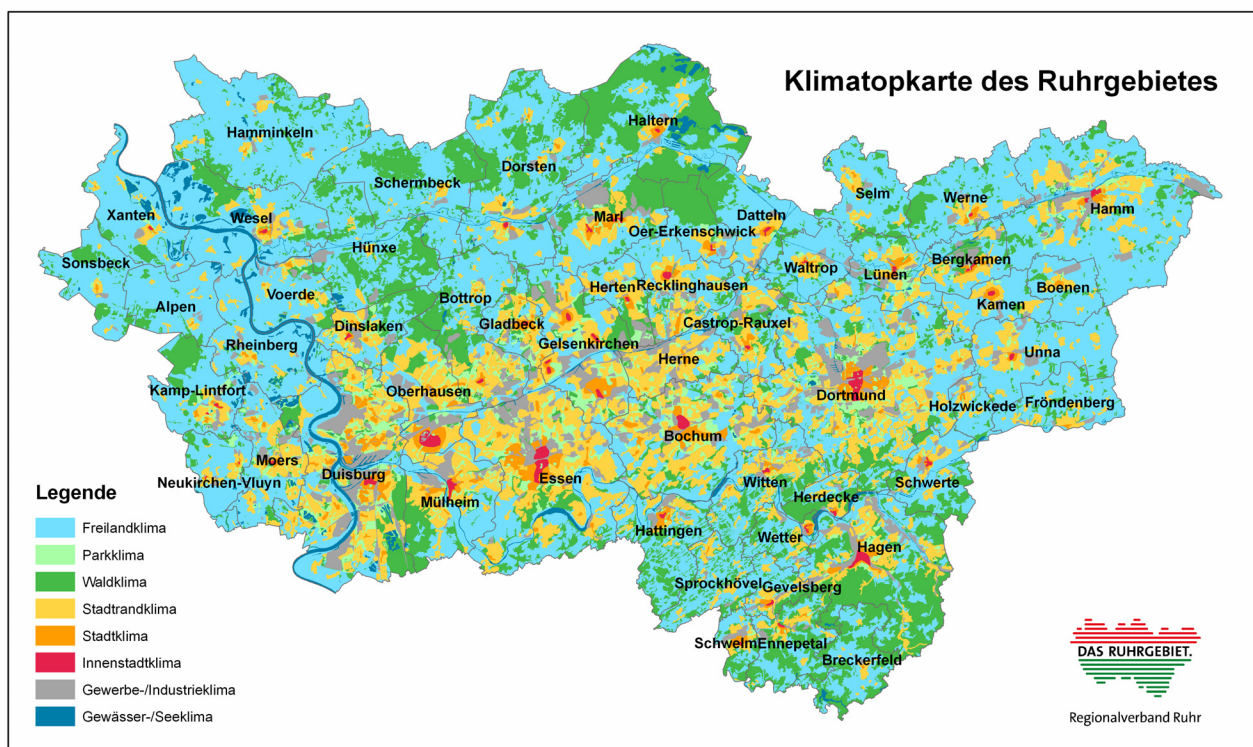


Abb. 2-23 Klimatopkarte des Ruhrgebietes (Quelle: RVR)

Auf diese Weise entstand zunächst eine Übersichtskarte der Klimatope (siehe Abb. 2-23). Unter „Klimatopen“ werden Flächen mit vergleichbaren mikroklimatischen Verhältnissen verstanden. Hinsichtlich der Abgrenzung der Klimatope ist anzumerken, dass sich klimatische Prozesse nicht linienscharf an Bebauungs- und Nutzungsgrenzen anpassen, sondern fließende Übergänge zu benachbarten Flächen aufweisen. Daher dürfen die Abgrenzungen der Klimatope inner-

halb der Synthetischen Klimafunktionskarte nicht als flächenscharfe Grenzziehungen aufgefasst werden.

In den bebauten Gebieten konnten die vier Einheiten „Innenstadtklima“, „Stadtklima“, „Stadtstrandklima“ und „Gewerbe-/Industrieklima“ kartiert werden. Die in den einzelnen Stadtklimaanalysen zum Teil dargestellten Flächen des Vorstadtklimas wurden in der regionalen Übersicht bedingt durch die Generalisierung dem „Stadtstrandklima“ zugewiesen. Der Einfluss innerstädtischer Freiräume wird durch die Signatur des „Parkklimas“, der des Wassers durch die Signatur „Gewässerlima“ herausgestellt. Außerhalb der Siedlungsräume bestimmen „Freiland-“ und „Waldklimatope“ die klimatische Situation. Im Folgenden werden die einzelnen, in der regionalen synthetischen Klimafunktionskarte des Ruhrgebietes vorkommenden Klimatope näher erläutert.

Innenstadtklima

Charakteristische Flächennutzungen in Innenstadtklimatopen sind Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohngebäude mit vielgeschossigen Baublöcken. Kennzeichnend sind weiterhin ein sehr hoher Versiegelungsgrad sowie ein geringer Grünflächenanteil, der nur durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, z. T. mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. In den Innenstadtklimaten kann daher ein erhöhtes Belastungspotential durch Hitzestress und Schwüle entstehen. Zusätzlich macht sich ein Wind-Diskomfort durch Böigkeit und Windturbulenzen im Bereich von Straßenschluchten und offenen Plätzen bemerkbar.

klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Durch die geringe Abkühlung in den Abendstunden wird die Aufenthaltsdauer im Stadtzentrum verlängert, wodurch die Attraktivität der Innenstadt als kulturelles Zentrum erhöht wird. ☺ Die in den Nachtstunden anhaltende thermische Turbulenz vergrößert den bodennahen Durchmischungsraum (Schadstoffverdünnung) ☺ Geringer Anteil stagnierender Luftaustauschsituationen ☺ Starke Senkung des Heizenergieverbrauchs 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Erhöhtes Belastungspotential durch Hitzestress und Schwüle möglich ☹ Winddiskomfort im Bereich von Straßenschluchten und offenen Plätzen. Erhöhte Böigkeit, Windturbulenzen und Zugigkeit ☹ Ein- und Ausfallstraßen erweisen sich als belastete Luftleitbahnen; hohe Luft- und Lärmbelastung im Straßenraum

Stadtklima

Kennzeichnend für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit meist hohen Baukörpern und engen Straßen. Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die z. T. mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen und hoher Luftbelastung gekoppelt sind.

klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Windgeschwindigkeitsreduktionen, bedingt durch höhere Rauigkeiten, sind unter der Voraussetzung geringer bodennaher Schad- 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Innerhalb enger Straßenzüge eingeschränkte Austauschverhältnisse sowie Wärmestau bei direkter Sonneneinstrahlung

<p>stoffemissionen wohnklimatisch und heizklimatisch günstig einzustufen</p> <p>☺ Kältestress und Winddiskomfort werden durch die Bebauungsstrukturen reduziert</p> <p>☺ Während Inversionswetterlagen trägt der Wärmeinseleffekt durch vertikalen Luftaustausch zu einer Aufrechterhaltung eines bodennahen Durchmischungsraumes bei; bodennahe Luftschadstoffe werden verdünnt</p>	<p>☹ Erhöhtes Schwülepotehtial in engen, austauscharmen Straßenschluchten</p> <p>☹ Fehlende Abschattungsstrukturen durch verdunstungsaktive Baumkronen fördern die Hitze- und Wärmebelastung</p> <p>☹ Im Einflussbereich bodennaher Schadstoffemittenten (v. a. Kfz-Verkehr) erhöhtes Immissionspotential durch eingeschränkte horizontale Austauschverhältnisse</p> <p>☹ Lang anhaltende nächtliche Überwärmungsphasen können sich im Sommer negativ auf das Innenraumklima auswirken</p>
--	--

Stadtrandklima

Stadtrandklimatope zeichnen sich durch eine überwiegend lockere Bauweise und einen relativ hohen Grünanteil aus. Charakteristisch für die dem Stadtrandklima zuzuordnenden Wohngebiete ist daher, dass die stadtklimatischen Effekte nur einen geringen und selten stark belastenden Ausprägungsgrad erreichen. Durch die relative Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen ist eine Frischluft- und Kaltluftzufuhr auch während gradientschwacher Wetterlagen meist gewährleistet.

klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
<p>☺ Die z. T. ausgeprägte Windabschwächung wirkt sich wohnklimatisch günstig aus und führt zu einer Einsparung an Heizenergie</p> <p>☺ Durch die Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen wird die Frischluft- und Kaltluftzufuhr während windschwacher Wetterlagen begünstigt</p> <p>☺ Optimales Wohn- und Schlafklima durch eine starke nächtliche Abkühlung im Sommer</p> <p>☺ Lokale und regionale Grünzonen sind häufig fußläufig zu erreichen</p> <p>☺ Hohe Variabilität der Mikrokimate durch das Nebeneinander unterschiedlich stark verdichteter Wohngebiete (Einfamilienhäuser, lockere Reihenhausbauung, offene Bebauungsstrukturen) und Park- und Grünflächen</p>	<p>☹ Natürliche Ungunstlagen, wie Mulden und Senken können lokal zur Erhöhung des bioklimatischen Belastungspotentials beitragen</p> <p>☹ Wärmebelastungen am Tage können durch fehlende Abschattungsstrukturen (hoher Rasenanteil im Wohnumfeld, geringer Baumbestand) erhöht sein</p> <p>☹ Eingeschränkte vertikale Austauschverhältnisse während windschwacher Strahlungswetterlagen können bedingt durch lokale bodennahe Emittenten das Immissionsrisiko erhöhen</p> <p>☹ Im Einflussbereich bodennaher Kaltluftströme und windexponierter Kuppenlagen erhöhter Heizenergiebedarf</p>

Gewerbe- und Industrieklima

In diesem Klimatotyp prägen Gewerbe- und Industriegebiete mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten das Mikroklima. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad in Kombination mit erhöhten Emissionen kommt es verstärkt zu immissionsklimatischen und bioklimatischen Belastungssituationen.

klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Die in den Nachtstunden anhaltende thermische Turbulenz vergrößert den bodennahen Durchmischungsraum (Schadstoffverdünnung) ☺ Relativ günstige bodennahe Austauschverhältnisse 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Lufthygienischer Lastraum, lokale Schadstoffemissionen ☹ lang anhaltende nächtliche Wärmebelastungen

Parkklima

Parkklimate sind gekennzeichnet durch aufgelockerte Vegetationsstrukturen mit Rasenflächen und reich strukturierten lockeren Baumbeständen. Aus diesem Grund treten vielfältig variierende Ein- und Ausstrahlungsbedingungen auf, die zu vielfältigen Klimaten auf kleinstem Raum führen. Parkklimatope können sehr wirksam zum Abbau von bioklimatischen Belastungen beitragen. Dabei ist die Reichweite von Parkflächen von der Größe der Parkanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung abhängig.

klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Gedämpfter Tagesgang der Lufttemperaturen und der Windgeschwindigkeiten ☺ Lokale Abkühlungseffekte durch Schattenzonen und erhöhte Verdunstungsraten (Oaseneffekt) ☺ Geringe thermische und bioklimatische Belastungen am Tage ☺ Größere parkartige Grünflächen erweisen sich als innerstädtische Kaltluftproduzenten ☺ Vielfältig variierende Ein- und Ausstrahlungsbedingungen ☺ Keine Emissionen ☺ Filter für gas- und staubförmige Luftschadstoffe ☺ Wertvolle Regenerations- und Erholungsräume 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Das günstige Bioklima begrenzt sich in der Regel auf die Fläche selbst und zeigt nur geringe Fernwirkung

Freilandklima

Freilandklimate stellen sich über den überwiegend landwirtschaftlich genutzten Außenbereichen ein und zeichnen sich durch starke Jahres- und Tagesgänge von Temperatur und Feuchte sowie nahezu ungestörte Windströmungsbedingungen aus. Da zudem in diesen Bereichen meist wenige oder keine Emittenten angesiedelt sind, handelt es sich um bedeutsame Frischluftgebiete. Bei geeigneten Wetterlagen tragen Freilandflächen darüber hinaus zur Kaltluftbildung bei. In diesem Zusammenhang erweisen sich ausgedehnte Wiesen- und Ackerflächen sowie Freiflächen mit lockerem Gehölzbestand als sehr effektiv.

klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Geringe Schwüle- und Wärmebelastung und hoher bioklimatischer Stellenwert als Erholungsraum ☺ Wertvolle Frischluft Räume ☺ Keine Emissionen ☺ Landwirtschaftlich genutzte Flächen mit hoher Kaltluftproduktion (starke Abkühlung in den Nachtstunden) und damit klimaökologische Ausgleichsräume für angrenzende Bebauungsstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Bedingt durch die geringe Rauigkeit Winddiskomfort möglich ☹ Bodeninversionen während autochthoner Strahlungsnächte fördern das Immissionspotential ☹ Erhöhter Heizenergiebedarf im Vergleich zu den städtischen Bereichen

Waldklima

Typische Ausprägungen des Waldklimas sind stark gedämpfte Tages- und Jahresgänge der Temperatur und Feuchte. Tagsüber bedingen die Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum, nachts treten dagegen vergleichsweise milde Temperaturen aufgrund der durch das Kronendach der Bäume verminderten Ausstrahlung auf. Waldflächen erweisen sich durch ihre sehr geringen thermischen und bioklimatischen Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Hervorzuheben ist weiterhin die Filterkapazität der Waldflächen gegenüber Luftschadstoffen. Durch Ad- und Absorption können Waldflächen gas- und partikelförmige Luftschadstoffe ausfiltern.

klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Mildes ausgeglichenes Stammraumklima aufgrund des gedämpften Tagesgang der Lufttemperaturen bei allgemein niedrigen Temperaturen ☺ Sehr geringe thermische und bioklimatische Belastung ☺ Luftruhe im Stammraum wirkt Kälte- und Winddiskomfort entgegen ☺ Keine Emissionen ☺ Frischluft- und Reinluftgebiete ☺ Filter für gas- und staubförmige Luftschadstoffe ☺ Wertvolle Regenerations- und Erholungsräume 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Aufgrund der hohen Oberflächenrauigkeit keine Luftleitfunktion

Gewässer-/Seeklima

Wasserflächen können einen starken Einfluss auf das lokale Klima ausüben. Dabei bleibt der Einfluss meist auf das Gewässer und die unmittelbare Umgebung beschränkt (VDI 3787 Bl.1 1997). Gegenüber der Umgebung haben insbesondere große Wasserflächen einen ausglei-

chenden thermischen Einfluss durch schwach ausgeprägte Tages- und Jahresgänge. Die Lufttemperaturen sind im Bereich der Gewässer im Sommer tagsüber niedriger und nachts höher als im Umfeld. Darüber hinaus zeichnet sich das Gewässerklima durch eine hohe Luftfeuchtigkeit und Windoffenheit aus (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.), 2008).

klimate Günstfaktoren	klimate Ungünstfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> ☺ Die geringe Oberflächenrauigkeit begünstigt die Belüftungsfunktion ☺ Reduzierte Erwärmung am Tage mit gleichzeitig hoher Verdunstung ☺ Geringe thermische und bioklimatische Belastung tagsüber im Uferbereich ☺ Keine Emissionen ☺ Die Reliefsituation der Bachläufe begünstigt den Kaltlufttransport in die Bebauung 	<ul style="list-style-type: none"> ☹ Kaltluft erwärmt sich beim Überströmen von Wasserflächen ☹ Die bioklimatisch günstige Situation ist auf den Ufersaum beschränkt ☹ Aufgrund der hohen Wärmekapazität der Wasserkörper kühlen diese nachts nur gering ab

In der Synthetischen Klimafunktionskarte Ruhrgebiet (Ausschnitt siehe Abb. 2-24) sind neben den Klimatopen spezifische Klimaeigenschaften und spezielle Klimafunktionen dargestellt. Hierunter sind zusätzliche Modifikationen der Klimatopeigenschaften einzelner Flächen durch natürliche und anthropogene Klimafaktoren zu verstehen.

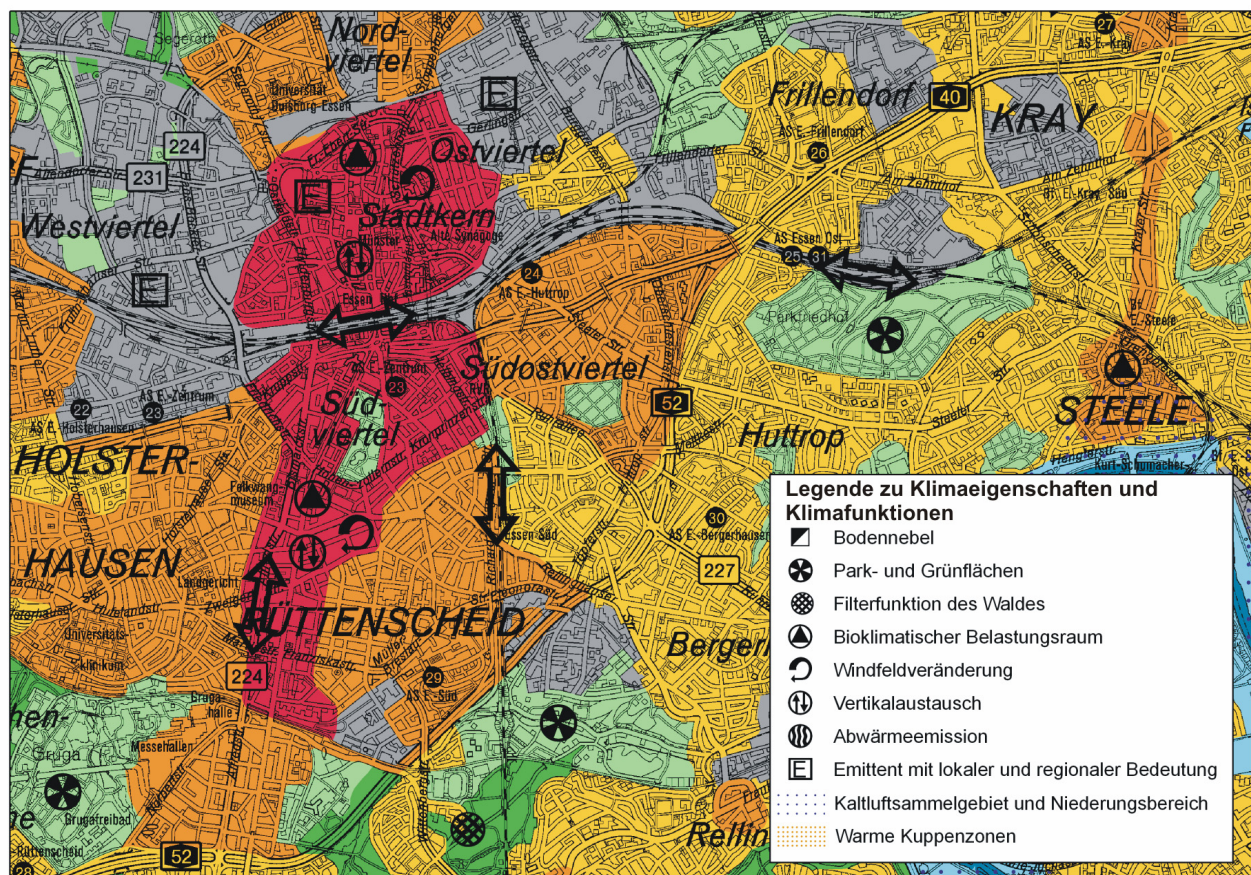


Abb. 2-24 Ausschnitt aus der Synthetischen Klimafunktionskarte Ruhrgebiet: Spezifische Klimaeigenschaften und spezielle Klimafunktionen (Quelle: RVR)

Spezifische Klimaeigenschaften

Die Ausprägungen der spezifischen Klimaeigenschaften sind eng an bestimmte Wetterlagen gekoppelt, wobei die windschwachen Strahlungswetterlagen im Vordergrund stehen. Im Einzelnen werden in der Synthetischen Klimafunktionskarte die folgenden Eigenschaften ausgewiesen:

- **Kaltluftsammlgebiet und Niederschlagsbereich**
Diese Regionen zeichnen sich durch eine erhöhte Inversionshäufigkeit in Verbindung mit Nebelbildung während der Nacht aus.
- **Warme Kuppenzonen**
Die „warmen Kuppenzonen“ zeichnen sich dadurch aus, dass sie lange Zeit aus den nächtlichen Bodeninversionen herausragen, kalte Luft abfließen kann und somit die Kuppenzonen relativ warm bleiben. So erreichen sie z. T. eine den dichten Bebauungsstrukturen analoge Überwärmung durch eine natürliche Temperaturzunahme mit der Höhe während nächtlicher Inversionswetterlagen. Darüber hinaus ist den Kuppenzonen ein hoher Durchlüftungsgrad zuzusprechen.
- **Bahnanlagen**
Größere Bahntrassen weisen einen ausgeprägten Temperaturtagesgang (hohe Oberflächentemperaturen tagsüber, niedrige Temperaturen nachts) und zumeist einen guten Luftaustausch auf. Daher kann ihnen für die Belüftung der Innenstädte ein hoher Stellenwert beigemessen werden.
- **Hauptverkehrsstraßen**
Hauptverkehrsstraßen erweisen sich als lineare Emissionsbänder für Luftschadstoffe mit zusätzlich erhöhter Lärmemission. Aufgrund ihrer Breite und geringen Rauigkeit fällt ihnen häufig die Funktion einer belasteten Luftleitbahn zu.
- **Bodennebel**
Aufgrund des hohen Wasserangebotes und/oder bedingt durch die topographische Lage besteht eine erhöhte Nebelhäufigkeit in den Niederschlagsbereichen.

Spezielle Klimafunktionen

Unter diesem Stichwort werden Funktionen hervorgehoben, die in einigen Klimatopen besonders hervortreten und Eigenschaften haben, die zwar schon im Zusammenhang mit der Klimatopbeschreibung erwähnt wurden, hier jedoch stärker ausgeprägt sind. Diese Funktionen sind im Einzelnen:

- **Bioklimatische Entlastung durch Park- und Grünflächen**
Die als Parkklimatope bezeichneten Flächen haben aufgrund ihrer besonderen bioklimatischen Funktion einen hohen Stellenwert als wohnumfeldnahe Klimaoasen. Größere Parkflächen mit vielfältigen Vegetationsstrukturen weisen sowohl ähnliche bioklimatische Gunstbedingungen wie der Wald als auch Freilandeigenschaften auf. Damit können diese Flächen als sehr wertvolle Regenerationsräume für die Bevölkerung angesehen werden.

- **Filterfunktion des Waldes**
Größere Waldflächen haben die Eigenschaft, einerseits durch trockene Deposition im Stammraum und am Blatt- und Nadelwerk, andererseits durch nasse Deposition im Erdreich und Wurzelraum des Waldes eine Filterfunktion auf Luftschadstoffe auszuüben. Erhöht wird die Filterleistung noch während nächtlicher Strahlungswetterlagen, wenn die Luftmassen am Blattwerk abkühlen, in den Stammraum absinken und durch wärmere Luft aus größerer Höhe ersetzt werden. Dadurch ist ein kontinuierlicher Luftdurchsatz gewährleistet.
- **Bioklimatischer Belastungsraum**
Bioklimatische Belastungsräume zeichnen sich bedingt durch die hohe Versiegelung durch eine starke Erwärmung am Tag und eine ausgeprägte nächtliche Wärmeinsel aus. Dies kann in den Sommermonaten Hitze- und Schwülebelastungen hervorrufen, die eine starke bioklimatische Belastung für den Menschen darstellen. Zusätzlich wird bei wind-schwachen Wetterlagen eine Situationsverschlechterung durch lokal emittierte Schadstoffe hervorgerufen.
- **Windfeldveränderungen**
Das Windfeld in der Stadt wird durch Kanalisierung im Straßenraum oder durch Düsen- und Kanteneffekte stark modifiziert. Wechseln sich unterschiedliche Bauformen sowie stark unterschiedlicher Höhen der Gebäude ab in Verbindung mit einem Nebeneinander von bebauten und unbebauten Flächen tritt eine starke Turbulenz des Windfeldes auf. Dadurch erhöht sich die Zugigkeit und Böigkeit im Straßenraum, dies hat eine stark reduzierte Aufenthaltsqualität im Freien zur Folge.
- **Vertikalaustausch**
Durch den anthropogenen Wärmeinseleffekt werden die Luftmassen in den zentralen Stadtbereichen labilisiert. Daraus resultieren eine nächtliche Vergrößerung des Durchmischungsraumes und eine starke thermische Konvektion am Tag. Dadurch wird die Bodeninversionshäufigkeit im Vergleich zu den Freilandgebieten auf ein Minimum herabgesetzt.
- **Abwärmeemission**
Auch die Abwärmeemissionen der Industrie wirken sich in thermisch-bioklimatischer Hinsicht aus. In erster Linie bedeutet dies eine Erhöhung der bioklimatischen Belastung im Umfeld der Standorte.

Luftaustausch

In einer dritten Informationsebene der Synthetischen Klimafunktionskarte sind die für die Belüftung bedeutsamen Bereiche anhand von Pfeilsignaturen hervorgehoben (Abb. 2-25). Einen hohen Stellenwert in der Stadtklimatologie nimmt der Luftaustausch zwischen den weniger belasteten Entlastungsräumen und den Lasträumen einer Stadt ein.

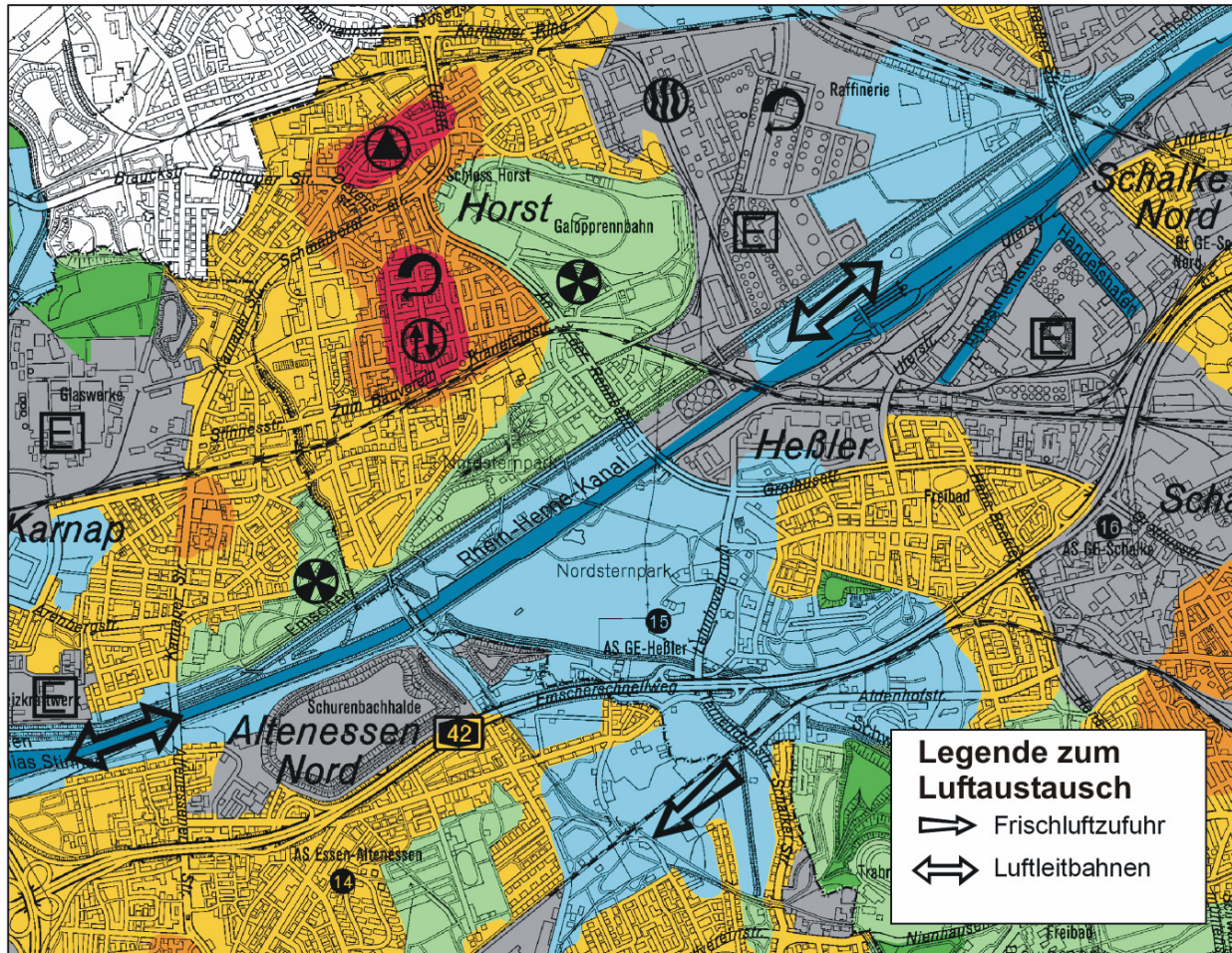


Abb. 2-25 Ausschnitt aus der Synthetischen Klimafunktionskarte Ruhrgebiet: Luftaustausch (Quelle: RVR)

Der kleinräumige Luftaustausch wird in der Klimafunktionskarte durch unterschiedliche Pfeilsignaturen dargestellt:

- **Luftleitbahnen**
Luftleitbahnen sind dort wirksam, wo bei entsprechenden Wetterlagen durch geringe Reibungshindernisse ein Transport von Luftmassen aus dem Umland in die Stadt oder in angrenzende Stadtstrukturen stattfindet. Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind Luftleitbahnen klimarelevant, da sie in der Lage sind, weniger belastete Luftmassen in die Lasträume der Stadt zu transportieren. Luftleitbahnen sind selten breiter als 200 m und ihre Begrenzung wird durch Bebauungsränder oder das Relief vorgegeben.
- **Frischluftzufuhr**
Über bestimmte größere und hindernisarme Freiflächen gelangen frischere und kühlere Luftmassen bis in die Siedlungsbereiche. Im Vergleich zu den Luftleitbahnen werden die Luftströmungen dabei nicht gebündelt, so dass die Frischluftzufuhr über diese Flächen nur bei bestimmten Windrichtungen von Bedeutung ist.

2.2.2.3 Der internetbasierte Klimaatlas Ruhrgebiet

Der künftige Klimaatlas Ruhrgebiet ist eine digitale Informationsplattform zum Klima im Ruhrgebiet und kann über den Internetauftritt des Regionalverbandes Ruhr aufgerufen werden. Informationsgrundlage bilden die synthetischen Klimafunktions- und Planungshinweiskarten der Ruhrgebietskommunen sowie die regionale Synthetische Klimafunktionskarte des Ruhrgebietes (siehe Kap. 2.2.2.2). In den Planungshinweiskarten werden die Inhalte der synthetischen Klimafunktionskarten hinsichtlich der Klimafunktion bewertet und mit Empfehlungen zur Flächengestaltung für die räumliche Planung versehen. Die Planungshinweiskarten geben Informationen zu klimatischen Gunst- und Ungunstgebieten (Ausgleichsräume und Lasträume), zur Klimatop- und Freiflächenvernetzung sowie Hinweise zu möglichen Maßnahmen zur Verbesserung des lokalen Klimas.

Diese Kartengrundlagen stehen im Klimaatlas als interaktive Karten in Kombination mit dem Stadtplanwerk zur Verfügung. In verschiedenen Maßstabsbereichen kann der Nutzer ausgehend von der Regionalen Übersichtskarte bis hinunter auf die Stadtbezirksebene zunehmend detaillierte Informationen zum Stadtklima durch „Klick“ in die Karte abrufen. Klimafunktions- und Planungshinweiskarten können dabei durch das Ein-/Ausblenden verschiedener Ebenen beliebig mit Luftbildern, dem digitalen Geländemodell oder dem Flächennutzungsplan kombiniert dargestellt werden, so dass der Klimaatlas zu einem wichtigen Analysewerkzeug der Stadtklimatologie wird.

Der Klimaatlas besticht durch seine Informationsfülle bei gleichzeitig einfacher Bedienbarkeit und Übersichtlichkeit. Neben den interaktiven Karten stehen dem Nutzer kurze prägnante Einführungen in das jeweilige Thema zur Verfügung, so dass auch Laien auf dem Gebiet der Stadtklimatologie einen guten Einstieg in das Thema finden. Damit stellt der Klimaatlas Ruhrgebiet eine Kombination aus Karten und Text zur Beurteilung des Stadtklimas im Ruhrgebiet auf regionaler bis lokaler Ebene dar. Abbildung 2-26 zeigt einen Screenshot aus dem Klimaatlas Ruhrgebiet mit einer Kombination aus Karten- und Textinformationen.

Für die Nutzer des Klimaatlasses Ruhrgebiet stehen verschiedene Funktionen zur Verfügung. Neben einer unscharfen Straßensuche zum leichten Auffinden von Gebieten gibt es eine komfortable Druckfunktion. Nach und nach wird der Klimaatlas inhaltlich erweitert und erhält zusätzliche Funktionen (z. B. das Messen von Strecken/Flächen).

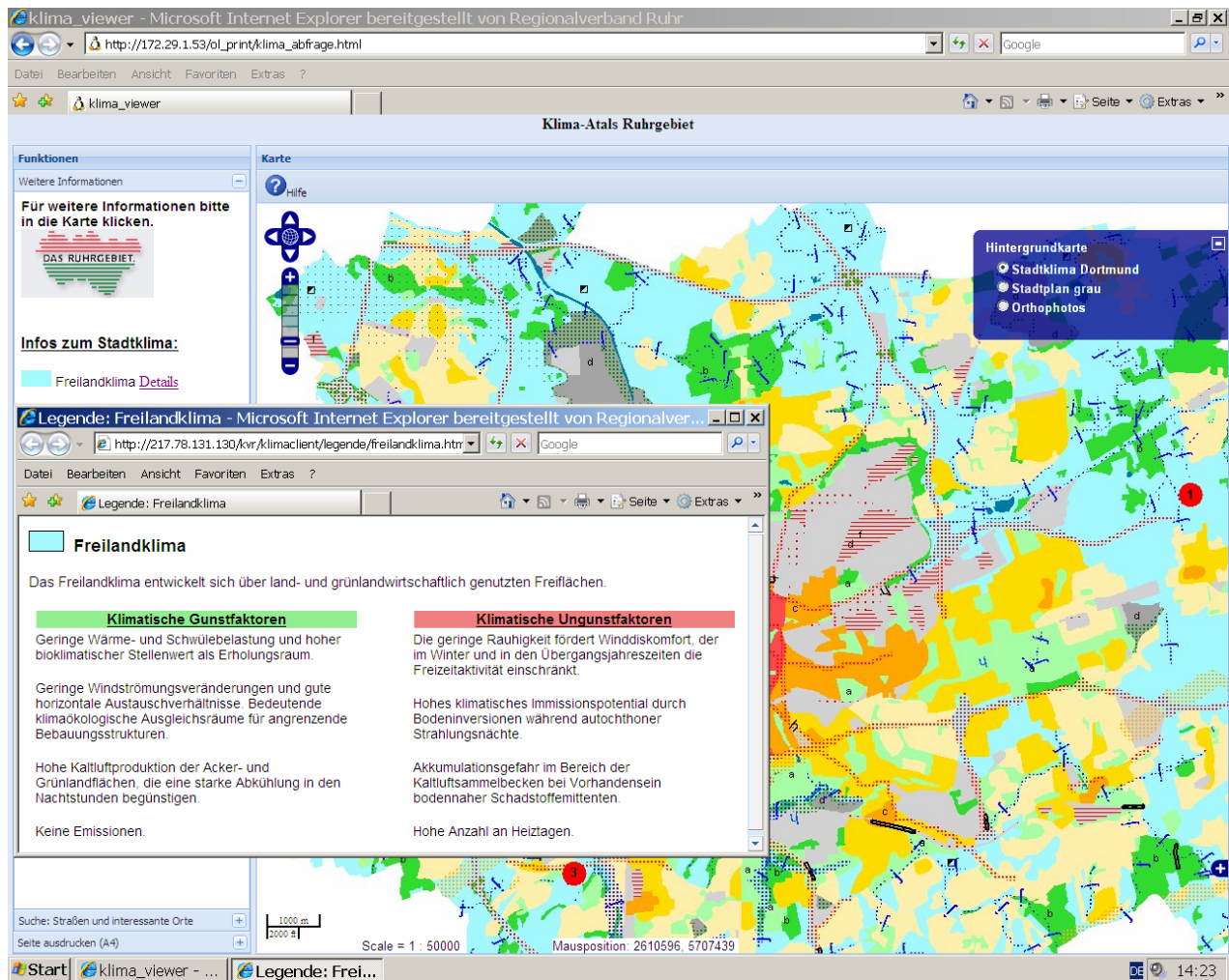


Abb. 2-26 Ausschnitt aus dem Klimaatlas Ruhrgebiet (Quelle: RVR)

2.2.3 Informationsquellen und Datenbasis für die Siedlungswasserwirtschaft

Die für den Bereich der Siedlungswasserwirtschaft geltenden Bemessungswerte für Anlagen der Siedlungsentwässerung sind wie alle Grundlagen und Regeln zur Bemessung baulicher Anlagen in diversen DIN-Normen festgelegt und von jedem öffentlichen oder privaten Bauherren zu beachten. Die heute gültigen Bemessungsregeln und anzusetzenden Lastwerte basieren auf statistischen Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses bestimmter Größe, Höhe oder Intensität und der Abschätzung der Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit eines Bauteils oder eines Systems.

Die heute gültigen Regelwerke (Kap. 2.2.3.1) stellen die Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Siedlungsentwässerung und der Trinkwasserversorgung für die in unseren Breitengraden bisher üblichen Klimaverhältnisse und Wetterereignisse sicher. Als Extremwetterereignisse können also solche Ereignisse betrachtet werden, die über die Bemessungswerte der Regelwerke hinausgehen bzw. deren Auswirkungen die Leistungsfähigkeit eines Systems übersteigt oder dessen Funktionsfähigkeit wesentlich beeinträchtigt. Insbesondere in dicht besiedelten Räumen

können sich erhebliche Gefährdungspotenziale für Bevölkerung und volkswirtschaftliche oder andere Schutzgüter ergeben aus dem ungünstigen Zusammenwirken eines extremen Wetterereignisses mit den örtlichen Randbedingungen des Gebiets, in dem das Ereignis stattfindet, wie der Topographie, der Siedlungsstruktur und der Leistungsfähigkeit der (Entwässerungs-) Infrastruktur.

2.2.3.1 Bemessung kommunaler Entwässerungssysteme

Die Normenreihe DIN EN 752 (DIN 2008) und das DWA-Arbeitsblatt A 118 (DWA 2006) enthalten die Grundsätze zur Bemessung kommunaler Entwässerungssysteme (Schwerkraftentwässerung). Diese zielen mit den Anforderungen an den Überflutungsschutz in erster Linie auf Neuplanungen und Sanierungen/ Systemverbesserungen. Für die Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bestehender Entwässerungssysteme hat die frühere ATV-DVWK-Arbeitsgruppe ES-2.1 (heute: DWA-AG ES-2.5) einen Arbeitsbericht vorgelegt (ATV-DVWK 2004). Weitere in Deutschland geltende Regelungen im Bereich der Gebäude-, Grundstücks- und Siedlungsentwässerung sind in der Abbildung 2-27 dargestellt.

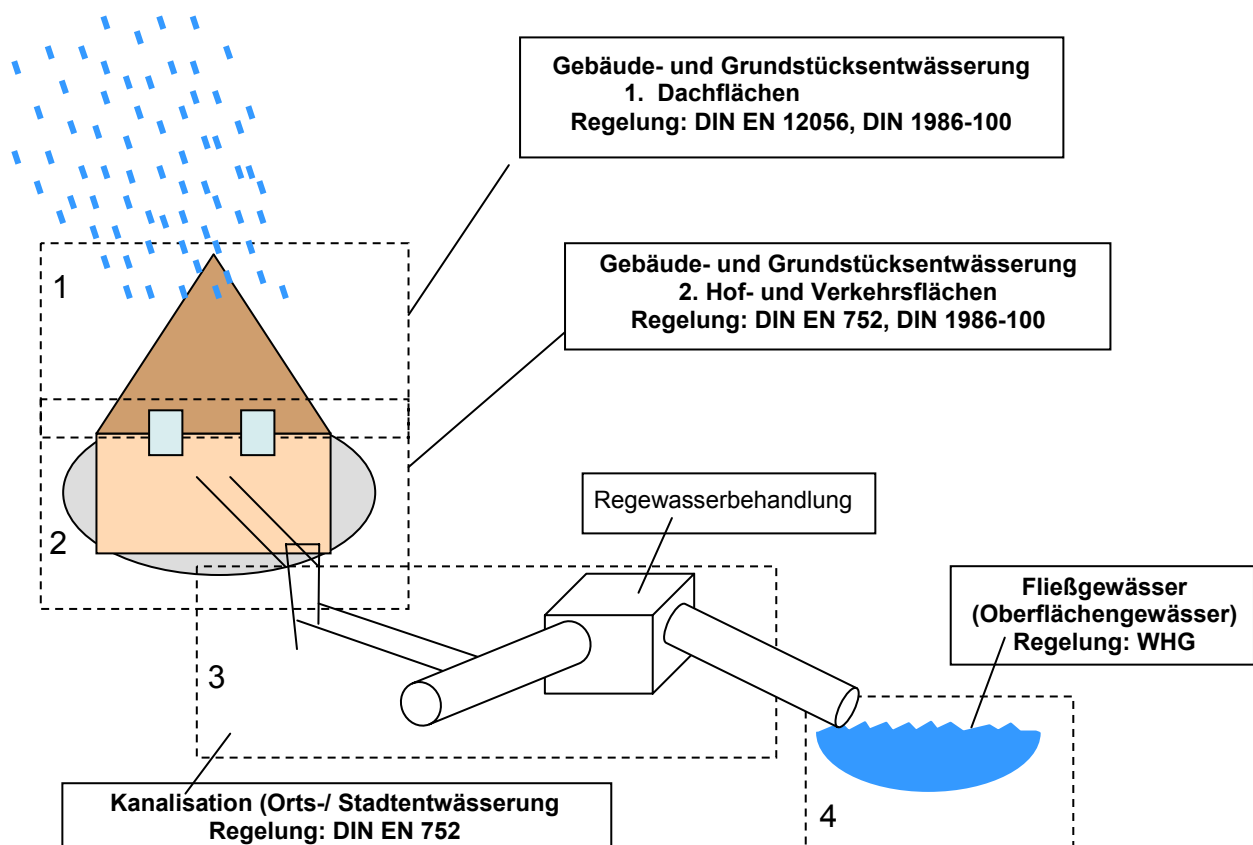


Abb. 2-27 Regelungen der Gebäude-, Grundstücks- und Siedlungsentwässerung (Eigene Darstellung nach URBAS 2008)

Die Bemessung von Sonderbauwerken der Siedlungsentwässerung wie Regenrückhaltebecken oder Regenwasserbehandlungsanlagen, Abwasserpumpwerke oder komplexe Zusammenführungsbauwerke, die hinsichtlich der Funktion des Gesamtsystems häufig entscheidende Einzelkomponenten der Siedlungsentwässerung darstellen, ist in einer Vielzahl von weiteren DIN-

Standards und DWA-Arbeitsblättern geregelt, die nicht alle hier aufgelistet werden können. Die Bemessung solcher Bauwerke erfordert über die Kenntnisse der Bemessungsstandards hinaus großes Expertenwissen und viel Erfahrung, um die meist hochspezifischen örtlichen Randbedingungen in der Planung berücksichtigen zu können. Da die Stadtplanung insbesondere im Fall der Neuanlage oder Erweiterung von Wohn- und Gewerbegebieten aber großen Einfluss darauf hat, ob und wo solche Sonderbauwerke erforderlich werden, ist zukünftig unbedingt eine gemeinsame und zeitgleiche, d. h. eine „integrierte“ Planung von städtebaulicher Entwicklung und wasserwirtschaftlicher Infrastruktur anzustreben.

In der deutschen Entwässerungspraxis ist es üblich, die hydraulische Leistungsfähigkeit der kommunalen Entwässerungssysteme über ein entsprechendes Niveau an Überstausicherheit nachzuweisen (DWA 2008). Eine Bemessung von Entwässerungsanlagen deutlich über diesem Niveau, führt zu erheblichen Steigerungen der Investitionskosten für den Entwässerungsbetreiber und die Anlieger, die sich über Anschlussgebühren und/ oder Umlagen an den Kosten beteiligen müssen. Darüber hinaus sind Fehlfunktionen (z. B. Ablagerungen, Geruchsbelästigung) in den Zeiten mit geringem oder mittlerem Niederschlagsanfall zu erwarten. Diese Fehlfunktionen können in Hitzeperioden oder in Perioden mit lang andauernder Trockenheit vermehrt auftreten und den Betriebsaufwand noch erhöhen. Der überstaufreie Betrieb wird durch das Kanalisationsnetz im Zusammenwirken mit Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und Rückstausicherungen der Grundstücksentwässerung sichergestellt (DWA 2008).

Grundsätzlich ist zwischen Überstau- und Überflutungsschutz zu unterscheiden:

- **Überstau:** Belastungszustand der Kanalisation, bei dem der Wasserstand ein definiertes Bezugsniveau überschreitet.“ (DWA 2006).
- **Überflutung** (DIN EN 752-1): Zustand, bei dem Schmutzwasser und/ oder Regenwasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen.“ (DWA 2006)

Tabelle 2-8 enthält die maßgeblichen Wiederkehrzeiten zur Berechnung der Überstauhäufigkeit. Gemäß Tabelle 2-8 müssen bestehende Entwässerungsanlagen in Stadtzentren, Industrie- und Gewerbegebieten beispielsweise so dimensioniert sein, dass bei voller Funktionsfähigkeit ein Überstau im statistischen Mittel höchstens einmal in drei Jahren auftritt.

Tab. 2-8 Überstauhäufigkeiten „1-mal in n Jahren“ nach DWA-A 118 (DWA 2006) (geplante Anlagen) und ATV-DVWK 2004 (bestehende Anlagen)

Örtlichkeit	Geplante Anlagen (DWA 2006) [Überstau 1-mal in n Jahren]	Bestehende Anlagen (ATV-DVWK 2004) [Überstau 1-mal in n Jahren]
Ländliche Gebiete	Ländliche Gebiete 1 in 2	-
Wohngebiete	1 in 3	1 in 2
Stadtzentren, Industrie und Gewerbegebiete	seltener als 1 in 5	1 in 3
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	seltener als 1 in 10 bzw. bei Unterführungen 1 in 50	1 in 5

Im Allgemeinen gilt die Höhe der Straßenoberfläche am Anschlusspunkt als Rückstauenebene, d. h. das Bezugsniveau wird so festgelegt, dass die Kanalisation gerade nicht überläuft. Anlieger der Kanalisation, deren Hausanschluss oder Grundstücksentwässerung meist nur wenige Dezimeter über der Kanalisation liegen, haben sich deshalb eigenverantwortlich nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik gegen Rückstau über die Hausanschlüsse beispielsweise mit Rückstauklappen zu sichern. Diese Verpflichtung des Grundstückseigentümers, zum Schutz seines Eigentums selbst beizutragen, ist in den Entwässerungssatzungen der Kommunen festgeschrieben. Die meisten Kommunen des Ruhrgebiets haben Hinweise im Internet, Informationsbroschüren und Leitfäden veröffentlicht, um ihre Bürger sachgerecht zu informieren.

Eine Überflutung kann eintreten, wenn Starkregen mit Wiederkehrzeiten oberhalb der maßgebenden Überstausicherheit auftreten. Der Überflutungsschutz kann durch eine Prüfung der örtlichen Gegebenheiten bewertet und bei Bedarf (Risikobetrachtung) durch entsprechende Maßnahmen sichergestellt werden (DWA 2008). Bei den Überflutungshäufigkeiten gelten laut DWA-A 118 für Neuplanungen bzw. geplante Systemverbesserungen die in Tabelle 2-9 angegebenen Häufigkeiten.

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)

Örtlichkeit	Häufigkeit der Bemessungsregen (für die keine Überlastungen auftreten dürfen) [1-mal in n Jahren]	Überflutungshäufigkeit [1-mal in n Jahren]
Ländliche Gebiete	1 in 1	1 in 10
Wohngebiete	1 in 2	1 in 20
Stadtzentren, Industrie und Gewerbegebiete		
mit Überflutungsprüfung	1 in 2	1 in 30
ohne Überflutungsprüfung	1 in 5	-
Unterirdische Verkehrsanlagen, Unterführungen	1 in 10	1 in 50

Generell gilt es, die Überflutungssicherheit unter Einbeziehung der Ableitungs- und Speicherkapazitäten von Verkehrs- und Freiflächen bzw. wenn erforderlich, durch lokale Maßnahmen zum Objektschutz zu erreichen. Dies sicherzustellen, ist eine Gemeinschaftsaufgabe der beteiligten kommunalen Akteure, wie z. B. Stadtentwässerung, Tiefbauamt, Stadtplanungsamt, Straßenbaulastträger und Grünflächenamt (DWA 2008).

Während es im Bereich der Überflutungen aus größeren Gewässern in Folge von Hochwassern seit einigen Jahren weitgehend abgestimmte Verfahren der Gefahren- und Risikoanalyse und der Darstellung der Ergebnisse in Gefahren- und Risikokarten gibt, werden entsprechende

Untersuchungsmethoden und Darstellungsformen für die Gefährdung durch Überflutungen in Folge von Stark- oder Dauerniederschlägen im kommunalen Raum (Handabfluss, Ausuferung urbaner (Klein-)Gewässer und Entwässerungsgräben, Überlastung der städtischen Kanalisation) noch kaum eingesetzt (URBAS 2008). Das Hochwasserereignis vom 26.07.2008 in Dortmund hat den bestehenden Handlungsdruck über die Grenzen des Ruhrgebiets hinaus noch einmal deutlich gemacht und entsprechende Aktivitäten der Kommunen beschleunigt, Überflutungsrisiken in ihren Gebieten systematisch zu identifizieren und in die bestehenden Katastrophenvorsorgesysteme zu integrieren (Grünewald et al. 2009).

2.2.3.2 Weitere Informationsquellen und Daten aus dem Bereich der Wasserwirtschaft und der Siedlungsentwässerung

In der Wasserwirtschaft regeln in Deutschland im Wesentlichen vier Rechtssysteme die Erfordernisse und Optionen staatlichen bzw. kommunalen Handelns (URBAS 2008):

- das Wasserrecht (Wasserhaushaltsgesetz (WHG), Landeswassergesetze (LWG)),
- das Planungsrecht (Raumordnung, Flächennutzung, Bauleitplanung),
- das Baurecht (Zulässigkeit, Bemessung und Ausführung baulicher Anlagen gemäß DIN- und/ oder EN-Standards),
- das Ordnungs- und Polizeirecht (staatliche Katastrophenvorsorge, -schutz und -nachsorge).

Ergänzt werden diese rechtlichen Festlegungen durch Arbeits- und Merkblätter der wissenschaftlich-technischen Fachverbände in den Bereichen Wasser, Abwasser, Abfall und Gewässerschutz, DWA (www.dwa.de), BWK (www.bwkbund.de) und DVGW (www.dvgw.de), sowie durch Empfehlungen und Berichte z. B. der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, www.lawa.de), die durch Erlasse von Bundes- oder Landesbehörden Rechtskraft erlangen können. Die von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (<http://www.fgsv.de>) herausgegebenen *Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS)* bzw. *für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06)* sind die in Deutschland gültigen technischen Regelwerke für den Entwurf und den Bau von Straßen. Die technischen Standards des Deutschen Instituts für Normung (DIN) wie auch eine große Zahl der oben genannten Arbeits- oder Merkblätter bzw. Richtlinien der großen Fachverbände formulieren den für alle Planungen und Ausführungen verbindlichen „Stand der Technik“ und sind deshalb durch öffentliche wie private Planer in der jeweils aktuellen Form anzuwenden. Insbesondere der Umgang mit zu viel Niederschlagswasser aufgrund der sich ändernden Klimaverhältnisse wird zukünftig wahrscheinlich einen pragmatischen Umgang der Planer und Genehmigungsbehörden mit den z. T. nicht konsistenten Vorgaben und Zielsetzungen der verschiedenen technischen Standards erfordern, um kostenintensive Neu- und Umbauten möglichst vermeiden und stattdessen neuartige, kosteneffiziente Anpassungslösungen umsetzen zu können.

Über die Technischen Standards zur Planung, Bemessung und Umsetzung technischer Bauten und Anlagen hinaus erfordert die Erarbeitung standortgerechter, klimarobuster urbaner Infrastruktur- bzw. städtebaulicher Anpassungslösungen weitere Informationen über den natürlichen und den menschengemachten Bestand der umgebenden Topographie und Infrastruktur sowie über technische und andere Potenziale der betrachteten Gebiete. Im Bereich der Wasserwirt-

schaft und der Siedlungsentwässerung existieren bei den für die Siedlungsentwässerung zuständigen Institutionen der Städte und Gemeinden, aber auch bei den sondergesetzlichen Wasserverbänden in NRW (www.agw-nrw.de) entsprechende weiterführende Datengrundlagen, die für eine integrierte städtebauliche und wasserwirtschaftliche Planung ebenfalls zur Verfügung gestellt werden können.

Die Städte und Gemeinden des Ruhrgebiet liegen weitestgehend in den Verbandsgebieten von Emschergenossenschaft und Lippeverband (EG/LV, www.eglv.de) sowie des Ruhrverbands (www.ruhrverband.de). Die Wasserverbände in NRW erbringen z. T. seit über 100 Jahren in ihren jeweiligen Flussgebieten regionsübergreifende Dienstleistungen und Anpassungsmaßnahmen für und in enger Zusammenarbeit mit ihren kommunalen und industriellen Mitgliedern. Wichtige Hinweise für die Planung und Umsetzung umweltgerechter und klimarobuster Siedlungs- und Infrastrukturen können beispielsweise flächendeckende Darstellungen der Grundwasserflurabstände im Ruhrgebiet sein (Abb. 2-28).



Abb. 2-28 Beispiel für typische Flurabstände im Emschergebiet (Quelle: EG/LV)

Die Konzeption und Planung effektiver Einrichtungen zum Rückhalt und zur Versickerung von Niederschlagswasser erfordert detaillierte, flächendeckende Informationen über die relevanten Randbedingungen wie Untergrundbeschaffenheit, Grundwasserstände, Vorhandensein von potenziellen oder tatsächlichen Bodenverunreinigungen (Altlasten) usw.. Im Zuge der Umsetzung der Zukunftsvereinbarung Regenwasser haben Emschergenossenschaft und Lippeverband weite Teile der dicht besiedelten Bereiche Ihrer Verbandsgebiete hinsichtlich der genannten Randbedingungen untersucht, aggregiert und in einem Plan „Abkopplungspotenzial“ dargestellt. Abbildung 2-29 zeigt einen Ausschnitt aus diesem Planwerk, das bei der EG/LV angefordert werden kann.

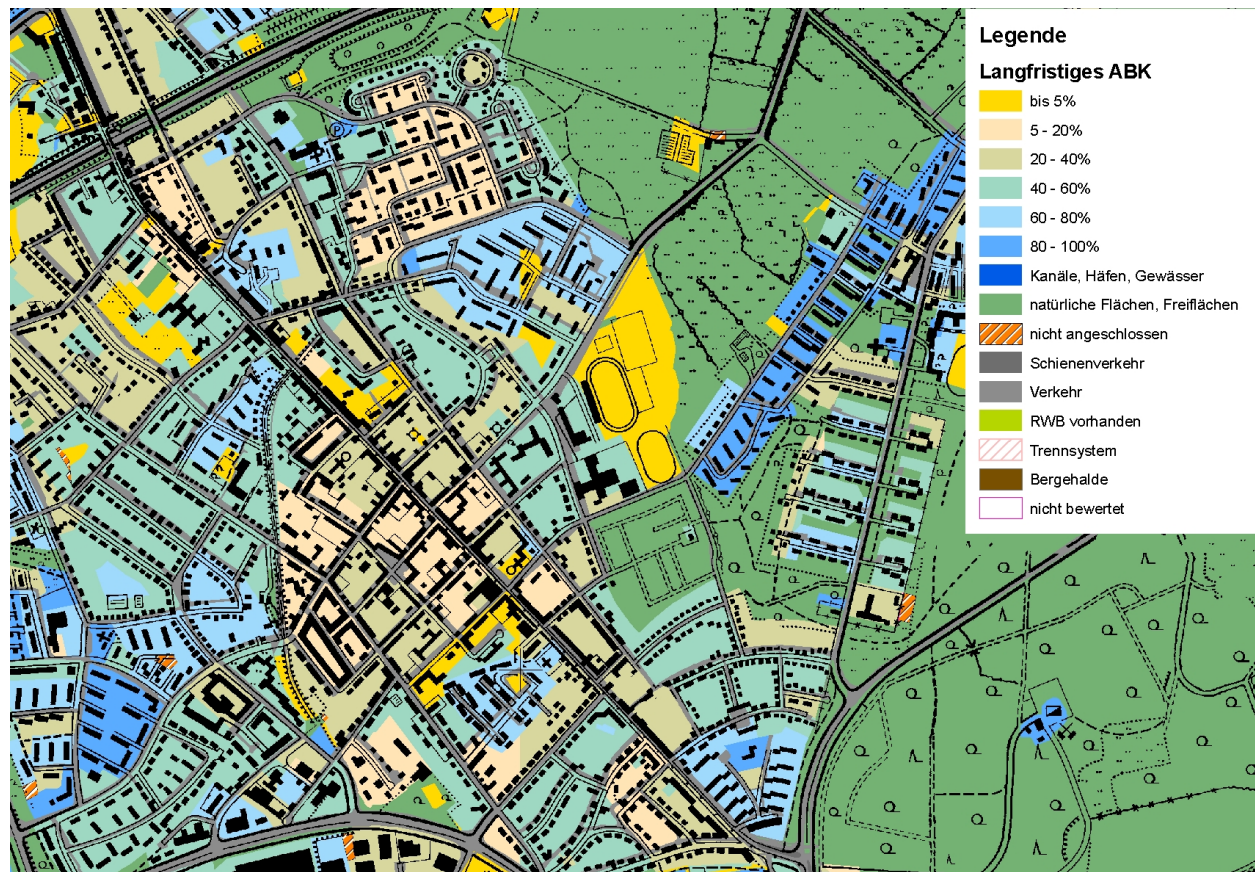


Abb. 2-29 Beispiel für langfristiges Abkopplungspotenzial im Emschergebiet (Quelle: EG/LV)

Ansprechpartner in den Städten und Gemeinden zum Thema Siedlungsentwässerung sind meist die Tiefbauämter oder die Stadtentwässerungsabteilungen in den kommunalen Verwaltungen oder ausgegliederten Entwässerungs- bzw. Wirtschaftsbetriebe der Kommunen (siehe Tabelle 2-10). Die Aufgaben der Unteren Wasserbehörde als Genehmigungs- und Vollzugsbehörde in der Wasserwirtschaft sind heute meist getrennt vom Management der kommunalen Wasserinfrastruktur und Fließgewässer organisiert, das z. B. für die Aufgaben Planung, Betrieb und Finanzierung zuständig ist.

Tab. 2-10. Verantwortliche Stellen der Kommunen für die Siedlungsentwässerung

Kommune	Verantwortliche Stellen für die Siedlungsentwässerung	Kontakt/ Link auf Homepage
Duisburg	Wirtschaftsbetriebe Duisburg (AöR)	http://www.wirtschaftsbetriebe-duisburg.de/produkte/wasser/Stadtentwaesserung.php
	Stadt Duisburg - Amt für Wasser und Kreislaufwirtschaft (Amt 33)	http://www.duisburg.de/vv/33/index.php
Essen	Untere Wasserbehörde, Umweltamt „Umweltvorsorge, Umweltplanung“	http://www.use24.essen.de/Webportal/agency/default.aspx?OrganizationUnitId=468&ShowEmployees=true
	Stadtwerke Essen AG	http://www.stadtwerke-essen.de/abwasser/

Kommune	Verantwortliche Stellen für die Siedlungsentwässerung	Kontakt/ Link auf Homepage
Bochum	Untere Wasserbehörde Bochum	http://www.bochum.de/C125708500379A31/vwContentByKey/W27P6ER6986BOLDDE
	Tiefbauamt Bochum	http://www.bochum.de/C125708500379A31/vwContentByKey/W2726935348BOLDDE
Dortmund	Tiefbauamt Dortmund	http://tiefbauamt.dortmund.de/project/assets/template5.jsp?acode=grossprojekte.tiefbaustrassenverkehr.stadtentwässerung&aid=0&aorder=phoneprivate_country&smi=8.0&tid=47131;
Hagen	Stadtentwässerung Hagen (AöR)	http://www.sehagen.de
Kreis Wesel	Dezernat 60 Kreis Wesel	http://www.kreis-wesel.de/C125748F003698E3/html/2FA20432F22826A1C12574A200252ACA?opendocument&nid1=22626_33754
Hamm	Lippeverband - Stadtentwässerung Hamm	http://www7.citeq.de/20/probuerger/public/aemter_detail.cfm?hierarchie_ID=220&hierarchien_datenweitergabe=
Mülheim an der Ruhr	Untere Wasserbehörde Mülheim an der Ruhr	http://www.muelheim-ruhr.de/cms/wasser_abwasser1.html
	Mülheimer Energiedienstleistungs GmbH	http://www.muelheim-ruhr.de/cms/abwasser1.html
Oberhausen	Wirtschaftsbetriebe Oberhausen GmbH	http://www.wbo-online.de/
	Tiefbauamt Oberhausen (Fachbereich 5-6-40 / Schnittstelle WBO GmbH)	http://www.oberhausen.de/B6184A99AEF040C998B0443E95396D1C.php
Bottrop	Tiefbauamt Bottrop (66/3 Stadtentwässerung)	http://www.bottrop.de/vv/oe/dezernat4/66/113010100000058949.php
Gelsenkirchen	Referat Umwelt - Untere Wasserbehörde Gelsenkirchen	http://stadt.gelsenkirchen.de/Applikationen/Dienstleistungskatalog/default.aspx?kid=6
	Umweltportal Gelsenkirchen (Infos Bereich Wasser)	http://umweltportal.gelsenkirchen.de/Wasser/Wasser_Uebersicht.asp
	Abwassergesellschaft Gelsenkirchen mbH Gelsenkanal	http://gelsenkanal.de/web/main/entw.html
Herne	Stadtentwässerung Herne GmbH & Co. KG	http://www.se-herne.de/
Kreis Unna	Kreis Unna, Dezernat II, Fachbereich Natur und Umwelt	http://www.kreis-unna.de/startseite/politik-amp-verwaltung/verwaltung/natur-und-umwelt/wasser-und-boden.html
Kreis Recklinghausen	Tiefbauamt Recklinghausen (Fachbereich 62)	http://www.recklinghausen.de/PolitikVerwaltung/Verwaltung/Fachbereiche/Fachbereich_62.asp
Ennepe-Ruhr-Kreis	Kreishaus, Fachbereich VI Bau, Umwelt, Vermessung u. Kataster	http://www.enkreis.de/Ansprechpartner-in.192+M54f7fd1f90e.0.html

2.2.3.3 Datenquellen zu extremen Wetterereignissen mit Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft

Als Extremwetterereignisse mit Relevanz für die Siedlungswasserwirtschaft können Wetterphänomene gelten wie Starkregen, extreme Hagelfälle, eine längere Episode von „*Heißen Tagen*“ (Hitze), lang andauernde Trockenperioden sowie Stürme und Gewitter, die nach Menge und/oder Intensität über die zur Bemessung von Anlagen, Gebäuden und anderer Infrastruktur anzusetzenden Werte für Standfestigkeit und Funktionsfähigkeit hinausgehen (siehe Abbildung 2-30). Kaum Einfluss haben dagegen selbst extreme Schneefälle, Eisregen oder anhaltende Kälte, die über in unseren Breitengraden bekannte Tiefstwerte nicht hinausgeht. Stürme, Gewitter und andere extreme Starkwindereignisse haben meist keine direkten Auswirkungen auf die Leitungsnetze der Siedlungswasserwirtschaft, können aber, wie bei anderen Industrieanlagen auch, den Betrieb von Pumpwerken, Kläranlagen und Trinkwasseraufbereitungsanlagen stark beeinträchtigen oder unterbrechen, wenn die Energieversorgung und Kommunikationsverbindungen unterbrochen oder die bauliche Infrastruktur oder wichtige Anlagenteile stark beschädigt werden.

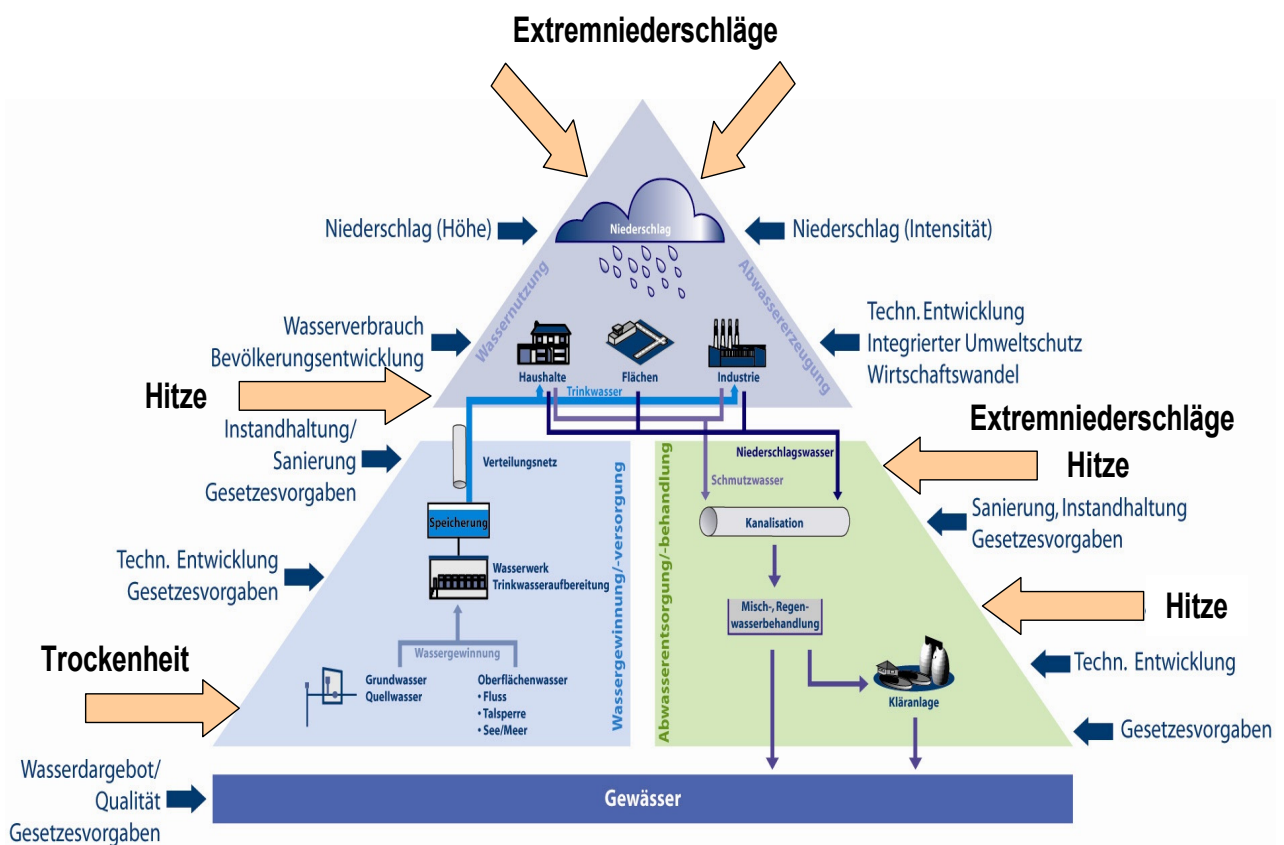


Abb. 2-30 Auswirkungen extremer Wetterereignissen auf die siedlungswasserwirtschaftliche Infrastruktur in Deutschland (Eigene Darstellung FiW)

Bei der Nutzung von Niederschlagsdaten ist zu beachten, dass an Niederschlagsstationen nur die dort punktuell aufgetretenen Niederschlagsmengen gemessen werden. Da Starkniederschläge meist sehr lokal auftreten, werden weder die überregneten Flächen noch die gefallenen Mengen genau erfasst, da sie häufig an Orten fallen, wo es keine Niederschlagsstation gibt. Für

die Erstellung von Gefahren- und Risikoanalysen auf kommunaler Ebene bzw. für das Einzugsgebiet eines Siedlungsentwässerungssystems bzw. einer Anlage der Siedlungsentwässerung müssen deshalb auch andere Informationsquellen wie z. B. der KOSTRA-Atlas („Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen“; DWD 1997, DWD 2005) oder historische Regenreihen herangezogen werden. Der KOSTRA-Atlas und seine Inhalte werden am Ende dieses Kapitels kurz erläutert.

Insbesondere für eine schnelle örtliche Reaktion auf Unwetter (Starkregen, Hagel, Gewitter) existieren derzeit noch keine sicheren und effektiven Vorhersagesysteme. Es gibt aber vielfältige Bemühungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur Einbeziehung von Radarinformationen (z. B. „KONvektionsentwicklung in RADarprodukten – KONRAD“ und „Feuerwehr-Wetter-Informationen-Systems FEWIS“) in die Vorhersage solcher Ereignisse (Grünewald et al. 2009). Durch koordinierte und damit räumlich und zeitlich höher aufgelöste Messungen an Stationen verschiedener Betreiber in Verbindung mit Niederschlagsradarbeobachtungen in „Echtzeit“ könnten zukünftig effektive regionale Vorhersagesysteme für Ballungsgebiete, Industrieanlagen und andere Gebiete mit hoher Schutzwürdigkeit aufgebaut werden. Im Abschnitt D „Meteorologie“ des BMBF-Verbundprojekts URBAS wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, wie die oben genannten Beobachtungs- und Warnsysteme bereits heute in einigen Kommunen eingesetzt werden und wie diese Systeme u.a. durch statistische Auswertungen ergänzt bzw. korrigiert und insgesamt verbessert werden können (URBAS 2008).

Die möglichen Auswirkungen von Extremwettern, insbesondere Extremniederschlägen, auf das Abflussverhalten eines Fließgewässers, d. h. den gewässerbezogenen Hochwasserschutz, oder auf die chemische bzw. ökologische Qualität von urbanen Fließgewässern sollen hier nicht betrachtet werden, da für diese in Nordrhein-Westfalen bereits flächendeckend Hochwasser-Aktionspläne (HWAP) bzw. Bewirtschaftungspläne nach den Vorgaben der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) erarbeitet wurden. So wurde z. B. 2002 mit einem Erlass des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes NRW festgelegt, einen HWAP für die Emscher zu erarbeiten. Diese Unterlagen und eine vollständige Beschreibung der Vorgehensweise sind unter „http://www.eglv.de/we_hochwasser/1.php“ öffentlich zugänglich. Weitere Informationen zu HWAP, zur Erstellung von Hochwassergefahrenkarten oder zur Abfrage von Pegelständen der größeren Gewässer in NRW (<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/aktuellhochwa.htm>) können bei Bedarf online über die Websites der fünf Bezirksregierungen in NRW und des Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV NRW) abgerufen werden.

Außergewöhnliche Wetterereignisse erfordern einheitliche Definitionen und Abgrenzungen, um sowohl staatlichen Funktionsträgern und Nichtfachleuten, als auch den Bürgern die Einordnung von Wettervorhersagen zu ermöglichen. In Ergänzung der normalen täglichen Wetterberichte veröffentlicht der DWD deshalb auf seiner Homepage („Warnkarte“) rund um die Uhr regionalisierte Wetter- und Unwetterwarnungen, die von staatlichen Stellen (insbesondere auf kommunaler Ebene), aber auch von Unternehmen und Bürgern beachtet werden sollten, um neben mittel- und langfristig wirksamen Vorsorgemaßnahmen auch kurzfristig geeignete Schutzmaßnahmen für öffentliche und private Güter zu ergreifen und damit ihren Anteil zur Schadensbegrenzung bei außergewöhnlichen Ereignissen zu leisten.

Für den Begriff der Hitzewelle liegt keine allgemein gültige Definition vor, da der Begriff u.a. vom jeweils üblichen Wetter einer (Welt-)Region abhängig ist. Der DWD definiert nur den Begriff des „Heißen Tages“ (ein Tag, an dem das Maximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$ beträgt). Tage mit Lufttemperaturen über 25 °C bezeichnet man in Deutschland als „Sommertage“. Eine Hitzewelle wird von einigen Quellen als eine Periode von mindestens drei Tagen mit - für die Region - extrem hohen Lufttemperaturen definiert, von anderen Quellen als eine Periode von mindestens fünf Tagen (u. a. Germanwatch 2007).

Die folgenden Tabellen 2-11 und 2-12 geben eine Übersicht über die Kriterien und Bezeichnungen, die der DWD seinen Wetter- bzw. Unwetterwarnungen zugrunde legt. Es erscheint zur besseren Kommunikation kommunaler Vertreter mit der Öffentlichkeit bedenkenswert, diese Kriterien auch für eine einfach verständliche Einstufung tatsächlich stattgefundenener außergewöhnlicher Wetterereignisse anhand der vorliegenden Messwerte heranzuziehen. Eine fachlich vertiefte Einordnung von Extremwetterereignissen sollte dagegen nur durch Experten und im Rückgriff auf extremwertstatistische Analysen durchgeführt werden.

Tab. 2-11 Kriterien für Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes unterhalb der Unwetterwarn-grenze (DWD 2009c)

Kriterien für Wetterwarnungen des DWD unterhalb der Unwetterwarngrenze		
Meteorologische Erscheinung	Schwellenwert	Bezeichnung
Windböen in ca. 10 m Höhe über offenem, freien Gelände Böenwarnung in exponierten Gipfel-lagen nach Einzelfallentscheidung	≥ 50 km/h, 14 m/s, 28 kn, 7 Bft	Windböen
	65 bis 85 km/h, 18 bis 24 m/s, 34 bis 47 kn, 8 Bft bis 9 Bft	Sturmböen
	90 bis 100 km/h, 25 bis 28 m/s, 48 bis 55 kn, 10 Bft	Schwere Sturmböen
Gewitter	elektrische Entladung, auch in Verbindung mit Windböen	Gewitter
starkes Gewitter	in Verbindung mit Sturmböen, schweren Sturmböen, Starkregen oder Hagel	
Starkregen	10 - 25 l/m ² in 1 Stunde 20 - 35 l/m ² in 6 Stunden	Starkregen
Dauerregen	25 - 40 l/m ² in 12 Stunden 30 - 50 l/m ² in 24 Stunden 40 - 60 l/m ² in 48 Stunden	Dauerregen
leichter Schneefall in Lagen über 800 m: Einzelfallent-scheidung	bis 5 cm in 6 Stunden bis 10 cm in 12 Stunden	Schneefall
Schneefall in Lagen über 800 m: Einzelfallent-scheidung	5 bis 10 cm in 6 Stunden 10 bis 15 cm in 12 Stunden über 800 m: bis 30 cm in 12 Std.	
Schneeverwehung in Lagen über 800 m: Einzelfallent-scheidung	Neuschnee oder lockere Schneedecke 5-10 cm und wiederholt Böen 6 oder 7 Bft	Schneeverwehung
Glätte	durch überfrierende Nässe nach starker Taubildung, durch sehr starke Reifablagerungen oder bei vorhandener frischer Schneedecke	Glätte
örtlich Glatteis	kurzzeitig oder kleinräumig durch gefrierenden Regen oder Sprühregen, auch bei Auftreten von überfrierender Nässe mit erheblichen Verkehrsbehinderungen	
Nebel	überörtlich Sichtweite unter 150 m	Nebel
Frost	verbreitet oder anhaltend Luft-temperatur unter dem Gefrierpunkt in der Zeit vom 01.04. bis 31.10. jeden Jahres, in Lagen bis 800 m	Frost
	überörtlich oder anhaltend Lufttemperatur ≤ - 10 Grad in Lagen bis 800 m	Strenger Frost

Tab. 2-12 Kriterien für Unwetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2009d)

Warnkriterien für Unwetterwarnungen des DWD			
Meteorologische Erscheinung	Schwellenwert	Bezeichnung	extremes Unwetter mit Zusatztext
Windböen in ca. 10 m Höhe über offenem, freiem Gelände; Böen- und Unwetterwarnung in exponierten Gipfellagen nach Einzelfallentscheidung	105 bis 115 km/h, 29 bis 32 m/s, 56 bis 63 kn, 11 Bft	Orkanartige Böen	
	ab 120 km/h, ab 33 m/s, ab 64 kn, 12 Bft	Orkanböen	überörtlich mehr als 140 km/h
Sehr starkes konvektives Ereignis. Gewitter mit Hagelschlag, heftigem Starkregen oder orkan(artigen) Böen	Es genügt, wenn eine der begleitenden Wettererscheinungen ihr Unwetterkriterium erfüllt, bei Hagel mit einem Durchmesser der Hagelkörner größer als 1,5 cm	Schweres Gewitter	
Starkregen	> 25 l/m ² in 1 Stunde > 35 l/m ² in 6 Stunden	Heftiger Starkregen	
Dauerregen	> 40 l/m ² in 12 Stunden > 50 l/m ² in 24 Stunden > 60 l/m ² in 48 Stunden	Ergiebiger Dauerregen	verbreitet > 70 l/m ² in 12 Std. > 80 l/m ² in 24 Std. > 90 l/m ² in 48 Std.
Schneefall	> 10 cm in 6 Stunden > 15 cm in 12 Stunden in Lagen über 800 m: > 30 cm in 12 Std.	Starker Schneefall	verbreitet > 25 cm in 12 Std. in Lagen über 800 m: verbreitet > 50 cm in 12 Std.
Schneeverwehung in Lagen über 800 m: Einzelfallentscheidung	Neuschnee oder lockere Schneedecke > 10 cm und wiederholt Böen ab 8 Bft	Starke Schneeverwehung	
Glatteis	verbreitet Glatteisbildung am Boden oder an Gegenständen in Einzelfallentscheidung auch bei verbreitetem Auftreten von überfrierender Nässe mit erheblichen Verkehrsbehinderungen	Glatteis	
Tauwetter	mit Dauerregen bei einer vorhandenen Schneedecke (> 15 cm)	Starkes Tauwetter	

Für die extremwertstatistische Einordnung eines außergewöhnlichen Niederschlagsereignisses reicht ein einfacher Vergleich mit den Rekordniederschlägen in Deutschland nicht aus. Grundlage für eine solche Einordnung ist eine planmäßige detaillierte Auswertung von Nieder-

schlagsmessungen über eine möglichst lange Zeitperiode (Grünwald et al. 2009). Der Deutsche Wetterdienst führte zusammen mit dem Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) solch eine Analyse durch und erstellte erstmals 1997 das Kartenwerk „Starkniederschlagshöhen für Deutschland“, den sogenannten KOSTRA-Atlas („Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen“; DWD 1997, DWD 2005).

Die im KOSTRA-Atlas enthaltenen Starkniederschlagshöhen basieren auf einer einheitlichen Auswertung von „punktuell ermittelten Starkniederschlagshöhen verschiedener Dauerstufen und Wiederkehrzeiten (Jährlichkeiten) sowie deren Übertragung auf Standorte, für die keine langfristigen Niederschlagsregistrierungen vorliegen“ (DWD 1997). Die Starkniederschlagshöhen sind für Dauerstufen von 15 min, 60 min, 12 h, 24 h, 48 h und 72 h für Wiederkehrzeiten von 1 Jahr, 10 Jahren und maximal 100 Jahren in Rasterfeldkarten dargestellt. Dabei wird für Dauerstufen ab 12 Stunden noch in Sommer-(Mai-September-) und Jahresniederschläge unterschieden. Die Auflösung der KOSTRA-Daten beträgt etwa 8,5 km x 8,5 km.

Für Planungszwecke bzw. für die Erstellung von Gefahren- und Risikoanalysen sollten für die Niederschlagshöhen bzw. -spenden aus KOSTRA-DWD 2000 (DWD 2005) in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit folgende Toleranzbeträge berücksichtigt werden:

bei $0,5 \text{ a} \leq T \leq 5 \text{ a}$ $\pm 10 \%$

bei $5 \text{ a} < T \leq 50 \text{ a}$ $\pm 15 \%$

bei $50 \text{ a} < T \leq 100 \text{ a}$ $\pm 20 \%$.

Eine weitere Einordnung extremer Niederschläge ist durch einen Vergleich mit den PEN-Werten („Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags“) möglich (Grünwald et al. 2009). Mit diesen Werten können für die hydrologische Praxis Niederschlagshöhen mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1.000 und 10.000 Jahren zur Verfügung gestellt werden. Sie sind in Rasterfeldkarten analog dem KOSTRA-Atlas für Dauerstufen von 6 h, 12 h, 24 h, 48 h und 72 h dargestellt (Verworn & Kummer 2003). Die Methodik der Ermittlung der PEN-Niederschlagshöhen erlaubt es allerdings nicht, die gemessenen Niederschlagshöhen extremwertstatistisch einzuordnen.

Extreme Niederschläge können auch mit den MGN-Werten („Maximierter Gebietsniederschlag“) verglichen werden. „MGN-Werte sind durch Maximierung meteorologischer Größen gebildet, sie stellen also eine Annäherung an das mögliche physikalisch/ klimatologische Maximum dar. Diesem kann keine vernünftige Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Die MGN-Werte werden nach menschlichem Ermessen nicht erreicht.“ (DVWK 1997 nach Grünwald et al. 2009). Die MGN-Werte liegen für Gebietsgrößen von 25 km², 100 km², 500 km² und 1000 km² vor. Außerdem erfolgt eine jahreszeitliche Unterteilung, wobei die Monate Juni-August dem Sommer zugeordnet sind.

3. Erkennen von Problemen und Identifikation von Problemgebieten

3.1 Definition von Problemfeldern

Wie in Kap. 1.2 dargelegt wurde, verursacht der urbane Siedlungsraum im Vergleich zum wenig oder nicht bebauten Umland klimatische Veränderungen, die mit dem Begriff Stadtklima bezeichnet werden. Die Gründe für diese Klimamodifikationen liegen in der Bebauungsstruktur, der Versiegelung, dem verringerten Vegetationsbestand sowie der Vielzahl an Emittenten der Sparten Kfz-Verkehr, Hausbrand und Industrie/Gewerbe. Dadurch werden stadtklimatische Charakteristika hervorgerufen, die überwiegend zum Nachteil der Stadtbevölkerung führen können. Zu den Phänomenen zählen

- die städtische Wärmeinsel
- das modifizierte Windfeld
- eine Veränderung des Niederschlagsgeschehens
- veränderte Luftfeuchtigkeitsverhältnisse und
- erhöhte Konzentrationen atmosphärischer Spurenstoffe.

Aus den genannten Eigenschaften lassen sich Problemfelder ableiten, deren Darstellung und Beschreibung für die angewandte Stadtklimatologie und vor allem für die Stadtplanung von Bedeutung sind. Die Auswirkungen des Klimawandels auf das Stadtklima und damit auf den Menschen und seinen urbanen Lebensraum verschärfen die Belastungen in den Problemfeldern in Zukunft noch zusätzlich.

3.1.1 Problemfeld der städtischen Wärmeinsel

Die städtische Überwärmung stellt insbesondere aus human-biometeorologischer Sicht ein Problem dar. Während heißer Sommertage kann es gegenüber dem Umland zu einer erhöhten thermischen Belastung für die Bevölkerung kommen (Mayer et al. 2008). Diese Belastung beschränkt sich nicht nur auf den Aufenthalt im Freien während der Tagstunden, sondern setzt sich nachts in den Häusern fort. Die künstlichen Oberflächenmaterialien sowie die Bausubstanz absorbieren die kurzweilige Einstrahlung und speichern diese als Wärme, die verzögert sowohl an die Atmosphäre abgegeben wird als auch in die Baukörper eindringt. Hieraus resultiert ein gegenüber dem Umland erhöhtes thermisches Niveau (Grimmond & Oke 2002). Die städtische Wärmeinsel ist in den mittleren Breiten insbesondere in Sommernächten nachweisbar und kann zu human-bioklimatischen, thermischen Belastungen führen (Mayer 2006) (s. Kap. 1.2). Insbesondere dicht bebaute Innenstadtbereiche weisen dieses Phänomen auf, da aufgrund mangelnder Durchlüftung sowie des in der Regel fehlenden Anschlusses an Kaltluft leitende Ventilationsbahnen die warme Luft nicht abtransportiert wird und die Gebäude nicht hinreichend gekühlt werden können (Kuttler 2004a).

Abbildung 3-1 macht den Zusammenhang zwischen der Überwärmung und dem Versiegelungsgrad eines urbanen Standortes deutlich. Hierzu wurden die über 1 Jahr gemessenen Lufttemperaturen an unterschiedlichen Standorten in Bottrop ausgewertet. Das Ergebnis zeigt, dass die Jahresdurchschnittstemperatur pro 10 % mehr Versiegelung um ca. 0,08 °C ansteigt.

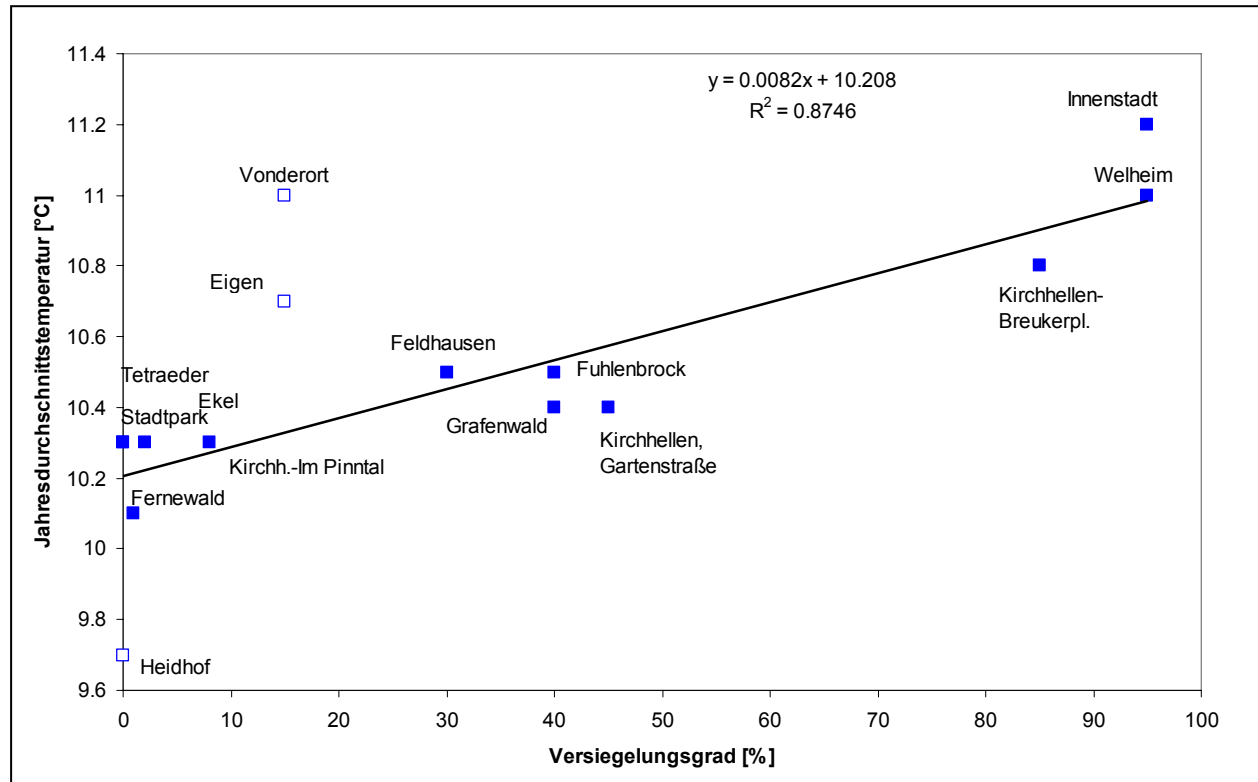


Abb. 3-1 Jahresdurchschnittstemperatur in Abhängigkeit von dem Versiegelungsgrad eines Standortes am Beispiel der Stadt Bottrop (Daten: RVR)

Die urbane Überwärmung hat über das Jahr gesehen auch einen positiven Effekt, da in der kalten Jahreszeit Energiekosten zur Gebäudeheizung und zur Schneebeseitigung eingespart werden können (Brandt 2007). Für die Stadtplanung stellt sich somit die Aufgabe, das Problem der städtischen Wärmeinsel so zu behandeln, dass im Wesentlichen die sommerlichen Temperaturspitzen reduziert werden.

3.1.2 Problemfeld des städtischen Windfeldes

Ausgehend von der Tatsache, dass im urbanen Raum sowohl die thermische als auch die luft-hygienische Belastung für die Bevölkerung sehr hoch sein kann, wäre ein effektiver atmosphärischer Austausch in der Stadt evident, damit ein Abtransport von überwärmter Luft und Schadstoffen erfolgen kann.

Die städtische Bebauung weiter Teile der urbanen Bodenoberflächen führt jedoch zu zwei negativen stadtklimatischen Effekten. Einerseits stellt der städtische Baukörper mit seiner Vielzahl an Gebäuden ein Strömungshindernis dar, was im Flächenmittel zur Reduktion der bodennahen Windgeschwindigkeit führt (Abb. 3-2). Nach Möller (2003) ist das Hauptkriterium für städtische

„Hot Spots“ z. B. der lokalen PM_{10} -Belastung nicht so sehr die Emission, als vielmehr die Gestaltung und Höhe der Straßenrandbebauung.

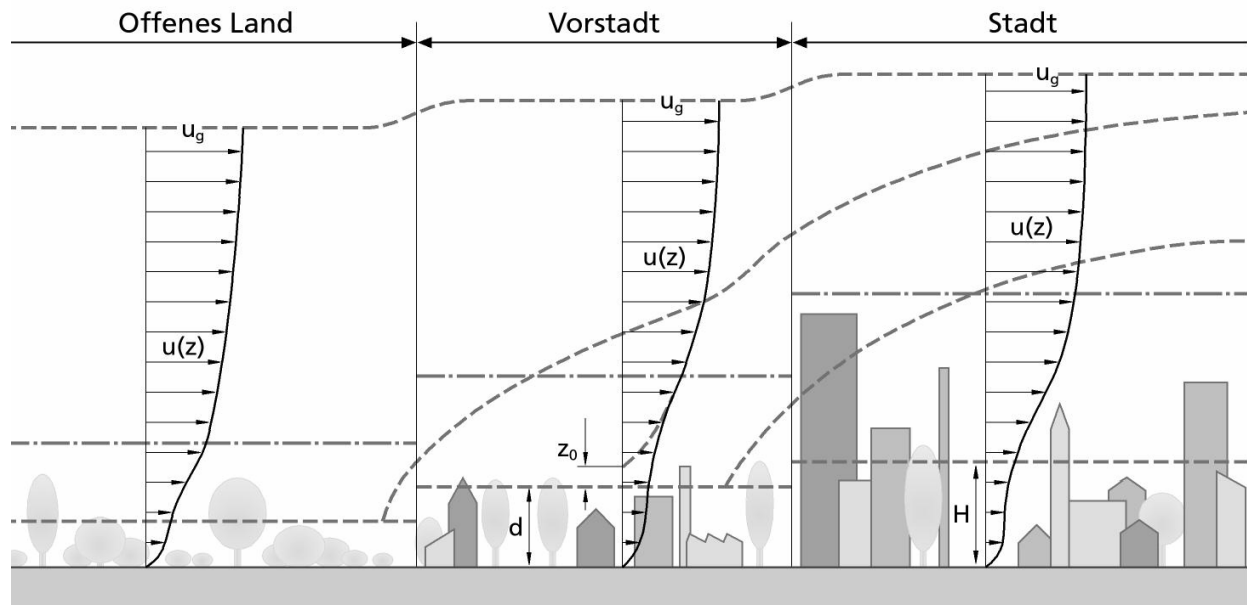


Abb. 3-2 Einfluss der Bebauung auf die vertikale Windgeschwindigkeitsverteilung (nach Plate 1995, verändert)

Andererseits nimmt jedoch an markanten Stellen die Böigkeit des Windes zu (Kuttler 2004a). Dieses betrifft insbesondere Kanalisierungen und Düseneffekte im Bereich von Gebäudeverengungen und Straßenschluchten. Da diese Effekte jedoch lokal begrenzt sind, haben sie – bezogen auf den gesamstädtischen, schwachen atmosphärischen Austausch – keinen positiven Einfluss.

Ein weiterer, den Austausch hemmender Faktor ist in der Wirkung von hoher und dichter Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Grünflächen und Ventilationsbahnen zu sehen. Dort führt die Vegetation zur Reduktion der bodennahen Windgeschwindigkeit („Windfänger“), so dass der Austausch erschwert sein kann. Besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt auf strahlungsnightliche, häufig nur schwach ausgebildete Kaltluftabflüsse aus (Dütemeyer 2000).

Das Relief innerhalb und außerhalb eines Stadtkörpers beeinflusst ebenfalls das bodennahe Windfeld und kann auf das Stadtklima positive aber auch negative Einflüsse haben. Das Relief kann im Fall von Tälern zu Kanalisierungseffekten führen. Hierdurch kann frische, kühle Umlandluft weit in den Stadtkörper hineingeführt werden. In Strahlungsnighten kann, auch bei entgegengesetzter Strömung in der freien Atmosphäre, bodennahe Kaltluft hangabwärts fließen und in die Bebauung vordringen. In heißen Sommernighten kann dies zu einer lokalen Abkühlung im Bereich der städtischen Bebauung führen (Abb. 3-3).

Negative Auswirkungen des Reliefs sind zu erwarten, wenn die Talsohle und die Talhänge urbane Flächennutzungen aufweisen. Die Bebauung kann die bodennahe Ventilation verringern. Im ungünstigsten Fall bildet eine quer zur Talachse oder längs zur Hangausrichtung orientierte Bebauung einen Strömungsriegel, der bei schwachen Bodenwinden eine Ventilation der leeseitigen Bebauung beeinträchtigen kann.

Starkregenereignisse (Niederschlagsmengen ab 10 l/m^2 in 1 Stunde, siehe Tabelle 2-11 im Kapitel 2.2.3.3) können sich besonders negativ auf das urbane Abflussregime auswirken. Aufgrund der hohen Oberflächenversiegelung der Stadt wird normalerweise ein Großteil des Niederschlages durch die Kanalisation abgeleitet, welche bei Starkregenereignissen jedoch überlastet sein kann. In Folge fließt das Regenwasser hauptsächlich oberirdisch ab und führt zu kurzzeitigen intraurbanen Überschwemmungen (Helbig et al. 1999). Die hieraus resultierenden Schäden äußern sich in der Zerstörung von Verkehrsinfrastruktur, Beschädigung von Baugebieten und baulichen Anlagen (UBA 2008d). Ferner kann es durch häufigere Schlagregen zu Abwaschungen von Spurenstoffen an Gebäude- und Lärmschutzwänden kommen, wodurch vermehrte und punktuelle Spurenstoffeinträge in den Boden zu erwarten sind.

Fehlender Niederschlag hingegen führt zu Wasserentzug im urbanen Wasserkreislauf und bei längerer Andauer insbesondere im Sommer zu Trockenepisoden. Die negativen Folgen sind in mehreren Bereichen spürbar (UBA 2008b). Durch Austrocknung des Bodens findet keine Verdunstung mehr statt, die durch Verbrauch latenter Wärmeenergie der hohen thermischen Belastung entgegen wirkt. Ferner kann im Umland der Städte die Trinkwassergewinnung und -versorgung gefährdet sein. Die Probleme der Wasserwirtschaft resultieren aus der Versiegelung weiter Teile der Stadtfläche und äußern sich in zwei Bereichen. Einerseits wird durch die Bodenversiegelung die Versickerung in den Boden verhindert, so dass sich Grundwasser nur eingeschränkt bilden kann (Wessolek & Renger 1998). Eine intraurbane Trinkwasserversorgung ist damit nicht zu gewährleisten, so dass das Trinkwasser in der urbanen Peripherie gewonnen und in die Stadt transportiert werden muss. Ferner besteht das Problem der Ableitung von Niederschlagswasser aus Starkregenereignissen aufgrund einer zu gering bemessenen Regenwasserableitung (UBA 2008d).

Ein weiterer Aspekt von Trockenepisoden ist im lufthygienischen Bereich zu sehen. Niederschläge können Teile der atmosphärischen Spurenstoffe binden und somit aus der Atmosphäre entfernen (Wash-Out-Effekt). Mit zunehmender Andauer von Trockenepisoden kann es daher in Verbindung mit schwachwindiger Witterung zur Akkumulation von Spurenstoffen in der Stadtatmosphäre kommen.

3.1.4 Problemfeld der städtischen Luftfeuchtigkeitsverhältnisse

Die städtischen Luftfeuchtigkeitsverhältnisse sind ein Forschungsgebiet, das bisher in Untersuchungen zur angewandten Stadtklimatologie vernachlässigt wurde. Dabei stellen verschiedene Aspekte der städtischen Luftfeuchtigkeit durchaus auch planerische Belange dar, da die Luftfeuchte über den latenten Wärmestrom mit der Energiebilanzgleichung verbunden ist. Energie, die zur Verdunstung benötigt wird, steht nicht mehr zur Erwärmung der Luft zur Verfügung.

Städte sind im Allgemeinen durch eine niedrigere relative und absolute Luftfeuchtigkeit im Vergleich zum nicht bebauten Umland charakterisiert. Während austauscharmer Wetterlagen, insbesondere in klaren und windruhigen Sommernächten kann jedoch beobachtet werden, dass innerhalb der bebauten Flächen die Luftfeuchtigkeitswerte zeitweise höher sind als im Umland (Kuttler et al. 2007). Dieser Effekt wird Urban Moisture Excess (UME) genannt. Die Gründe für das Auftreten des UME sind unter anderem darin zu sehen, dass es in den Städten aufgrund der partiellen Überwärmung vergleichsweise zum Umland zu einem Ausbleiben oder zu einem

späteren Eintritt des Taubabsatzes kommt bzw. die Evapotranspiration auch nachts im Vergleich zum wesentlich kühleren Umland andauert. Im Allgemeinen kann in Mitteleuropa davon ausgegangen werden, dass es zu rund einem Drittel der gesamten Jahresstunden insbesondere in der zweiten Nachthälfte zu einem UME in unterschiedlich starker Ausprägung kommt.

Durch die Anlage von mehr Wasser- und Grünflächen in Städten wird die Evapotranspiration erhöht und damit der latente Wärmestrom auf Kosten des sensiblen Wärmestroms verstärkt. Dadurch wird erreicht, dass der für die Verdunstung von Wasser aufzuwendende Energiebetrag von rund 2,4 MJ/kg für den Aggregatzustandswechsel benötigt wird und deshalb der Lufterwärmung nicht zur Verfügung steht.

Auf der anderen Seite können durch derartige Eingriffe die Verdunstungsströme erhöht und dadurch einer Wärmebelastung durch häufigeres Auftreten von Schwüle Vorschub geleistet werden. Eine Modelluntersuchung der Abteilung Angewandte Klimatologie der Universität Duisburg-Essen zeigt jedoch, dass diese Befürchtungen unbegründet sind. Für die in Abb. 3-4 dargestellten Ergebnisse wurde jeweils die physiologisch äquivalente Temperatur (PET nach MAYER (2006), siehe auch Tabelle 1-4 im Kapitel 1.2.2; Erläuterung der Modellparameter siehe Fußnote zur Abbildung) in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Feuchte berechnet (für die Modellparameter siehe Abb. 3-4).

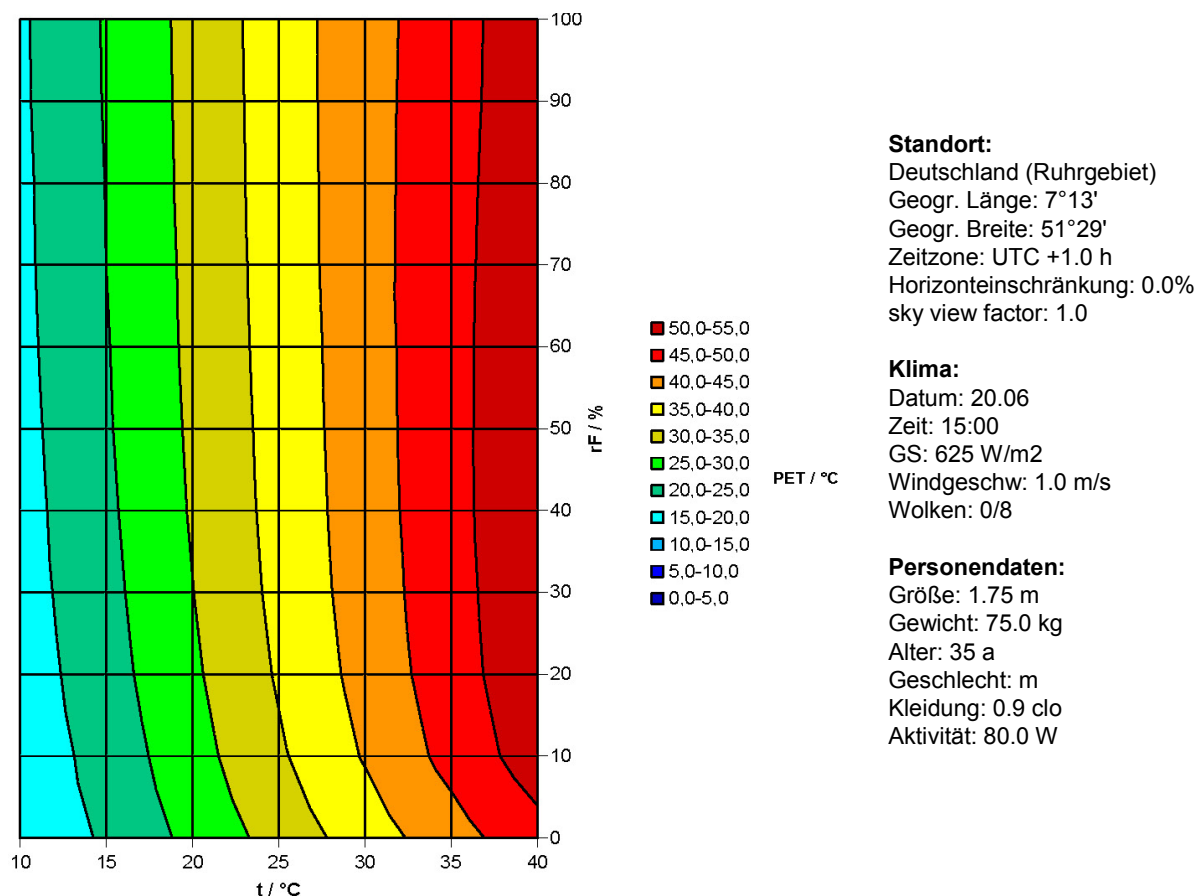


Abb. 3-4 Verteilung der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) in Abhängigkeit der Lufttemperatur t und der relativen Luftfeuchtigkeit rF (Eigene Darstellung Kuttler)

Der Anstieg der physiologisch äquivalenten Temperatur PET erfolgt fast unabhängig von den Luftfeuchtigkeitsverhältnissen, sondern folgt dem Anstieg der Lufttemperatur. Bei der Annahme,

dass die Sommermitteltemperatur und die entsprechende mittlere relative Feuchte an der Klimastation der Universität Duisburg-Essen im langjährigen Mittel bei 18,9 °C resp. 70 % r. F. liegen und eine durch den Klimawandel bedingte jeweilige Erhöhung um 3 K auf 21,9 °C resp. 75 % erfolgen sollte, würde sich der PET Wert nur geringfügig von 30 °C auf 32 °C erhöhen. Daran wäre allerdings die Erhöhung der Feuchtigkeit, wie der Abbildung zu entnehmen ist, nur äußerst marginal beteiligt.

Danach ist davon auszugehen, dass die durch erhöhte Verdunstung verursachte Wärmebelastung im urbanen Gebiet weit unter dem Abkühlungseffekt der durch Verdunstung verbrauchten Energie liegt.

3.1.5 Problemfeld der städtischen Luftqualität

Die Belastung an atmosphärischen gas- und partikelförmigen Spurenstoffen ist in Städten aufgrund der hohen räumlichen Dichte an Emittenten besonders hoch. Die Emissionen stammen aus Linienquellen (überwiegend Kfz-Verkehr), Flächenquellen (Hausbrand) sowie Punktquellen (Industrie und Gewerbe). Eine Reduktion der Spurenstoffbelastung wird dadurch erschwert, dass neben den Emissionen aus lokalen Quellen (z. B. Kfz-Verkehr) die Immissionen in der Regel von einer regionalen sowie städtischen Hintergrundbelastung geprägt werden (Abb. 3-5), die beim Kfz-Verkehr bis zu 60 Prozent der Immissionskonzentration betragen können (MUNLV 2001).

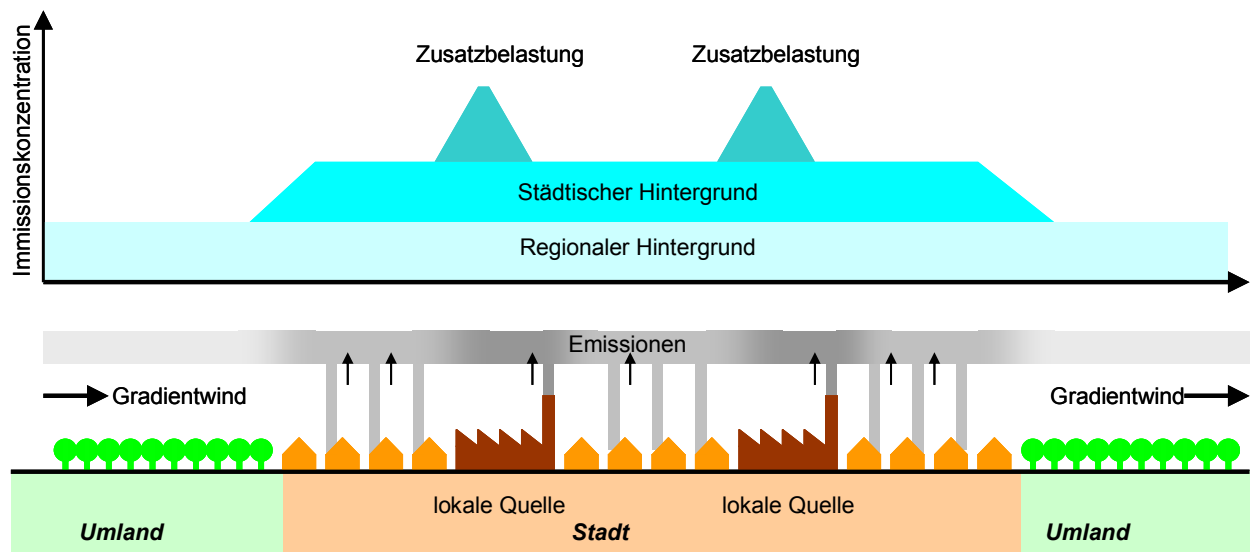


Abb. 3-5 Räumliche Differenzierung der Immissionssituation (schematisch) (Entwurf: Dütemeyer)

Der Straßenverkehr stellt derzeit in Städten die bedeutendste Quelle für atmosphärische Spurenstoffe dar (vgl. Kap. 1.1.4 und Kap. 1.2). Nicht nur die stetig steigende Anzahl an Kfz-Einheiten, sondern auch die geringe Emissionshöhe machen diese Quelle zum Hauptproblem der städtischen Luftqualität. Ursache ist sowohl die verkehrsstärkenbedingte absolute Menge an emittierten Spurenstoffen als auch vor allem die topographische Struktur der Straßenränder, die durch beidseitige Bebauung oder Lärmschutzwände eine Straßenschlucht bilden. Dem Kfz-Verkehr überwiegend zuzuordnende Spurenstoffe sind CO, NO_x, VOC, BTX, Feinstäube und Ruß.

Die in bebauten Gebieten durch Gebäudebeheizung emittierten Spurenstoffe stellen eine luft-hygienische Zusatzbelastung im Winter dar, die unter ungünstigen Bedingungen wie einer hohen Hintergrundbelastung oder während austauscharmer Wetterlagen mit Inversionsbildung zu Überschreitungen von Grenzwerten und damit zu Spurenstoffbelastungen für die Stadtbevölkerung führen können (UBA 2008a). Die Hausbrandemissionen entstammen einer aus vielen bodennahen Einzelfeuerungsanlagen bestehenden, bodennahen Flächenquelle, die hauptsächlich auf fossilen Energieträgern beruht. Dadurch ergibt sich eine ungünstige Immissionsverteilung, da die Spurenstoffkonzentrationen der Windrichtung folgend vom Anfang der Bebauung bis zum Bebauungsende stetig ansteigen können. Zu den typischen Hausbrandemissionen zählen nach UBA (2008c) CO_2 , CO , NMVOC, NO_x , SO_2 , Stäube (TSP und PM_x) und CH_4 .

Die Industrie stellt gleichfalls einen lufthygienischen Problembereich dar. Hier können in Abhängigkeit der produzierten Güter bei bodennahen Emittenten lokal hohe Spurenstoffkonzentrationen erreicht werden, während bei hoher effektiver Quellhöhe (Kamine) die Zusatzbelastung vor Ort als weniger kritisch angesehen werden kann. Immissionsklimatisch werden Industriegebiete/Gewerbegebiete mit bodennahen Emittenten zum Problem, wenn leeseitig der Hauptwindrichtungen sensible Flächennutzungsstrukturen (Wohnen, Gesundheitswesen, Schulen etc.) vorhanden sind. Zu den wichtigsten Industriebedingten Spurenstoffen zählen CO_2 , CO , Stäube (TSP und PM_x) SO_2 , NO_x und NMVOC (UBA 2008c).

Auch die Treibhausgasemissionen stellen stadtklimatisch ein Problem dar, da ein Großteil der betreffenden Emittenten dem urbanen Raum zuzuordnen ist (vgl. Abb. 1-21 im Kap. 1.2.1).

3.2 Folgen des Klimawandels in den Problemfeldern

Der zu erwartende Klimawandel wird die Belastungen in den im Kapitel 3.1 genannten Problemfeldern in Städten noch zusätzlich verschärfen. Klimaszenarien sagen für Deutschland u. a. einen generellen Temperaturanstieg, eine verstärkte Häufigkeit von Extremwetterereignissen (Niederschläge, Hitze, Trockenheit) vor allem in den Sommermonaten und eine Verschiebung des Niederschlagsverhaltens bei gleich bleibenden Jahresniederschlagssummen vorher. Die regionalen Trends der Klimaveränderungen für das Ruhrgebiet sind im Kapitel 1.4.2 nachzulesen.

Diese klimatischen Veränderungen werden spürbare Auswirkungen auf die Lebens- und Wirtschaftsbedingungen der Menschen wie beispielsweise auf Gesundheit, Sicherheit, Qualität und Kosten der Ver- und Entsorgung und damit auf die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von der Region haben. Ländliche Kultur- und Naturräume werden davon genauso betroffen sein wie dicht besiedelte städtische Gebiete. Im Folgenden werden die für Nordrhein-Westfalen relevanten regionalen Auswirkungen des Klimawandels auf Städte und Ballungsgebiete und deren Folgen aufgezeigt.

3.2.1 Hitzebelastung

In länger andauernden Perioden mit hohen Tagesdurchschnittstemperaturen und mehreren Hitzetagen heizen sich insbesondere in dicht bebauten, städtisch geprägten Gebieten Gebäude und Verkehrsflächen stark auf, weil die Bauten und Flächenbefestigungen aus Stein, Beton, Klinker und Asphalt die Wärme speichern und diese nur langsam wieder abgeben. Dieser Mechanismus der innerstädtischen Aufheizung und des Wärmeinseleffekts wurden bereits im Kapitel 3.1.1 beschrieben.

Ein Aspekt des Klimawandels ist der prognostizierte Anstieg der Jahresmitteltemperaturen um rund 2 K bis zum Jahr 2060 (siehe Kap. 1.4.2 und 1.4.3). Dabei stellt die im Mittel um 2 K erhöhte Temperatur nicht das Problem dar, sondern die aus der Verschiebung der Temperaturverteilung resultierende zunehmende Hitzebelastung in den Innenstädten. In der Abbildung 3-6 sind die Häufigkeitsverteilungen der Tagestemperaturmaxima für drei verschiedene Dekaden am Beispiel der Innenstadt von Bochum dargestellt. Die frühesten Messdaten stammen aus der Dekade 1912-1921. Das mittlere Tagesmaximum der Lufttemperatur lag zu Beginn des letzten Jahrhunderts bei 13,2 °C, im Mittel gab es pro Jahr 17,5 Sommertage mit Temperaturenmaxima von 25 °C und mehr, davon im Mittel 3,5 Heiße Tage, an denen das Maximum mindestens 30 °C erreichte. Aktuell (Dekade 1996-2005) liegt das mittlere Temperaturmaximum schon bei 15,3 °C und im Mittel gibt es pro Jahr 35,5 Sommertage, davon 9,7 Heiße Tage. Bei einem weiteren Temperaturanstieg von 2 K bis zur Dekade 2051-2060 stiege die Anzahl der Sommertage auf rund 54 und die Anzahl der Heißen Tage auf 17 pro Jahr an. Dies ist eine Steigerung auf 150 % bzw. 170 % der heutigen Werte. Im Vergleich zum Beginn des 20. Jahrhunderts ergibt sich damit ein Anstieg der Sommertage auf den dreifachen und der Heißen Tage auf den fünffachen Wert.

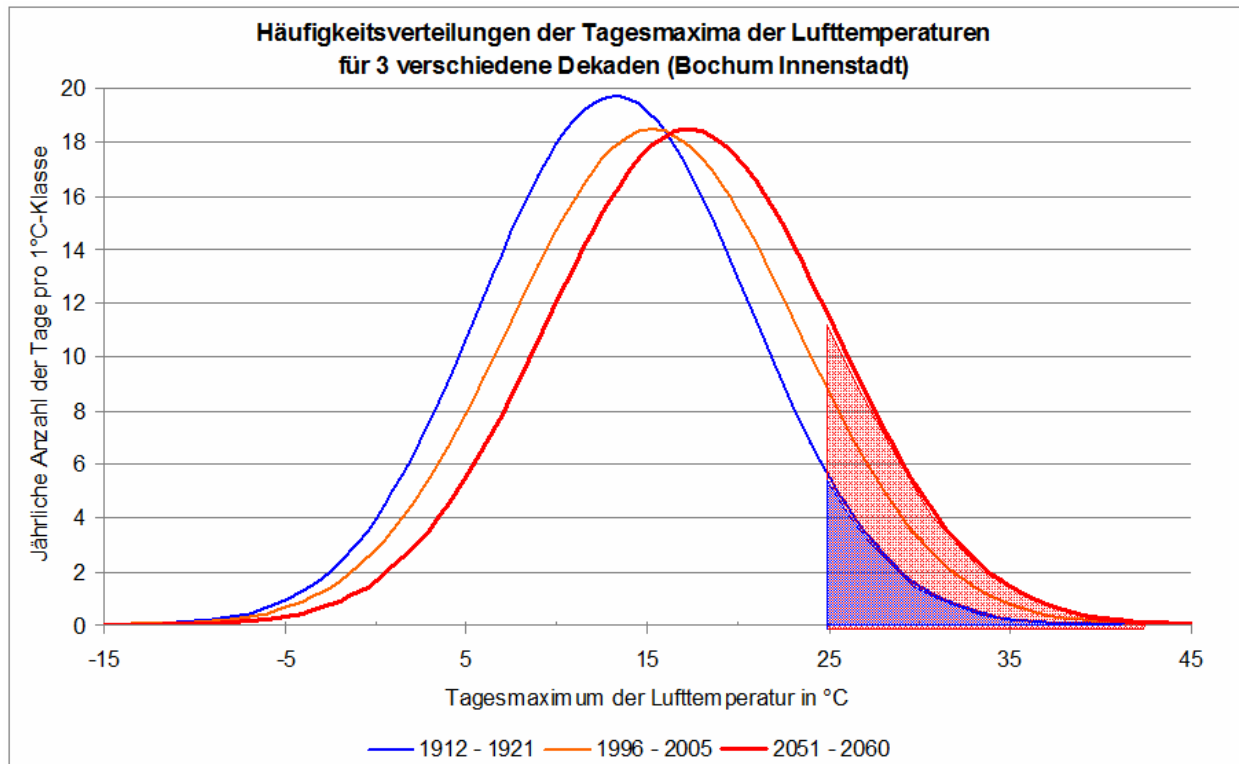


Abb. 3-6 Häufigkeitsverteilungen der Tagesmaxima der Lufttemperaturen in der Bochumer Innenstadt für 3 verschiedene Dekaden (Daten der Ludger-Mintrop-Stadtklimastation des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum)

Die gravierendste Folge dieser Veränderung der Temperaturverteilung ist ein hitzebedingter Anstieg der Mortalität und Morbidität. Dies wird in den gemäßigten Klimazonen vor allem in den Städten der Fall sein. Die Mortalität in Abhängigkeit von den Lufttemperaturen variiert zwischen den Bevölkerungen verschiedener geographischer Gebiete. Diese Abhängigkeit ist in der Abbildung 3-7 anhand der besonders anfälligen Bevölkerungsgruppe der 65-74jährigen dargestellt. Die Bevölkerung warmer Regionen wie dem südlichen Europa (Beispiel Athen in der Abb. 3-7) reagiert schneller mit einem Anstieg der Todesfälle auf niedrige Temperaturen als die Bevölkerung kühler, nordeuropäischer Länder (Beispiel Finnland in der Abb. 3-7), die dagegen hohe Temperaturen schlechter vertragen. Die optimalen Tagesmitteltemperaturen mit einem Minimum an Todesfällen liegen in unseren Breiten bei rund 20 °C, im mediterranen Raum dagegen zwischen 22 °C und 25 °C (Hassi & Rytönen 2005). Dies zeigt zum einen die langfristige Anpassungsfähigkeit des Menschen an die klimatischen Bedingungen der Umgebung. Zum anderen kann sich aber der menschliche Organismus nicht so schnell an veränderte Klimabedingungen anpassen, wie diese für die Zukunft projiziert werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Umgebung (wie eine sehr viel stärker auf Verschattung im Stadt- und Wohnbereich ausgerichtete Bebauung im mediterranen Raum) und die Lebensumstände (wie die „Siesta“ im mediterranen Raum) in Zukunft an veränderte klimatische Bedingungen anzupassen.

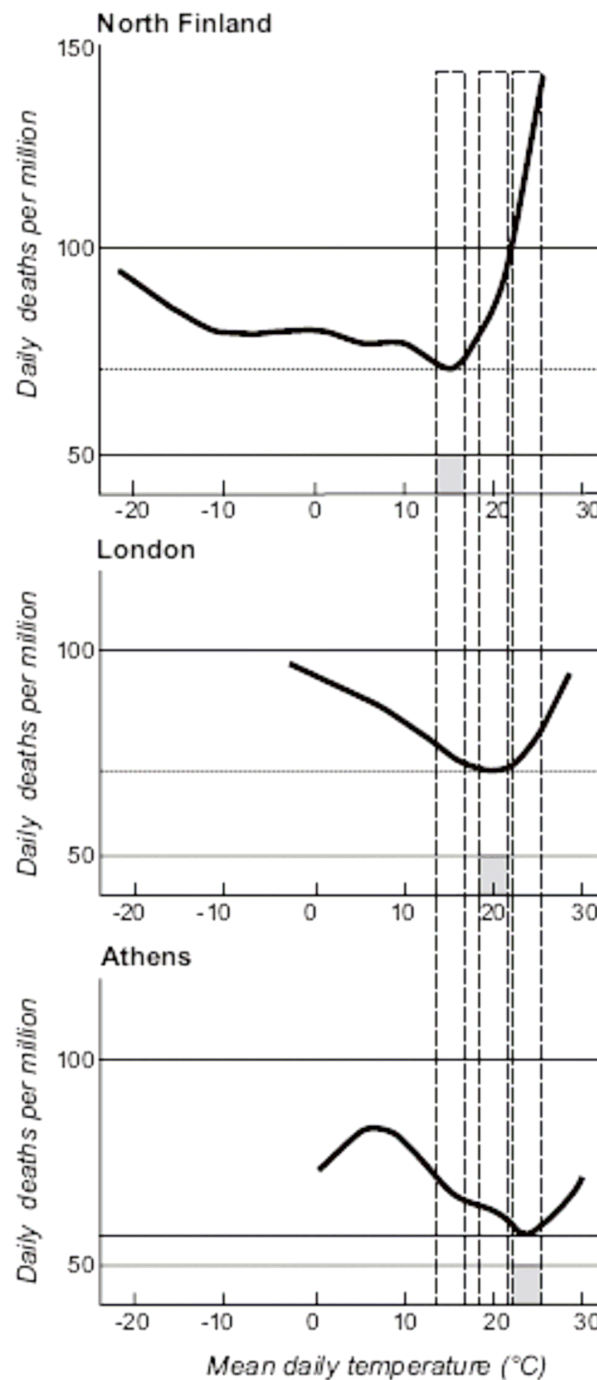


Abb. 3-7 Tägliche Todesfälle pro Million Menschen im Alter von 65-74 Jahren in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur in drei unterschiedlichen europäischen Klimazonen, die Bereiche zwischen den gestrichelten Linien markieren den jeweiligen Temperaturbereich mit der geringsten Sterblichkeit (Hassi & Rytkönen 2005)

Die Hitzewelle des Jahres 2003 hat deutlich die Folgen des Klimawandels für das Leben in Städten gezeigt. Annähernd 20.000 vorwiegend ältere Einwohner von Städten wie Paris und den Industriestädten Norditaliens sind dieser Hitzewelle zum Opfer gefallen. Dabei spielte die Länge und das jahreszeitliche Auftreten der Hitzewelle eine große Rolle für die hohe Anzahl der Todesfälle. Zusammengefasst spielen die folgenden Faktoren eine Rolle für das Mortalitätsrisiko bei einer Hitzewelle:

- Soziodemographische Faktoren: Risikogruppen sind ältere Menschen und Neugeborene, Frauen sind stärker betroffen als Männer.
- Dauer: Einzelne, isolierte Hitzetage sind besser verträglich als länger andauernde Hitzeperioden. Nach den Klimaprojektionen ist zukünftig neben der generellen Zunahme der Anzahl der heißen Tage vor allem auch eine Zunahme der Länge der Hitzewellen zu erwarten.
- Jahreszeit: Im Frühjahr hat eine Hitzewelle größeren Einfluss als im Sommer, da der menschliche Organismus dann noch nicht an große Hitze angepasst ist und deshalb sensibler auf Hitzebelastungen reagiert. Die aufgrund des Klimawandels zu erwartende Verschiebung der ersten „Heißen Tage“ von Ende Juni auf Anfang April führt daher zu einem vermehrten Auftreten von besonders unverträglichen Hitzewellen.
- Zeitpunkt: Die Nachttemperaturen sind bedeutender als die Tagesmaxima, da die nächtliche Erholungsphase für den menschlichen Körper besonders wichtig ist.

Die für Nordrhein-Westfalen prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels (siehe auch Kap. 1.4.2 und 1.4.3) zeigen, dass sich die Randbedingungen in Richtung Hitzewellen mit hohem Mortalitätsrisiko verändern werden. Dass schwerwiegende Folgen von Hitzewellen vor allem in Städten auftreten, liegt an der Bedeutung der Nachttemperaturen für die Erholungsphase des Menschen. Der Effekt der städtischen Wärmeinsel führt durch Speicherung der eingestrahnten Sonnenenergie zu stark überhöhten nächtlichen Temperaturen. Abbildung 3-8 zeigt die schon jetzt leicht ansteigende Anzahl von Tropennächten, also Nächte, in denen die Lufttemperatur nicht unter 20 °C sinkt, in der Innenstadt von Bochum. Durch reduzierte nächtliche Abkühlungen werden die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Hitzewellen in Städten in Zukunft deutlich zunehmen.

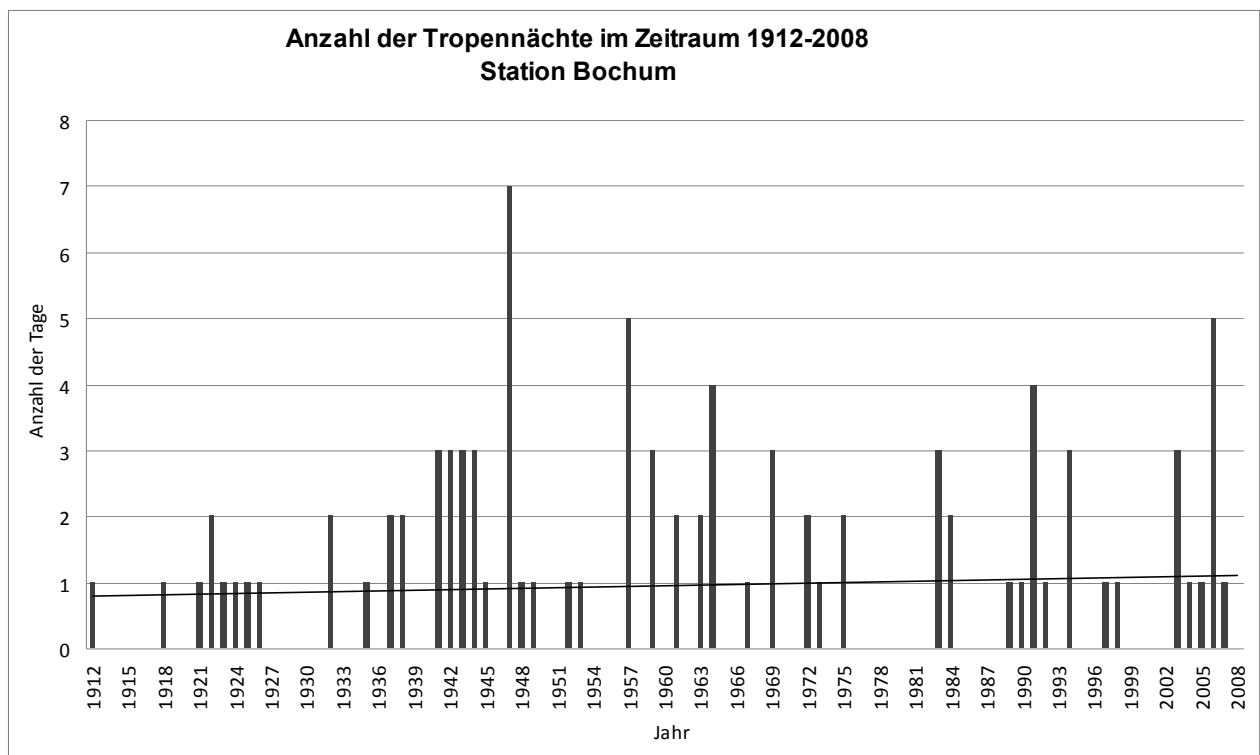


Abb. 3-8 Anzahl von Tropennächten pro Jahr in Bochum im Zeitraum 1912 bis 2008 (Daten der Ludger-Mintrop-Stadtklimastation des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum)

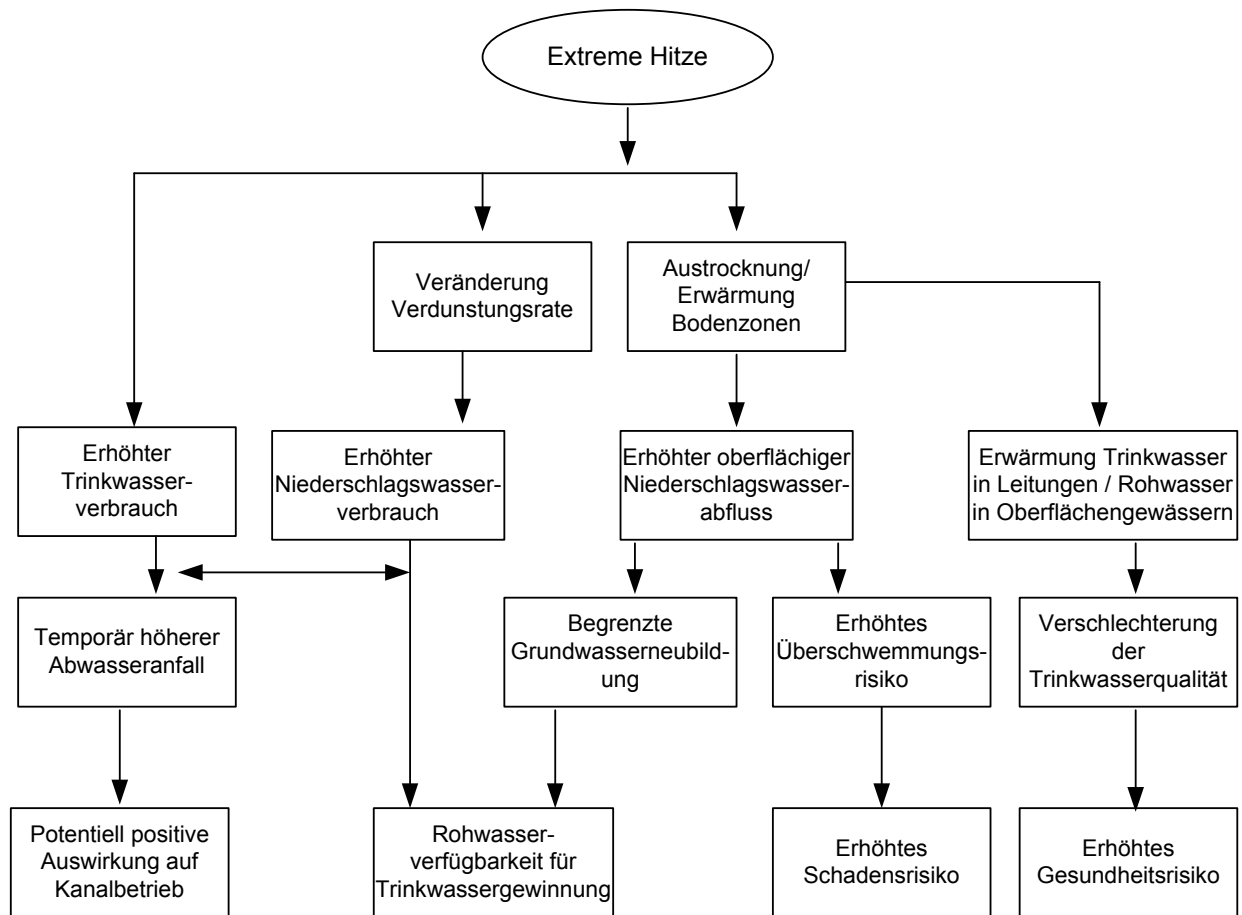


Abb. 3-9 Direkte und indirekte Auswirkungen von extremen Hitzeperioden auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft besonders in Nordrhein-Westfalen (Eigene Darstellung FiW)

Einflüsse auf Anlagen und Systeme der Siedlungswasserwirtschaft aufgrund extremer Temperaturen (Hitze) und deren Auswirkung werden in Abb. 3-9 aufgezeigt. Als Folge der Aufheizung von Verkehrsflächen kann es zu einer anhaltenden Erwärmung der darunter liegenden Bodenschichten kommen. Dadurch können sich die Rohrleitungen der öffentlichen Trinkwasserverteilungsnetze, die üblicherweise zwischen 0,80 m und 1,20 m unter der Erdoberfläche liegen, ebenfalls erwärmen. Während bei niedrigeren Temperaturen des Trinkwassers und einem ausreichendem Durchfluss durch die Versorgungsleitungen eine Wiederverkeimung des Trinkwassers vernachlässigt werden kann, erhöht sich das Risiko der Wiederverkeimung durch höhere Temperaturen und längere Verweilzeiten in Netzbereichen mit geringer Anschlussdichte und in Hausanschlussleitungen. Zur Abschätzung des Risikos und zur Entwicklung nachhaltiger Anpassungsmaßnahmen wurden bereits erste Untersuchungen begonnen. Es sind aber noch weitere Untersuchungen zur Quantifizierung der jeweiligen Einflüsse erforderlich.

Diese Gefährdung der Wasserqualität kann sich noch erhöhen, wenn durch höhere Tagesdurchschnittstemperaturen erwärmtes Oberflächenwasser als Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung genutzt werden muss und damit die Temperatur des ins Netz eingespeisten Trinkwassers bereits höher liegt als heute üblich. Ähnliches wie im städtischen Raum geschieht bei Hitzeperioden in den oberen Schichten stehender Gewässer wie Talsperren und Seen, die sich durch die Sonneneinstrahlung und eine hohe Lufttemperatur erwärmen. In diesen aufgeheizten

Zonen können schon nach wenigen Tagen eine erheblich größere Zahl von Keimen und Bakterien, bei Anwesenheit von Nährstoffen auch Algen, vorliegen, die den Aufwand bei der Trinkwasseraufbereitung und bei der Desinfektion vor Einspeisung in das Verteilnetz wesentlich erhöhen. Die Rohwasserentnahme muss dann aus tiefer liegenden Wasserschichten vorgenommen werden, in denen entsprechend niedrigere Temperaturen vorliegen. Auf diese Weise kann bei üblichen Aufbereitungsbedingungen auch eine angemessen tiefe Temperatur des Trinkwassers bei Einspeisung in das Verteilnetz erreicht werden.

Bei andauernden Hitzeperioden verändert sich zusätzlich die Verdunstungsrate. Böden trocknen schneller aus und der Bedarf an Nutzwasser zur Unterhaltung von Parkanlagen, städtischen Bepflanzung und Gärten wird ansteigen. Auch ist davon auszugehen, dass bei lang anhaltender Hitze der Trinkwasserbedarf bei der Bevölkerung als Lebensmittel und für die Körperpflege größer werden wird. Dies hat Auswirkungen auf die Rohwasserverfügbarkeit bei der Trinkwassergewinnung.

3.2.2 Verändertes Niederschlagsverhalten

Besondere Auswirkungen für die Siedlungswasserwirtschaft wird das zukünftige Niederschlagsverhalten haben. Dazu zählen neben den extremen Niederschlägen auch die erwarteten wärmeren und niederschlagsreicheren Wintermonate. Dies kann besonders in Gebieten mit grundsätzlich hohem Grundwasserstand zu einer Verschärfung der Wasserentsorgung führen. Gebiete, die bis jetzt noch ohne Entwässerungspumpwerke auskommen, könnten bei geringem Grundwasserflurabstand überschwemmt werden.

In der Öffentlichkeit wird insbesondere auch nach den Berichten des IPCC (2007) immer wieder eine Zunahme von Starkregen und Überflutungen im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel diskutiert. Daraus ergibt sich die Frage nach Berücksichtigung des Klimawandels in der Bemessung kommunaler Entwässerungssysteme, Hochwasserschutzanlagen und der Weiterentwicklung dezentraler Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserrückhaltes in den Einzugsgebieten. Bislang fehlen jedoch eindeutige Belege einer statistisch signifikanten Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregen im Bereich der siedlungsentwässerungsrelevanten Dauerstufen (Schmitt et al. 2006, MUNLV NRW 2007). Darüber hinaus gibt es vielfältige Hinweise auf deren Überlagerung mit klein- bzw. stadtklimatischen Veränderungen der Niederschläge über urbanen Ballungsräumen, die aber beide letztlich Veranlassung dafür sein sollten, eher von einer Zunahme solcher Extremereignisse auszugehen und den entsprechenden Vorsorge- und Bewirtschaftungsmaßnahmen z. B. nach dem „no regret“ Prinzip (BMU 2008, Grünwald 2008) ein großes Gewicht beizumessen.

Abbildung 3-10 zeigt die Veränderung der Niederschlagsverteilung in den letzten fast 100 Jahren am Beispiel der Stadt Bochum. Während die Tage mit Niederschlägen insgesamt deutlich zugenommen haben, ist eine Zunahme von Starkregentagen nicht erkennbar. Tage mit einer Niederschlagssumme von über 40 mm treten in beiden Zeiträumen im Mittel alle drei Jahre auf.

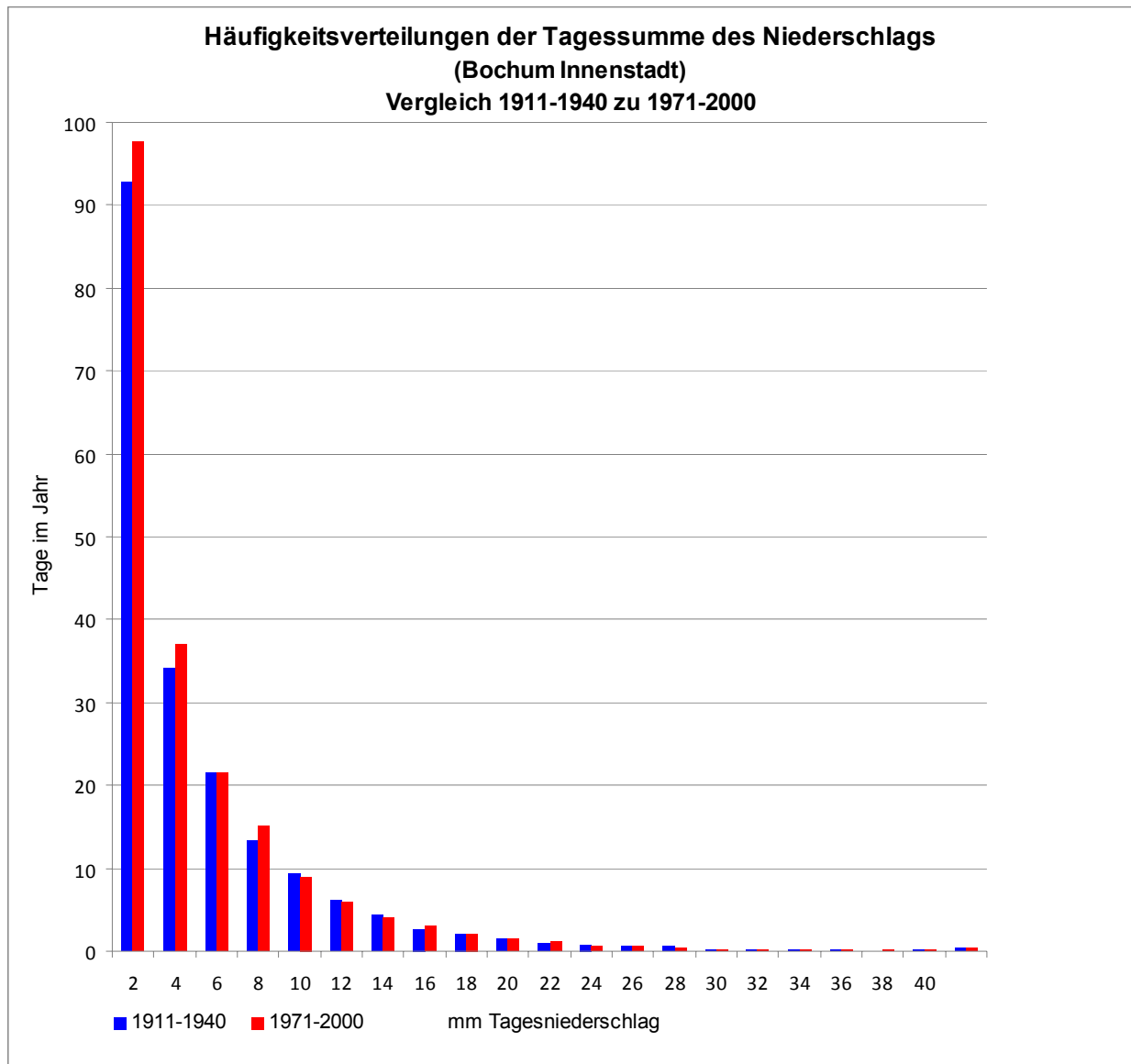


Abb. 3-10 Häufigkeitsverteilungen der Tagessummen des Niederschlags in der Bochumer Innenstadt für die Zeiträume 1911-1940 und 1971-2000 (Daten der Ludger-Mintrop-Stadtklimastation des Geographischen Institutes der Ruhr-Universität Bochum)

Extreme Regenfälle können charakterisiert sein durch eine besonders große Menge an Niederschlagswasser unabhängig vom Zeitraum, in dem dieses anfällt oder durch eine besonders hohe Niederschlagsintensität, d. h. einer großen Niederschlagsmenge in einem sehr begrenzten Zeitraum (vgl. Kap. 2.2.3.3). Abbildung 3-11 zeigt die direkten Auswirkungen der extremen Niederschläge auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft.

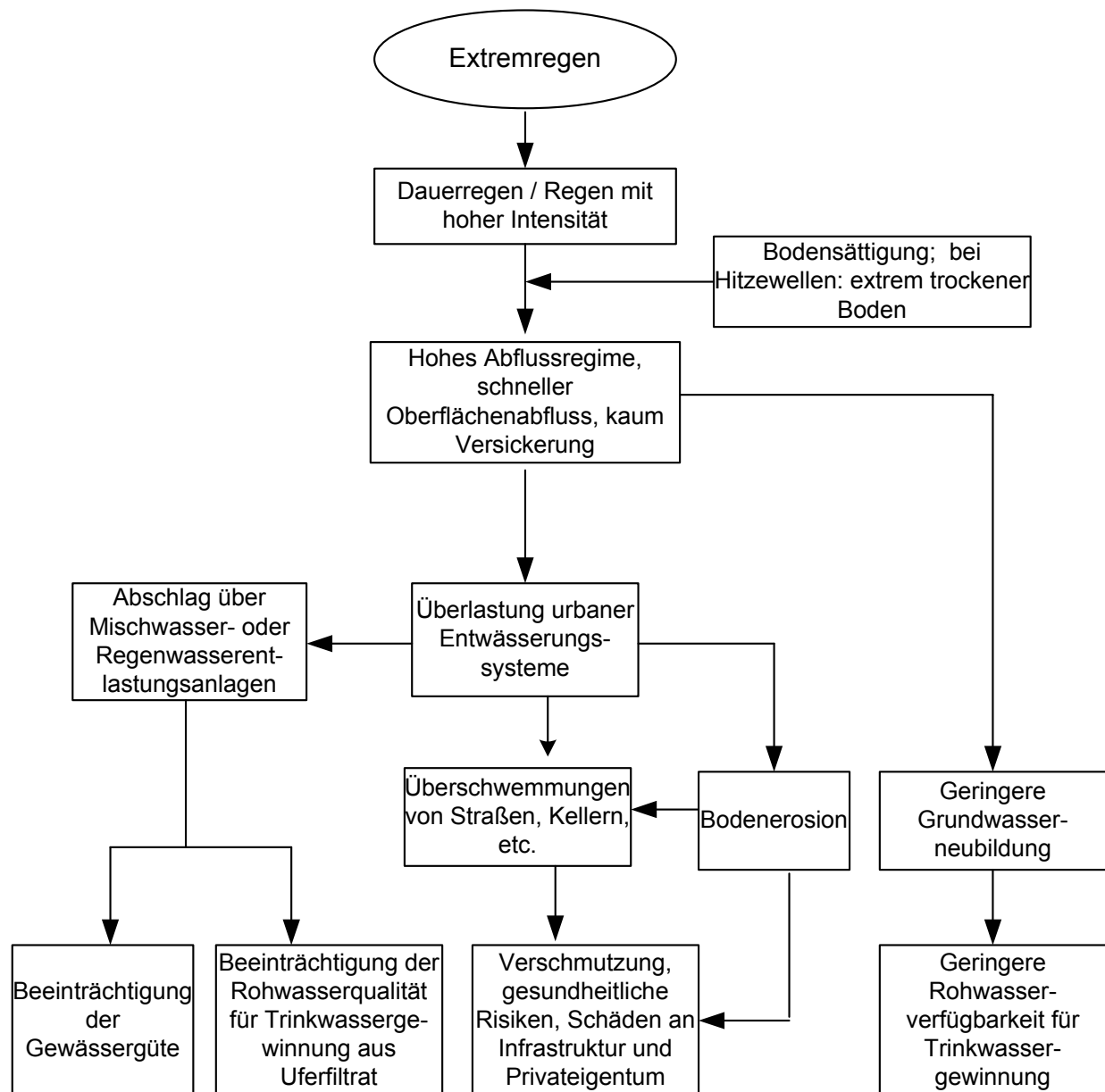


Abb. 3-11 Direkte und indirekte Auswirkungen von extremen Regenfällen auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft besonders in Nordrhein-Westfalen (Eigene Darstellung FiW)

Dauerregen und Regen mit hoher Intensität können die Leistungsfähigkeit einer Stadtentwässerung oder eines Teilsystems übersteigen, im ersten Fall durch die Menge, die nach einiger Zeit nicht mehr durch das Entwässerungssystem aufgenommen werden kann, weil mehr Wasser zufließt, als über Regenüberläufe, Entwässerungspumpwerke oder die Kläranlage aus dem System abgeführt werden kann. Das Resultat ist, dass das Kanalsystem einschließlich vorhandener Regenwasserspeicher vollläuft. Diese Situation wird bei starkem Dauerregen oder mehreren länger andauernden Regenereignissen im gleichen Gebiet noch verstärkt, wenn die obere Bodenzone nicht versiegelter Flächen wassergesättigt ist und kein Niederschlagswasser mehr aufnimmt. Dann fließt Regenwasser auch von unbefestigten Flächen in die Kanalisation oder in tiefer liegende Räume und Flächen ab.

Im Fall eines Regenereignisses mit extremer Intensität ist der Zeitraum des Ereignisses zwar kurz und seine geographische Ausdehnung häufig begrenzt, es kommt aber durch die große Niederschlagsmenge zu einer Überlastung des unmittelbar beaufschlagten Teilentwässerungs-

systems, weil die anfallende Regenspende den bei der Bemessung des Entwässerungssystems angesetzten Wert zeitweilig wesentlich übersteigt. In diesem Fall können Straßen- und andere Entwässerungseinläufe einen solchen extremen Niederschlagsanfall meist nicht bewältigen, so dass der Niederschlag zum großen Teil oberflächlich abfließt. Es entsteht eine Sturzflut. Dabei kann es gleichzeitig dazu kommen, dass sich urbane Entwässerungssysteme temporär vollständig einstauen und schließlich überlaufen.

Die Folgen extremer Regenfälle können also in beiden Fällen überlaufende Straßeneinläufe und Kanalisationsschächte, Sturzfluten auf Straßen und anderen Verkehrsflächen und Überflutungen von Kellern und tiefliegenden baulichen Anlagen wie Tiefgaragen, Unterführungen und Tunnel sein. Je nach anfallenden Wassermengen, Gefälleverhältnissen und möglichen Stauhöhen ergeben sich hierdurch vielfältige Risiken für die Bevölkerung, für die städtische Infrastruktur und für private Grundstücke und Anlagen, die es durch geeignete Maßnahmen zu beschränken gilt.

Durch ein Überlaufen einer Mischwasserkanalisation und die Überschwemmung eines Siedlungsgebiets mit Mischwasser, d. h. dem Gemisch aus häuslichem oder industriellem Abwasser mit Niederschlagswasser, kann es nicht nur zu Erosionsschäden, physischen Zerstörungen und erheblichen sichtbaren Verschmutzungen kommen, sondern auch zu hygienischen und gesundheitlichen Belastungen von Flächen, Böden und urbanen Gewässern durch Abwasserinhaltsstoffe wie Krankheitserregern, Keimen, Medikamentenrückständen und anderen Chemikalien. Diese Risiken sind in Siedlungsgebieten mit Trennkanalisation, d. h. mit separater Regenwasserableitung, als geringer einzustufen.

Große Niederschlagswassermengen, die die Aufnahmekapazität eines Teilentwässerungssystems eines Siedlungsgebiets oder die Behandlungskapazität der zentralen Abwasserreinigungsanlage übersteigen, werden über Mischwasser- oder Regenwasserentlastungsanlagen „abgeschlagen“, d. h. in den nächsten geeigneten Vorfluter eingeleitet. Diese punktuellen Einleitungen großer Wassermengen können in mehrfacher Hinsicht negative Auswirkungen auf das Gewässer, die anliegenden Siedlungsgebiete oder die regionale Trinkwasserversorgung haben:

- Mehrfache, gleichzeitige Einleitungen aus größeren Teilen oder dem gesamten Gewässereinzugsgebiet können zu hohen Wasserständen im Vorfluter und damit erhöhter Überschwemmungsgefahr für die Unterlieger führen.
- Regenwasser- oder Mischwassereinleitungen können durch ihre punktuelle Einleitung, die mitgeführten Inhaltsstoffe und die Erhöhung des Abflusses sowohl die physische Gestalt des Gewässers (Hydromorphologie) als auch die chemische, mikrobiologische und ökologische Gewässergüte wesentlich beeinträchtigen.
- Die durch die Abschlüge eingetragenen Belastungen (Feststoffe, Nährstoffe und andere Abwasserinhaltsstoffe) können außerdem zu Beeinträchtigungen der Rohwasserqualitäten in Trinkwassertalsperren, Seen und solchen Gewässern führen, an denen Trinkwasser aus Uferfiltrat gewonnen wird.

Um diese negativen Auswirkungen möglichst weitgehend zu vermeiden, werden seit mehreren Jahren die Rückhalte- und Speicherkapazitäten in allen Siedlungsgebieten wesentlich ausgebaut, in denen Regen- oder Mischwasser möglichst auch mechanisch vorbehandelt wird. Hinzu kommen die Anstrengungen der entsorgungspflichtigen Körperschaften, den Rückhalt von Niederschlagswasser „in der Fläche“ durch Abkopplung von Flächen von den zentralen Entwässe-

runungssystemen, durch Flächenentsiegelungen und Versickerung von Regenwasser zu vergrößern.

Die fortdauernden Unsicherheiten über Ausmaß, Häufigkeit und Eintretenszeitpunkt der Auswirkungen des Klimawandels und die erheblichen Kosten für bauliche Rückhalte- und Speicherkapazitäten machen zukünftig jedoch eine andere Vorgehensweise beim Umgang mit Stark- und Extremniederschlägen erforderlich. Durch eine integrierte Betrachtungsweise aller Betroffenheiten und Handlungsoptionen und einen Mix aus planerischen, technischen und kooperativen Maßnahmen können die Robustheit (Resilienz) und Flexibilität von Siedlungsentwässerungssystemen auch ohne umfangreiche Ausbauten erheblich gesteigert werden.

Hinsichtlich der prognostizierten wärmeren und niederschlagsreicheren Wintermonate ist zu beachten, dass diese Veränderungen in vielen Gebieten positiv zu bewerten sind, in Gebieten mit hohem Grundwasserstand oder in abgesunkenen Gebieten (z. B. Bergsenkungen) aber zu Problemen und erhöhten Aufwendungen für die Siedlungsentwässerung und den Gebäudebestand führen können. Gebiete mit geringem Grundwasserflurabstand, die bis jetzt noch ohne Entwässerungspumpwerke auskommen, könnten zukünftig als Folge lang andauernder oder häufigerer Winterniederschläge in Teilen überflutet werden. Tiefliegende Anlagen, Infrastruktur und Gebäudekeller nehmen dann drückendes Grundwasser auf; die Bausubstanz, die für diesen Lastfall nicht ausgelegt ist, wird nachhaltig beschädigt, wenn nicht Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

3.2.3 Trockenperioden

Als Trockenperioden sind solche Zeiträume zu betrachten, in denen mehrere Wochen kein Niederschlag fällt. In Europa gehen solche Extrema meist einher mit dauerhaft hohen Durchschnittstemperaturen und extremen Hitzetagen. Es sind aber aus Mittel- und Osteuropa auch stabile Wetterlagen bekannt, bei denen auch bei niedrigen Temperaturen wochenlang kein Niederschlag fällt („kontinentales Klima“). Hohe Temperaturen tragen allerdings wesentlich zu den Verdunstungs- und Austrocknungsprozessen bei, die extreme Trockenperioden prägen und noch verstärken.

Nach dem IPCC (2007) wird sich in Zukunft die Auftrittshäufigkeit bestimmter Großwetterlagen verändern. Prognostiziert wird ein erhöhtes Vorkommen autochthoner Wetterlagen, mithin von austauscharmen Strahlungswetterlagen während der Sommermonate. Somit bekommt das Problemfeld urbane Windverhältnisse besondere Evidenz. Der Wärmeinseleffekt wird größer, eine Durchlüftung umso wichtiger. Da der Druckgradient bei autochthonen Wetterlagen aber i. d. R. gering ist, nimmt die Windgeschwindigkeit ab, wodurch der Austausch minimiert wird.

Ein weiterer Effekt der durch den Klimawandel verursachten höheren Einstrahlung, die durch die erwähnte Häufung von Strahlungswetterlagen im Sommer verursacht werden kann, ist die verstärkte Bildung von bodennahem Ozon. Da Ozon aus verschiedenen Vorläufergasen entsteht, zu denen insbesondere anthropogene und pflanzliche Kohlenwasserstoffe zählen, sollte auch bei Bepflanzungen darauf geachtet werden, dass nur solche Pflanzen für einen Bewuchs verwendet werden, die im Vergleich zu bisher dominierenden Pflanzenarten weniger biogene

Kohlenwasserstoffe emittieren. Derartige Pflanzen werden als sog. „Low Emitters“ bezeichnet (Benjamin und Winer 1998). Eine Liste geeigneter Stadtbäume, die auch hinsichtlich ihres Ozonbildungspotenzials bewertet wurden, findet sich in der Tabelle 4-3 im Kapitel 4.1.2 unter der Anpassungslösung H7.

Das vermehrte Auftreten von austauscharmen Strahlungswetterlagen hat insgesamt Auswirkungen auf die Luftqualität des städtischen Raumes. Trockenheit und windschwache Bedingungen führen zu einer höheren Belastung mit Feinstaub. Das frühere Auftreten von solchen Wetterlagen im Frühjahr hat negative Auswirkungen auf die Ausbreitung und Anreicherung von Pollen in der Stadtatmosphäre.

Abbildung 3-12 veranschaulicht die direkten und indirekten Auswirkungen extremer Trockenperioden auch in Kombination mit heißen Tagen.

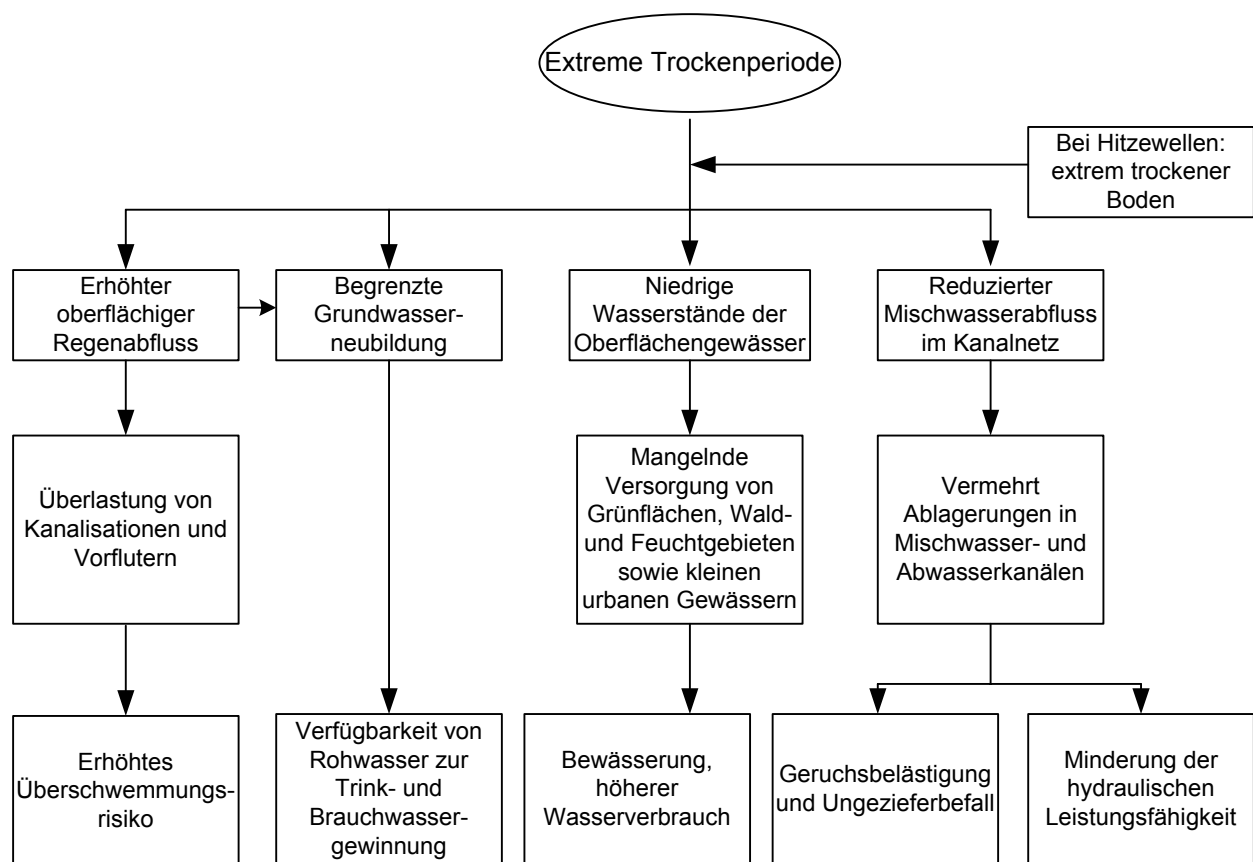


Abb. 3-12 Direkte und indirekte Auswirkungen von extremen Trockenzeiten auf die Teilgebiete der Siedlungswasserwirtschaft besonders in Nordrhein-Westfalen (Eigene Darstellung FiW)

Regelmäßige Niederschläge, wie sie in unseren Breitengraden gewöhnlich vorkommen, tragen durch die dabei kurzfristig anfallenden, erhöhten Wassermengen dazu bei, dass Mischwasserkanäle auf natürliche Weise „gespült“ werden. Entfallen diese Niederschläge über einen längeren Zeitraum, kann es vermehrt zu Ablagerungen in den Kanälen kommen, die zu einer Minderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, zu Geruchsbelästigungen und zu Ungezieferbefall beitragen können. Diese Ablagerungen können durch den Betreiber eines Kanalnetzes nur durch einen erhöhten Unterhaltungsaufwand wie häufigeres Spülen oder Chemikalieneinsatz vermieden bzw. beseitigt werden.

Das längerfristige Ausbleiben von Niederschlägen im Einzugsgebiet eines Gewässers bzw. der zugehörigen Grundwasserleiter führt genauso wie eine weitreichende Versiegelung von Flächen zu einem natürlichen Absinken der lokalen Grundwasserspiegel. Beeinträchtigungen daraus ergeben sich sowohl für die ökologische Situation kleiner Fließgewässer durch die Reduzierung der Basisabflüsse, für Wald- oder Feuchtgebiete, die - insbesondere bei höheren Verdunstungsraten aufgrund höherer Temperaturen - auf stabile Grundwasserstände angewiesen sind, als auch für lokale oder regionale Wasserversorgungseinrichtungen, die Rohwasser aus Grundwasser gewinnen. Stärkere periodische Veränderungen der lokalen Grundwasserspiegel werden also eine genauere Abstimmung der verschiedenen Nutzungen erforderlich machen, damit insbesondere Schädigungen an den existierenden Ökosystemen vermieden werden.

Längere Trockenperioden führen schließlich auch zu einer Austrocknung der oberen Bodenzone freiliegender oder nur mit dünner Vegetation bewachsener Böden. Die Erosionsgefährdung dieser Flächen durch Wind und Wasser und die schweren Störungen der biologisch aktiven Humusschichten sind schon aus Sicht des Bodenschutzes, der Landwirtschaft sowie des Naturschutzes und des Erhalts natürlicher Ressourcen kaum akzeptabel und erfordern entsprechende Gegenmaßnahmen und zukünftig eine veränderte Landnutzung. Wesentlichen Einfluss auf die Siedlungswasserwirtschaft gewinnt die Austrocknung der oberen Bodenzone aber dadurch, dass die ersten Niederschläge nach einer Trockenperiode nicht in den ausgetrockneten Boden eindringen können, sondern oberflächlich abfließen. Die Folgen sind, wie oben stehend bereits beschrieben, eine erhöhte Bodenerosion, eine verringerte Grundwassererneuerungsrate und insbesondere deutlich erhöhte Niederschlagsabflüsse in die Siedlungsentwässerungssysteme, in die nächsten Oberflächengewässer und – je nach Leistungsfähigkeit der Entwässerungssysteme – auch in tiefer liegende Siedlungsgebiete und Infrastrukturanlagen.

3.3 Identifikation von Problemgebieten im Ruhrgebiet

Nicht alle Kommunen bzw. alle Gebiete sind gleichermaßen anfällig für die zu erwartenden klimatischen Änderungen. Um Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel gezielt ein- und möglichst effektiv umzusetzen, sollten daher die Gebiete und Bereiche identifiziert werden, die eine besondere Sensitivität gegenüber den Folgen des Klimawandels aufweisen. Das sind Gebiete, in denen aufgrund der sozialen, ökonomischen und naturräumlichen Rahmenbedingungen vor Ort besondere Probleme durch die klimatischen Änderungen zu erwarten sind.

3.3.1 Problemgebiete mit erhöhter klimatischer Belastung für den Menschen

Die im Kapitel 3.1 definierten Problemfelder lassen sich unter dem Aspekt der klimatischen Belastung des Menschen zusammenfassen zu dem Problem des „Hitzestresses“. Dieser ergibt sich durch extreme Wärmespeicherung und –abgabe im städtischen Baukörper, durch mangelnde Durchlüftung im innerstädtischen Bereich und durch verringerte Abkühlung durch geringe Verdunstungsraten in hoch versiegelten Gebieten.. Diese thermische Belastung resultiert neben hohen Strahlungstemperaturen am Tage sowohl aus der städtischen Wärmeinsel, die zu

hohen Lufttemperaturen führt, als auch aus der mangelnden Durchlüftung, wodurch ein Abtransport der warmen Luft aus der Stadt bzw. die Advektion kühlerer Luft aus dem Umland erschwert wird (Mayer et al. 2008).

Daraus ergibt sich eine Konzentration der Gebiete mit einer klimatisch-lufthygienischen Belastung für den Menschen auf die dicht besiedelten und hoch versiegelten Bereiche der Ruhrgebietsstädte. Die Abbildung 3-1 im vorangegangenen Kapitel zeigt deutlich die Abhängigkeit der Jahresmitteltemperaturen von dem Grad der Versiegelung eines Standortes.

3.3.1.1 Methode zur Abgrenzung der Problemgebiete

Bereiche der städtischen Wärmeinsel:

Im Bereich der städtischen Wärmeinsel einer Stadt konzentrieren sich die Probleme der Belastungen durch Hitze und Luftschadstoffe. Diese Gebiete können daher grundsätzlich als anfällig gegenüber Hitzebelastungen charakterisiert werden. Die Identifikation solcher städtischen Wärmeinseln erfolgt entweder durch eine Klimauntersuchung oder auf der Grundlage einer Flächennutzungs- und Versiegelungskartierung (hoher Versiegelungsgrad mit städtischer Bebauung) unter Zuhilfenahme von Luftbildern oder Ortsbegehungen

Grundlage für die Abgrenzung von Problemgebieten unter dem Aspekt der klimatisch-lufthygienischen Belastung des Menschen liefern daher die Klimatope des „Innenstadtklimas“ und des „Stadtklimas“, wie sie in der regionalen Klimatopkarte des Ruhrgebietes (Abb. 2-23 im Kapitel 2.2.2.2) ausgewiesen sind. In diesen Bereichen bilden sich aufgrund der hohen Versiegelung die städtischen Wärmeinseln so stark aus, dass es zu einer Belastung des menschlichen Organismus kommt, und die Durchlüftung wird durch die Bebauungsstrukturen behindert. In der Abbildung 3-13 sind alle Innenstadt- und Stadtklimatope des Ruhrgebietes, sofern sie eine Ausdehnung vom mindestens 1 km² haben, dargestellt. Kleinere Flächen verfügen nicht über ein ausreichendes Wärmeinselpotential, um als Problemgebiet für eine klimatische Belastung ausgewiesen zu werden.

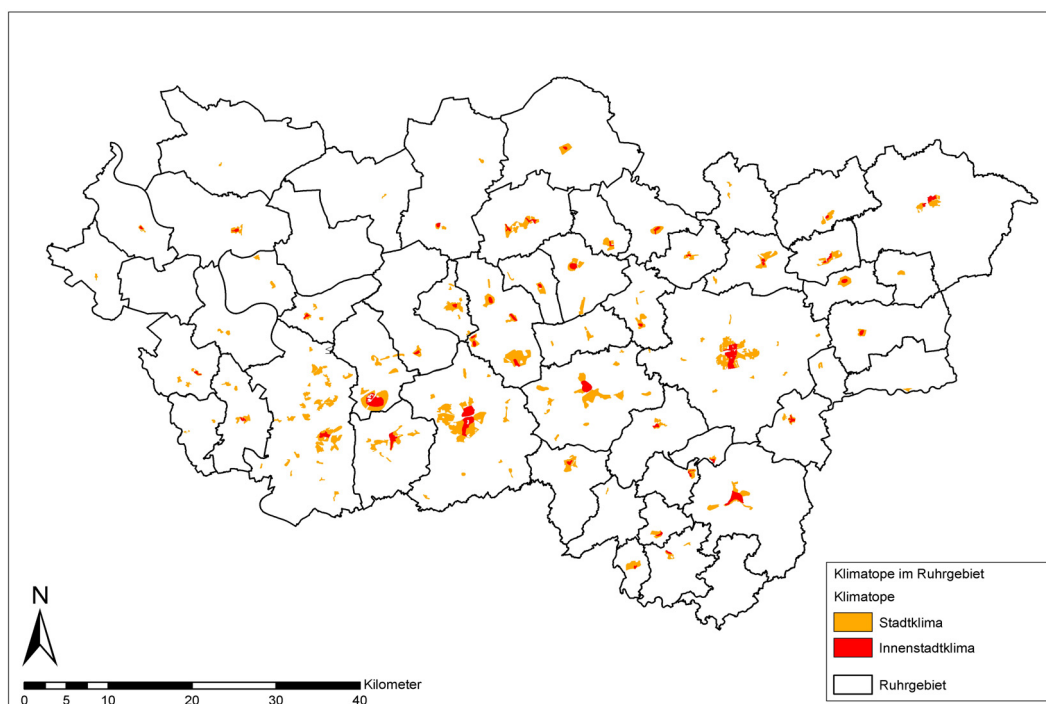


Abb. 3-13 Lage der Innenstadt- und Stadtklimatope (ab 1 km² Flächengröße) im Ruhrgebiet

Bevölkerungsdichte:

Da es in diesem Kapitel um die Abgrenzung von Problemgebieten aus dem Problemfeld Hitzebelastung mit Bezug zum Menschen geht, wurde in einem zweiten Schritt die Bevölkerungsdichte auf der Grundlage von Wohnquartieren (Quelle: infas GEOdaten, Stand 2007) herangezogen. Je größer die Einwohnerdichte ist, desto mehr Menschen sind einer möglichen Hitzebelastung ausgesetzt. Bei einem Aufenthalt in den Innenstädten tagsüber kann einer Hitzebelastung durch Standortwechsel und Vermeidung von besonnten Standorten entgegengewirkt werden. Anders sieht dies bei der Wohnbevölkerung aus, die insbesondere nachts einer Hitzebelastung durch mangelnde Abkühlung im Bereich der städtischen Wärmeinsel nicht ausweichen kann. Innenstadtbereiche, die überwiegend als Dienstleistungszentrum genutzt werden und einen nur durchschnittlich hohen Anteil an Wohnbevölkerung haben sind Problemgebiete mit einer etwas niedrigeren Anfälligkeitsstufe.

Abbildung 3-14 zeigt die Bevölkerungsdichte in Einwohnern pro km² für das gesamte Ruhrgebiet. Die Klasseneinteilung beruht auf der mittleren Bevölkerungsdichte von rund 2700 Einwohnern pro km², berechnet nur für die Gebiete der in Abb. 3-13 ausgewiesenen Stadt- und Innenstadtklimatope, und der Standardabweichung der Einwohnerdichte in diesen Bereichen von rund 3400 EW/km². Erwartungsgemäß liegen die Einwohnerdichten im ländlichen Raum weit unter der mittleren Einwohnerdichte in den Innenstädten. Sehr hohe Einwohnerdichten mit über 6100 EW/km² (Mittelwert plus einfache Standardabweichung) oder sogar mehr als 9500 EW/km² (Mittelwert plus doppelte Standardabweichung) konzentrieren sich auf die Innenstadtbereiche der größeren Ruhrgebietsstädte und Hochhaussiedlungen.

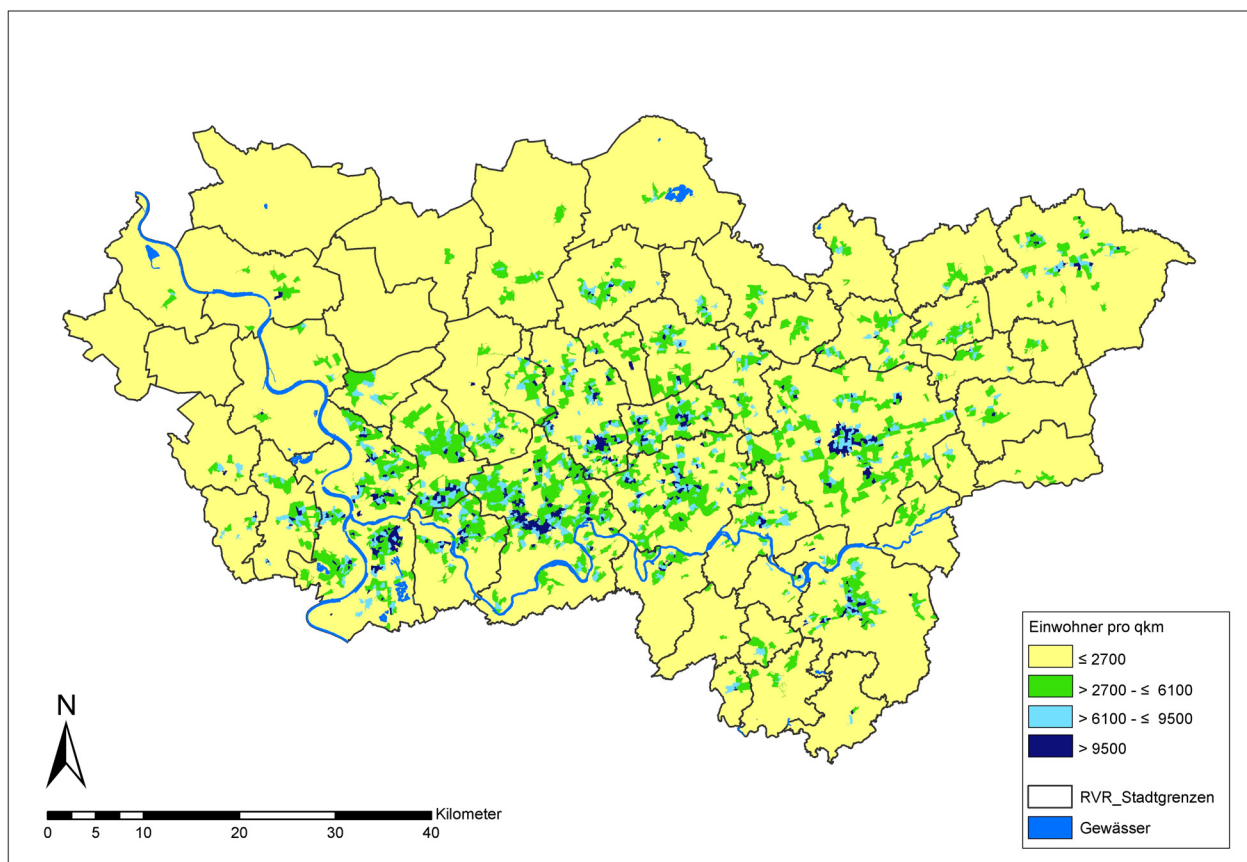


Abb. 3-14 Einwohnerdichte im Ruhrgebiet (Datenquelle: infas GEOdaten, Stand 2007)

Prozentualer Anteil an über 65-Jährigen an der Bevölkerung:

Für die Anfälligkeit eines Gebietes gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen spielen neben dem Hitzepotential (Abb. 3-13) auch soziodemographische Faktoren wie das Alter der Bevölkerung eine Rolle. Ältere Menschen zeigen eine schlechtere Anpassung an extreme Hitze mit gesundheitlichen Folgen, die von Abgeschlagenheit bis hin zu Hitzschlag und Herzversagen reichen können. Gebiete mit einem hohen Anteil älterer Menschen können daher als anfälliger gegenüber Hitzestress charakterisiert werden. Aus diesem Grund wurde der Anteil der über 65-jährigen an den Einwohnern eines Wohnquartiers (Quelle: infas GEOdaten, Stand 2007) ermittelt. Im Mittel sind rund 20 % der Einwohner in den Gebieten der Stadt- und der Innenstadtklimatope über 65 Jahre alt (Standardabweichung 3 %). Abbildung 3-15 zeigt für das gesamte Ruhrgebiet die Flächen mit unterdurchschnittlichen (unter 17 % und 17-20 %) und überdurchschnittlichen (20-23 % und über 23 %) Anteilen der über 65jährigen an der Wohnbevölkerung.

Ein hoher Anteil an älteren Menschen in der Bevölkerung ist nicht auf die Großstädte und die Innenstadtbereiche beschränkt. Die Abbildung 3-15 zeigt, dass gerade im ländlichen Raum in vielen Siedlungen mit einer insgesamt geringen Bevölkerungsdichte überdurchschnittlich viele Alte leben. Die geringe Siedlungsdichte und damit das geringe Hitzepotential machen diese Bereiche aber nicht zu Problemgebieten bezüglich einer extremen klimatischen Belastung des Menschen. Zu bedenken ist, dass aufgrund des zukünftigen demographischen Wandels (s. Kap. 1.1.3) der Anteil der über 65jährigen an der Bevölkerung von jetzt rund 20 % auf über 25 % zunehmen wird.

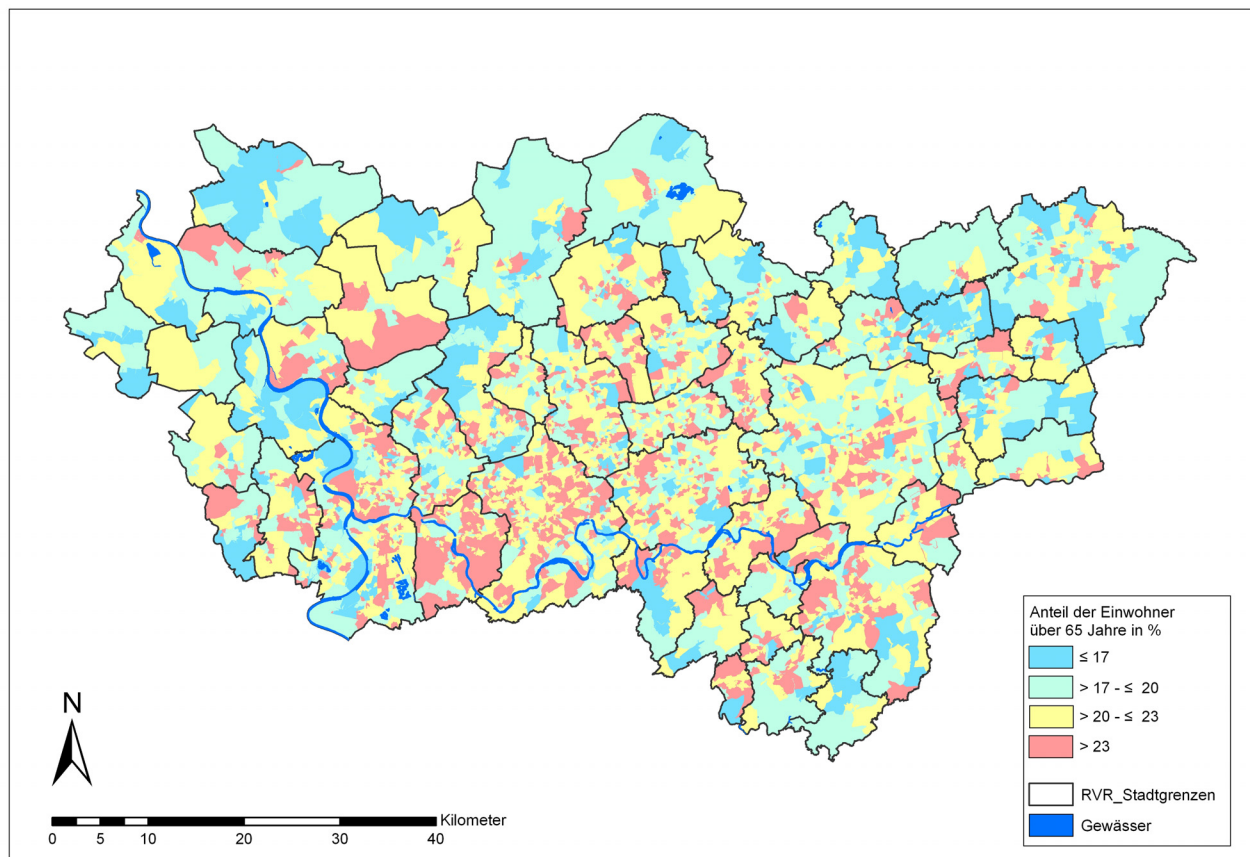


Abb. 3-15 Prozentualer Anteil der Einwohner über 65 Jahre (Datenquelle: infas GEOdaten, Stand 2007)

Die Verschneidung der Karte der Bevölkerungsdichte (Abb. 3-14) und der Karte des prozentualen Anteils der über 65jährigen an der Bevölkerung (Abb. 3-15) jeweils mit den Gebieten der Stadt- und Innenstadtklimatope (Abb. 3-13) führt zur einer abgestuften Anfälligkeit gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen (Abb. 3-16 und 3-17).

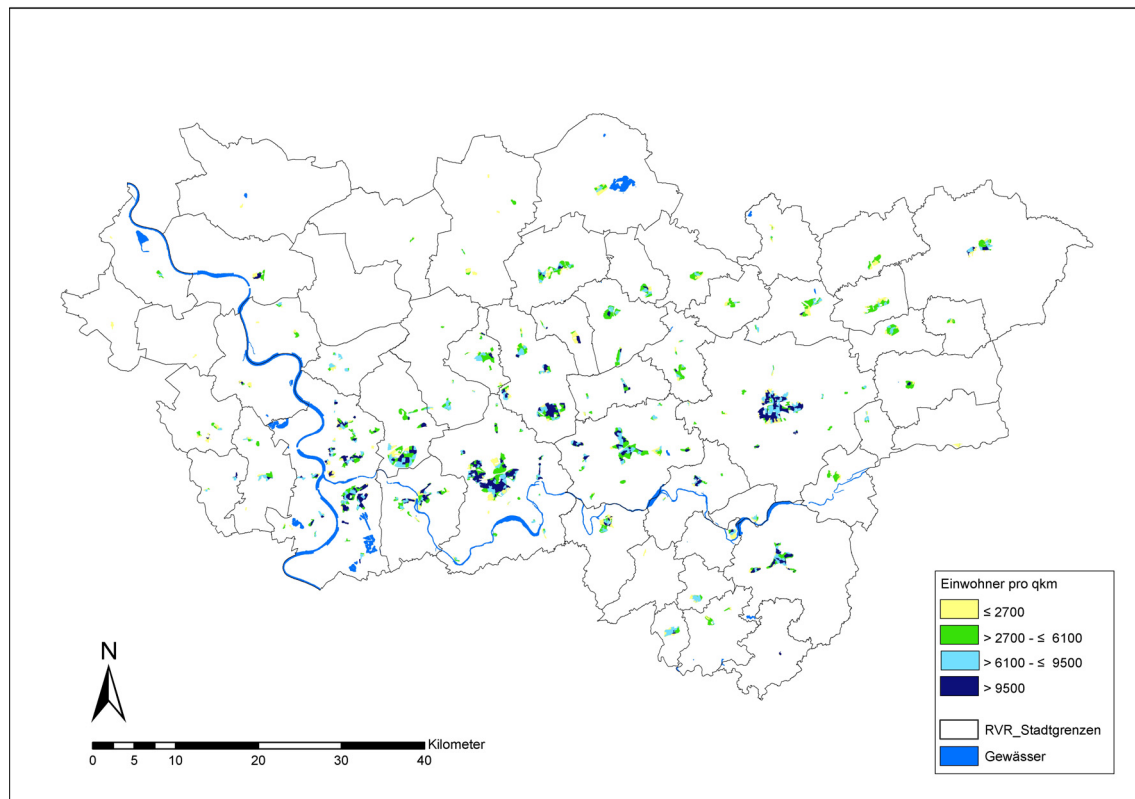


Abb. 3-16 Verschneidung der Innenstadt- und Stadtklimatope mit der Einwohnerdichte

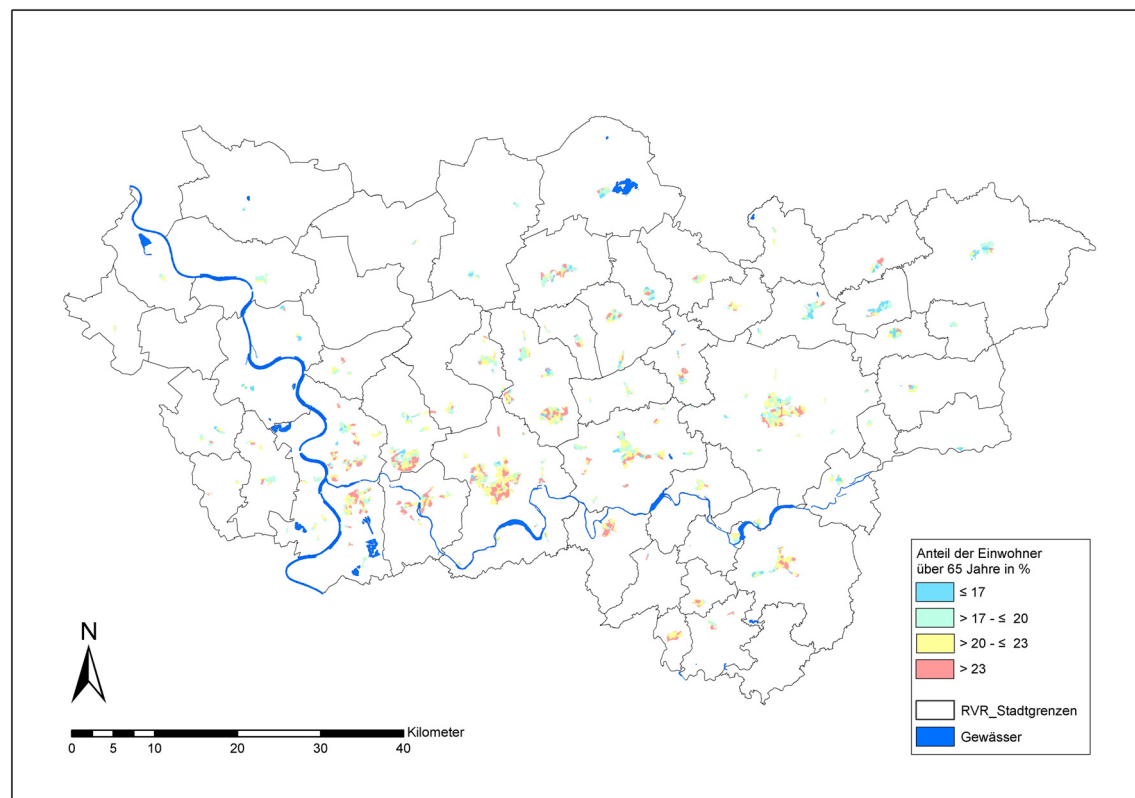


Abb. 3-17 Verschneidung der Innenstadt- und Stadtklimatope mit dem prozentualen Anteil der Einwohner über 65 Jahre

3.3.1.2 Lokalisierung und Bewertung der Problemgebiete

Die Verschneidung der Bereiche von städtischen Wärmeinseln mit den Karten der Bevölkerungsdichte und des prozentualen Anteils der über 65-Jährigen führt zur Abgrenzung von Problemgebieten mit einer abgestuften Anfälligkeit gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen (Abb. 3-19). Die generelle Hitzebelastung ergibt sich aus der typischen, hoch versiegelten Bebauungsstruktur der Stadt- und Innenstadtbereiche. Mit zunehmender Bevölkerungsdichte steigt die Anfälligkeit eines Gebiets von Stufe 1 bis auf Stufe 3. Innenstadtbereiche, die überwiegend als Dienstleistungszentrum genutzt werden und einen nur durchschnittlich hohen Anteil an Wohnbevölkerung haben (gelbe Bereiche in den Abbildungen 3-18 und 3-19) sind Problemgebiet mit etwas niedrigerer Anfälligkeit. Am Beispiel der Stadt Bochum (Abb. 3-18) kann man gut erkennen, dass die Innenstadt mit ihrer Einkaufszone nur eine durchschnittliche Bevölkerungsdichte aufweist und damit ein Problemgebiet mit geringerer Priorität darstellt als die umgebenden Wohngebiete mit einer überdurchschnittlichen (orange) oder extrem hohen (rot) Einwohnerdichte.

Überlagert werden diese drei Klassen von Bereichen mit einem überdurchschnittlichen Anteil von mehr als 23 % Einwohnern über 65 Jahre. Diese Viertel sind höchst problematisch, da sie ein hohes Hitzepotential bei geringen Durchlüftungsmöglichkeiten zusammen mit einem hohen Anteil an der anfälligen Bevölkerungsgruppe der über 65jährigen aufweisen und fallen daher unabhängig von der Gesamtbevölkerungsdichte in die Anfälligkeitsstufe 4.

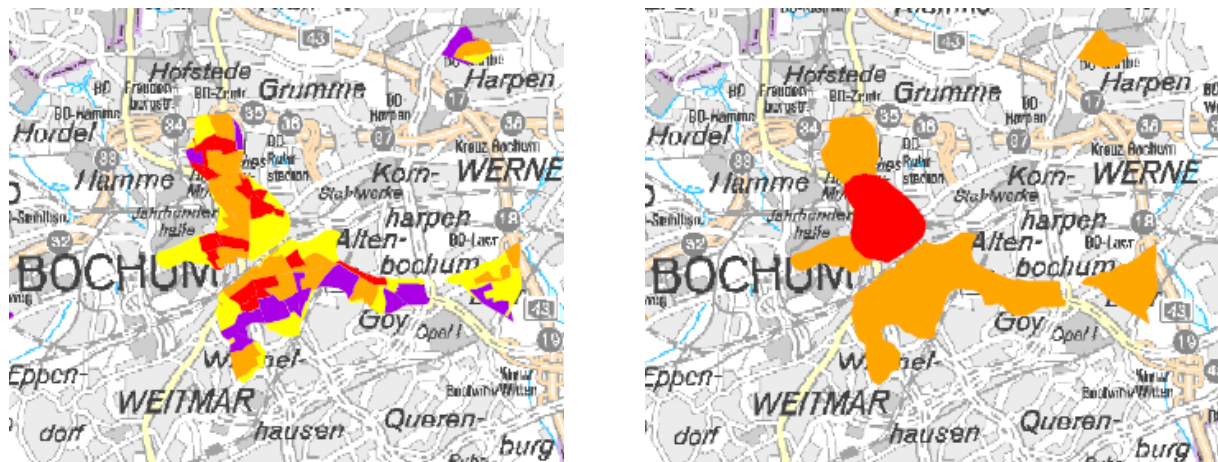


Abb. 3-18 rechts: Problemgebiete mit Anfälligkeitsstufen (Legende siehe Abb. 3-19)
links: Lage der Innenstadt- (rot) und Stadtklimatope (orange) am Beispiel Bochum

Im Ruhrgebiet befinden sich große, zusammenhängende Gebiete mit besonderer Hitzeempfindlichkeit vor allem in den Großstädten Duisburg, Oberhausen, Mülheim a. d. Ruhr, Essen, Gelsenkirchen Bochum und Dortmund. Dies ist eine Folge der Industrialisierung, die in der Hellwegzone zu einem Wachstum der vorhandenen Städte und zur Entwicklung von Großstädten mit jeweils einem einzigen deutlichen Stadtzentrum führte. Die explosionsartige Entwicklung von Dörfern in der Emscherzone dagegen ließ Stadtgebilde ohne eindeutige städtebauliche Mitte mit mehreren größeren und kleineren Stadtkernen entstehen. Die hier vorhandenen Problemgebiete haben keine großen Flächenanteile und gehören meist der untersten Anfälligkeitsstufe an.

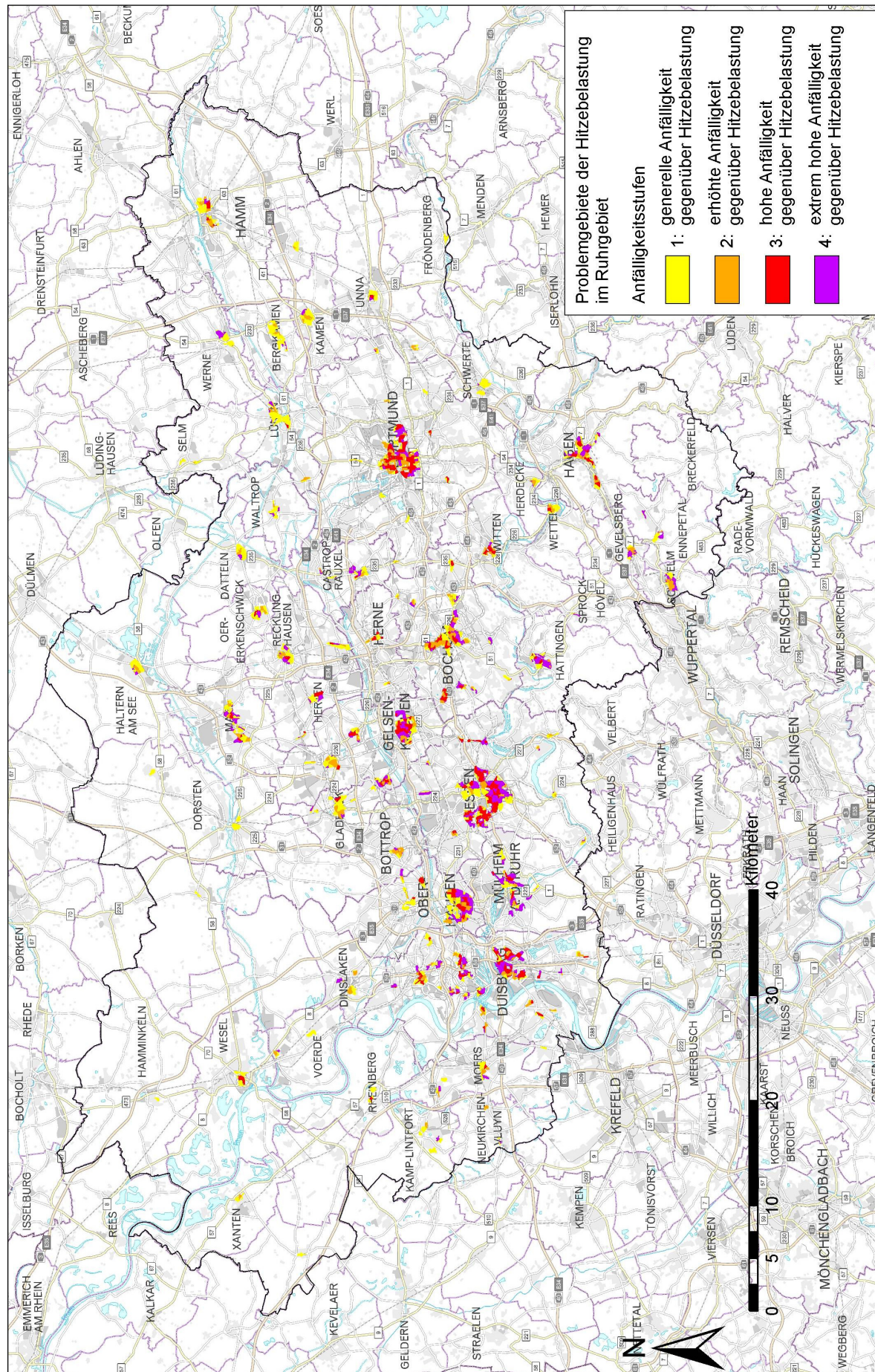


Abb. 3-19 Karte der Problemgebiete der Hitzebelastung im Ruhrgebiet

3.3.2 Problemgebiete im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft

3.3.2.1 Problemgebiete bei Auftreten von Stark- und Extremniederschlägen

Das Gefährdungspotenzial von extremen Niederschlägen unterscheidet sich je nach auftretenden Auswirkungen auf Siedlungsgebiete voneinander und muss jeweils differenziert betrachtet werden. Extremniederschläge können einerseits zu (stark) erhöhtem Oberflächenabfluss und daraus resultierenden Überflutungen führen, andererseits aber auch direkte Schäden auslösen. Erhöhter Oberflächenabfluss kann zu Überflutungen durch

- a) Hangabfluss (wild schießendes Wasser), u. U. mit Stofftransport,
- b) Ausuferung von kleinen urbanen Fließgewässern („kommunale Gewässer“) und
- c) Überlastung der städtischen Entwässerungssysteme

führen.

Bei vielen Starkregenereignissen treten die oben beschriebenen Prozesse a) bis c) gleichzeitig auf und können sich gegenseitig verstärken. Die verschiedenen Prozesse und deren Zusammenwirken sind vereinfacht in der Abbildung 3-20 dargestellt.

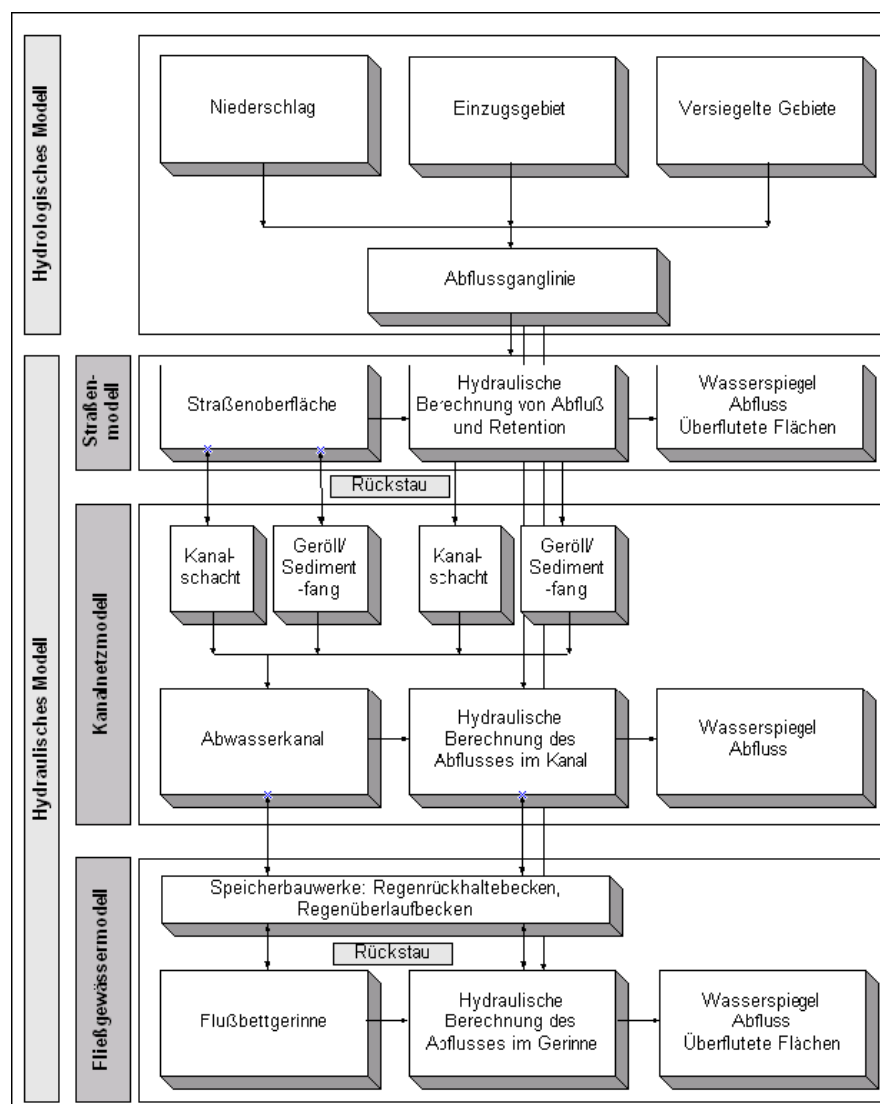


Abb. 3-20 Zusammenwirken der verschiedenen Abflussprozesse im kommunalen Raum (Mark et al. 2004)

Folgende wesentliche Charakteristiken und Wirkungszusammenhänge sind für die Frage zu berücksichtigen, in welchem Maße ein Siedlungsgebiet anfällig ist für Überflutungen infolge von Starkniederschlägen (Gefahren- oder Gefährdungsanalyse):

- **Topographie des Einzugsgebiets** des örtlichen Entwässerungssystems einschließlich aller Flächen, von denen dem System im Extremfall Niederschlagswasser zufließen könnte (siehe Abb. 3-21):

Siedlungsgebiete in Hanglage oder unterhalb von Hanglagen können durch wild abfließendes Wasser aus oberhalb liegenden Gebieten überflutet werden. Besonders gefährdet sind Siedlungsgebiete, die sich unterhalb von stark versiegelten Flächen befinden, weil Hangabflüsse dort zu einem Einstau oder einer Überlastung der Kanalisation führen können. Talwärts führende Wege und Straßen begünstigen den Hangabfluss Richtung besiedelter Fläche. Bereits flach geneigte Hänge, Böschungen und andere Flächen können bei starken Niederschlägen entsprechend wirksam sein.

Befindet sich eine Siedlung in Kessellage beziehungsweise ein Teil der Siedlung in einer Mulde, so kann sich bei ungünstiger Wirkung von Straßenläufen der Hangabfluss an der tiefsten Stelle treffen und dort besonders großen Schaden an anliegenden Grundstücken und Bebauung anrichten und die Kanalisation dort temporär überlasten.



Abb. 3-21 Auswirkungen von Sturzfluten infolge von Extremniederschlägen (Hatzfeld 2009)

Die Bergsenkungs- und Poldergebiete des Ruhrgebiets mit Ihren Pumpwerken zur Abwasserhebung, Grundwasserhaltung und Vorflutsicherung stellen eine spezifische Situation in vielen Kommunen dar, die in besonderem Maße in die Gefährdungsanalysen der entsprechenden Gebiete eingehen muss. Unter Bergsenkungen versteht man Geländeabschnitte, die in Folge intensiver unterirdischer Bergbauaktivitäten großflächig und meist um mehrere Meter abgesunken sind. „Polder“ werden im Ruhrgebiet solche Bergsenkungsgebiete ge-

nannt, die aufgrund der eingetretenen Senkungen der Geländeoberfläche keine natürliche „Vorflut“, d. h. keinen freien Abfluss von Fließgewässern, Niederschlagswasser oder Abwässern unter Nutzung der Schwerkraft mehr besitzen. 37 % des Emschereinzugsgebiets sind bergbaubedingte Polderflächen, im Einzugsgebiet der Lippe sind durch die Nordwanderung des Steinkohlebergbaus ebenfalls diverse Bergsenkungsgebiete entstanden oder werden noch erwartet (Abb. 3-22).

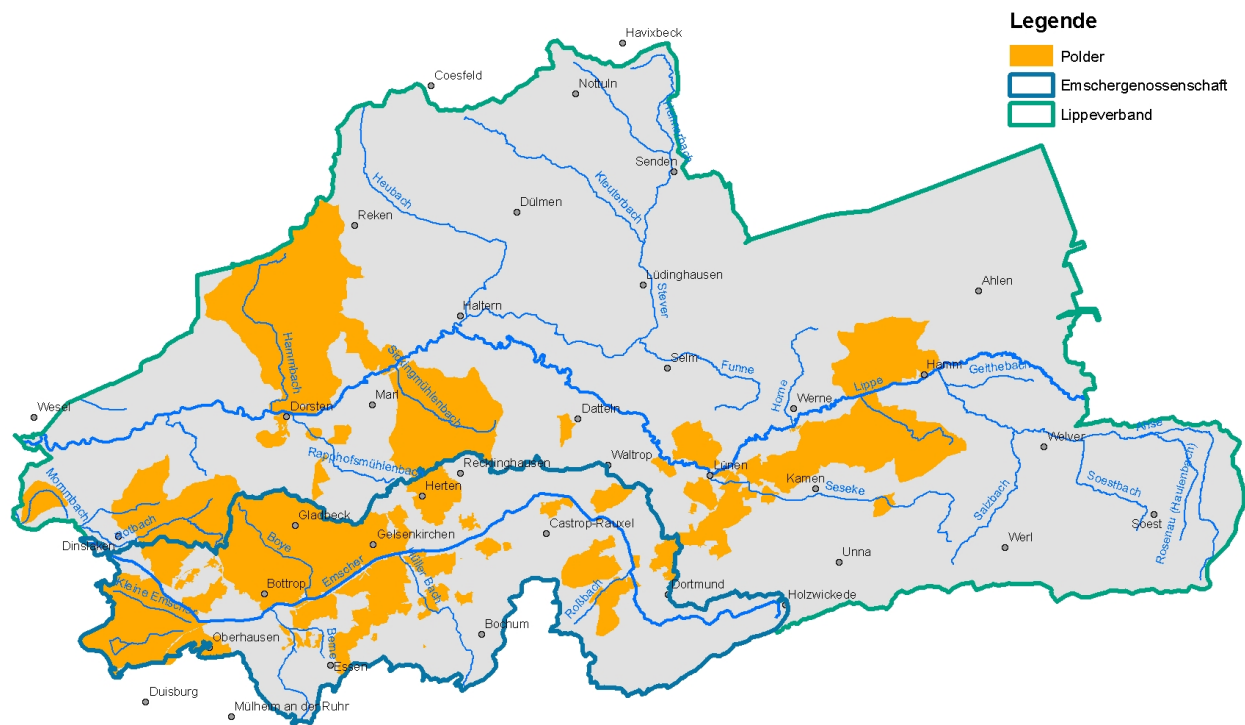


Abb. 3-22 Poldergebiete in den Verbandsgebieten von Emschergenossenschaft und Lippeverband (Quelle: EG/LV)

Sofern diese Senkungsgebiete und andere Tieflagen an den Flüssen Lippe, Emscher und Ruhr liegen, wurden sie bei der Erstellung der Hochwasser-Aktionspläne (HWAP) bereits als potenzielle Überflutungsflächen für den Fall identifiziert, dass Hochwasser in den genannten Flüssen nicht durch die vorhandenen HW-Schutzanlagen zurückgehalten werden kann. Diese HWAP sind über die Websites der zuständigen Bezirksregierungen öffentlich zugänglich. Die Identifizierung möglicher weiterer Poldergebiete ist Sache der Kommunen und des zuständigen Betreibers des Entwässerungsnetzes.

Im Fall von urbanen Sturzfluten aufgrund starker Niederschläge sowie den nachfolgenden Überflutungen von Siedlungsflächen kommt den vorhandenen Pumpwerken in den Poldern häufig entscheidende Bedeutung zu: Zum Einen deshalb, weil Pumpwerke mit Ihrer vollen Leistungsfähigkeit einschließlich aller Reserven durchaus dazu beitragen können, das Gefährdungspotenzial, d. h. das Risiko für ein Poldergebiet zu reduzieren. Zum Anderen haben die Pumpwerke die wichtige Aufgabe, während und nach Ende eines Starkregens bzw. dem Absinken des Zuflusses von Niederschlagswasser in überflutete Flächen die aufgelaufenen Wassermassen möglichst schnell wieder in die Vorfluter abzupumpen, damit die Gefährdung von Menschen, Besitz und Infrastruktur reduziert und Hilfs- und Aufräumarbeiten

baldmöglichst eingeleitet werden können. Beides setzt allerdings voraus, dass solche Pumpwerke auch bei Überflutungen funktionsfähig bleiben, d. h. zumindest überflutungssicher gebaut sind oder auch überflutet betrieben werden können.

- **Tatsächliche Bodenverhältnisse im Einzugsgebiet:**

Grundsätzlich nehmen nicht versiegelte Böden einen Teil des Niederschlags durch Versickerung auf, sofern deren obere Bodenzone entsprechend durchlässig und aufnahmefähig ist. Begünstigt wird die natürliche Versickerung durch Bewuchs wie Bäume, Büsche und höhere Nutzpflanzen, die durch ihr Blattwerk und die Durchwurzelung des Bodens den Niederschlag zurückhalten und so hohe Abflussspitzen vermeiden helfen.

Eine Gefährdung geht bei intensiven Niederschlägen auch von geneigten unbewachsenen Flächen aus, wenn diese aufgrund langer Trocken- oder Hitzeperioden ausgetrocknet sind. Diese Gefährdung kann auch von kurz gemähten Wiesen in Hangneigung und von landwirtschaftlichen Flächen ausgehen, die durch intensive maschinelle Bearbeitung stark verdichtet wurden. Sind Ackerflächen, die oberhalb von Siedlungsgebieten liegen, frisch bearbeitet (unter Umständen sogar entlang der Hangfalllinie), besteht die Gefahr, dass Sturzfluten zu Erosionsschäden und Abtragungen von Geröll und Sediment führen.

- **Bebauungsgrad bzw. Flächennutzung (abflusswirksame Flächen):**

Dies ist eine entscheidende Größe bereits für die Bemessung der Entwässerungseinrichtungen im öffentlichen Raum und auf privaten Grundstücken. Das Gefährdungspotenzial eines Teileinzugsgebiets vergrößert sich mit der Größe der abflusswirksamen Flächen und dem Grad der Abflusswirksamkeit. Je höher diese beiden Werte sind, desto weniger Rückhaltepotenzial hat das Gebiet und desto mehr Niederschlagswasser wird ohne Verzögerung den Entwässerungseinrichtungen zugeleitet oder fließt oberflächlich ab.

In Gebieten mit großen Anteilen von Flächen mit hohen und mittleren Verdichtungsgraden ist bei Auftreten von lokal begrenzten Extremniederschlägen mit sehr hohen Intensitäten eine Gefährdung der Bevölkerung, der Bebauung und der Infrastruktur durch oberirdische Sturzfluten und überlastete Kanäle sehr wahrscheinlich.

- **Vorhandensein von kleinen urbanen Fließgewässern ohne oder mit nur geringem Hochwasserschutz:**

Bei Starkniederschlägen kann es zu einer Überlastung sowohl der Vorflut-Gewässer einschließlich der zugehörigen Bauwerke und Anlagen (Pumpwerke, Deiche, Brücken) kommen, als auch der kleinen urbanen Fließgewässer, die im Ruhrgebiet häufig zur Entwässerung und als Zuleitung zur Vorflut genutzt werden. Diese Rinnen und Bachläufe besitzen häufig keine wesentlichen Hochwasserschutzeinrichtungen. In der Regel liegen für kleine Gewässer keine Informationen über Abflussverhalten, Profilverlauf oder sonstige Gewässerdaten vor.

Niedrige Brücken, Durchlässe, Übergänge in verrohrte Abschnitte, querende Leitungen, verschüttete Profile und Bewuchs können den Gewässerverlauf einschränken und bewirken in extremen Fällen einen Überlauf des Wassers ins anliegende Ufergebiet. Diese Gefahr wird durch mittransportiertes Geröll und Äste noch erhöht, da diese den Abfluss an solchen

Einengungen wesentlich einschränken und damit einen Anstieg des Wasserspiegels bis zum Überlauf verursachen können.

Ausufernde Wassermengen können Siedlungsflächen überfluten und die Kanalsysteme, die für solche Wassermengen nicht bemessen sind, überlasten. Hochwasserabfluss in Fließgewässern kann auch einen Rückstau in den Regenwassereinläufen der Kanalisation bewirken oder durch Überflutung die Kläranlage beschädigen.

- **Vorhandensein von Gefahrenpunkten:**

- Gewässerverläufe oberhalb des Taltiefsten:
Diese Situation erhöht die Gefährdung eines Siedlungsgebiets durch Ausuferung und Überlauf des Fließgewässers bei erhöhten Wasserständen.
- Sonderbauwerke im Entwässerungssystem wie Pump- und Hebewerke, Düker, Durchlässe oder Zusammenführungsbauwerke:
Sonderbauwerke haben fast ausschließlich eine zentrale Bedeutung für die Funktionsfähigkeit eines Entwässerungssystems. Pumpwerke sind z. B. unbedingt angewiesen auf eine durchgehende Energieversorgung und müssen im Fall von Ausfällen durch Servicepersonal auch bei Überflutungen in der Umgebung erreichbar und begehbar sein.
- Kanalisationsabschnitte mit begrenzten Leistungsreserven:
Eine Überschreitung der Kapazität der Kanäle und Anlagen der öffentlichen Kanalisation kann sowohl Gebiete mit Trenn- als auch mit Mischsystemen betreffen. Eine Überlastung der Kanalisation hat nicht nur zur Folge, dass Niederschlagswasser nicht abfließen kann, sondern dass durch Rückstau aus der Kanalisation Wasser in unter der Rückstauenebene liegende Kellerräume gelangt. Ebenfalls betroffen sind Tiefgaragen, Unterführungen u. ä., die bei mangelhaft bemessener Kanalisation überflutet werden können. Der Stofftransport bei Hangabfluss und Überlauf von Fließgewässern (Geröll, Sediment, Laub/ Äste und andere mitgeführte feste Stoffe) kann die Funktionsfähigkeit der Entwässerungssysteme erheblich beeinträchtigen durch Verstopfung von Straßeneinläufen, Einläufen offener Gerinne und Bäche in verrohrte Abschnitte und anderen Querschnittseinschränkungen (trotz Sicherung mit Rechen).
- Temporäre (Bau)Arbeiten an Straßen, Flächen, urbanen Gewässern oder der Entwässerungsinfrastruktur, die geeignet sind, die örtliche Abflusssituation zu beeinträchtigen:
Große Infrastrukturprojekte mit temporären Umlegungen von Entwässerungsleitungen, unfertigen Erdarbeiten oder Einengungen von Fließgewässern und Abflusswegen in Siedlungsgebieten können ein potenzieller Ausgangspunkt für eine Sturzflut sein. Gleichzeitig sind solche Baustellen selbst durch Sturzfluten oder Überflutungen gefährdet. Je nach Größe und Dauer der Eingriffe in das Abflussregime, für das eine Gefahren- und Risikoanalyse erstellt wurde, ist für bestimmte Bauzustände oder die gesamte Dauer eine neue Gefahren- und Risikoanalyse zu erstellen.

- **Vorhandensein von Rückhalte- und Speichermöglichkeiten:**

Vorhandene wasserwirtschaftliche Rückhalte- und Speicherbauwerke, Retentionsflächen, eine leistungsfähige Vorflut und Ersatzwasserwege, die einen erhöhten Oberflächenabfluss aufnehmen und abführen können, sind geeignet, eine Gefährdung zu mindern.

Maßgebliche Kriterien zu Abschätzung der Gefährdung infolge von Extremniederschlägen sind die Dauer bis zum Eintreffen der Überflutung, ob es eine Vorwarnung gibt, die Ausdehnung der Überflutung, die Fließgeschwindigkeit der Abflüsse sowie die Art und Menge der mitgeführten Stoffe (URBAS 2008).

Die Gefahren- oder Gefährdungsanalyse, für die ein Siedlungsgebiet anhand der oben stehenden Kriterien untersucht wird, ist zur Erstellung einer vollständigen Gefahren- und Risikoanalyse zu ergänzen durch eine Vulnerabilitätsanalyse (Analyse der potenziellen Schäden) für das untersuchte Siedlungsgebiet, um zu einer vollständigen Ermittlung und Darstellung des gebiets-spezifischen Risikos zu kommen (URBAS 2008). Die Gefahren- und Risikoermittlung für Überflutungen infolge von Hangabfluss, Ausuferung von (städtischen) Gewässern und Überlastung der städtischen Entwässerungssysteme unterscheidet sich voneinander und sollte vor einer integrierten Betrachtung jeweils einzeln durchgeführt werden. Eine Übertragung auf andere Gebiete ist aufgrund der Verschiedenheit der Charakteristiken grundsätzlich weder für Ergebnisse der einzelnen Analysen noch für die gesamte Analyse möglich.

3.3.2.2 Hitze und Trockenheit

Länger anhaltende Hitzephasen in Verbindung mit überdurchschnittlicher Sonnenbestrahlung können zur Folge haben, dass sich nicht nur Oberflächengewässer erwärmen, sondern auch das Trinkwasser in den Verteilungsnetzen. Aufgrund von Beobachtungen in anderen Systemen ist festzustellen, dass auch eine geringe Temperaturerhöhung im Bereich von 1 °C - 3 °C zu einer deutlichen Erhöhung der Vermehrungsrate von hygienisch relevanten Bakterien (beispielsweise Enterobacter, Citrobacter, Klebsiella u. a.) führen kann. Dieser Effekt wird im Temperaturbereich zwischen 15 °C und 25 °C erwartet. Es ist derzeit bekannt, dass es im Verteilungsnetz unter den oben beschriebenen ungünstigen Randbedingungen zu Temperaturen bis zu 20 °C kommen kann. Dabei wurde durch Untersuchungen des Wassers und des Biofilms eine erhöhte Koloniezahl festgestellt.

Besonders anfällig für eine Erwärmung des Trinkwassers sind schwach durchflossene Netzabschnitte unter asphaltierten oder gepflasterten Straßen und Plätzen sowie andere Flächen ohne ausreichende Beschattung, die die Wärme gut aufnehmen, über längere Zeit speichern und auf diese Weise die unterliegenden Bodenschichten aufheizen. Es ist davon auszugehen, dass eine direkte Bestrahlung durch die Sonne diesen Effekt des Aufheizens noch forcieren wird. Diese Gefährdung der Wasserqualität kann sich noch erhöhen, wenn erwärmtes Oberflächenwasser als Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung genutzt werden muss.

Die potenziell durch Temperaturerhöhung im Trinkwasserverteilungsnetz betroffenen Gebiete decken sich mit den im Kapitel 3.3.1 ausgewiesenen Flächen der Anfälligkeit gegenüber thermischer Belastung, da sich die Gefährdung der Wasserqualität aus der Wärmeaufnahme von hoch versiegelten Flächen ergibt.

4. Aufzeigen von Lösungsmöglichkeiten

4.1 Handlungskataloge und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

4.1.1 Methodik

Für die zielgerichtete Recherche der verschiedenen technisch-planerischen und nicht-technischen Klimaanpassungsoptionen für urban geprägte Siedlungsgebiete sowie deren Zuordnung zu den in Kap. 3 identifizierten klimabezogenen Belastungen und Folgewirkungen bietet es sich an, eine einheitliche Vorgehensweise für alle Problemfelder zu nutzen. Zu diesem Zweck wurde der methodische Ansatz der *Verwundbarkeitsanalyse* des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (Stock 2005) für eine Verwendung in diesem Handbuch angepasst und weiterentwickelt (Abb. 4-1).

Die direkten und indirekten Folgen der regionalen Auswirkungen des Klimawandels für ein beliebiges System (= Kommune, Einzugsgebiet, Region, Anlage, Wirtschaftssektor, Unternehmen) wurden auf die vier Interventionsebenen

- I „Rahmenbedingungen des Systems“,
- II „Belastungen/ Sensitivitäten des Systems“,
- III „Fehl- oder Nichtfunktion des Systems“ und
- IV „Schadenspotenziale im Bereich des Systems“

erweitert, um die in Kap. 3 für die wesentlichen Auswirkungen des Klimawandels erarbeiteten Einflussfaktoren, Wirkungszusammenhänge und Indikatoren einheitlich strukturieren und mit anderen Verwundbarkeiten vergleichbar machen zu können.

Damit können jeder Belastung (Exposition), Sensitivität (Anfälligkeit), Fehl-/ Nichtfunktion (Systemversagen) oder anderen negativen Auswirkungen, die im Rahmen einer **Gefährdungsanalyse** (linke Seite der Abbildung 4-1) eines „Systems“ zu berücksichtigen wären, systemspezifische **Anpassungslösungen** (rechte Seite der Abbildung 4-1) gegenübergestellt werden. Die Anpassungslösungen werden entsprechend dem 4-Ebenen-System drei verschiedenen Gruppen von Anpassungspotenzialen (Ebenen I – III) bzw. den Schadensminderungspotenzialen (Ebene IV) zugeordnet. Auf diese Weise können auch die je nach Ebene unterschiedlichen rechtlichen und finanziellen Verantwortlichkeiten (Staat, Betreiber, private Grundstückseigentümer usw.) berücksichtigt werden.

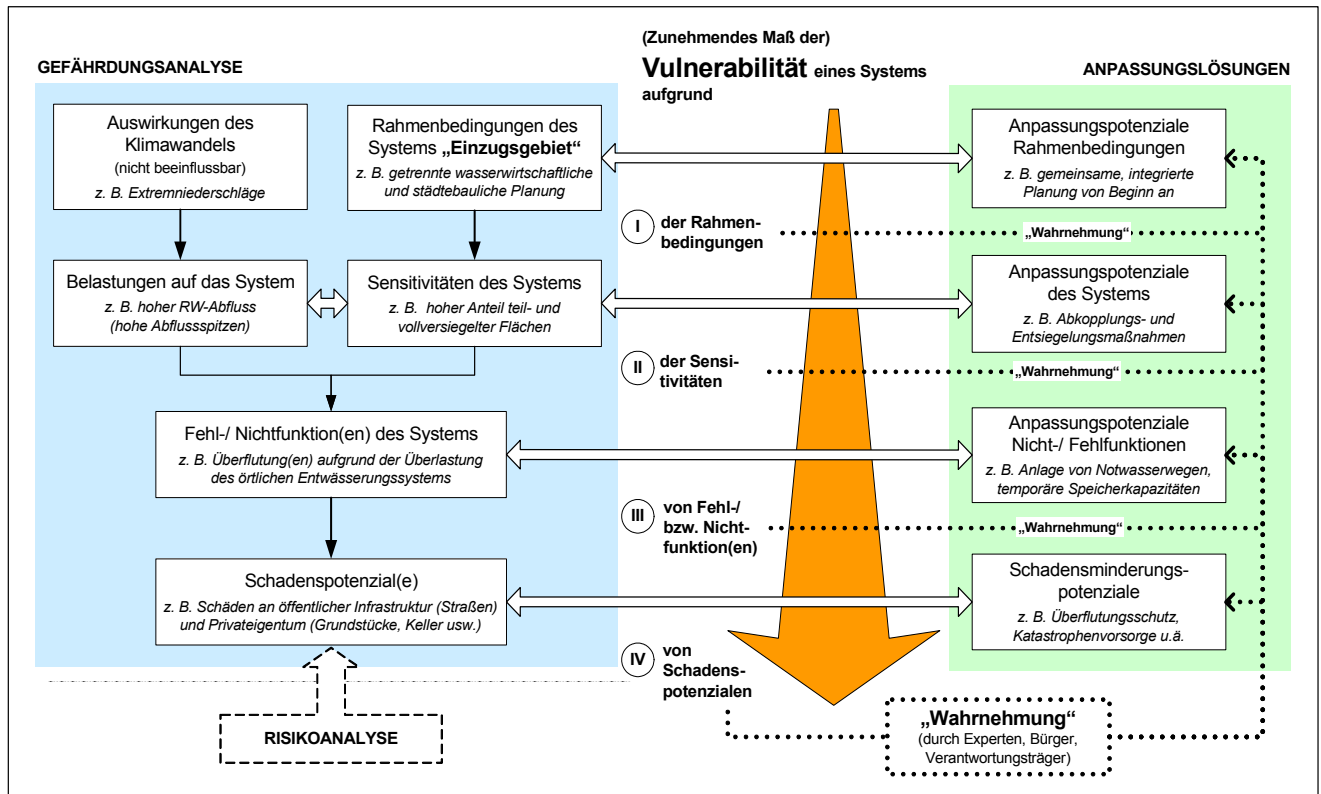


Abb. 4-1 Vorgehensweise für die Recherche der Klimaanpassungsoptionen für urban geprägte Siedlungsgebiete und deren Zuordnung zu klimabezogenen Belastungen und Folgewirkungen (Eigene Darstellung FiW)

Die wesentlichen Elemente des weiterentwickelten Ansatzes sind (siehe jeweils Abb. 4-1):

- **Belastungen** durch klimabedingte Einwirkungen auf ein System, für das Problemfeld „Extremniederschläge“ sind dies z. B. hohe Regenwasserabflüsse bzw. hohe Abflussspitzen, für das Problemfeld „Hitzebelastung“ ist dies die lange Andauer von Hitzewellen.
- Die **Sensitivität**, Anfälligkeit oder Empfindlichkeit, die das System gegenüber den Belastungen aufgrund seiner physischen, ökologischen oder sozioökonomischen Struktur aufweist, beispielsweise ein hoher Anteil teil- oder vollversiegelter Flächen oder eine hohe Bevölkerungsdichte.
- Die **Fehl- bzw. Nichtfunktionen** (oder das Versagen) eines Systems:
Dies sind negative oder als negativ empfundene Auswirkungen auf das System, die sich aus der Kombination von Belastung und Sensitivität ergeben können. Fehl- bzw. Nichtfunktionen treten auf, wenn Annahmen und Grenzwerte gültiger technisch-planerischer Standards überschritten werden oder die Auswirkungen in der Wahrnehmung Einzelner oder von Gruppen über deren subjektive oder kollektive Erwartungen hinausgehen (=> s. u. „Wahrnehmung“). Im Problemfeld „Extremniederschläge“ können Fehl- bzw. Nichtfunktionen z. B. Überflutung(en) eines Siedlungsgebiets aufgrund der Überlastung des örtlichen Entwässerungssystems sein, im Problemfeld „Hitzebelastung“ können diese eine mangelnde nächtliche Abkühlung aufgrund der Wärmespeicherung in der Bebauungsstruktur oder eine schlechte Durchlüftung mit kühler Freilandluft aufgrund der städtischen Windfeldveränderungen sein.

- Das/die **Schadenspotenzial(e)** in einem System, d. h. Schäden oder Beeinträchtigungen am System oder im Bereich des Systems, im Problemfeld „Extremniederschläge“ können dies z. B. (physische) Schäden an öffentlicher Infrastruktur oder Privateigentum sein, im Problemfeld „Hitzebelastung“ können dies gesundheitliche Belastungen oder im Extremfall der Hitzetod sein.
- Die **Anpassungspotenziale** bzw. **Schadensminderungspotenziale** eines Systems:
Darunter versteht man die Fähigkeiten eines Systems bzw. seiner Verantwortlichen zur Planung, Vorbereitung, Unterstützung und Implementierung von Handlungsmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (*Anpassungsfähigkeit*, auch *Adaptationskapazität* eines Systems = Kombination von Bewusstsein/ Willen, Wissen/ Technologie und Ressourcen des Systems). Für das Problemfeld „Extremniederschläge“ reichen diese z. B. von gemeinsamer Stadt- und wasserwirtschaftlicher Planung (Ebene I) bis zum individuellen Überflutungsschutz und zur Katastrophenvorsorge (Ebene IV).

- Die **Wahrnehmung(en)** der tatsächlichen Verwundbarkeiten eines Systems:
Auf jeder Interventionsebene entstehen mehrere Wahrnehmungen - also Interpretationen und Bewertungen des Erfahrenen durch Betroffene und Beobachter vor dem Hintergrund ihres jeweiligen Wissens und ihrer jeweiligen Erfahrungen – der tatsächlichen Verwundbarkeiten (z. B. „Verwundbarkeiten aufgrund von Sensitivitäten“). Diese unterschiedlichen Wahrnehmungen von Experten, Verantwortungsträgern aus Politik und Verwaltung, Betroffenen oder Beobachtern beeinflussen sowohl das (An-)Erkennen, dass Anpassung erforderlich ist, als auch den Umfang, die Priorisierung und die Umsetzung von Anpassungs- oder Vorsorgemaßnahmen.

Eng verbunden mit der Wahrnehmung einer Verwundbarkeit sind die Aspekte Unsicherheit und Risiko¹. Diese Aspekte bzw. der gesellschaftliche Umgang mit ihnen wurden u. a. von Zinn (2006) in einem Workshop des Deutschen Komitees für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) und der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) umfassend behandelt. Zur Vertiefung des Themas wird auf die Langfassung des Vortrags im Bericht zum Workshop verwiesen (Zinn 2006).

- Die tatsächlichen **Verwundbarkeiten** (*Vulnerabilitäten*) eines Systems:
Das Kriterium Verwundbarkeit oder Verletzlichkeit bestimmt, wie groß ein Schaden im System aufgrund eines bestimmten Ereignisses sein kann. Im hier verwendeten Ansatz ergeben sich auf den verschiedenen Interventionsebenen unterschiedliche Verwundbarkeiten als Kombinationen der Belastungen, Sensitivitäten und resultierenden negativen Auswirkungen mit den vorhandenen oder möglichen Anpassungspotenzialen.

Von Ebene I zu Ebene IV nimmt das Maß der Verwundbarkeit eines Systems in der Weise zu, dass die Gefährdungen für das Systems zunehmen und gleichzeitig die Möglichkeiten des Systems, möglichst früh und effizient gegenzusteuern, reduziert werden. So müssen

¹ Der Begriff des *Risikos* betrachtet die beiden Aspekte *Größe des Schadens* und *Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens*. Da das Risiko aus den Komponenten *Gefährdung* und *Vulnerabilität* besteht, müssen bei der Betrachtung der Möglichkeiten der Risikominderung beide Komponenten untersucht und bewertet werden. Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Schäden (*Risikoanalyse*), z. B. infolge einer Überflutung, sind in Veröffentlichungen des DVWK (heute DWA) und des BWK (DVWK 1985, BWK 2001) umfassend beschrieben (URBAS 2008). Hinsichtlich der Erstellung von *Gefährdungs- und Risikoanalysen*, insbesondere für Überflutungen im kommunalen Raum, sei an dieser Stelle auf die Arbeitsergebnisse und den Abschlussbericht des Forschungsprojekts URBAS verwiesen (URBAS 2008, Zusammenfassung, S. 7).

z.B. Gefährdungen auf Ebene III und IV durch deutlich aufwendigere und meist teurere Anpassungs- oder Schutzmaßnahmen ausgeglichen werden, ohne dass damit alle Versagens- oder Schadenspotenziale auszuschließen sind. Dagegen kann eine Anpassungsmaßnahme im Bereich der Rahmenbedingungen des Systems, z. B. die integrierte Planung, bestimmte Sensitivitäten des Systems weitgehend reduzieren und damit mögliche Gefährdungen von vornherein ausschließen.

Zur Erstellung eines systembezogenen Handlungskatalogs werden für jedes Problemfeld bzw. jeden thematischen Verwundbarkeitsbereich (Hitzebelastung, Extremniederschläge, Trockenperioden) die vorhandenen bzw. im Rahmen der Gefährdungs- und Risikoanalyse erarbeiteten Informationen gemäß oben erläuterten methodischen Ansatz tabellarisch zusammengestellt. Dazu werden die Rahmenbedingungen, Belastungen / Sensitivitäten, möglichen Fehl- bzw. Nichtfunktionen und Schadenspotenziale eines Systems mit ihren zugehörigen Indikatoren in die ersten ein bis zwei Spalten einer Tabelle eingetragen. Passend zu diesen Einflussfaktoren werden in einer dritten Spalte systemspezifische Anpassungslösungen aufgelistet, die einzeln oder als Maßnahmenbündel geeignet sind, die tatsächliche Vulnerabilität des Systems auf der jeweiligen Interventionsebene zu minimieren. Darauf aufbauend können diese Maßnahmen oder Maßnahmenbündel systematisch analysiert und mit den Ergebnissen zu anderen Problemfeldern abgeglichen werden, z. B. welche Bedingungen, Abstimmungen und Ressourcen für eine Umsetzung erforderlich sind oder welche Interaktionen mit Anpassungsmaßnahmen in anderen Problembereichen (z. B. Extremniederschläge mit Hitze) oder Verantwortungsbereichen bei der Planung und Umsetzung zu beachten sind.

Die folgenden Kapitel enthalten die Handlungskataloge für die Problemfelder „Hitzebelastung“, „Extremniederschläge“ und „Trockenperioden“. In diesem Handlungskatalog wird jeder Lösung dazu bereits in der tabellarischen Übersicht eine eindeutige Nummerierung zugeordnet. Lösungsvorschläge für das Problemfeld „Hitzebelastung“ haben die Bezeichnungen H1 bis H31, für das Problemfeld „Extremniederschläge“ die Bezeichnungen E1 bis E10 und für das Problemfeld „Trockenperioden“ die Bezeichnungen T1 bis T6. Einige Lösungsvorschläge tauchen an mehreren, verschiedenen Stellen einer Tabelle oder in verschiedenen Tabellen auf, da sie als Anpassungslösungen für unterschiedliche Einzelprobleme geeignet sind.

Übergeordnete Aspekte für fast alle Anpassungslösungen sind die Überprüfung der technischen Machbarkeit von Maßnahmen und die Schaffung eines (politischen) Bewusstseins für die Umsetzungsbereitschaft von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel.

4.1.2 Handlungskataloge zur Hitzebelastung

Die Tabellen 4-1 und 4-2 geben eine Übersicht über die Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für urban geprägte Gebiete zu klimabezogenen Gefährdungspotenzialen für das Problemfeld „Hitzebelastung“, getrennt nach stadtklimatischen Aspekten (Tab. 4-1) und siedlungswasserwirtschaftlichen Aspekten (Tab. 4-2). Die einzelnen Anpassungslösungen bzw. Schadenminderungsmaßnahmen werden nachstehend durch textliche Beschreibungen oder Grafiken kurz erläutert.

Tab. 4-1 Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Hitzebelastung“, stadtklimatische Aspekte

I	Rahmenbedingungen des Systems		Lösungen
	Getrennte Planung (Umweltamt, Planungsamt)	H1	Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche
	Bauliche, technische Voraussetzungen	H2	Überprüfung der technischen Machbarkeit
	Fehlende Optimierung von Maßnahmen	H3	Einbeziehung von Modellierungen in die Planung
II	Belastungen	Sensitivitäten	Lösungen
	Hitzewellen	Versiegelungsrate, Vegetationsanteil	H4 Festlegen von Bebauungsgrenzen
			H5 Freiflächen erhalten, schaffen, Flächen entsiegeln
			H6 Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten
			H7 Begrünung von Straßenzügen
			H8 Dachbegrünung
		Bevölkerungsdichte	H4 Festlegen von Bebauungsgrenzen
		Anteil der über 65-jährigen	H9 Informationsmanagement, Warnsystem
III	Fehlfunktionen des Systems		Lösungen
	Aufheizung von Bebauungsstrukturen	H6	Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten
		H7	Begrünung von Straßenzügen
		H8	Dachbegrünung
		H10	Fassadenbegrünung
		H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
		H12	Offene Wasserflächen schaffen
		H13	Gebäudeausrichtung optimieren
		H14	Hauswandverschattung, Wärmedämmung
		H15	Geeignete Baumaterialien verwenden
	Mangelnde nächtliche Abkühlung	H4	Festlegen von Bebauungsgrenzen
		H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
		H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen
	Schlechte Durchlüftung	H4	Festlegen von Bebauungsgrenzen
		H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
		H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen
		H17	Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freigehalten
IV	Schadenspotenziale		Minderungen
	Herabgesetzte Aufenthaltsqualität, herabgesetzte Produktivität	H18	Verschattungselemente einbauen
		H12	Offene Wasserflächen schaffen
		H6	Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten
	Beeinträchtigung der Gesundheit	H9	Informationsmanagement, Warnsystem
		H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen
		H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen
	Hitzetod	H9	Informationsmanagement, Warnsystem

Tab. 4-2 Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Hitzebelastung“, siedlungswasserwirtschaftliche Aspekte

I Rahmenbedingungen des Systems			Lösungen		
	Getrennte Planung (Wasserwirtschaftliche, Stadt- und Raumplanung)		H1	Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche	
	Bauliche, technische Voraussetzungen		H2	Überprüfung der technischen Machbarkeit	
II	Belastungen	Sensitivitäten	Lösungen		
	Erhöhte Verdunstung	Urbane Vegetation mit artbedingt hohem Wasserbedarf	H19	Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation	
			H20	Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten	
	Austrocknung nicht versiegelter Flächen	Bewachsene und unbewachsene Flächen und Böden mit begrenztem eigenem Schutz gegen Austrocknung	H19	Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation	
			H21	Vermehrter Einsatz von bodenbedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen	
			H22	Beschattung relevanter Flächen	
	Aufheizung von Böden (unter teil- oder vollversiegelten Flächen)	Hoher Anteil teil- oder vollversiegelter Flächen aus stark wärmeleitenden und -speichernden Materialien	H23	Neubau: Verkehrsflächen mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit	
			H22	Beschattung relevanter Flächen	
		Wärmeleitende und –speichernde Bodenschichten in Oberflächennähe	H24	Neubau/Sanierungen: Verfüllen der Leitungsgräben mit geeigneten Materialien mit reduzierten Wärmeleit- und -speicherfähigkeiten	
Trinkwasserverteilsysteme nur auf Mindesttiefe verlegt		H25	Neubau: Einbautiefe der Verteilsysteme erhöhen		
	H22	Beschattung relevanter Flächen			
III	Fehlfunktionen des Systems		Lösungen		
	Erhöhter Nutzwasserverbrauch (zur Bewässerung im öffentlichen Raum und auf Privatgrundstücken)	H26	Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung		
		E4	Schaffung von Niederschlagswasserzweischenspeichern		
		H27	Aufruf zu wassersparendem Verhalten in Trocken- und Hitzeperioden		
	Geringe Grundwasserneubildung aufgrund stark verminderter Durchlässigkeit trockener Böden	E1, E4	siehe Übersicht „Extremniederschläge“		
		H28	Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung)		
	Überflutungsrisiko durch erhöhten oberflächigen Niederschlagswasserabfluss (hart getrocknete Bodenoberflächen)	E	siehe Übersicht „Extremniederschläge“		
	Erwärmung des Trinkwassers in Leitungen (Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität)	H29	Zusätzliche Maßnahmen bei der Wasseraufbereitung zur Hygienegewährleistung		
H30		Neubau: Isolierung der Verteil- und Hausanschlüsse			
H31		Bestand: Ausreichenden Durchfluss sicherstellen, häufigeres Spülen/Desinfizieren vorsehen			
IV	Schadenspotenziale		Minderungen		
	Schäden an Infrastruktur und Privateigentum durch oberflächig ablaufenden Niederschlagswasserabfluss		E5, E8, E10	siehe Übersicht „Extremniederschläge“	

Während es in den heißen Klimazonen der Erde schon immer einen klimaangepassten Städtebau (z. B. enge Gassen mit Verschattung der Hauswände, helle Oberflächen) gegeben hat, ist in unseren Regionen ein Umdenken erforderlich, um eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu erreichen. Es muss eine Umgestaltung der Stadt- und Gebäudearchitektur stattfinden, um eine Verminderung der zukünftigen zusätzlichen Hitzebelastung im Sommer zu erreichen. Primär geht es dabei darum, den direkten sommerlichen Hitzeeintrag zu reduzieren. Eine sekundäre Strategie ist die Sicherung einer guten Durchlüftung mit ihrer kühlenden Wirkung.

Die Maßnahmen H1, H2 und H3 der Handlungskataloge zur Hitzebelastung stehen übergeordnet über den weiteren Lösungsvorschlägen für die Problemfelder im Bezug zum Klimawandel. Sie resultieren aus den Rahmenbedingungen des Systems, auf der einen Seite aus der aktuellen Planungspraxis in den Kommunen und auf der anderen Seite aus den baulich-technischen und den klimatischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in einem Plangebiet. Auf die integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche (H1) geht das Kapitel 4.2 „Empfehlungen für die Stadtplanung“ näher ein. Einige Anpassungslösungen der Handlungskataloge wie zum Beispiel Dachbegrünungen oder die Begrünung von Straßenzügen machen keinen Sinn, wenn nicht zuvor die baulich-technischen Voraussetzungen wie Dachstatik oder der Verlauf von Leitungstrassen und Kanälen im Straßenbereich abgeklärt werden (H2). Ein effizienter Einsatz von Anpassungslösungen ist nur dann möglich, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein Handlungsbedarf besteht, und abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Kosten-Nutzen-Quotient erreicht wird. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur vorausgesagt werden, ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells eine sinnvolle Lösung (H3). Diese Anpassungslösungen stellen grundsätzliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen dar und sollten deshalb am Anfang aller Überlegungen stehen.

Kurzfristig umzusetzende Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung im städtischen Raum sind Begrünungsmaßnahmen im Straßenraum sowie Dach- und Fassadenbegrünungen. Ebenfalls kurzfristig umsetzbar ist die Schaffung von kleineren offenen Wasserflächen im Stadtbereich.

Veränderungen im Gebäudedesign, wie die Gebäudeausrichtung, Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien können als mittelfristige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zusammengefasst werden.

Nur langfristig umzusetzende Maßnahmen fallen in den Bereich der Freiraumplanung. Aufgrund der sehr langsamen Geschwindigkeit eines nachhaltigen Stadtumbaus besteht hier ein hoher Handlungsdruck für die Stadtplanung. Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, müssen bereits heute beginnen.

H1 Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche

Bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist die Zusammenarbeit verschiedener Bereiche innerhalb der Kommune ein entscheidender und das Ergebnis beeinflussender Faktor. In vielen Kommunen finden einzelne planerische Verfahren (z. B. Bauleitplanung, wasserwirtschaftliche Planung) überwiegend getrennt oder zeitlich nachgeschaltet statt. Dementsprechend schwer ist es, unterschiedliche Belange in die jeweils anderen planerischen Verfahren einzubringen. Insbesondere die Belange derjenigen kommunalen Ressorts, die lediglich als Träger öffentlicher Belange in Planungsverfahren eingebunden sind (z. B. Gesundheitsressort), finden im Rahmen der Umsetzung nur selten Berücksichtigung.

Durch eine integrierte Zusammenarbeit der verschiedenen Planungsbereiche zu einem möglichst frühen Zeitpunkt der Maßnahmenplanung besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Belange frühzeitig zu bündeln, besser untereinander abzuwägen und möglichst in Einklang zu bringen. Eine integrierte Zusammenarbeit kann ergänzend zur schriftlichen Abfrage von Stellungnahmen im Rahmen regelmäßiger Ressortbesprechungen oder projektbezogener ressortübergreifender Arbeitsgruppen erfolgen (siehe Kap. 4.2). Mögliche Zielkonflikte von Maßnahmen können durch eine integrierte Planung mit Beteiligung verschiedener Ressorts entschärft werden, Synergien aufgedeckt und genutzt werden (siehe Kapitel 4.3).

Durch die integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche kann der Besprechungsaufwand in den Kommunen zwar anwachsen, letztlich wird die Planungsarbeit durch frühzeitige Absprachen aber erleichtert und qualitativ verbessert.

H2 Überprüfung der technischen Machbarkeit

Für fast alle Anpassungslösungen ist eine Überprüfung der jeweiligen technischen Machbarkeit erforderlich. Die Maßnahme H2 steht daher übergeordnet über den weiteren Handlungsvorschlägen. Sie resultiert aus den Rahmenbedingungen des Systems, insbesondere aus den baulich-technischen Eigenschaften in einem Plangebiet.

So machen einige Anpassungslösungen wie z. B. Dachbegrünungen oder die Begrünung von Straßenzügen keinen Sinn, wenn nicht zuvor die baulich-technischen Voraussetzungen wie Dachstatik oder der Verlauf von Leitungstrassen und Kanälen im Straßenbereich abgeklärt werden. Beispielsweise sind Extensivdächer zur Dachbegrünung dank ihres geringen Gewichts im Unterschied zu intensiv bepflanzten Dachgärten auf fast allen Gebäuden auch nachträglich noch aufsetzbar. Für die Berechnung findet DIN 1055 Anwendung.

Sollen Anpassungsmaßnahmen für ganze Stadtviertel entwickelt werden, ist die Durchführung einer technischen Machbarkeitsstudie sinnvoll, die z. B. klärt, welche Dächer sich zur Begrünung eignen. Das bedeutet gleichzeitig aber auch einen gewissen Aufwand im Vorfeld der Planungen.



Abb. 4-2 Extensive Dachbegrünung (Foto: Gabrian, RVR)

H3 Einbeziehung von Modellierungen in die Planung

Die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Klimaelementen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit oder Wind und einer Stadt sind so komplex, dass man die Folgen von baulichen oder anderen Veränderungen in einem Stadtviertel nicht ohne weiteres abschätzen kann. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur vorausgesagt werden, ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells eine sinnvolle Lösung. Ein solches Simulationsmodell berücksichtigt die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen urbanen Klimafaktoren wie Bebauung und Vegetation und der Atmosphäre. Auf diesem Weg ist eine sowohl eine Planung zur Vermeidung von Belastungsräumen als auch die Optimierung bereits vorhandener Strukturen möglich (Bruse 2003).

Während rein qualitative Aussagen zu geplanten Maßnahmen meist von Experten getroffen werden können, ist die Quantifizierung einer Veränderung beispielsweise der Lufttemperatur durch eine Parkanlage nur mittels numerischer Simulation möglich. Eine ökologisch sinnvolle und ökonomisch effiziente Begrünung von städtischen Gebieten ist folglich nur möglich, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein Handlungsbedarf besteht, und abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Kosten-Nutzen-Quotient erreicht wird. Das in der Arbeitsgruppe Klimaforschung der Ruhr-Universität Bochum entwickelte ComputermodeLL ENVI-met (www.ENVI-met.com) kann eingesetzt werden, um das Mikroklima und die Luftqualität in städtischen Strukturen, in vorhandenen genauso wie in geplanten, zu berechnen. Dieses Modell ist frei verfügbar und stellt damit ein effizientes und sinnvolles Werkzeug zur Optimierung von Anpassungsmaßnahmen. Es existieren eine Reihe weiterer mikroskaliger Modelle, wie beispielsweise das MUKLIMO_3 des DWD, die hier zum Einsatz kommen können.

Mikroskalige Modelle dienen zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Sie erfassen urbane Strukturen als Gesamtsystem und beschreiben dynamische klimatologische Vorgänge. Es werden Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung einbezogen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten sowie die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien (spezifische Wärme, Reflexionseigenschaften) entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tages unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme mehr oder minder stark an die Luft abgeben. Um Wechselwirkungen zwischen der Vegetation und der Atmosphäre zu simulieren, kann das physiologische Verhalten der Pflanzen nachgebildet werden.

Das folgende Beispiel einer mikroskaligen Simulation mit dem Modell ENVI-met (www.envi-met.com) zeigt die Auswirkungen einer gestalterischen Veränderung durch die Anlage von Grünflächen in einem Wohnblock. Abbildung 4-3 gibt einen Überblick über das Modellgebiet mit Wohnblocks, Rasen, Hecken und Bäumen. Für diese Modellvariante wurden die Temperaturunterschiede zu einer vollversiegelten Variante ohne Vegetation berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4-4 dargestellt. Es zeigt sich, dass im Bereich der Grünanlage die Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0,3 bis 0,5 K niedriger sind. Die höchste Abkühlung ist nördlich des Gebäudekomplexes zu erkennen. Hier wirkt sich ein kleiner Bachlauf in der Variante mit der Grünanlage kühlend auf die Umgebung aus.

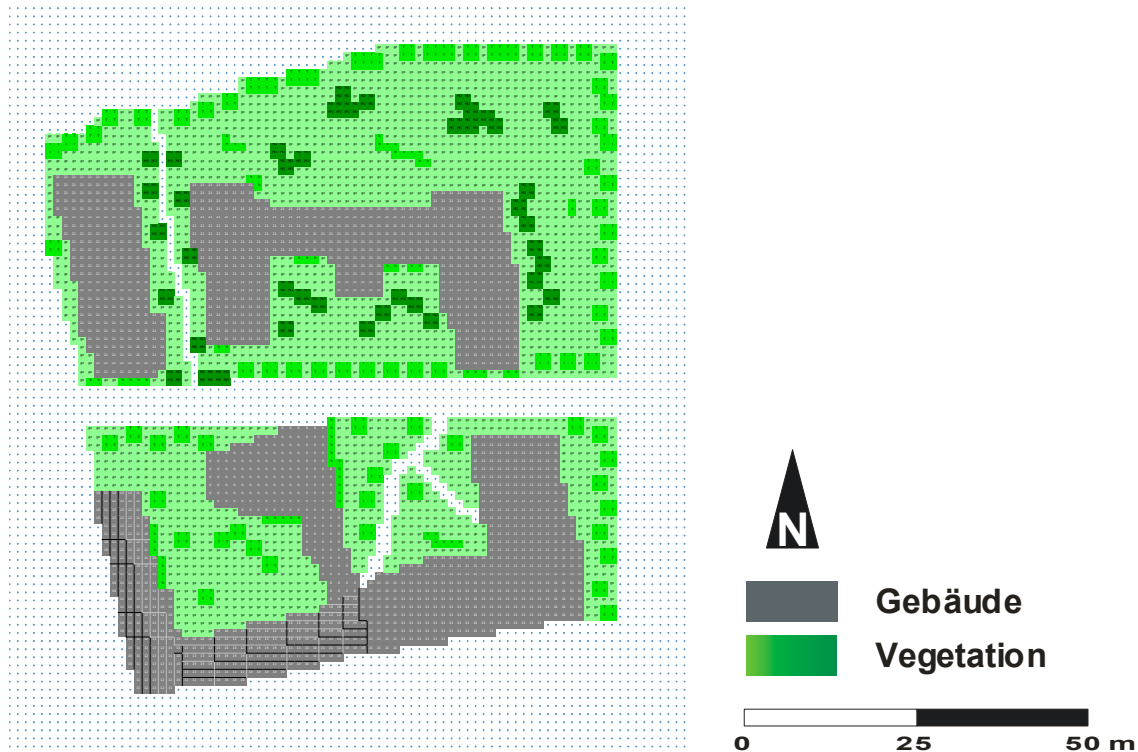


Abb. 4-3 ENVI-met - Modellgebiet mit Grünanlage

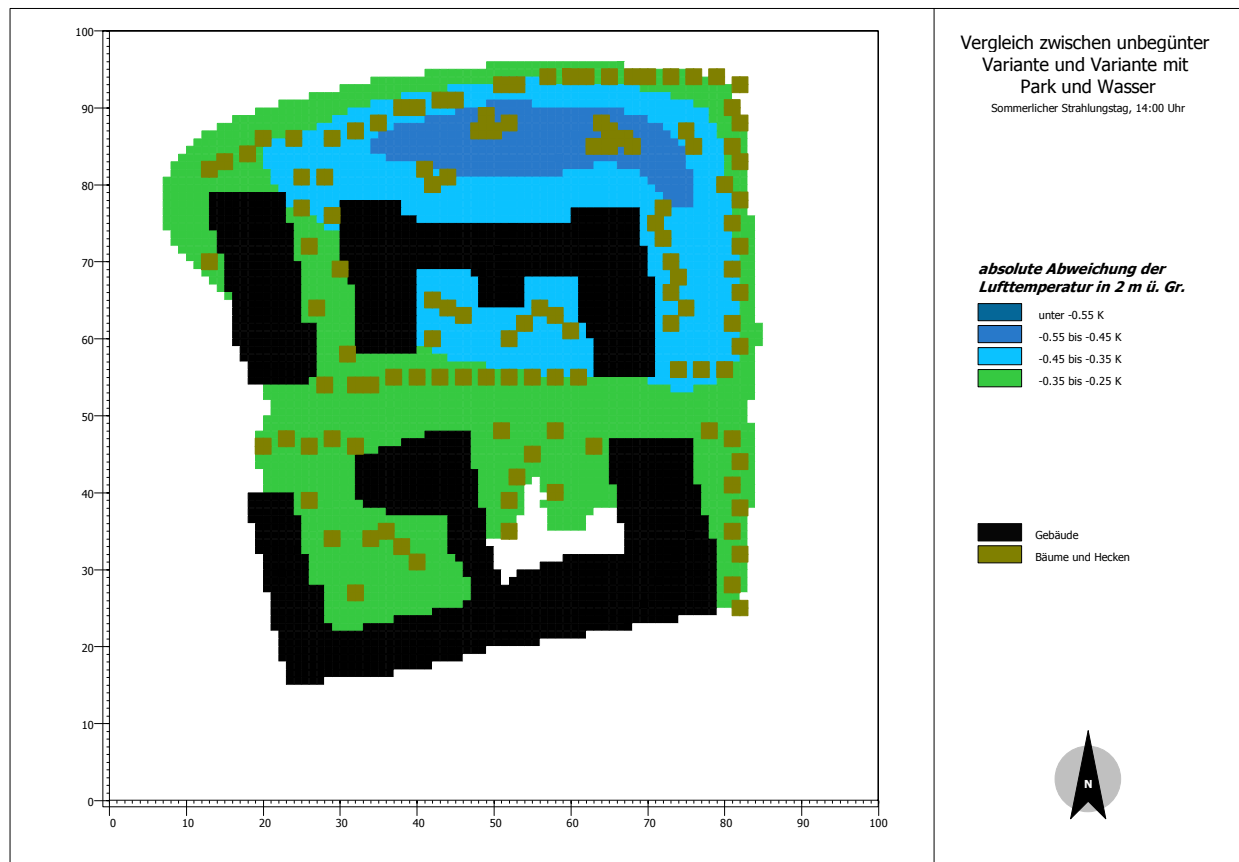


Abb. 4-4 Temperaturabweichungen zwischen einer vollversiegelten Variante ohne Vegetation und dem Modellgebiet mit Grünanlage (s. Abb. 4-3)

H4 Festlegen von Bebauungsgrenzen

Um auch bei schwachen Strömungen eine ausreichende Stadtbelüftung zu gewährleisten, ist eine geringe Flächenausdehnung und Bebauungsdichte der Siedlungskörper erforderlich. So kann durch das Heranführen von Frisch- und Kaltluft aus der Umgebung die Hitzebelastung in den Innenstädten deutlich abgemildert und die lufthygienische Situation dort verbessert werden.



Abb. 4-5 Siedlungsrand in Bochum (Foto Gabrian, RVR)

Im Umland einer Stadt sollten daher ausreichend Freiflächen für den Luftaustausch mit der Innenstadt zur Verfügung stehen. Insbesondere wenn nur wenige Freiflächen als Pufferraum zwischen dicht nebeneinander liegenden Städten vorhanden sind oder durch weitere Baumaßnahmen mit einer Einschränkung der Frischluftzufuhr zu rechnen ist, sollten im Stadtrandbereich Bebauungsgrenzen festgesetzt werden. Damit kann der Erhalt klimatisch wertvoller Freiräume gesichert und einer Zersiedelung des Stadtgebietes entgegengewirkt werden (siehe Abb. 4-5).

Innerstädtische Grünzüge sollten – wo immer möglich – vernetzt werden. Zur Sicherung der Stadtbelüftung über innerstädtische Grünzüge und Frischluftschneisen müssen auch diese Räume durch Festsetzung von Bebauungsgrenzen freigehalten werden.

Durch das Festsetzen von Bebauungsgrenzen werden somit folgende Ziele verfolgt:

- Schutz des Außenraumes vor weitergehender Bebauung (Abb. 4-6)
- Schutz innerstädtischer Regenerationsflächen vor zusätzlicher Bebauung (Abb. 4-7)

Zwischen dem Freihalten von innerstädtischen Flächen und den Zielen einer klimaschonenden Stadtentwicklung ergeben sich häufig Zielkonflikte (s. auch Kap. 4.3). Eine Bebauung von Freiflächen führt zu kompakten Siedlungsstrukturen, die flächen-, verkehrs- und energiesparend sind. Andererseits wird durch die Verdichtung der Bebauung der Wärmeinseleffekt verstärkt. Daher sollte mindestens als Kompromiss versucht werden, Bebauungsgrenzen anzustreben und nur in besonderen Ausnahmefällen Überschreitungen dieser zuzulassen. Eine sorgfältige Gestaltung der verbleibenden innerstädtischen Freiflächen kann den negativen Effekten der Verdichtung entgegenwirken.

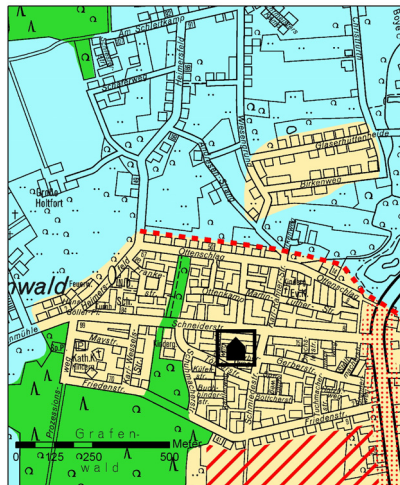


Abb. 4-6 Vermeidung des Zusammenwachsens zweier Siedlungsgebiete (RVR 2006a)

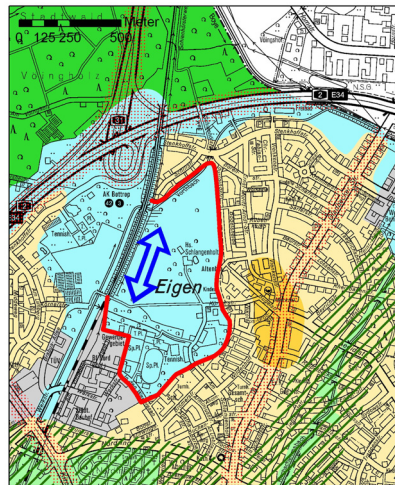


Abb. 4-7 Schutz der Kaltluftproduktionsfläche vor weiterer Bebauung (RVR 2006a)



H5 Freiflächen erhalten und schaffen, Flächen entsiegeln

Neben der Bedeutung von Grünflächen als Gliederungselement in den städtischen Siedlungsräumen ist ihre Funktion als innerstädtische Ausgleichsfläche besonders hervorzuheben. Die klimatische Reichweite innerstädtischer Freiflächen variiert dabei in Abhängigkeit von der Flächengröße, ihrer Ausgestaltung sowie ihrer Anbindung an die Bebauung. Bei einer ausreichenden Flächengröße ist eine klimaregulierende Funktion der Grünflächen gewährleistet.

Eine besondere Funktion kommt den Grüngürteln als Trennungselement zwischen Wohngebieten und emittierenden Industrie- und Gewerbegebieten oder stark befahrenen Straßen zu. Hier erfüllen sie einerseits eine Abstandsfunktion, andererseits bewirken sie eine Verdünnung und Filterung von Luftschadstoffen. Darüber hinaus fördern Grünstreifen durch die Entstehung kleinräumiger Luftaustauschprozesse eine Unterbrechung von Wärmeinseln. Bei einer engen Vernetzung und einer stadträumlich sinnvollen Anordnung tragen daher auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung des Wärmeinseleffekts bei.

Kleine, isoliert liegende Grünflächen, wie z. B. begrünte Innenhöfe (Abb. 4-8), zeigen zwar keine über die Fläche hinausreichende Wirkung, nehmen aber als „Klimaoasen“ gerade in den dicht bebauten Innenstädten wichtige Aufgaben als lokale Freizeit- und Erholungsräume wahr.

Das größte Hindernis bei der Schaffung von innerstädtischen Grünflächen ist der Platzmangel. Um mehr Vegetationsflächen zu schaffen, sollten daher auch unkonventionelle Möglichkeiten wie das Begrünen von Straßenbahngleisen genutzt werden. Die ökologischen Effekte von Rasen oder Vegetationsmatten im Gleisbett erreichen bei Weitem nicht die von Bäumen und Sträuchern, führen jedoch zu einem zeitverzögerten Niederschlagsabfluss, erhöhter Verdunstung und Abkühlung (Gorbachevskaya et al. 2009).

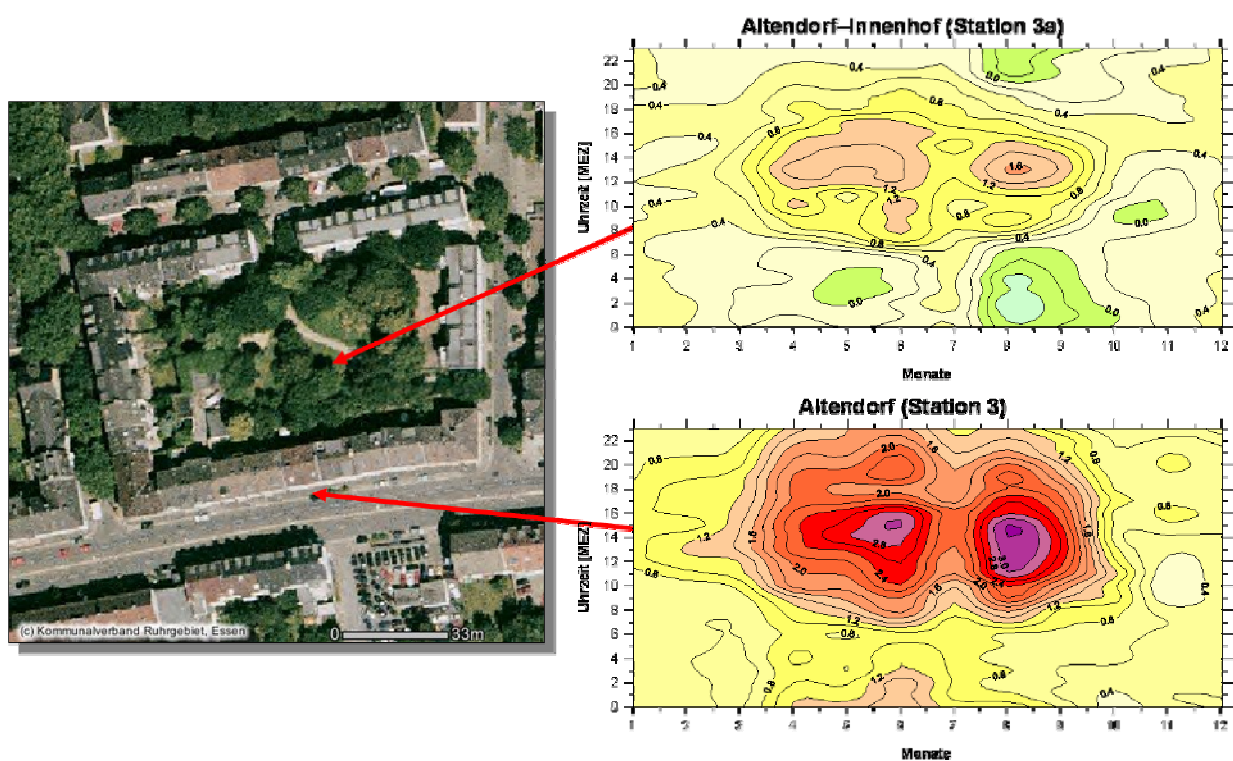


Abb. 4-8 Innenhofbegrünung an der Altendorfer Straße in Essen: Temperaturdifferenzen zum Außenbereich

H6 Parkanlagen schaffen, erhalten und umgestalten

Urbane Grünflächen haben eine hohe Bedeutung für das Lokalklima, da von Ihnen eine kühlende Wirkung ausgeht. Tagsüber führt eine Freifläche, die idealerweise aus Wiese mit Sträuchern und lockerem Baumbestand besteht (Abb. 4-9), durch Schattenwurf und Energieverbrauch aufgrund von Evapotranspiration zu einem thermisch ausgleichenden Bereich für die bebaute Umgebung. Nachts können Freiflächen durch Kaltluftbildung und Luftaustausch kühlend auf die Umgebung wirken.

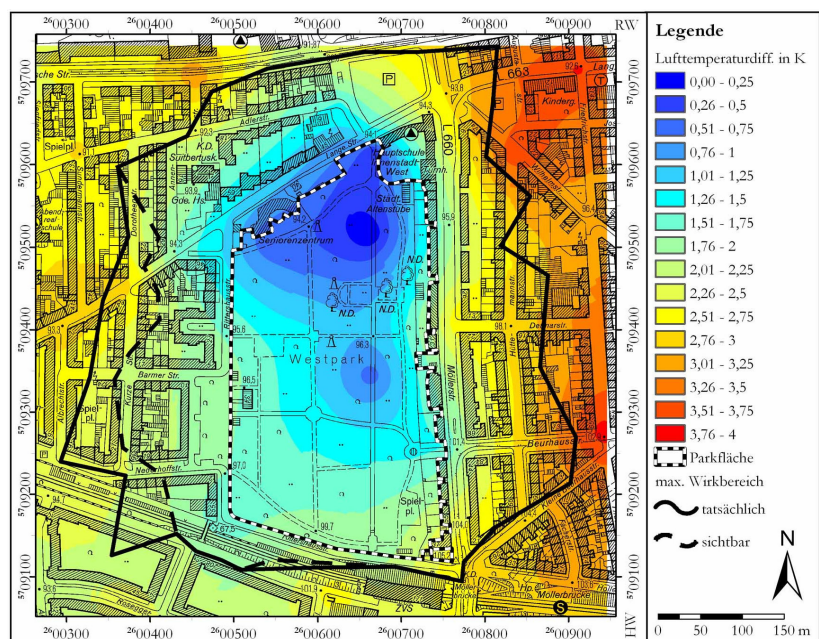


Abb. 4-9 Park in Duisburg (Foto: Gabrian, RVR)

Untersuchungen haben gezeigt, dass Kühlungseffekte ab einer Parkgröße von 2,5 ha zu messen sind und die Reichweite der kühlenden Wirkung eines innerstädtischen Parks etwa dem Durchmesser des Parks entspricht (Upmanis et al. 1998). Eine klimatische Fernwirkung ergibt sich erst bei ausgedehnten Parkanlagen ab 50 ha (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008). Bei einer engen Vernetzung tragen auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung der Wärmeinsel bei.

Abbildung 4-10 zeigt das nächtliche Abkühlungspotenzial einer Parkanlage am Beispiel des Dortmunder Westparks. In der an den Park angrenzenden Bebauung (durchgezogene Linie in der Abb. 4-10) kommt es zu einer Absenkung der nächtlichen Lufttemperaturen um mindestens 0,5 K.

Abb. 4-10 Mittlere Verteilung der strahlungsnächtlichen Lufttemperatur in 2 m ü. Gr. im Dortmunder Westpark (Bongardt 2006)



H7 Begrünung von Straßenzügen

Im innerstädtischen Bereich kann eine Aufheizung durch Begrünung von Straßenzügen mit Bäumen und Sträuchern vermindert werden. Der Schattenwurf der Vegetation sowie Verdunstung und Transpiration der Pflanzen reduzieren die Aufheizung der versiegelten Stadtbereiche. Im Bereich von Luftleitbahnen (H16) sollten Anpflanzungen aber keine Hindernisse für Kalt- und Frischluftströmungen bilden.

Bei der Auswahl von geeigneten Straßenbäumen ist zu beachten, dass ein geschlossenes Baumkronendach in einer Straßenschlucht durch verminderten Luftaustausch zu einer Anreicherung von Luftschadstoffen im unteren Straßenraum führen kann. Es gibt auf der anderen Seite aber auch Straßenabschnitte mit einer sehr guten Durchlüftungssituation, bei denen Baumreihen aus lufthygienischer Sicht unbedenklich sind. Im Einzelfall kann dies durch eine Modellsimulation überprüft werden. Abbildung 4-11 zeigt schematisch die Ergebnisse einer solchen Simulation mit einer Anreicherung von Luftschadstoffen unter dem geschlossenen Kronendach in einer Straßenschlucht. Lufthygienische Bedenken gegen eine Begrünung mit Bäumen gelten natürlich nur dort, wo sich unterhalb der Baumkrone signifikante Emissionsquellen befinden. Wenig befahrene Straßenabschnitte, Plätze und Fußgängerzonen können durch eine Begrünung mit Straßenbäumen lokalklimatisch verbessert werden.

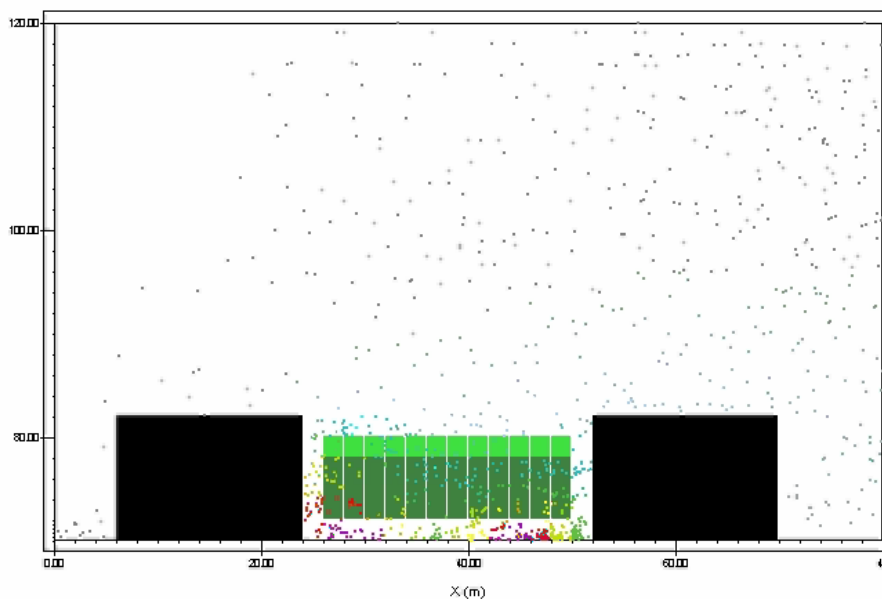


Abb. 4-11 ENVI-met – Simulation zur Verteilung des Gas-/Partikelkonzentration (bunte Punkte) in einer Straßenschlucht (schwarz: Gebäude) mit geschlossenem Baumkronendach (grün)

Bei der Auswahl von geeigneten Baumarten für die Begrünung im innerstädtischen Raum, dies gilt für eine Begrünung von Straßenzügen ebenso wie bei Parkbäumen, sind neben Faktoren wie Standortansprüchen und Verkehrssicherheit zwei Dinge zu beachten. Zum einen emittieren verschiedene Baumarten unterschiedlich große Mengen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen. Diese Bäume können so zu einer Erhöhung der Ozonbelastung beitragen und sind nicht zur Straßenbegrünung geeignet. Eine Auswahl an Pflanzenarten, die wenig biogene Kohlenwasserstoffe emittieren, findet sich bei Benjamin und Winer (1998).

Zum anderen müssen sich Stadtbäume auf veränderte, durch den Klimawandel verursachte Bedingungen einstellen. Insbesondere die zunehmende Sommerhitze in den Städten und damit verbundene sommerliche Trockenperioden fordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Stadtbäumen für die Zukunft. In einer vom Bund deutscher Baumschulen (BdB) in Auftrag gegebenen Studie wurden am Lehrstuhl für Forstbotanik der TU Dresden (Roloff & Gillner 2007) 250 Gehölzarten auf ihre Eignung als Stadtbäume bei einem prognostizierten Klimawandel bewertet. Dafür wurde eine neue Klima-Arten-Matrix (KLAM) entwickelt, die Trockenstress-Toleranz und Winterhärte in jeweils 4 Abstufungen (sehr geeignet, geeignet, problematisch, sehr eingeschränkt geeignet) als entscheidende Kriterien heranzieht. Neben schon bisher im innerstädtischen Bereich verwendeten Gehölzen wurden auch nichtheimische Baumarten aus Herkunftsgebieten mit ähnlichen Wintertemperaturen und verstärkten Sommertrockenzeiten in die Bewertung aufgenommen. In der Tabelle 4-3 sind Bäume, die bezüglich der Trockentoleranz und der Winterhärte sehr geeignet bis geeignet sind, mit Angaben, falls vorhanden, hinsichtlich des Ozonbildungspotenzials aufgelistet. Geeignete Stadtbäume sollten möglichst wenig biogene Kohlenwasserstoffe emittieren und damit ein geringes Ozonbildungspotenzial aufweisen.



Abb. 4-12 Allee in Bochum (Foto: Bruse)

Die Klima-Arten-Matrix für Stadtbaumarten soll eine Entscheidungshilfe bei der Verwendung von Bäumen in der Stadt liefern. Eine weitere Straßenbaumliste mit fachlichen Empfehlungen wird vom Arbeitskreis Stadtbäume der Grünflächenamtsleiterkonferenz (GALK 2006) herausgegeben und aktualisiert. Es werden verschiedene Baumarten auf ihre innerstädtische Eignung für den Extremstandort Strasse in verschiedenen Regionen in Deutschland getestet. Das Ziel des GALK-Arbeitskreises ist es, die Artenvielfalt in den Städten zu erhöhen und damit möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorzubeugen (Abicht 2009).

Tab. 4-3 Klima-Arten-Matrix (KLAM) – Einstufung wichtiger Baumarten (**fett**: heimische Arten) nach ihrer Eignung für eine Verwendung im Stadtbereich hinsichtlich Trockentoleranz, Winterhärte und Ozonbildungspotenzial (nach Roloff et al. 2008, Benjamin & Winer 1998 und Stewart & Hewitt 2002)

Erläuterung: ++ = sehr geeignet, + = geeignet, -- = ungeeignet, / = keine Untersuchungsergebnisse

In der Kategorie Trockentoleranz sehr geeignet		Winterhärte	Geringes Ozonbildungspotenzial
Acer campestre	Feld-Ahorn	++	++
<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn	++	++
Acer opalus	Schneeballblättriger Ahorn	+	/
<i>Acer rubrum</i>	Rot-Ahorn	+	/
<i>Acer x zoeschense</i>	Zoeschener Ahorn	++	/
<i>Ailanthus altissima</i>	Drüsiger Götterbaum	+	/
Alnus incana	Grau-Erle	++	/
<i>Carya tomentosa</i>	Spottnuss	+	++
<i>Catalpa speciosa</i>	Prächtiger Trompetenbaum	+	/
<i>Cedrus brevifolia</i>	Zypern-Zeder	+	/
<i>Cedrus libani</i>	Libanon-Zeder	+	/
<i>Celtis caucasica</i>	Kaukasischer Zürgelbaum	+	/
<i>Celtis occidentalis</i>	Amerikanischer Zürgelbaum	+	/
<i>Cladrastis sinensis</i>	Chinesisches Gelbholz	++	/
<i>Cupressus arizonica</i>	Arizona-Zypresse	+	++
<i>Diospyros lotus</i>	Lotuspflaume	+	/
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Schmalblättrige Esche	+	/
<i>Fraxinus pallisiae</i>	Behaarte Esche	++	/
<i>Fraxinus quadrangulata</i>	Blau-Esche	+	/
<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo, Fächerbaum	+	++
<i>Gleditsia japonica</i>	Japanische Gleditschie	+	/
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Amerikanische Gleditschie	+	/
Juniperus communis	Gewöhnlicher Wacholder	++	++
<i>Juniperus scopulorum</i>	Westliche Rotzeder	++	/
<i>Juniperus virginiana</i>	Rotzeder	++	/
<i>Maackia amurensis</i>	Asiatisches Gelbholz	+	/
<i>Ostrya carpinifolia</i>	Gemeine Hopfenbuche	++	/
<i>Ostrya virginiana</i>	Virginische Hopfenbuche	+	/
<i>Phellodendron sachalinense</i>	Sachalin-Korkbaum	++	/
<i>Pinus bungeana</i>	Bunges Kiefer	+	/
<i>Pinus heldreichii</i>	Panzer-Kiefer	++	/
<i>Pinus nigra</i>	Schwarz-Kiefer	++	+
<i>Pinus ponderosa</i>	Gelb-Kiefer	+	+
<i>Pinus rigida</i>	Pech-Kiefer	+	/
Pinus sylvestris	Wald-Kiefer	++	+
<i>Platanus x hispanica</i>	Ahornblättrige Platane	+	--
Populus alba	Silber-Pappel	+	--
Prunus avium	Vogel-Kirsche	++	++
<i>Quercus bicolor</i>	Zweifarbige Eiche	++	/
Quercus cerris	Zerr-Eiche	+	+
<i>Quercus coccinea</i>	Scharlach-Eiche	+	--
<i>Quercus frainetto</i>	Ungarische Eiche	+	/
<i>Quercus macranthera</i>	Persische Eiche	+	/
<i>Quercus macrocarpa</i>	Klettenfrüchtige Eiche	++	/
<i>Quercus montana</i>	Kastanien-Eiche	+	/
<i>Quercus muehlenbergii</i>	Gelb-Eiche	+	/
Quercus pubescens	Flaum-Eiche	+	/
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Gemeine Robinie	++	++
<i>Robinia viscosa</i>	Klebrige Robinie	++	/

Fortsetzung Tab. 4-3

In der Kategorie Trockentoleranz sehr geeignet		Winterhärte	Geringes Ozon- bildungspotenzial
<i>Sophora japonica</i>	Japanischer Schnurbaum	+	+
<i>Sorbus aria</i>	Echte Mehlbeere	++	+
<i>Sorbus badensis</i>	Badische Eberesche	++	+
<i>Sorbus domestica</i>	Speierling	+	+
<i>Sorbus latifolia</i>	Breitblättrige Mehlbeere	+	+
<i>Sorbus torminalis</i>	Elsbeere	+	+
<i>Sorbus x thuringiaca</i>	Thüringer Mehlbeere	++	+
<i>Thuja orientalis</i>	Morgenländischer Lebensbaum	+	/
<i>Tilia mandshurica</i>	Mandschurische Linde	++	+
<i>Tilia tomentosa</i>	Silber-Linde	+	+
<i>Ulmus pumila</i>	Sibirische Ulme	++	++
In der Kategorie Trockentoleranz geeignet		Winterhärte	Geringes Ozon- bildungspotenzial
<i>Acer buergerianum</i>	Dreispitziger Ahorn	++	/
<i>Acer platanoides</i>	Spitz-Ahorn	++	++
<i>Aesculus x carnea</i>	Rotblühende Kastanie	++	/
<i>Alnus cordata</i>	Herzblättrige Erle	+	/
<i>Alnus x spaethii</i>	Spaeths Erle	++	/
<i>Betula pendula</i>	Sand-Birke	++	++
<i>Carpinus betulus</i>	Gewöhnliche Hainbuche	++	++
<i>Carya ovata</i>	Schuppenrinden-Hickory	+	++
<i>Castanea sativa</i>	Essbare Kastanie	+	+
<i>Celtis bungeana</i>	Bungens Zürgelbaum	+	/
<i>Corylus colurna</i>	Baum-Hasel	+	/
<i>Cupressocyparis leylandii</i>	Leylandzypresse	+	++
<i>Diospyros virginiana</i>	Persimone	+	/
<i>Eucommia ulmoides</i>	Guttaperchabaum	+	/
<i>Fraxinus excelsior</i>	Gemeine Esche	+	++
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Grün-Esche, Rot-Esche	++	++
<i>Gymnocladus dioica</i>	Amerikanischer Geweihbaum	+	/
<i>Malus tschonoskii</i>	Woll-Apfel	++	++
<i>Nyssa sylvatica</i>	Wald-Tupelobaum	+	/
<i>Phellodendron amurense</i>	Amur-Korkbaum	+	/
<i>Picea omorika</i>	Serbische Fichte	++	+
<i>Pinus peuce</i>	Rumelische Kiefer	+	/
<i>Platanus occidentalis</i>	Amerikanische Platane	+	--
<i>Populus tremula</i>	Zitter-Pappel	++	--
<i>Populus x berolinensis</i>	Berliner Pappel	++	--
<i>Pyrus communis</i>	Kultur-Birne	+	++
<i>Pyrus pyraister</i>	Wild-Birne	+	++
<i>Quercus imbricaria</i>	Schindel-Eiche	+	/
<i>Quercus palustris</i>	Sumpf-Eiche	+	/
<i>Quercus robur ssp. Sessiliflora</i>	Trauben-Eiche	+	--
<i>Quercus rubra</i>	Rot-Eiche	+	+
<i>Sorbus intermedia</i>	Schwedische Mehlbeere	++	+
<i>Tilia cordata</i>	Winter-Linde	++	++
<i>Tilia x euchlora</i>	Krim-Linde	++	+
<i>Ulmus parvifolia</i>	Japanische Ulme	+	++
<i>Zelkova serrata</i>	Japanische Zelkove	+	++

H8 Dachbegrünung

Begrünte Dächer stellen die kleinsten Grünflächen im Stadtgebiet dar. Sie haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Erst in einem größeren Verbund können sich auch Auswirkungen auf das Mikroklima eines Stadtviertels ergeben. Die thermischen Effekte von Dachbegrünungen liegen hauptsächlich in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen der Dachfläche im Sommer (Abb. 4-13) und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Dies führt zu einer ausgeglicheneren Klimatisierung der darunter liegenden Räume.

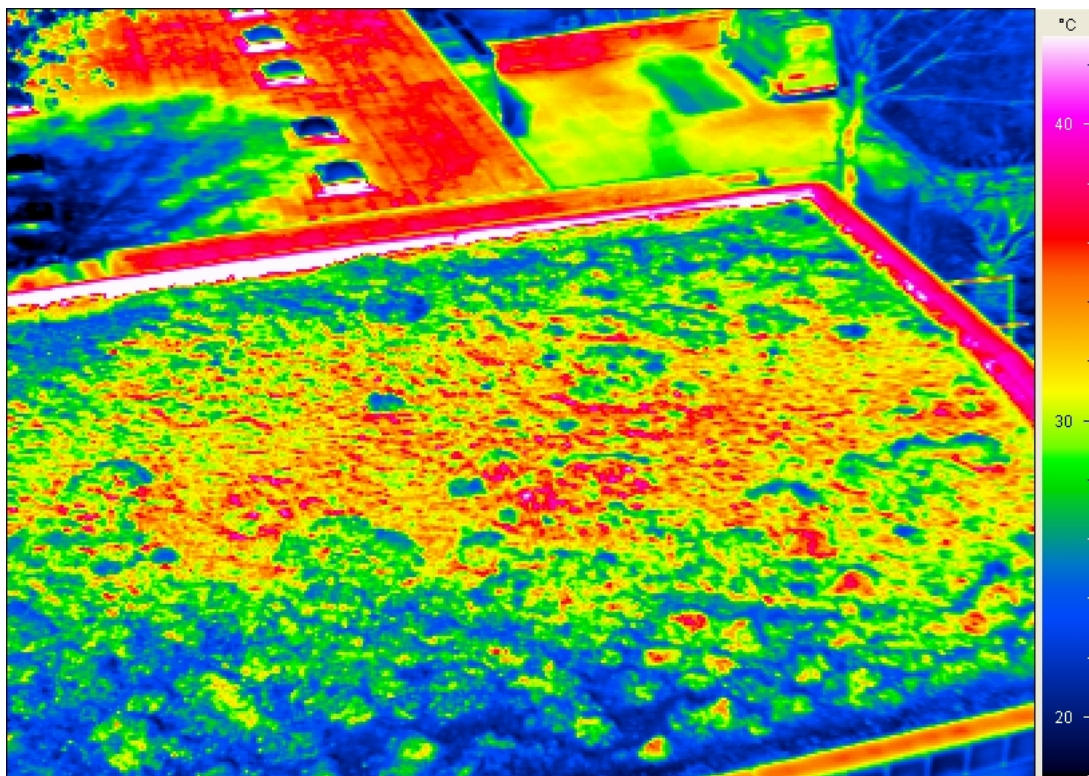


Abb. 4-13 Oberflächentemperaturen eines begrünten (vorne) und unbegrünten Dachs im Frühjahr (Foto: Mersmann)

Ein weiterer positiver Effekt von Dachbegrünungen ist die Auswirkung auf den Wasserhaushalt. 70% bis 100% der Niederschläge werden in der Vegetationsschicht aufgefangen und durch Verdunstung wieder an die Stadtluft abgegeben. Dies reduziert den Feuchtemangel und trägt zur Abkühlung der Luft in versiegelten Stadtteilen bei. Starkniederschläge werden zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben und entlasten damit das Stadtentwässerungsnetz (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008).

Zur Förderung von Gründächern stehen den Kommunen unterschiedliche Instrumente zur Verfügung. Förderprogramme für die finanzielle Bezuschussung von Dachbegrünungsmaßnahmen bieten Anreize für die Begrünung von Dächern privater Häuser im Bestand ebenso wie bei Neubauvorhaben. Neben finanziell geförderten Dachbegrünungen können bei Neubauvorhaben im Rahmen der Bauleitplanung Dachbegrünungen in Bebauungsplänen festgeschrieben wer-

den oder im Rahmen der Eingriffs- und Ausgleichsregelung als Maßnahme zur Eingriffsminde-
rung angerechnet werden (Holzmüller 2009). Eine weitere Möglichkeit zur Förderung von be-
grünten Dächern bietet die Abwassergebührenordnung, indem über verminderte Gebühren
Anreize für Dachbegrünungen geschaffen werden.



Abb. 4-14 Begrünung eines Einkaufsmarktes (Foto: Gabrian, RVR)



Abb. 4-15 Begrünung eines Schrägdachs (Foto: Gabrian, RVR)

Nicht nur Flachdächer (Abb. 4-14), sondern auch geneigte Dächer (Abb. 4-15) eignen sich zur Begrünung. Extensive Dachbegrünungen sind dank ihres geringen Gewichts im Unterschied zu intensiv bepflanzten Dachgärten auf fast allen Gebäuden auch nachträglich noch aufsetzbar.

H9 Informationsmanagement, Warnsystem

Die Hitzewelle des Jahres 2003 hat deutlich gezeigt, welche Folgen der Klimawandels für das Leben in Städten haben kann. Annähernd 20.000 vorwiegend ältere Menschen sind dieser Hitzewelle zum Opfer gefallen (vor allem in Paris und den Industriestädten Norditaliens). Ein Hitze-Warnsystem und ein auf Hitzebelastungen zugeschnittenes Informationsmanagement können die gesundheitlichen Risiken von Hitzewellen verringern. Der Deutsche Wetterdienst hat als Reaktion auf den Hitzesommer 2008 bereits ein deutschlandweites Hitzewarnsystem eingerichtet und verfügt damit über die Möglichkeit, Hitzewarnungen auszugeben und so vor einer Wetterlage mit hohen Temperaturen, geringen Windbewegungen und intensiver Sonneneinstrahlung zu warnen. Ein System zur Verbreitung von Hitzewarnungen über die örtliche Presse (Lokalzeitung, Lokalradio) kann darauf aufgebaut werden.

Ebenso wichtig ist es, vor allem für die ältere Bevölkerung oder für Kranke Verhaltensempfehlungen für lang andauernde Hitzewellen bereitzustellen. Neben dem Aufenthalt im Schatten und der Vermeidung extremer körperlicher Aktivitäten gehört auch die simple Aufforderung zur reichlichen Flüssigkeitsaufnahme zu den Verhaltensregeln, die als Informationsblätter insbesondere in Altenheimen und Krankenhäusern bekannt gemacht werden müssen.

NRW-spezifische Informationen zum Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes sowie Verhaltensempfehlungen, mit deren Hilfe Gesundheitsrisiken bei extremen Hitzeereignissen vermieden werden können, liefert auch das Hitzeportal Nordrhein-Westfalen (www.hitze.nrw.de).

The screenshot displays the 'Hitzeportal NRW' website. At the top right, the logo of the 'Landesinstitut für Gesundheit und Arbeit des Landes Nordrhein-Westfalen' is visible. The main header reads 'Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze'. Below this, there are three small images: a cracked earth, a map of Europe with a heatwave, and a bright sun. The left sidebar contains a navigation menu with links to 'Home', 'Hitzewarnungen', 'Gesundheitstipps', 'Tipps für Alle', 'Informationen für Ärzte', 'Informationen für den ÖGD', 'Hitzebedingte Erkrankungen', 'Klima / -wandel', 'Links / Literatur', and 'Impressum'. The main content area is titled 'Tipps für Alle – wie kann ich vorbeugen?' and contains a paragraph about the heatwave of August 2003. Below this, a section titled 'Risikogruppen:' lists several groups of people at risk, including the elderly, children, and those with pre-existing conditions. A search bar labeled 'Volltextsuche' is located on the right. At the bottom right, there is a 'Links' section with a link to 'hitzebedingte Erkrankungen'.

Abb. 4-16 Gesundheitstipps bei extremer Hitze auf dem Internet-Portal des Landesinstituts für Gesundheit und Arbeit des Landes NRW (www.hitze.nrw.de)

H10 Fassadenbegrünung

Die Begrünung von Hausfassaden wirkt sich ähnlich wie die Dachbegrünung positiv auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Fassadenbegrünungen verbessern in erster Linie die mikroklimatischen Verhältnisse am Gebäude selbst, ohne eine Fernwirkung zu erzielen. Die thermischen Effekte von Fassadenbegrünungen bestehen in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen der Hauswand bei intensiver Sonneneinstrahlung (siehe Abb. 4-17) und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Um die Wärme der winterlichen Sonneneinstrahlung nutzen zu können, kann eine Fassade mit laubabwerfenden Pflanzen (z. B. wilder Wein) begrünt werden.



Abb. 4-17 Oberflächentemperaturen einer begrünten (rechts) und unbegrüntem Hauswand (Foto: Mersmann)

Durch den Schutz des Blattwerks verringert sich auch die Feuchtebelastung des Mauerwerks. Schäden durch die Begrünung sind bei intaktem Mauerwerk ohne Risse nicht zu erwarten, dies sollte jedoch im Einzelfall geprüft werden.

Neben diesen klimatischen Effekten können Fassadenbegrünungen auch positiv auf die lufthygienische Situation im Innenstadtbereich wirken, da sie Luftverunreinigungen – vor allem Feinstaub – herausfiltern. Insbesondere in engen Straßenschluchten ohne Platz für andere Begrünungsmaßnahmen stellen Fassadenbegrünungen eine wirkungsvolle Alternative dar.



Abb. 4-18 Hauswandbegrünung (Foto: Snowdon, RVR)

H11 Erhalt und Schaffung von Frischluftflächen

Als frischluftproduzierende Gebiete gelten vegetationsgeprägte Freiflächen wie Wälder und Parkanlagen sowie städtische Siedlungen mit einem hohen Grünflächenanteil und einem geringen Versiegelungsgrad.

Die Entstehung von Kalt- und Frischluft über einer natürlichen Oberfläche wird durch die thermischen Stoffeigenschaften des Oberflächensubstrates bestimmt. So speichern Böden mit hoher Dichte die Wärme besser und sind daher schlechtere Kaltluftproduzenten als solche mit geringer Dichte und damit geringerer Wärmespeicherfähigkeit (VDI 2003). Feld- und Wiesenflächen kühlen stärker aus und produzieren damit mehr Kaltluft als Waldgebiete.

Zusätzlich ist die Wirksamkeit von Frischluftflächen stark von deren Größe abhängig. Durch den Erhalt und die Schaffung zusätzlicher frischluftproduzierender Flächen und deren Vernetzung (Abb. 4-19) kann eine Verstärkung ihrer Wirksamkeit erzielt werden. Die Anbindung der Innenstadt an Frischluftflächen trägt zur Unterbrechung oder Abschwächung von Wärmeinseln bei und schafft stadtklimatisch relevante Regenerationsräume. Diese Anbindung über Luftleitbahnen und Frischluftschneisen (siehe Maßnahme H16) sollte möglichst ohne Anreicherung mit Schadstoffen erfolgen.

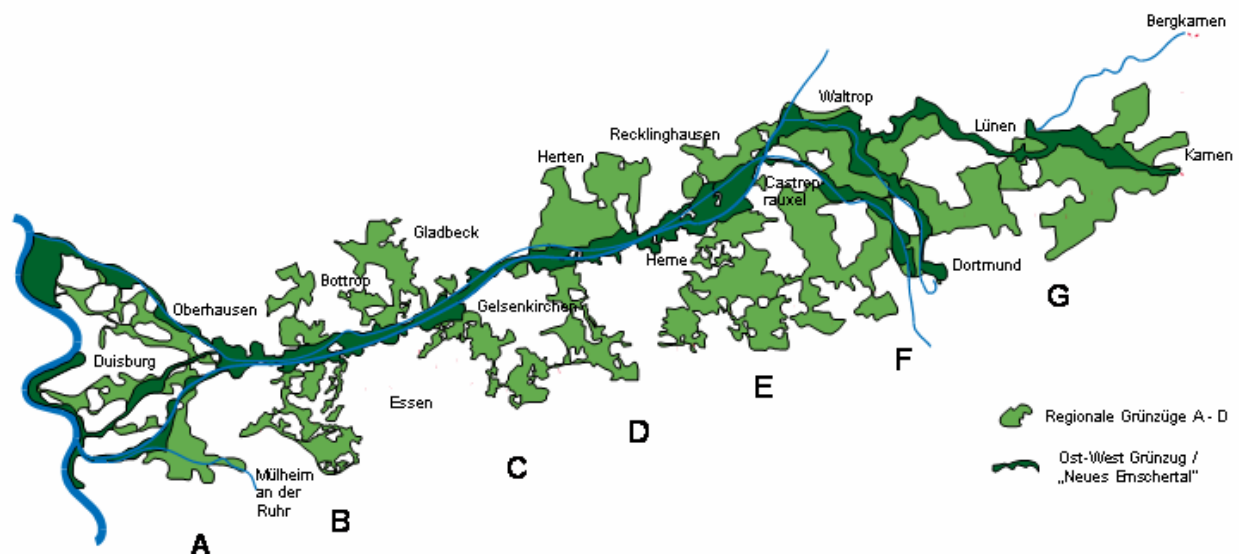


Abb. 4-19 Emscher Landschaftspark mit den sieben regionalen Grünzügen des Ruhrgebietes (Quelle: RVR)

Flächen, die aufgrund des industriellen und demographischen Wandels frei werden (siehe Abb. 4-20 und 4-21), sollten im Rahmen der Stadtplanung auf ihre Relevanz für ein funktionierendes Stadtbelüftungssystem hin geprüft und gegebenenfalls nicht wieder zur Bebauung freigegeben werden.

Das Leitbild der kompakten Stadt mit kurzen Wegen, das als dominierendes Siedlungsstrukturkonzept unter den städtebaulichen Leitbildern gilt, kollidiert jedoch stark mit den Maßnahmen zur Schaffung und zum Erhalt von Freiflächen, so dass hier ein Abwägungsprozess stattfinden muss (s. Kapitel 4.3).



Abb. 4-20 Phoenix Ost in Dortmund, Rückbau eines Stahlwerks (Foto: Gabrian RVR)



Abb. 4-21 Westfalenhütte Dortmund, Rückbau (Foto: Snowdon, RVR)

H12 Offene Wasserflächen schaffen

Die Verdunstung von Wasser verbraucht Wärmeenergie aus der Luft und trägt so zur Abkühlung der aufgeheizten Innenstadtluft bei. Über eine Steigerung des Anteils von Wasser- und Grünflächen in Städten kann damit ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig in der meist relativ trockenen Stadtatmosphäre die Luftfeuchtigkeit erhöht werden. Dabei wiegt in der Regel die positive Wirkung des Abkühlungseffektes durch die Verdunstung die Nachteile einer eventuell häufiger auftretenden Schwüle im urbanen Gebiet auf.

Bewegtes Wasser wie innerstädtische Springbrunnen (Abb. 4-22) oder Wasserzerstäuber tragen insgesamt in größerem Maß zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen.



Abb. 4-22 Innerstädtische Wasserspiele (Foto: Gabrian, RVR)

Offene Wasserflächen haben zudem eine ausgleichende Wirkung auf die Lufttemperaturen in der Umgebung. Wasser erwärmt sich im Vergleich zur Luft verhältnismäßig langsam, dadurch sind Wasserflächen im Sommer relativ kühl und im Winter relativ warm.

H13 Gebäudeausrichtung optimieren

Während es in den heißen Klimazonen der Erde schon immer einen klimaangepassten Städtebau (z. B. enge Gassen mit Verschattung der Hauswände, helle Oberflächen) gegeben hat, ist hier in unseren Regionen ein Umdenken erforderlich. Um die künftige zusätzliche Hitzebelastung im Sommer zu verringern, sollte die Stadt- und Gebäudearchitektur angepasst werden, ohne dabei die Vorteile der Sonnennutzung - insbesondere im Winter - aus den Augen zu lassen.

Primär geht es darum, durch eine intelligente Gebäudeausrichtung den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Eine sekundäre Strategie ist es, eine gute Durchlüftung mit ihrer kühlenden Wirkung zu erreichen. Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz durch eine geeignete Gebäudeausrichtung erreicht werden. Die räumliche Anordnung von Gebäuden sollte dazu unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition erfolgen. Dabei ist auch auf die Jahreszeiten Rücksicht zu nehmen, so dass es sinnvoll ist, bei der Gebäudeausrichtung beispielsweise Schlafräume so einzuplanen, dass der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird. Sommerräume brauchen Schatten und Wind, Winterräume brauchen Sonne.

Somit ist H13 eine Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel, die sich lediglich bei Planungen von Neubaugebieten und nicht im Bestand anwenden lässt.

H14 Hauswandverschattung, Wärmedämmung

Durch zunehmenden Hitzestress im Sommer kommt der Kühlung von Gebäuden in Zukunft eine steigende Bedeutung zu. Die Nutzung konventioneller Klimaanlage ließe den Energieverbrauch im Sommer stark ansteigen und hätte damit negative Auswirkungen auf den Klimaschutz. Der Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage und vor allem die Passivkühlung – beispielsweise über Erdwärmetauscher – können solche Zielkonflikte verhindern.

Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz neben der Gebäudeausrichtung (siehe H13) auch durch eine Hauswandverschattung mittels Vegetation, durch angebaute Verschattungselemente und mittels Wärmedämmung erreicht werden. Dabei haben viele Maßnahmen beim Hausbau, die eigentlich der Energieeinsparung und damit dem Klimaschutz dienen, auch positive Effekte auf die Klimaanpassung. Eine gute Wärmedämmung gegen Energieverluste im Winter wirkt beispielsweise auch als Hitzeschutz gegen eine übermäßige Aufheizung der Wohnungswände im Sommer. Passivhäuser mit einem hohen Potential an Energieeinsparung sind im Sommer aufgrund des serienmäßigen Lüftungssystems angenehm kühl.

Verschattungen beispielsweise durch eine im Süden des Gebäudes angebrachte Pergola, führen im Sommer bei hoch stehender Sonne um die Mittagszeit zur Verschattung, in den Morgen- und Abendstunden und im Winter erreicht die tief stehende Sonne das Haus.

Die Maßnahme H14 lässt sich auch nachträglich zur Optimierung von Gebäuden einsetzen und damit auch im Bestand anwenden.

H15 Geeignete Baumaterialien verwenden

Durch Wärmezufuhr bzw. -abfuhr wird die Temperatur eines Körpers verändert. Wieviel Wärme pro Zeiteinheit unter Temperaturzunahme aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Städtische Baumaterialien erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Insbesondere Stahl und Glas haben einen großen Wärmeumsatz, d. h. sie erwärmen sich tagsüber stark und geben nachts viel Energie an die Umgebungsluft ab. Das Gegenteil ist bei natürlichen Baumaterialien wie z. B. Holz der Fall. Um die Wärmebelastungen zu verringern, ist daher der gezielte Einsatz von Baumaterialien nach ihren thermischen Eigenschaften sinnvoll.

Abhängig von der Oberfläche des Materials wird ein Teil der eingestrahlten Sonnenenergie sofort wieder reflektiert (Albedo) und steht damit nicht zur Erwärmung zu Verfügung. Helle Baumaterialien erhöhen diesen Effekt, reflektieren also mehr kurzwellige Sonneneinstrahlung. Dadurch heizen sich hell gestrichene Häuser (siehe Abb. 4-23) oder Straßen mit hellem Asphaltbelag weniger stark auf. Großflächig in der Stadtplanung angewandt, kann somit der Wärmeinseleffekt verringert werden.

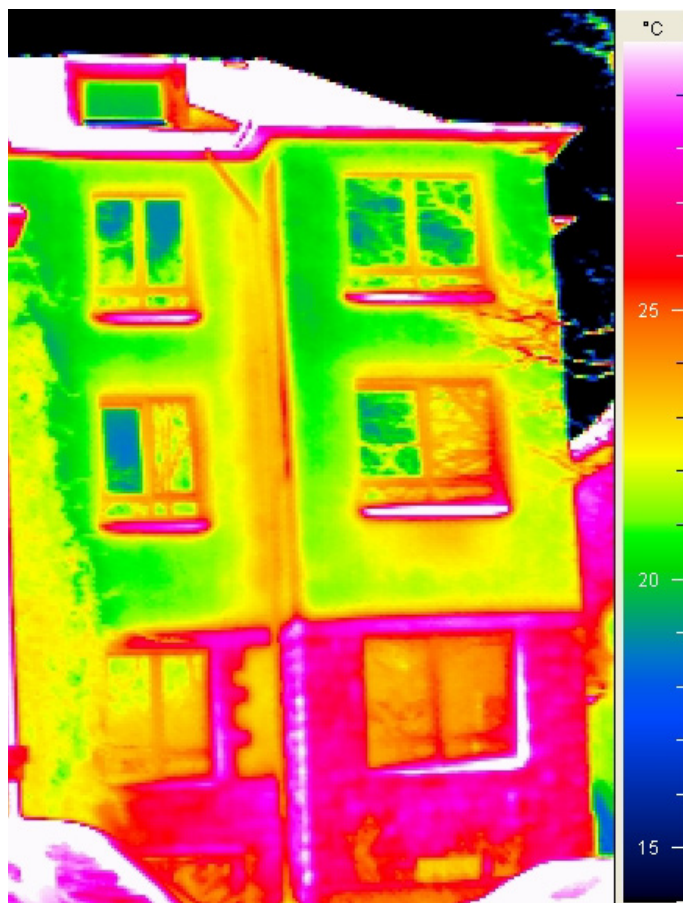


Abb. 4-23 Oberflächentemperaturen einer Hauswand, oben mit hellem Anstrich (Foto: Mersmann)

H16 Erhalt und Schaffung von Luftleitbahnen

Frischlufschneisen und Luftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete oder Frischluftflächen mit der Innenstadt und sind somit ein wichtiger Bestandteil des städtischen Luftaustausches. Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind sie klimarelevant, da über sie geringer belastete Luftmassen in die belasteten Räume der Stadt transportiert werden (VDI 2003).

Stadtklimatisch relevante Luftleitbahnen lassen sich in drei Kategorien einteilen (Weber & Kuttler 2003):

- **Ventilationsbahnen** gewährleisten einen Luftmassentransport unabhängig von der thermischen oder lufthygienischen Ausprägung (Abb. 4-24).
- **Kaltluftbahnen** transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen.
- **Frischlufbahnen** leiten lufthygienisch unbelastete, thermisch aber nicht näher differenzierte Luftmassen (Abb. 4-25).



Abb. 4-24 Luftleitbahn „Straße“ in der Innenstadt von Duisburg (Foto: Gabrian, RVR)

Das Relief innerhalb und außerhalb eines Stadtkörpers kann im Fall von Tälern zu Kanalisierungseffekten führen. Hierdurch kann frische, kühle Umlandluft weit in den Stadtkörper hineingeführt werden. In Strahlungsnächten kann auch bei entgegengesetzter Strömung in der freien Atmosphäre bodennahe Kaltluft hangabwärts fließen und in die Bebauung vordringen. In heißen Sommernächten kann dies zu einer lokalen Abkühlung im Bereich der städtischen Bebauung führen. Zu ungünstigen immissionsklimatischen Verhältnissen führen Inversionswetterlagen mit

geringer Luftbewegung, die insbesondere in Tallagen bei vorhandenen Emittenten das Immissionsklima nachhaltig verschlechtern.



Abb. 4-25 Luftleitbahn „Bahntrasse“ (Foto: Gabrian, RVR)

Die Wirkung von Luftabflüssen auf die Bebauung ist generell auf die unmittelbare Nachbarschaft begrenzt, solange die Schichtdicke der Kalt-/Frischlufte die Höhe der städtischen Bebauung nicht um ein Mehrfaches übertrifft. Häufig erschweren bereits bestehende Stadtstrukturen die Belüftung über Luftleitbahnen, so dass primär zumindest die Ausweisung von Platz sparenden Belüftungszonen erreicht werden sollte. Nach Mayer et al. (1994) sollten effiziente Ventilationsbahnen folgende Mindesteigenschaften aufweisen: eine aerodynamische Rauigkeit (Unebenheit der Oberfläche) von $z_0 \leq 0,5$ m bei einem Längen-/Breitenverhältnis von 20:1 (Länge ≥ 1000 m, Breite ≥ 50 m).

Ein weiterer, den Austausch hemmender Faktor ist in der Wirkung von hoher und dichter Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Luftleitbahnen zu sehen. Hier führt die Vegetation zur Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeit („Windfänger“), so dass der Austausch erschwert sein kann. Besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt auf strahlungsnächtliche, häufig nur schwach ausgebildete Kaltluftabflüsse aus (Dütemeyer 2000).

H17 Hänge von hangparalleler Riegelbebauung freihalten

Große Freiflächen mit Kaltluftproduktion und Tallagen mit Fließrichtung Innenstadt gelten als besonders sensible Flächen zur Stadtbelüftung, die auch bei Schwachwind zu einer Stadtbelüftung durch Kaltlufttransport beitragen. Damit Frischluft auch bei schwachen Windströmungen von außen in die Stadt gelangen kann, darf die Bebauung am Stadtrand keine abriegelnden Bebauungsgürtel bilden (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008). Die Hänge entlang von Kaltluftbahnen sollten von hangparalleler Riegelbebauung freigehalten werden.

Negative Auswirkungen des Reliefs sind zu erwarten, wenn die Talsohle und die Talhänge urbane Flächennutzungen aufweisen. Die Bebauung kann die bodennahe Ventilation verringern. Im ungünstigsten Fall bildet eine quer zur Talachse oder längs zur Hangausrichtung orientierte Bebauung einen Strömungsriegel (siehe Abb. 4-26), der bei schwachen Bodenwinden eine Ventilation der leeseitigen Bebauung beeinträchtigen kann. Hangbebauungen sollten, wo nicht auf sie verzichtet werden kann, mit großen Abständen und mit niedrigen Höhen erfolgen. Die positive Wirkung von Lüftungsschneisen entsteht nur bei zusammenhängenden Freiflächen (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008).

Bei Berücksichtigung dieser Aspekte ist es möglich, einen Zielkonflikt zwischen den positiven Auswirkungen von Südhangbebauungen aus energetischen Gesichtspunkten für den Klimaschutz und den Anforderungen der Stadtbelüftung zu vermeiden.

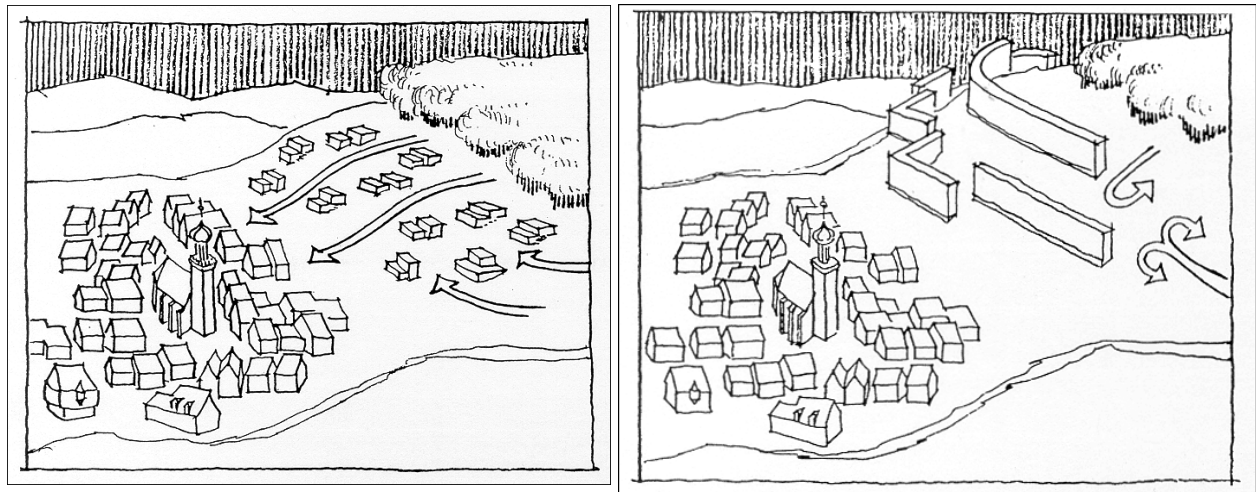


Abb. 4-26 Durchlässige Hangbebauung (links) und hangparallele Zeilenbebauung mit Riegelwirkung (rechts) (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008)

H18 Verschattungselemente einbauen

Neben den Anforderungen der Wohnbevölkerung an den Schutz vor Auswirkungen des Klimawandels ist auch der Aspekt der Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität und der Produktivität der arbeitenden Bevölkerung im innerstädtischen Bereich zu berücksichtigen. Eine einfache Möglichkeit, die Hitzebelastungen aufgrund direkter Sonneneinstrahlung am Tage zu verringern, ist der Einbau von Verschattungselementen.

Dabei reichen die Methoden der Verschattung von sonnenstandsgesteuerten Außenrollos - beispielsweise an Bürogebäuden - über Sonnensegel als Schattenspender auf besonnten innerstädtischen Plätzen bis hin zu Arkaden, die die Aufenthaltsqualität in stark besonnten (aber auch bei Regen) Einkaufsstrassen erhöhen.

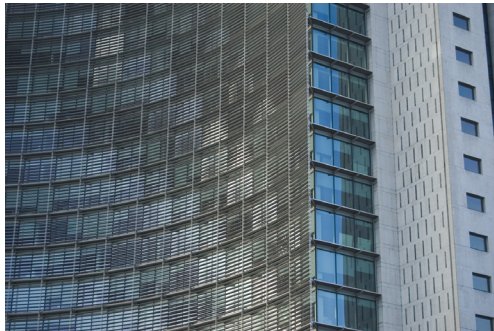


Abb. 4-27 Gebäude mit Außenrollos (Bildnachweis: @istock.com/Burton0215)

H19 Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation

Durch den Klimawandel verursachte geänderte klimatische Bedingungen mit zunehmender Sommerhitze in den Städten und damit verbundenen sommerlichen Trockenperioden haben erhebliche Auswirkungen auf die urbane Vegetation. Eine Möglichkeit zur Anpassung an diese neuen Bedingungen ist die künstliche Bewässerung derjenigen begrünten Flächen, auf denen während Trockenperioden zu wenig Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung steht.

Diese Lösung verursacht allerdings Konflikte mit der Sicherung der allgemeinen Wasserversorgung während längerer Trockenperioden im Sommer. Eine Alternative zur künstlichen Bewässerung von Flächenbegrünung auf sommertrockenen Standorten im urbanen Raum ist daher ggf. der Ersatz von einheimischen Arten durch Bepflanzung mit trockenresistente Arten (vgl. H20).



Abb. 4-28 Künstliche Bewässerung von Parkanlagen (Bildnachweis: @istock.com/laclower)

H20 Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten

Bei der Auswahl von geeigneten Pflanzenarten für die Begrünung im innerstädtischen Raum - dies gilt für eine Begrünung von Straßenzügen ebenso wie für Parkanlagen - ist neben Faktoren wie Standortansprüchen und Verkehrssicherheit zu beachten, dass die Vegetation auch den zukünftigen klimatischen Bedingungen gerecht wird (siehe H7). Insbesondere die zunehmende Sommerhitze in den Städten und damit verbundene längere Trockenperioden erfordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Pflanzen. Wärmeresistente Pflanzenarten mit geringem Wasserbedarf sind zukünftig besser für innerstädtische Grünanlagen geeignet.

Um eine ausreichende Vielfalt mit Pflanzenarten, die eine sehr hohe Trockenstresstoleranz haben, zu erreichen, ist es notwendig, neben heimischen Arten auch Arten aus Herkunftsgebieten mit verstärkten Sommertrockenzeiten zur Bepflanzung heranzuziehen. Durch eine erhöhte Artenvielfalt im städtischen Raum kann möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorgebeugt werden.

H21 Vermehrter Einsatz von bodenbedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen

Zunehmende Sommerhitze in den Städten kann zur Austrocknung nichtversiegelter Flächen führen. Diese erfüllen aber eine wichtige Funktion für die Niederschlagsversickerung im urbanen Raum. Stark ausgetrocknete Böden führen beim nächsten Niederschlagsereignis dazu, dass ein größerer Teil des Wassers nicht versickern kann und deshalb oberflächlich abfließt. Dies hat negative Auswirkungen auf die Bodenerosion und die Grundwasserneubildung und erhöht das Überschwemmungsrisiko beim nächsten Starkregen.

Die Bepflanzung solcher Flächen mit bodenbedeckender Vegetation verringert die Austrocknung des Bodens und verbessert damit das Versickerungsvermögen. Wo eine Bepflanzung nicht möglich oder sinnvoll ist, können unbewachsene Bodenflächen mit (künstlichen) Materialien wie z. B. Mulch abgedeckt werden, um die Verdunstung aus dem Boden zu verringern.

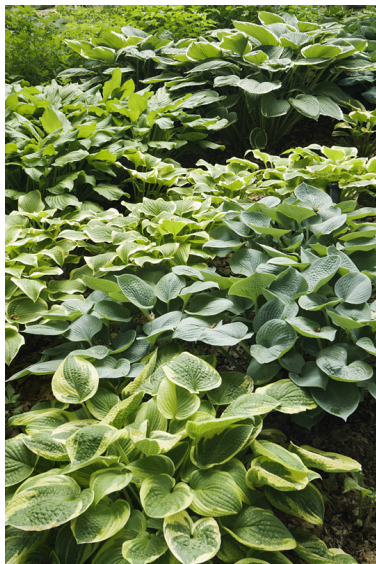


Abb. 4-29 Bepflanzung mit bodenbedeckender Vegetation
(Bildnachweis: @istock.com/YinYang)

H22 Beschattung relevanter Flächen

In Kapitel 2 wurden mögliche Auswirkungen länger dauernder Hitzephasen auf die Trinkwasserverteilungsnetze beschrieben: Die Netze erwärmen sich, was eine Vermehrung von hygienisch relevanten Bakterien (beispielsweise Enterobacter, Citrobacter, Klebsiella u. a.) zur Folge haben kann. Besonders anfällig hierfür sind schwach durchflossene Netzabschnitte unter asphaltierten oder gepflasterten Straßen und Plätzen sowie unter Flächen ohne ausreichende Beschattung, die die Wärme gut aufnehmen, über längere Zeit speichern und auf diese Weise den Boden aufheizen. Eine direkte Bestrahlung durch die Sonne forciert diesen Effekt des Aufheizens.

Eine Möglichkeit, das Aufheizen von Versorgungsleitungen zu verringern, ist die Beschattung relevanter Flächen durch Vegetation oder durch bauliche Maßnahmen. Wählt man eine Beschattung durch Bäume, hat dies gleichzeitig positive Effekte auf das Stadtklima (H7) und die Lufthygiene. Es können hierbei aber auch Konflikte zwischen dem Wurzelwerk der Bäume und existierenden Leitungstrassen, Verteilungsnetzen und Kanälen entstehen (siehe Kapitel 4.3), weshalb dann ggf. auf bauliche Verschattungsmaßnahmen zurückgegriffen werden muss. Eine bauliche Verschattung beispielsweise durch Vordächer oder Arkaden ist insbesondere sinnvoll, wenn Synergien zur Anpassungslösung H18 entstehen, also durch Verschattungselemente die Aufenthaltsqualität im stark besonnten Innenstadtbereich erhöht werden kann.



Abb. 4-30 Beschattung eines Platzes durch Bäume
(Bildnachweis: @istock.com/Iddeone)

H23 Neubau: Verkehrsflächen mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit

Die potentiell durch zu hohe Temperatur im Trinkwasserverteilungsnetz entstehende Gefährdung der Wasserqualität ergibt sich aus der Wärmeaufnahme von hoch versiegelten Flächen. Wie viel Wärme in welcher Zeit bei zunehmenden Temperaturen von einem Baukörper aufgenommen wird, hängt dabei von der Art des Stoffes ab (H15). Asphaltierte oder gepflasterte Verkehrsflächen erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Da Straßen und Verkehrswege in dicht bebauten Innenstädten rund 10 % der Fläche ausmachen können, können sie erheblich zum Erwärmungseffekt beitragen.

Zur Verringerung von Bodenerwärmungen ist daher auch hier der gezielte Einsatz von Materialien mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Helle Beläge auf Verkehrsflächen reflektieren im Gegensatz zu dunklem Asphalt einen größeren Anteil der eingestrahelten Sonnenenergie sofort wieder (Albedo) und können damit das Aufheizen von Leitungssystemen erheblich verringern. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Oberfläche von hellem Beton um bis zu 13 K weniger erwärmt als dunkler Asphaltbelag (Forschungsinstitut der Österreichischen Zementindustrie 2009).

H24, H25, H29-H31 Maßnahmen auf Seiten der Kanalnetzbetreiber

Besonders während länger andauernden Hitzeperioden kann es zu einer Erhöhung der Wassertemperaturen in Trinkwasserverteilungsnetzen kommen. Im Temperaturbereich zwischen 15 und 25 °C können schon geringere Temperaturerhöhungen von 1 °C - 3 °C zu einer wesentlichen Vermehrung hygienisch relevanter Bakterien führen. Eine solche Erwärmung betrifft im Wesentlichen Netzendstränge mit wenig Durchfluss bzw. Netzteile mit zu geringen Abnahmen (z. B. aufgrund des wirtschaftlichen oder des demographischen Wandels), in denen ein ausreichender Durchfluss nicht gewährleistet ist. Zurzeit laufen verschiedene Forschungsvorhaben, um diese Effekte besser quantifizieren zu können.

Um eine Wiederverkeimung zu verhindern, sind unter Umständen – besonders in dicht besiedelten Gebieten mit Trinkwasserversorgung aus Oberflächengewässern – betriebliche und bauliche Anpassungsmaßnahmen erforderlich.

Bereits heute stellen Wasserwerke und Netzbetreiber mit verschiedenen betrieblichen Maßnahmen ein sauberes Trinkwasser von der Aufbereitung bis zum Kunden sicher, z. B. durch die Entkeimung des Trinkwassers und eine sorgfältige Desinfektion aller neuen, reparierten oder ersetzten Netzteile. Weitere Möglichkeiten bestehen in einer weitgehenden Reduzierung der Nährstoffe im Trinkwasser in der Wasseraufbereitung, im regelmäßigen Spülen und Desinfizieren von Strängen und indem ausreichender Durchfluss sichergestellt wird, z. B. durch regelmäßiges Ablassen von Wasser aus Endsträngen seitens der Netzbetreiber.

Um einer Erwärmung des Trinkwassers in Verteilnetzen aufgrund stark erhöhter Luft- und Bodentemperaturen entgegenzuwirken, kann eine übermäßige Erwärmung der leitungsumgebenden Böden auch durch bauliche Maßnahmen verringert werden. Beim Bau bzw. bei der Sanierung von Verkehrsflächen sowie bei der Verfüllung von Leitungsgräben sollten möglichst Materialien mit geringer Wärmeleit- bzw. -speicherfähigkeit eingesetzt werden (siehe H23). Besser ist es jedoch, auf eine Versiegelung der Flächen zu verzichten. Gleichzeitig ist bei Umbaumaßnahmen darauf zu achten, dass die zurzeit gültige Mindestdtiefe (Überdeckung) für Leitungssysteme von 0,80 m nicht unterschritten wird. Sonneneinstrahlung und Hitze können so die unterliegenden Bodenschichten und Rohrleitungen weniger stark aufheizen. Um die Leitungsüberdeckung zu vergrößern, könnte bei Neubauprojekten auch die Einbautiefe erhöht werden. Diese Lösung zöge aber höhere Investitions- und Unterhaltungskosten nach sich, da alle Stichanschlüsse wie Schieber, Hydranten und Hausanschlüsse entsprechend verlängert bzw. tiefer ausgeführt werden müssten und Reparaturen am Verteilnetz einen höheren Aufwand erfordern würden. Auch die Isolierung der Verteil- und Hausanschlüsse als Reaktion auf steigende Temperaturen wäre mit höheren Kosten verbunden.

H26 Nutzung von Überschussmengen aus der örtlichen Grundwasserbewirtschaftung

Der zu erwartende Anstieg der Niederschläge in den Wintermonaten kann in vielen Teilen Nordwestdeutschlands zu einer erhöhten Grundwasserneubildung und damit zu steigenden oberflächennahen Grundwasserspiegeln führen. Hieraus ergäbe sich im Bedarfsfall, z. B. in längeren Hitzeperioden im Sommer mit erhöhtem Wasserverbrauch (u. a. zur Bewässerung im öffentlichen Raum und auf Privatgrundstücken) ein größeres zu bewirtschaftendes Dargebot, das – je nach Verfügbarkeit und Grundwasserqualität – für folgende Verwendungen eingesetzt werden kann:

- zur städtebaulichen Gestaltung (künstliche Wasserläufe, Brunnen, Fontänen),
- zur Bewässerung weitläufiger städtischer Grünanlagen,
- zur Speisung von neuen Wasserflächen (Kühlungspunkten) z. B. in Parks.

Weitere – wenn auch beschränkte – Anwendungsmöglichkeiten in Verbindung mit einer umfassenden urbanen Regenwasserbewirtschaftung könnten die Speisung vertikaler Kühlungsflächen an Gebäuden oder eine Nutzung zur Straßenreinigung, für Kanalspülungen oder in Autowaschanlagen sein.

H27 Aufruf zu wassersparendem Verhalten in Trocken- und Hitzeperioden

In südlichen Ländern, in denen bereits heute längere Trockenperioden auftreten und Wasserknappheit vorherrscht, ist es längst üblich, dass – beispielsweise in Hotels – auf das Problem der Wasserknappheit hingewiesen und ein sparsamer Umgang mit Wasser gefordert wird.

In Nordrhein-Westfalen wird auch zukünftig die Versorgungssicherheit bei zunehmenden Hitzeperioden und höherem Spitzenverbrauch nach derzeitiger Bewertung nicht gefährdet sein. Trotzdem kann es auch hier in längeren Trockenphasen zu zeitweiligen regionalen Engpässen kommen. In solchen Phasen sollten nicht nur die Bevölkerung, sondern auch Industrie, Energieerzeugung oder die Landwirtschaft zu einem sparsamen Umgang mit Wasser aufgerufen werden, etwa indem verstärkt Brauchwasser verwendet wird. Verhaltensempfehlungen und Tipps zum sparsamen Umgang mit Wasser können auch über z. B. Informationsblätter verbreitet werden.

Der sparsame Umgang mit Wasser kann auf der anderen Seite dazu führen, dass eine ausreichende Durchspülung der Kanalnetze nicht mehr gewährleistet ist und damit Konflikte mit Handlungslösung H31 auslösen. Daher müssen jeweils lokal spezifisch Lösungen gefunden werden.

H28 Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht (Durchwurzelung)

Wesentlichen Einfluss auf die Siedlungswasserwirtschaft gewinnt die hitzebedingte Austrocknung der oberen Bodenzone dadurch, dass die ersten Niederschläge nach einer Trockenperiode nicht in den ausgetrockneten Boden eindringen können, sondern oberflächlich abfließen. Die Folgen können eine höhere Bodenerosion, eine verringerte Grundwassererneuerungsrate und insbesondere deutlich erhöhte Niederschlagsabflüsse in die Siedlungsentwässerungssysteme, in die nächsten Oberflächengewässer und – je nach Leistungsfähigkeit der Entwässerungssysteme – auch in tiefer liegende Siedlungsgebiete und Infrastrukturanlagen sein.

Eine verbesserte Versickerung wird erreicht, indem urbane Flächen mit Vegetation bepflanzt werden, deren Wurzelwerk den Untergrund auflockert. Durch eine gleichmäßige Durchwurzelung der oberen Bodenschichten wird die Durchlässigkeit von Böden verbessert.

Die Pflanzenauswahl orientiert sich an den Anforderungen einer extensiven Pflege und benötigt überwiegend trockenheitsverträgliche, aber überstautolerante Arten. Der Wirkungsgrad von Stauden auf die Bodendurchlässigkeit liegt im Schnitt etwa um ein Drittel höher als der von Rasen. Ursache hierfür ist die bei Stauden intensivere Durchwurzelung des Bodens. Bedingt durch ein vergleichsweise geringes Angebot an wasserspeichernden Poren in der Oberbodenaufgabe werden die Pflanzen gezwungen, auch tiefer liegende Bodenschichten intensiver zu erschließen. Die Wurzelaktivität begünstigt die Kapillarität und Porosität im Untergrund, was sich positiv auf die Versickerungsleistung auswirkt. Im Fall von Rasen befindet sich mehr als 95 % der Wurzelmasse in Oberbodenschichten bis 20 cm Dicke. Bei Stauden können dagegen artabhängig innerhalb von fünf Jahren bereits bis zu 75 % der Wurzeln 40 cm tief in den Boden einwachsen (Eppel-Hotz 2008).



Abb. 4-31 Staudenbepflanzung (Bildnachweis: @istock.com/fotolinenchen)

4.1.3 Handlungskatalog zu Extremniederschlägen

Tab. 4-4 Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Extremniederschläge“

I	Rahmenbedingungen des Systems		Lösungen	
	Getrennte Planung (Wasserwirtschaftliche, Stadt- und Raumplanung)		H1	Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche
	Bauliche, technische Voraussetzungen		H2	Überprüfung der technischen Machbarkeit
II	Belastungen	Sensitivitäten		Lösungen
	Schneller, großer Oberflächenabfluss	Versiegelungsgrad bzw. Flächennutzung	E1	Rückbau versiegelter Flächen
			E2	Flächennutzung an Hängen, abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen
			E3	Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung
			H8	Dachbegrünung
	Tatsächliche Bodenverhältnisse im Einzugsgebiet		E1	Rückbau versiegelter Flächen
			E3	Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung
	Topographie des Einzugsgebiets		E2	Flächennutzung an Hängen, abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen
			E4	Schaffung von Niederschlagswasserzwischen speichern und Notwasserwegen
			E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
	Vorhandensein von kleinen urbanen Gewässern		E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
			E6	Verhinderung von Engstellen und Abflusshindernissen
	Schwachstellen Entwässerungssysteme		E6	Verhinderung von Engstellen und Abflusshindernissen
	Gewässerverläufe oberhalb des taltiefsten Gewässers		E4	Schaffung von Niederschlagswasserzwischen speichern und Notwasserwegen
			E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
			E6	Verhinderung von Engstellen und Abflusshindernissen
	Schwachstellen Sonderbauwerke, z. B. Pump- und Hebewerke		E7	Sicherstellung des ordnungsgemäßen Betriebs der Sonderbauwerke
	Temporäre Baustellen		E4	Schaffung von Niederschlagswasserzwischen speichern und Notwasserwegen
			E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
			E8	Maßnahmen des Objektschutzes

Fortsetzung Tab. 4-4

III	Fehlfunktionen des Systems		Lösungen
	Überlastung Entwässerungssystem	E2	Flächennutzung an Hängen, abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen
		E4	Schaffung von Niederschlagswasserzwischen speichern und Notwasserwegen
		E3	Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung
		E6	Verhinderung von Engstellen und Abflusshindernissen
	Überflutung von Straßen, Unterführungen und Kellern	E4	Schaffung von Niederschlagswasserzwischen speichern und Notwasserwegen
		E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
		E8	Maßnahmen des Objektschutzes
		E9	Unterführungen mit beidseitigen Entwässerungs-/Versickerungsgräben
	Bodenerosion	E2	Flächennutzung an Hängen, abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen
	Unkontrollierter Abschlag über MW- oder RW-Entlastungsanlagen in urbane Fließgewässer	E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
IV	Schadenspotenziale		Minderungen
	Schäden an Infrastruktur und Privateigentum	E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
		E8	Maßnahmen des Objektschutzes
		E10	Organisierte Schutzmaßnahmen beim Eintreten eines Extremereignisses
	Gesundheitliche Risiken	E5	Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge
		E10	Organisierte Schutzmaßnahmen beim Eintreten eines Extremereignisses

Im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sind Maßnahmen zur Verminderung des Oberflächenabflusses durch Flächenentsiegelungen und Verbesserung der Rückhalte- und Versickerungsmöglichkeiten kurzfristig umsetzbar. Maßnahmen gegen Fehlfunktionen des Systems und zur Minderung von Schadenspotenzialen verlangen meist einen höheren technischen und finanziellen Aufwand und sind nur mittel- oder langfristig umzusetzen.

Die einzelnen Anpassungslösungen bzw. Schadenminderungsmaßnahmen werden nachstehend durch textliche Beschreibungen oder Grafiken kurz erläutert. Jeder Lösung wird dazu bereits in der tabellarischen Übersicht eine eindeutige Nummerierung (E1 bis E10) zugeordnet. Maßnahmen, die bereits in den Handlungskatalogen zur Hitzebelastung aufgeführt sind, behalten ihre H-Nummerierung und werden nicht erneut im folgenden Text erläutert.

E1 Rückbau versiegelter Flächen

Bodenversiegelung bzw. Flächenversiegelung ist die auf anthropogene Einflüsse zurückzuführende Bedeckung natürlicher Böden durch Abdichtung mit undurchlässigen Substanzen (z. B. Teer, Beton oder Gebäuden) oder durch extreme Verdichtung (z. B. durch Befahren). Der Grad der Versiegelung nimmt durch fortschreitende Siedlungstätigkeit bzw. Nachversiegelung in bestehenden Siedlungen zu (z. B. Umbau von Freiflächen in Parkplätze). Die Flächenversiegelung greift in den natürlichen Wasserkreislauf entscheidend ein: Zum einen nimmt die Infiltration des Niederschlagswassers bei zunehmendem Versiegelungsgrad ab, zum anderen erhöht sich der Anteil des oberirdischen Abflusses bzw. verringert sich die Neubildung des Grundwassers. Ziel der Siedlungsplanung soll sein, dass sowohl beim Gebäude- als auch beim Verkehrswegebau eine flächensparende Bauweise gewählt wird. In schon bebauten Gebieten ist eine vollständige Entsiegelung nur vertretbar, wenn die Funktion des Gebäudes bzw. des Verkehrsweges darunter nicht leidet.

Bodenversiegelungen können durch den Einsatz von durchlässigen Oberflächenbefestigungen vermieden bzw. reduziert werden und zwar vor allem dann, wenn die Nutzungsform der Flächen nicht unbedingt hochresistente Beläge wie Beton oder Asphalt voraussetzt. Geeignete durchlässige Materialien zur Befestigung von Oberflächen sind mittlerweile für viele Anwendungsbeispiele verfügbar. Zu beachten ist allerdings, dass auch der Unterbau und der Untergrund eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen müssen. Für Hofflächen, Terrassen, Gartenwege, Radwege, Gehwege, Zufahrtswege und Parkflächen sind wasserdurchlässige Befestigungen besonders angebracht. Geeignete Beläge sind:

- Schotterrasen
- Rasengittersteine (siehe Abb. 4-32)
- Kunststoffrasengitter
- Rasenfugenpflaster
- Betonpflastersteine
- Kies-/Splittabdeckung
- Splittfugenpflaster
- Porenplaster u.ä.



Abb. 4-32 Wasserdurchlässiger Belag, Rasengittersteine (LFU Bayern 2010)

Weiter kommen auch Dränasphaltdecken oder Dränbetondecken zum Einsatz. Es handelt sich dabei um hohlraumreiche Decken, die versickerungsfähig sind und zudem auch lärmindernd wirken. Diese Befestigungen eignen sich besonders für Strassen und Wege, Markt- und Parkplätze, Rad- und Gehwege, Hof- und Lagerflächen. Ein Teil des Wassers fließt auf diese Weise nicht oberirdisch ab und kann entweder direkt versickern oder wird in angeschlossene Versickeranlagen (siehe E4) geleitet.

E2 Flächennutzung an Hängen, abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen

Bei der Neugründung von Siedlungsgebieten oder bei der Flächennutzungsplanung in Gebieten in Hanglage sollten Untersuchungen bezüglich der Gefährdung durch Sturzfluten und Hangabflüsse unternommen werden. Dazu gehören die Untersuchung der Bodenbeschaffenheit und der möglichen Flächennutzung (maximaler Versiegelungsgrad), die Dimensionierung der Entwässerungssysteme und die Anordnung anderer Rückhaltesysteme in oberer Hanglage. Besteht die Gefahr von Sturzfluten oder stärkeren Hangabflüssen, sollte von Bebauung oder von sensibler Nutzung abgesehen werden.

Bei bestehender Bebauung sind abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen vorzunehmen. Bei landwirtschaftlicher Nutzung im oberen Hanggebiet beeinflusst beispielsweise die Art der Bearbeitung der Nutzflächen (Äcker, Weiden) das Erosionspotenzial und die resultierende Abflussmenge Richtung Talsohle erheblich. Fahrspuren landwirtschaftlicher Fahrzeuge, die in Falllinie eines Hanges liegen, bilden wie in Abbildung 4-33, links, eine lineare Erosion, die bei Starkniederschlägen Niederschlagswasser und Sediment (Schlamm und Geröll) in großen Mengen in tiefer gelegene Gebiete führt.



Abb. 4-33 Lineare Erosion in Fahrbahnfurche, Intervallbegrünung in Fahrbahnfurche (Mosimann 2007)

Ist eine Bearbeitung bzw. Befahrung der Felder entlang der Höhenlinien eines Hanges nicht möglich, können eine Reduktion des Bodenabtrags und eine Minderung der Abflussmengen beispielsweise durch Intervallbegrünungen in den Fahrspuren erreicht werden (Abb. 4-33, rechts). Ähnliche Erosionspotenziale liegen bei Bepflanzungen parallel zur Hangrichtung vor, wo Rinnen zwischen den Pflanzreihen den direkten Wasserabfluss Richtung Talsohle stark erleichtern können. Wirksamer Schutz kann hier durch eine Bepflanzung parallel zur Hanglage erreicht werden (Abb. 4-34).



Abb. 4-34 Bepflanzung parallel zur Hanglage (Mosimann 2007)

E3 Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung

In Flächen mit hohem Versiegelungsgrad können die anfallenden Niederschlagswassermengen nicht ohne weiteres in den Boden eindringen und versickern. Eine verbesserte Versickerung wird durch Entsiegelung von bebauten Flächen erreicht (E1), ebenso durch ausreichende Vegetation, deren Wurzelwerk den Untergrund auflockert.

Um das Entwässerungssystem oder Vorfluter zu entlasten, sind technische Versickerungs- bzw. Verrieselungsanlagen hilfreich. Hierbei kann es sich um unbelastetes aber auch belastetes Niederschlagswasser handeln. Verrieselung ist die Einbringung belasteter, zu behandelnder Wässer (in diesem Zusammenhang meistens vorbehandeltes Schmutzwasser) in den Untergrund auf eine Art und Weise, dass dabei eine den Schutz des Grundwassers entsprechende Reinigung im Verlauf der Rieselstrecke (Sickerstrecke) erfolgt. Nach DWA-Arbeitsblatt 138 (ATV-A 138 2005) werden folgende Versickerungs- bzw. Verrieselungsanlagen unterschieden:

Flächen-Versickerung

Bei der Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser nicht gefasst, sondern ohne technische Einrichtungen großflächig versickert. Das auf der Fläche selbst anfallende und von benachbarten Flächen zugeleitete Niederschlagswasser wird ohne Zwischenspeicherung flächenhaft in den Untergrund abgeleitet. (Abb. 4-35).

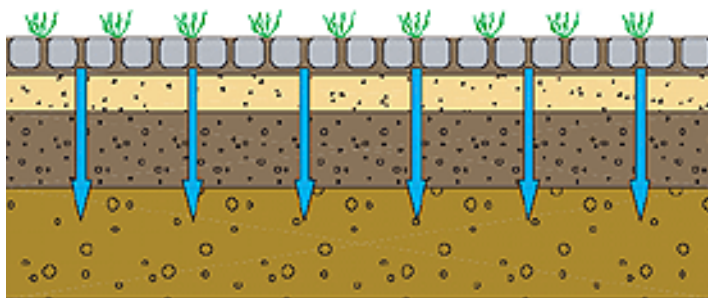


Abb. 4-35 Flächenversickerung (Stadt Herne 2010)

Vorteile:

- keine punktuelle Bodenbelastung aufgrund flächiger Versickerung
- bei Versickerung über bewachsenen Mutterboden gute Reinigungsleistung
- in Eigenarbeit zu erstellen
- hohe Lebensdauer
- geringe Kosten

Nachteile:

- Großer Flächenbedarf
- Keine Zwischenspeicherung möglich

Mulden- bzw. Beckenversickerung

Bei großen Flächen, wie z. B. bei Wohnsiedlungen oder Gewerbegebieten, empfiehlt sich die Beckenversickerung. Dabei wird der Niederschlag über eine Vielzahl von Regenwasserleitungen einer zentralen Versickerungsanlage zugeführt. Die Becken und Teiche können naturnah gestaltet werden. Bepflanzte Teichbiotope passen sich sehr gut in die Landschaft ein und tragen zur Verbesserung des Mikroklimas bei.

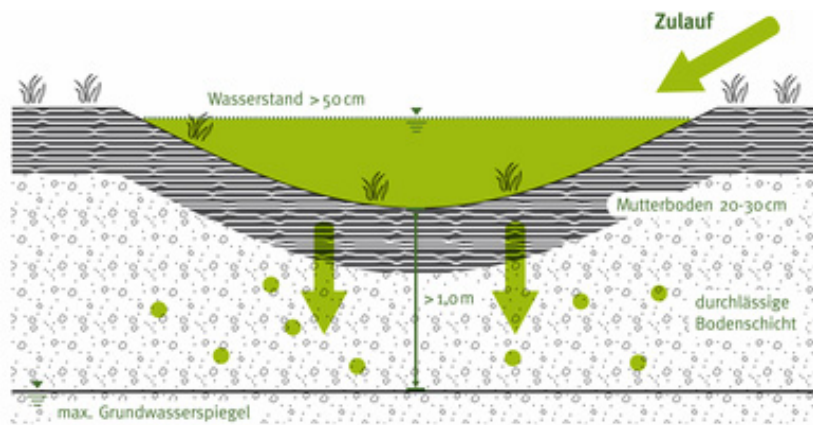


Abb. 4-36 Mulden- bzw. Beckenversickerung (Kompatscher 2008)

Vorteile:

- Versickerungszone biologisch aktiv
- Gute Retentionswirkung
- Biotope als gestalterisches Element
- Gute Wartungsmöglichkeiten
- Verbesserung des Mikroklimas

Nachteile:

- Einfriedung erforderlich
- Selbstverdichtung der Sickerschicht bei unsachgemäßer Wartung
- Gute Untergrundverhältnisse erforderlich

Rigolenversickerung, Rohrversickerung

Rigolen sind mit grobem Kies oder Schotter, mit Lavagranulat oder mit Hohlkörpern aus Kunststoff gefüllte Gräben. Das in diese Rigolen eingeleitete Regenwasser wird dort zwischengespeichert und langsam an den Boden abgegeben. Eventuell kann in diesen Gräben zusätzlich ein gelochtes Rohr (Sickerrohr) verlegt werden, um die Speicherkapazität noch zu erhöhen bzw. um in der Rigole eine gleichmäßige Verteilung des Regenwassers zu gewährleisten. In diesem Falle spricht man von Rigolen-Rohrversickerung. Diese Systeme werden eingesetzt, wenn die Flächen zum Bau einer Mulde nicht ausreichen oder der Boden nicht ausreichend durchlässig ist. Außerdem eignen sich Rigolen beispielsweise als Überlauf von Gründächern oder von Regenwassernutzungsanlagen.

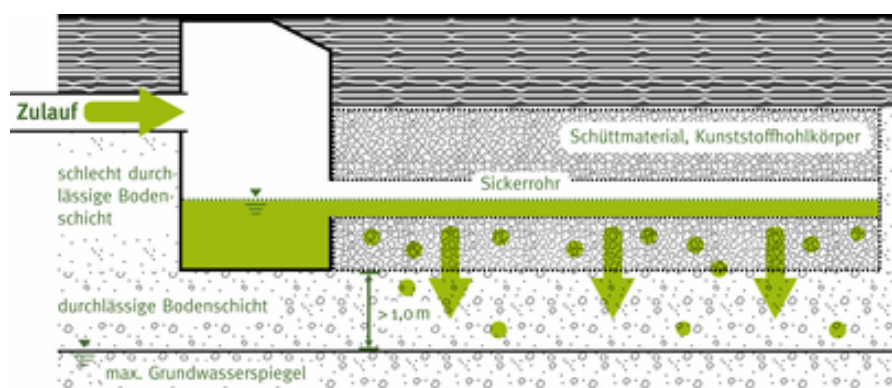


Abb. 4-37 Rigolenversickerung, Rohrversickerung (Kompatscher 2008)

Vorteile:

- Durchdringung schlechter Sickerschichten
- Leichte Verbindung zu tieferen, aufnahmefähigeren Schichten
- Geringer Flächenbedarf
- Gutes Retentionsvermögen
- Kaum Einschränkung der Nutzbarkeit der Oberfläche

Nachteile:

- Geringe Reinigungsleistung
- Keine Wartungsmöglichkeiten
- Schwebstofffreies Wasser erforderlich

Mulden-Rigolen-Versickerung

Bei diesem System wird an der Oberfläche der Rigole eine begrünte Mulde ausgebildet; somit wird durch die Muldenversickerung eine sehr gute Reinigungsleistung erzielt und durch die darunter liegende Rigole der Speichereffekt vergrößert. Diese Systemkombination eignet sich vor allem bei gering durchlässigen Böden.

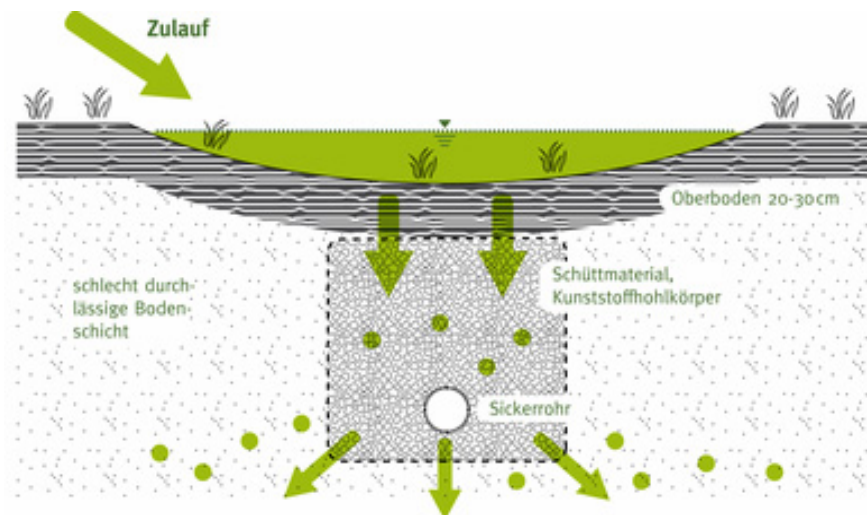


Abb. 4-38 Mulden-Rigolenversickerung (Kompatscher 2008)

Schachtversickerung

Die Schachtversickerung stellt eine Variante zur Rigolenversickerung dar, wobei in diesem Falle das Regenwasser punktförmig mittels Versickerungsschacht in den Untergrund gelangt. Diese Versickerungsanlage ist besonders für innerstädtische Gebiete mit geringem Flächenangebot geeignet, da ein minimaler Flächenbedarf (weniger als 1% der angeschlossenen Fläche) notwendig ist. Wie bei der Rigolen-/Rohrversickerung dürfen nur gering verunreinigte Regenwässer eingeleitet werden.

E4 Schaffung von Niederschlagswasserzischenspeichern und Notwasserwegen

Wenn Entwässerungssysteme bei Starkniederschlägen versagen und überlaufen, müssen die dann oberirdisch abfließende Wassermengen gezielt in die natürlichen Vorfluter geleitet oder Retentionsanlagen und –flächen zugeführt werden, damit Schäden an Infrastruktur und Gebäuden verhindert werden können. Besondere Bedeutung kommt hierbei der Ausweisung bzw. Anlage von Notwasserwegen im öffentlichen Raum und auch auf Privatgrundstücken zu, über die ggfs. auch große Wassermengen ohne Gefahr für die Bewohner von Siedlungsgebieten abgeführt werden können.

Wassermengen aus Niederschlägen können in Retentionsbecken mit oder ohne Filteranlagen zurückgehalten und verzögert an das Entwässerungssystem abgegeben werden, sobald das dort eingestaute Mischwasser abgelaufen ist.

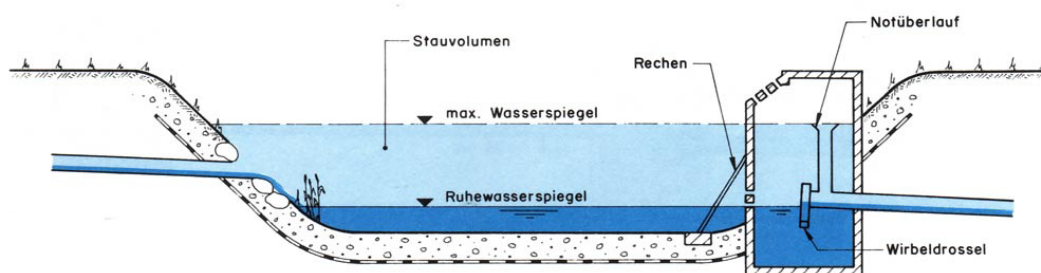


Abb. 4-40 Retentionsbecken (Kanton Solothurn 1997)

Im Speichervolumen des gegenüber dem Untergrund abgedichteten Retentionsbeckens wird kurzfristig Wasser zurückgehalten und verzögert abgeleitet (Abb. 4-40). Durch die belebte Bodenschicht finden eine biologische Reinigung und ein Rückhalt von partikulären sowie gelösten Stoffen statt. Eine zusätzliche Filterung ist beim Filterretentionsbecken gegeben (Abb. 4-41).

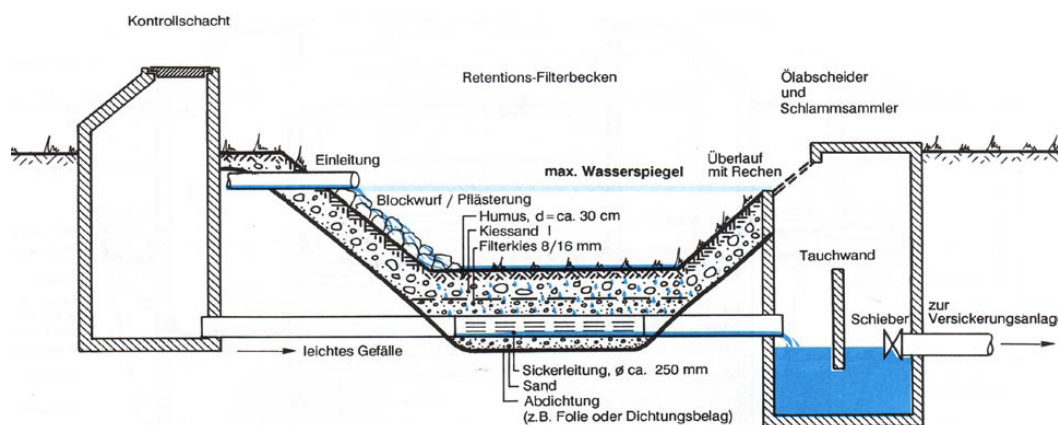


Abb. 4-41 Filterretentionsbecken (Kanton Solothurn 1997)

Verunreinigungen werden herausgefiltert, so dass die Wasserqualität verbessert werden kann. Kontrollschächte ermöglichen zusätzlich Interventionen bei Störfällen. Zudem sind auch diverse Varianten möglich, beispielsweise:

- Nutzung eines Beckens als Teichanlage oder Biotop
- Nachschaltung von Versickerungs- oder Brunnenanlagen und Wasserspielen
- Nachschaltung von Pflanzbeeten oder anderen Reinigungsanlagen

Vor allem in den verdichteten Innenstadtbereichen, die gleichzeitig das höchste Schadenspotenzial gegenüber Extremwettern verzeichnen, stehen kaum Flächen für die Abkopplung oder zur Retention von Niederschlagswasser zur Verfügung. Lösungen dafür sind die Schaffung von Flächen oder Orten, wo Niederschlagswasser zeitweise gespeichert werden kann, um es dann zu nutzen oder es verzögert abzugeben.

Wasserplätze

Wasserplätze bilden ein Netzwerk von öffentlichen Plätzen, die das Niederschlagswasser temporär zurückhalten können, bevor es einem Entwässerungssystem oder Oberflächengewässer zugeführt wird. Diese Flächen können Aufenthalts- oder Erholungsflächen (Sportplätze, Parkanlagen, Parkplätze etc.) sein, sind den Großteil des Jahres trocken und übernehmen nur bei Starkniederschlägen kurzzeitig die Funktion einer Retentionsfläche. Eine Kombination zwischen Retentionsfläche und Erholungsraum ist möglich. Der gängigste Typ des Wasserplatzes sieht eine vertiefte Stelle der Platzfläche vor (Abb. 4-42), in der das anfallende Regenwasser aufgefangen und zeitverzögert an das Grundwasser oder Entwässerungssystem abgegeben wird.



Abb. 4-42 Überfluteter Park (Bildnachweis: @istock.com/GarysFRP)

Wasserrückhalt im Straßenraum

Bei Straßen und Wegen, die keine Hauptverbindungsfunktion erfüllen, können die Fahrbahn oder die Parkstreifen als Notwasserwege und temporäre Wasserspeicher dienen. Dies ist beispielsweise durch Anordnung erhöhter Bordsteine möglich, die die Wassermengen führen, kurzzeitiges Speichervolumen schaffen und ein seitliches Abfließen verhindern. Tiefer liegende Parkplätze und Grünanlagen neben oder am Ende solcher Notwasserwege können bei entsprechender Ausstattung mit Entwässerungseinrichtungen und Hinweisen für die Bevölkerung zusätzlichen Retentionsraum bieten.

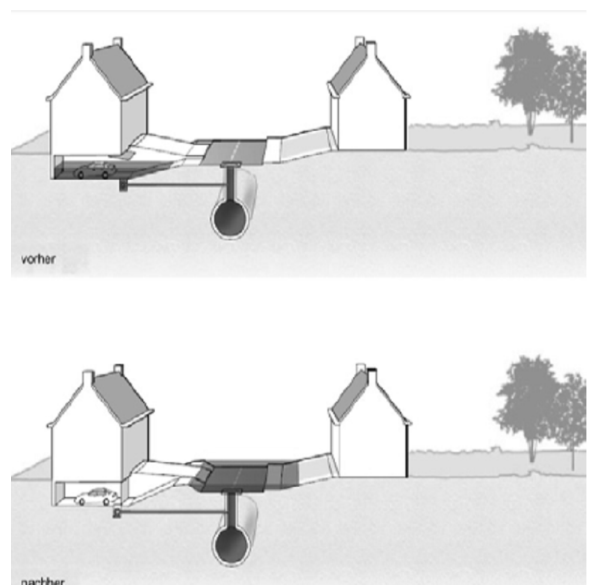


Abb. 4-43 Wasserrückhalt im Straßenraum (Stichting RIONED 2008)

Wasserrückhalt in Gebäuden

Das Gebäude wirkt hier als Wasserspeicher bzw. Wassernutzer. Mögliche Maßnahmen sind die Nutzung von Grün- und Wasserdächern. Gründächer können als Flach- und Schrägdach ausgebildet sein. Dank ihres geringen Gewichts sind Extensivdächer im Unterschied zu intensiv bepflanzten Dachgärten auf fast allen Gebäuden auch nachträglich noch aufsetzbar. Für die Berechnung findet DIN 1055 Anwendung. Neben dem Rückhalt von Niederschlägen sind ökologische Effekte wie Staubbindung und eine Reduzierung der sommerlichen Aufheizung zu verzeichnen. Abflusswasser von begrünten Dachflächen ist durch die vorgelagerte Filterung als unbedenklich eingestuft und kann deshalb problemlos versickert oder zur weiteren Nutzung in Zisternen gespeichert werden (ATV-A 138). Eine Nutzung als Brauchwasser ist möglich, kann aber abhängig vom Dachsubstrat eine Färbung aufweisen.

Während die Wasseraufnahmekapazität von Gründächern bei Starkniederschlägen begrenzt ist, können größere Mengen durch Wasserdächer aufgenommen werden. Neben gestalterischen Vorteilen trägt es durch einen Kühleffekt zu einer Verbesserung des Lokalklimas bei. Aufgrund statischer Probleme ist eine Umrüstung bei Altbauten problematisch, während bei einer Neuplanung dieser Aspekt einkalkulierbar ist.

Neben der Retention auf Dachflächen ist auch ein Rückhalt innerhalb von Gebäuden möglich. Wasserkeller, wie z. B. Tiefgaragen, Keller oder Räume unterhalb von gewerblichen und industriellen Betrieben können bei Extremniederschlägen große Mengen an Wasser aufnehmen. Das gesammelte Wasser kann als Brauchwasser (Kühlwasser, Bewässerung) genutzt werden, durch wasserdurchlässigen Bodenbelag verzögert versickern oder nachträglich einem Entwässerungssystem oder einem Oberflächengewässer zugeführt werden.

Im Kanalsystem werden durch Staukanäle (Abb. 4-44) zusätzliche Speichervolumen geschaffen, an dessen Ende ein gedrosselter Abfluss erfolgt. Dadurch wird die maximale Abflussmenge reduziert. Diese Lösung kann angewendet werden, wo oberflächliche Retentionsmöglichkeiten nicht gegeben sind (z. B. in dicht überbauten Gebieten).

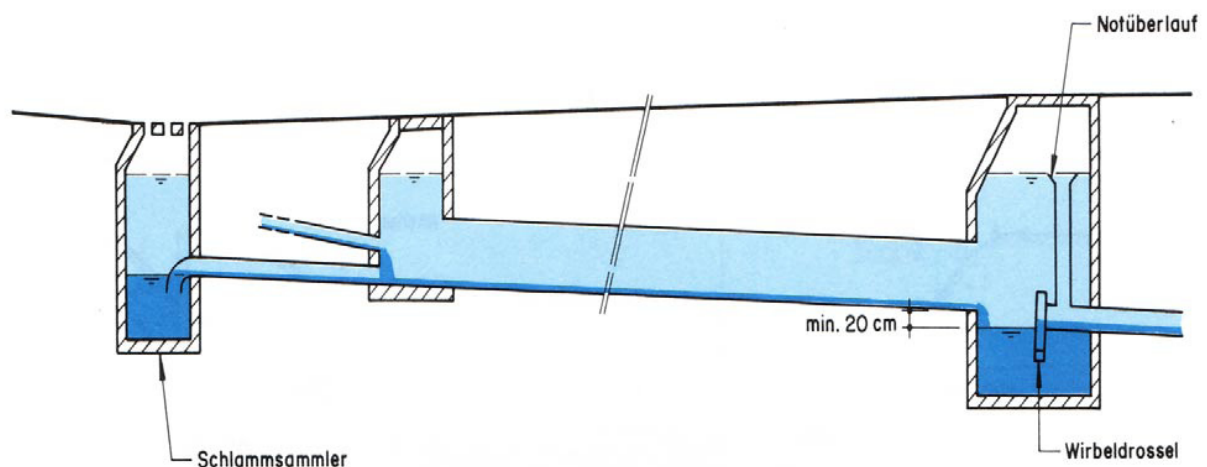


Abb. 4-44 Staukanal (Kanton Solothurn 1997)

E5 Maßnahmen der Informations- und Verhaltensvorsorge

Die Bevölkerung muss in geeigneter Form über Gefährdungen, mögliche Vorsorgemaßnahmen und empfohlenes Verhalten informiert und vor Extremwetterereignissen gewarnt werden. Maßnahmen zur Informations- und Verhaltensvorsorge beinhalten die Information und Beratung von betroffenen Bürgern. Zu den Maßnahmen der Informationsvorsorge gehören beispielsweise die Veröffentlichung von Risiko- und Gefahrenkarten, die Verbreitung von Informationsmaterialien zu persönlichen Vorsorgemaßnahmen oder Informationen zur aktiven Teilnahme bei der Wasserbewirtschaftung (wie z. B. der private Bau von Versickerungsanlagen).

Diese Informationen sind bei vielen Kommunen und Behörden als Broschüren, Handzettel und Plakate vorhanden, sind aber vielen Bürgern nicht ausreichend bekannt. Diese Informationsangebote müssen insbesondere Bürger in potenziellen Risikogebieten aktiv zur Kenntnis gebracht und einfach zugänglich gemacht werden. Es ist daher zu empfehlen, dass auf die Bürger aktiv zugegangen wird, in dem man beispielsweise auf Bürgerversammlungen, in Ausstellungen oder durch Postwurfsendungen informiert. Hilfreich sind auch Lehrpfade, die Informationen zur Eigenvorsorge geben, Informationstafeln und Hochwassermarken an ausgewählten Stellen. Lehrpfade können in Stadtführungen oder bei Schulausflügen eingebracht werden, um junge Menschen wie auch Personen, die bisher nichts mit Hochwasserereignissen zu tun hatten, auf die Gefahren hinzuweisen.

Hochwassermarken (Abb. 4-45) sollen an vergangene Hochwasserereignisse erinnern und die damals erreichte Höhe anzeigen. Sie sind eine Möglichkeit, die Wahrnehmung für die bestehende Hochwassergefahr in den überfluteten Gebieten zu stärken (DKKV 2003).



Abb. 4-45 Hochwassermarke Balingen (Stadt Balingen 2010)

Verhaltensvorsorge ist die Basis für schadensmindernde Maßnahmen, bevor das nächste Ereignis beginnt (IKSR 2002). Gefährdete Menschen müssen frühzeitig informiert und ausgebildet werden, damit im Notfall jeder Betroffene situationsbedingt korrekt handeln kann. Maßnahmen zur Verhaltensvorsorge umfassen alle Vorbereitungen für den Not- und Katastrophenfall, um eine Krise zu bewältigen. Dazu gehören u. a.:

- Veröffentlichungen von Informationsmaterialien zum Verhalten in Not- und Katastrophenfällen
- Beratung durch kommunale Stellen
- Bereitstellung von Infrastruktur und Material für den Ereignisfall

Für öffentliche und soziale Einrichtungen (z. B. Schulen, Krankenhäuser), die von Hochwasserereignissen betroffen sein können, sollten regelmäßig Katastrophenschutzübungen durchgeführt werden, um die korrekten Abläufe zu verinnerlichen. Hilfreich für die Bevölkerung ist auch die Erstellung einer Checkliste zur Vorsorge und für den Notfall mit (NADINE 2008):

- Besprechung von Hochwassergefahren und Abwehrmaßnahmen in der Familie
- Organisation einer Nachbarschaftshilfe
- Klärung der Zuständigkeiten innerhalb der Familie
- Anlegen eines Wasservorrats
- Räumen mobiler Gegenstände in obere Etagen
- Abdrehen von Haupthähnen und Umlegen von Schaltern für Gas, Wasser, Strom, u. a.

Diese Listen können beispielsweise durch das Verteilen von Handzetteln verbreitet oder auf Informationsseiten im Internet bekannt gemacht werden.

E6 Verhinderung von Engstellen und Abflusshindernissen

Engstellen und Abflusshindernisse bei Oberflächengewässern und in der Kanalisation können zur Folge haben, dass die Anlagen bei Starkniederschlägen überlastet werden und das anfallende Wasser nicht ableiten können. Bei hohem und schnellem Oberflächenabfluss wird oft Treibgut mitgerissen, das beispielsweise an tiefliegenden Brücken oder Leitungen hängen bleibt und so den Durch- bzw. Abfluss verhindert oder erschwert. Bei der Dimensionierung von Brücken und beim Verlegen von Leitungen ist daher darauf zu achten, dass eine ausreichende Höhe erreicht wird.

Bei verrohrten Gewässern kann es durch Verstopfungen durch Treibgut bzw. durch Ablagerungen von Sand und Geröll ebenfalls zu Querschnittsverengungen und damit zu einem verringerten Durchfluss kommen. Besonders betroffen davon sind Gewässer, die keine oder defekte Rechen oder eine senkrecht verlaufende Vergitterung haben. Es ist daher der Bestand und Zustand von Schutzeinrichtungen bei verrohrten Gewässern regelmäßig zu prüfen und bei Bedarf eine schräge Anordnung der Gitter an den Einläufen einzurichten.

E7 Sicherstellung des ordnungsgemäßen Betriebs der Sonderbauwerke

Sonderbauwerke wie Pump- oder Hebewerke müssen ihre Aufgaben auch in kritischen Situationen erfüllen können. Daher sollten hier Maßnahmen getroffen werden, die die Energieversorgung sowie die Funktionsfähigkeit der technischen Anlagen zu sichern. Gemäß § 113 LWG sind Abwasseranlagen in Überschwemmungsgebieten per Gesetz hochwassersicher zu errichten und zu betreiben.

Hebe- und Pumpwerke sind immer an Geländetiefpunkten angelegt und müssen daher durch Maßnahmen der Bauvorsorge (hoch gelegene Eingänge, ausreichende Abdichtungen u. Ä.) geschützt sein, um den Eintritt von oberflächlich anfallendem Wasser zu verhindern oder zu verringern. Um die Sicherheit der technischen Anlagen eines Pumpwerks zu erhöhen, sollten ein Hochwasserwarnsystem sowie Materialien zum mobilen Hochwasserschutz vorhanden sein, z. B. Sandsäcke oder Dammbalken für den Eingangsbereich.

Die Funktionsweise eines Pumpwerks hängt direkt von der Verfügbarkeit elektrischer Energie ab. Daher ist es empfehlenswert, dass alle wichtigen Hebe- und Pumpwerke über zweiseitige, unabhängige Stromeinspeisung verfügen, um im Notfall nicht von einer Energiequelle abhängig zu sein. Bei der Auswahl der Standorte von Objekten mit sensibler Nutzung wie z. B. Anlagen der Energieversorgung und Energieverteilung ist außerdem darauf zu achten, dass diese möglichst nicht unter Auswirkungen von Extremereignissen leiden (z. B. Ausfall der Stromversorgung durch Überflutungen aufgrund von Hochwasserereignissen). Standorte in tiefer gelegenen Gebieten bzw. Kessellagen ohne Abfluss sind daher zu vermeiden oder es sind umfassende Maßnahmen der Bauvorsorge zu treffen.

E8 Maßnahmen des Objektschutzes

Befindet sich eine Siedlung in einem durch Sturzfluten oder Überflutungen gefährdeten Bereich, so liegt in der Bauvorsorge die Möglichkeit, das Schadenspotenzial kurzfristig und nachhaltig zu verringern. Abbildung 4-46 gibt einen Überblick über die Möglichkeiten der Bauvorsorge für ein einzelnes Haus.

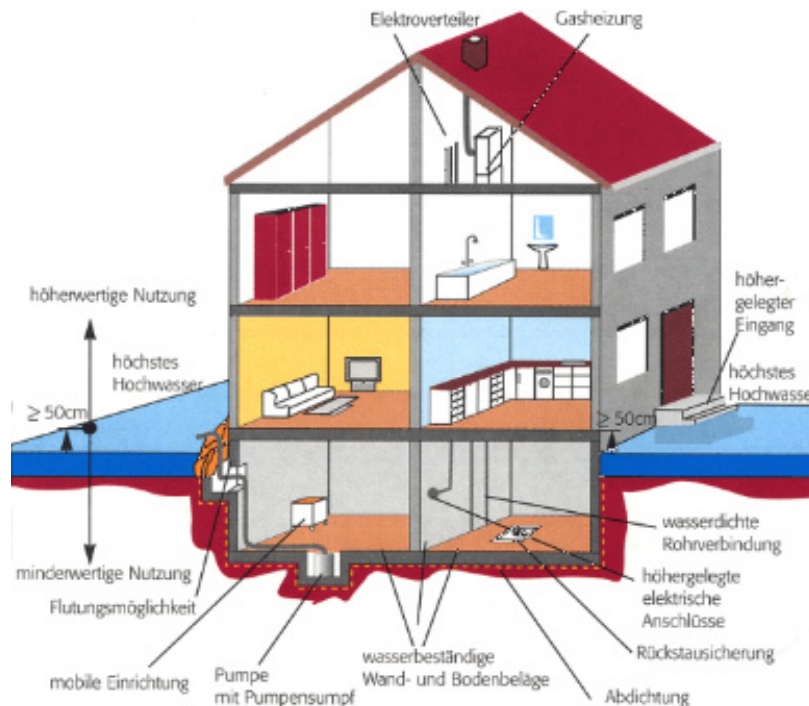


Abb. 4-46 Strategie der Bauvorsorge (BMVBW 2003)

Neben dem Schutz gegen Wassereintritt durch oberflächliche Wassermengen (Bauwerkabdichtungen, dichte Kellerfenster und -türen, höher gelegene Eingänge u. a.) ist ein ausreichender Schutz gegen Wassereintritt durch die Kanalisation notwendig. Bei fehlenden oder nicht ausreichenden Rückstausicherungen oder Hebeanlagen kann sich Wasser aus der Kanalisation durch Sanitäranlagen und Hausanschlüsse zurückstauen und Kellerräume überschwemmen. Deshalb fordern kommunale Entwässerungssatzungen fast überall Rückstauklappen und andere geeignete Schutzmaßnahmen.

Ist ein Wassereintritt nicht zu verhindern, so kann eine hochwasserangepasste Gebäudenutzung das Schadenspotenzial reduzieren. Kostenintensive Kellerausbauten, tief gelegene elektrische Anschlüsse und andere sensible Versorgungseinrichtungen im Keller (z. B. Datenleitungen, EDV-Anlagen) sind in überflutungsgefährdeten Gebieten zu vermeiden. Zum Schutz der Bausubstanz und zur Minimierung der Aufräum- und Wiederherstellungskosten sollten Kellerräume mit wasserbeständigen Baumaterialien (Naturstein, Kunststoff, beschichtete Metalle u. Ä.) und mobiler Inneneinrichtung ausgestattet werden.

Bauvorsorge funktioniert nur, wenn die Bevölkerung ausreichend über die Möglichkeiten informiert ist (siehe E5). Viele Kommunen haben deshalb bereits seit Jahren Leitfäden zum privaten Objektschutz (insbesondere zum Einbau und Unterhalt von Rückstauklappen) in ihren Einrichtungen ausgelegt bzw. auf ihren Websites veröffentlicht.

E9 Unterführungen mit beidseitigen Entwässerungs-/ Versickerungsgräben

Wasser sammelt sich nach Stark- und Extremniederschlägen häufig in tiefer liegenden Punkten des Stadtgebiets, wie z. B. Unterführungen oder Tunneln, weil die dortige Entwässerung die eindringenden Wassermassen nicht bewältigen kann (Abb. 4-47). Eine Gefährdung geht von solchen überfluteten Engstellen aus, wenn diese aufgrund der Wassermassen oder liegen gebliebener Fahrzeuge zeitweise nicht mehr für Einsatz- oder Rettungskräfte zu passieren sind.



Abb. 4-47 Überflutete Unterführung ohne ausreichenden Abfluss (Aktivnews 2009)

Überflutungsgefahr besteht vor allem dort, wo ein tief liegender Bereich ausschließlich über die städtische Kanalisation entwässert wird. Bei Stark- und Extremniederschlägen und örtlich überlaufendem Kanalsystem erfolgt die Ableitung nur verzögert oder gar nicht, so dass eine Unterführung oder ein Tunnel ohne leistungsfähige oberflächige Entwässerung schnell überflutet werden kann. Hilfreich können hier offene Retentions- oder Entwässerungsgräben sein, die ein- oder beidseitig von der Fahrbahnfläche angelegt und nicht an die Kanalisation angeschlossen sind. Eine weitere Möglichkeit sind ausreichend groß dimensionierte unterirdische Zwischenspeicher.

Von entscheidender Bedeutung ist es, im Umkreis von Unterführungen oder Tunneln bei einer voll integrierten Stadt- und Entwässerungsplanung durch bauliche Maßnahmen dafür zu sorgen, dass oberflächlich ablaufendes Niederschlagswasser möglichst nicht in Unterführungen oder Tunnel laufen kann.

E10 Organisierte Schutzmaßnahmen beim Eintreten eines Extremereignisses

Die Vorsorge und die Bewältigung eines Extremereignisses, etwa eines Hochwassers oder einer Überflutung, können nicht losgelöst voneinander betrachtet, sondern müssen als übergreifende Elemente eines Kreislaufprozesses verstanden werden (Abb. 4-48). Nach einer Bewältigung eines Extremereignisses beginnt der Übergang in die Vorsorge für die nächste extreme Situation.



Abb. 4-48 Kreislauf des Hochwassermanagements (DKKV 2003)

Die Schutzmaßnahmen im Falle eines solchen Extremereignisses lassen sich unterteilen in Maßnahmen zur (DKKV, 2003):

- **Vorbeugung:** Verminderung des Risikos durch den Einsatz technischer und nichttechnischer Maßnahmen (z. B. Maßnahmen zur Schadensreduzierung durch angemessene Raumnutzung)
- **Vorbereitung auf den Einsatzfall:** Handlungen, die im Vorfeld eines Extremereignisses ergriffen werden können, um dieses besser zu bewältigen. Dazu gehören z. B. die Entwicklungen von Warnsystemen, eine effektive Ausbildung von Rettungskräften und die Einrichtung einer offiziellen Stelle für Hochwasservorhersagen.
- **Bewältigung des Extremereignisses:** Ist ein Extremereignis eingetreten, so beginnen die Bewältigung der Katastrophe, bzw. der Schäden durch die Katastrophenabwehr (z. B. Rettungsmaßnahmen, Evakuierung) und der Wiederaufbau (z. B. Instandsetzung der Infrastruktur, Wiederaufbau von Siedlungen).

Beim nachhaltigen Katastrophenschutz sind eine geregelte Zusammenarbeit sowie eine funktionierende Kommunikation aller beteiligten Rettungseinheiten und Verantwortlichen von Nöten. Neben dem Einsatz erfahrener und ausgebildeter Einsatzkräfte, die durch Feuerwehren und anerkannte Hilfsorganisationen gegeben ist, ist eine effektive Leitung und Kommunikation entscheidend. Dazu gehört u. a. die Einführung eines Krisenstabs. Er soll die Organisation von Rettungsmaßnahmen während des Extremereignisses und in der ersten Zeit danach organisieren und die aus anderen Gebieten eintreffende Hilfskräfte optimal in die Aufgaben einweisen. Im Katastrophenfall muss der Krisenstab rechtzeitig einberufen werden.

Zur Vorbereitung eines effektiven Katastrophenschutzes ist die Erstellung eines Alarm- und Einsatzplans erforderlich mit Gefahrenkarten, einer klaren Liste der Zuständigkeiten und Aufgabenverteilungen, Gefährdungsszenarien sowie einer Auflistung von Hochwasserschutzmaßnahmen. Die Frage der Zuständigkeiten muss zweifelsfrei geklärt und die Kommunikation der zuständigen Stellen beispielsweise durch eine Auflistung der aktuellen Kontaktdaten der Verantwortlichen gewährleistet sein.

Damit bei einem gut funktionierenden Katastrophenschutz ein reibungsloser Einsatz der Feuerwehren und Hilfskräfte funktioniert, sind u. a. eine regelmäßige Überprüfung der Geräte und Materialien für den mobilen Hochwasserschutz (Hochwasserpumpen, Sandsäcke u. Ä.) sowie Durchführungen von Stabsübungen unerlässlich. Stabsübungen schärfen nicht nur die Fähigkeiten der Rettungseinheiten, sondern erhöhen bei gleichzeitiger Publikation durch die Medien auch das Hochwasserbewusstsein und die Verhaltensvorsorge der Bevölkerung.



Abb. 4-49 Einsatz: Mobiler Hochwasserschutz durch das THW mit Sandsäcken (Bundesanstalt Technisches Hilfswerk 2006)

Damit die Bevölkerung im Extremfall rechtzeitig gewarnt werden kann, sollte eine offizielle Stelle für Hochwasservorhersagen eingerichtet sein. Die rechtzeitige Warnung ermöglicht der Bevölkerung, getroffene Vorsorgemaßnahmen zu überprüfen und zu ergänzen, gefährdete Räume auszuräumen und Rückstauklappen zu überprüfen. Die Arbeit der Hilfskräfte kann so erleichtert werden.

4.1.4 Handlungskatalog zu Trockenperioden

Tab. 4-5 Tabellarische Übersicht der Zuordnung geeigneter Anpassungslösungen für das Problemfeld „Trockenperioden“

I	Rahmenbedingungen des Systems		Lösungen
	Getrennte Planung (Wasserwirtschaftliche, Stadt- und Raumplanung)		H1 Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche
II	Belastungen	Sensitivitäten	Lösungen
	Geringe bzw. keine Niederschläge	Geringe Sensibilisierung für zukünftige Niederschlagsveränderungen	T1 Forschung, Wissenstransfer
III	Fehlfunktionen des Systems		Lösungen
	Erhöhter Nutzwasserverbrauch (zur Bewässerung im öffentlichen Raum und auf Privatgrundstücken)	E4, H26, H27	siehe Übersichten „Hitzebelastung“ und „Extremniederschläge“
		E3, E4	siehe Übersicht „Extremniederschläge“
	Keine Grundwasserneubildung	T2	Künstliche Anreicherung durch Versickerung überschüssigen Grundwassers aus den Poldergebieten
		T3	Bestand: häufigeres Spülen des gesamten Netzes durch den zuständigen Netzbetreiber
	Reduzierter Mischwasserabfluss im Kanalnetz (keine natürliche Spülung durch Zulauf von Niederschlagswasser; höherer Anteil fester Inhaltsstoffe; Effektivität der Schwemmkanalisation ist gefährdet)	T4	Erarbeitung eines Konzeptes, mit dem Netzbereiche mit besonders reduziertem MW-Abfluss identifiziert werden können
		T5	Neubau: Wahl hydraulisch effizienterer Rohrprofile oder Wechsel zur dezentralen Druckentwässerung in einzelnen Netzabschnitten
IV	Schadenspotenziale		Minderungen
	Geringere Rohwasserverfügbarkeit für die Trink- und Brauchwassergewinnung	E4	siehe Übersicht „Extremniederschläge“
		T6	Beseitigung von Ablagerungen
	Minderung der hydraulischen Leistungsfähigkeit durch Ablagerungen im Kanalnetz	T6	Beseitigung von Ablagerungen

T1 Forschung, Wissenstransfer

Gerade in Bezug auf zukünftig möglicherweise längere Trockenperioden sind Verwaltungen, die betroffene Bevölkerung und die Versorgungsunternehmen häufig noch nicht ausreichend auf die zu erwartende Verschiebung der Niederschlagsmengen von den Sommer- in die Wintermonate vorbereitet. Auch die technischen Regelwerke sind vielfach noch nicht an die projizierten klimatischen Bedingungen angepasst.

Es ist daher notwendig, die Forschungsaktivitäten zu den Folgen des Klimawandels und zu den Möglichkeiten einer Anpassung an diese Folgen fortzusetzen. Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Forschungsarbeiten sollten einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Die

Voraussetzungen hierfür sind ein erheblich ausgebautes und verbessertes Wissensmanagement und ein breiter Wissenstransfer zwischen unterschiedlichen Fachgebieten und Akteursgruppen. Ein solcher Wissenstransfer kann beispielsweise über themenspezifische Internetportale erfolgen. Das Umweltministerium Nordrhein-Westfalen fördert derzeit mehr als 40 verschiedene Forschungsvorhaben im Themenfeld „Anpassung an den Klimawandel“. Die Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben werden sukzessive ins Internet (www.klimawandel.nrw.de) eingestellt und dort einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Auch das am Umweltbundesamt eingerichtete *Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung* bietet auf seiner Internetplattform www.anpassungs.net eine Vielzahl an Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel und eine Übersicht über Anpassungsprojekte in unterschiedlichen Handlungsfeldern.

T2-T6 Maßnahmen auf Seiten der kommunalen Wasserversorger/Kanalnetzbetreiber

Die Maßnahmen T2 bis T6 stellen Handlungsstrategien für kommunale Wasserversorger und Kanalnetzbetreiber als Reaktion auf die zu erwartende Zunahme längerer Trockenperioden dar. Im Falle längerer Trockenzeiten sollten die Betreiber von Kanalnetzen ihre Betriebsstrategien u. a. zu Wartung, Inspektion und Reinigung der Kanalnetze prüfen und unter Umständen anpassen. So ist beispielsweise bei längeren Trockenphasen eine natürliche Spülung der Kanalnetze durch Niederschlagswasser nicht mehr gewährleistet. Als Folge können Ablagerungen fester Inhaltsstoffe im Kanalnetz dazu führen, dass die Schwemmkanalisation nicht mehr effektiv funktioniert. Hier kann mit technischen Maßnahmen reagiert werden, etwa indem das gesamte Netz häufiger gespült wird.

Um einem reduzierten Mischwasserabfluss im Kanalnetz zu begegnen, sollten Netzbereiche mit höherem Risiko für reduzierten Mischwasserabfluss identifiziert werden. Mögliche Gefährungskriterien sind dabei das Gefälle, die Zahl der angeschlossenen Einwohner und Flächen sowie der Fremdwasseranfall. Im Falle eines Netzneubaus können als Anpassungsmaßnahmen hydraulisch effizientere Rohrprofile gewählt oder in einzelnen Netzabschnitten auf eine dezentrale Druckentwässerung gewechselt werden.

Sind bereits Ablagerungen im Netz aufgetreten, die zu Geruchs- oder Ungezieferbelästigungen führen oder die hydraulische Leistungsfähigkeit mindern, können diese durch Hochdruckspülungen und u. U. durch den Einsatz von Chemikalien oder Maschinen (Fräsen u. Ä.) beseitigt werden. Bei erheblichem Befall oder bei Beschädigungen ist eine Ungezieferbekämpfung durch Fachleute bis hin zu einer Sanierung einzelner Kanalabschnitte erforderlich.



Abb. 4-50 Wasserwerk (Bildnachweis: @istock.com/tiamtic)

4.2 Empfehlungen für die Stadtplanung

Die in Kapitel 4.1 erarbeiteten Klimaanpassungsoptionen für Kommunen enthalten eine Reihe von Maßnahmen, die unmittelbare Relevanz für die Stadtentwicklung und die städtebauliche Planung haben. In der aktuellen kommunalen Planungspraxis stehen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel noch nicht im Vordergrund, sondern vielmehr Maßnahmen zum Klimaschutz, zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung. Ursachen hierfür können u. a. sowohl in der negativen Konnotation von Starkregenereignissen, Hitze- und Trockenperioden als auch im oftmals noch mangelnden Bewusstsein innerhalb der Öffentlichkeit und der Verwaltung gesehen werden. Auch im für die Stadtentwicklung und -planung rechtlich maßgeblichen Städtebaurecht ist die Bedeutung der Klimawandelanpassung nicht deutlich erkennbar, während die Verantwortung für den Klimaschutz im Rahmen der Bauleitplanung bereits in § 1 Abs. 5 Satz 2 BauGB enthalten ist: „Bauleitpläne sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln, auch in Verantwortung für den allgemeinen Klimaschutz, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln“.

Dem Klimawandel und notwendigen Anpassungsmaßnahmen kann eine große Bedeutung für die Stadtentwicklung und -planung beigemessen werden. Zwar weist nicht jede Folge des Klimawandels eine Relevanz für die räumliche Planung auf, doch ist sie dann gegeben, wenn die Folgen raumbedeutsam im Sinne des § 1 Abs. 1 bzw. § 7 Abs. 3 Raumordnungsgesetz (ROG) sind bzw. im konkreten Bezug zur Bodennutzung stehen (vgl. hierzu Art. 74 Abs. 1 Nr. 18 GG i. V. m. § 1 Abs. 1 BauGB). Ist dieser Bezug gegeben, fallen die Folgen des Klimawandels auch unter die Behandlung in der Bauleitplanung, da sie mit ihren räumlichen Auswirkungen die bauliche und sonstige Nutzbarkeit von Flächen einschränken bzw. da auf Flächen besondere (bauliche) Vorkehrungen oder Sicherungsmaßnahmen gegen äußere Einwirkungen, wie Naturgefahren oder schädliche Umwelteinwirkungen, getroffen werden müssen oder diese Flächen als Schutzflächen gegen die genannten Einwirkungen von einer Bebauung freizuhalten sind (vgl. § 5 Abs. 3 Nr. 1 BauGB und § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB) (BMVBS/BBSR 2009).

Sowohl für Maßnahmen des Klimaschutzes als auch für solche zur Anpassung an den Klimawandel gilt grundsätzlich, dass diese nur dann im Rahmen der Bauleitplanung zu behandeln sind, wenn ihr Zweck dem mit der Bauleitplanung verbundenen unmittelbaren Aufgabenbereich der Städte und Gemeinden, der städtebaulichen Entwicklung, dient (Mitschang 2009). Auch die ARGEBAU hat dies deutlich formuliert: „Festsetzungen in Bebauungsplänen können nur aus städtebaulichen Gründen getroffen werden. Die Bauleitplanung ist nach § 1 Abs. 1 und 3 BauGB ein Instrument zur städtebaulichen Entwicklung, das die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke vorzubereiten und zu leiten hat, es geht also um Bodenrecht (vgl. auch Art. 74 Abs. 1 Nr. 18 GG). § 1 Abs. 1 BauGB steht in einem inneren Zusammenhang mit Art. 28 Abs. 2 GG, der den Gemeinden als Teil der Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft das Recht gewährleistet, in eigener Verantwortung im Rahmen des Gesetzes für ihr Gemeindegebiet die Bodennutzung zu regeln“ (ARGEBAU 2008a). Die in diesem Handbuch entwickelten und vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel stehen daher nicht im direkten Fokus der Bauleitplanung und rechtfertigen allein noch keine städtebauliche Planung, können aber im Rahmen einer ohnehin geplanten städtebaulichen Entwicklung, z. B. im Zuge der Änderung des Flächennutzungsplans oder der Ausweisung neuer Baugebiete, durch entsprechende

Darstellungen in Flächennutzungsplänen oder Festsetzungen in Bebauungsplänen berücksichtigt werden (ARGEBAU 2008a).

Aus den in Kapitel 3 definierten Problemfeldern lassen sich folgende Ziele und Aufgaben einer klimagerechten Stadtentwicklung und -planung ableiten:

- Aufenthaltsqualität insbesondere in hoch verdichteten städtischen Räumen im Hinblick auf thermische Behaglichkeiten verbessern; Wärmeinseln abbauen,
- städtische Durchlüftung (Luftaustausch, Luftleitbahnen) optimieren; Frischluftzufuhr fördern; Frischluft- oder Kaltluftentstehungsgebiete erhalten und schaffen,
- inversionsbedingte Luftstagnation und Barrieren für den Luftaustausch vermeiden,
- Freisetzung von Luftschadstoffen und Treibhausgasen reduzieren,
- existierende oder zu erwartende klimabedingte Belastungen für das gesamte Stadtgebiet identifizieren und sachgerecht bewerten,
- auf Belastungssituationen durch die Anpassung von Plänen und Konzepten sachgerecht reagieren (zu den vorangehenden Punkten vgl. Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008, VDI RL 3785, Blatt 1 2008),
- Gefahrenpotenziale durch Hochwasser, das durch Extremniederschläge hervorgerufen werden kann, bei der Planung insbesondere in Gebieten nahe Gewässern berücksichtigen.

Dass das planerische Handeln der Städte und Gemeinden – wie eingangs dargestellt – neben allen Einschränkungen eine hohe Relevanz für die Anpassung an den Klimawandel hat, wird nicht zuletzt durch die vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossene „Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ und den Beschluss der Bauministerkonferenz vom 14. März 2008 unterstrichen. Beide Beschlüsse fordern die Kommunen dazu auf, im Rahmen der Bauleitplanung einen aktiven Beitrag zur Ergreifung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu leisten. In der „Deutschen Anpassungsstrategie“ heißt es im Bezug auf die Raumplanung: „Raumpläne haben das Ziel, unterschiedliche Ansprüche an den Raum zu vereinbaren und sind damit meist eine Entscheidung für Generationen. Ab jetzt muss die Raumplanung bei der Gestaltung dieser räumlichen Vorsorgekonzepte nicht nur die aktuellen Ansprüche abwägen, sondern auch Klimaschutz und -anpassung mitdenken und einbeziehen. Das ist mit den heutigen rechtlichen und planerischen Instrumenten möglich, verschärft aber den Konkurrenzkampf – denn auch Klimaschutz und -anpassungsmaßnahmen benötigen Platz“ (BMU 2009). Im Beschluss der Bauministerkonferenz zu „Klimaschutz und Klimaanpassung in den Bereichen Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung“ erkennt diese den Klimawandel „als eine zentrale Herausforderung unserer Zeit an“ und fordert „vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, des Klimaschutzes und der Klimafolgenanpassung“, dass die „vorhandenen Instrumente der Städtebauförderung, der Wohnraumförderung und der Bauleitplanung [...] weiter entwickelt und stärker miteinander verzahnt werden“ (ARGEBAU 2008b).

Das Land NRW hat Ende 2008 bereits mit einer Ergänzung seiner Förderrichtlinien reagiert. „Kommunen, die integrierte Konzepte zur baulichen Aufwertung vorlegen, sollen dabei ab sofort auch die Ergebnisse einer stadtklimatischen Betrachtung berücksichtigen“ (MBV 2009). Ebenso greift die „Anpassungsstrategie an den Klimawandel für Nordrhein-Westfalen“ des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz die Bedeutung für die Stadtplanung auf: „In den dicht bebauten Ballungszentren Nordrhein-Westfalens werden einige Folgen des Klimawandels besonders deutlich zu spüren sein. Stadtplanerisch relevant sind die

zu erwartenden häufigeren und längeren Hitzeperioden und Niederschlagsänderungen in Form von zunehmenden Starkregenereignissen, häufigeren Flusshochwässern und einem Anstieg der mittleren Grundwasserstände in einigen Regionen“ (MUNLV NRW 2009).

Die Anpassungsstrategien auf Bundes- und Landesebene leisten einen wesentlichen Beitrag zur Aufklärung über die Folgen des Klimawandels und zur Entwicklung von geeigneten Handlungsoptionen und Maßnahmen. Zur erfolgreichen Durch- und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen in den Kommunen müssen jedoch eine Vielzahl von Konkurrenzen und Interessenkonflikten sowie unterschiedliche Rahmenbedingungen vor Ort berücksichtigt werden. Maßnahmen zum Erreichen eines möglichst optimalen Stadtklimas und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel können im baulichen Bestand der Innenstädte und in den bestehenden Siedlungsräumen nur deutlich eingeschränkt realisiert werden und erfordern verstärkt Anreizsysteme. Lediglich im Rahmen der Erschließung großer Neubaugebiete können Kommunen ihre Steuerungs- und Einflussmöglichkeiten ausschöpfen. Grundsätzlich gilt zudem die Einschränkung, dass die Städte und Gemeinden bei der Aufstellung und Änderung von Bauleitplänen öffentliche und private Belange gerecht gegeneinander sowie untereinander abwägen müssen und somit Umweltbelange keinen rechtlichen Vorrang haben. Dies kann in der Folge bedeuten, dass klimatischen Belangen im Rahmen der einzelfallbezogenen Abwägungsentscheidungen nicht immer vollständig Rechnung getragen werden kann (Mitschang 2009).

Zusätzlich zu den Konkurrenzen zwischen den Abwägungsbelangen führen weitere Konkurrenzen, Konflikte und Restriktionen oftmals dazu, dass Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel nicht zum tragen kommen. Ein wesentlicher Interessenskonflikt zeigt sich schnell bei der Betrachtung der allgemeinen städtebaulichen Strategien, die auch im BauGB Berücksichtigung finden:

- „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“ (vgl. § 1a Abs. 2 und § 13a BauGB),
- „Durchgrünung von Siedlungen“ (vgl. z. B. § 9 Abs. 1 Nr. 15 und 25 BauGB),
- eine auf Vermeidung und Verminderung von Verkehr ausgerichtete städtebauliche Entwicklung im Sinne der „kompakten Stadt“ bzw. „Stadt der kurzen Wege“ (vgl. § 1 Abs. 6 Nr. 9 BauGB).

Die beiden Strategien mit Leitbildcharakter „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“ und „Kompakte Stadt / Stadt der kurzen Wege“ sind für einen erfolgreichen Klimaschutz als wesentliche planerische Aufgabenfelder zu betrachten. Die Klimafolgenanpassung zielt jedoch auf die Freihaltung von Flächen gerade in den hoch verdichteten Innenstadtbereichen und wäre damit eher mit dem Leitbild der „aufgelockerten Stadt“ in Verbindung zu bringen. Um sich diesem Interessenkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimawandel zu nähern, wäre die Anpassung und Weiterentwicklung der Leitbilder im Sinne einer „verträglichen Dichte“ zielführend (siehe auch Kap. 4.3).

Wie sich bereits gezeigt hat, ist die Klimawandelanpassung keine originäre Aufgabe von Stadtplanung und -entwicklung. Vielmehr bedarf es eines interdisziplinären und integrativen Prozesses, um dieser Querschnittsaufgabe gerecht zu werden. Da beim Klimawandel eine Vielzahl unterschiedlicher Umweltbelange berührt sind, sind es in den nordrhein-westfälischen Kommunen vor allem die Umweltressorts² und die in der Regel dort angesiedelten Sonderordnungsbehörden im Bereich Umwelt – insbesondere die unteren Wasser-, die unteren Bodenschutz-, die

² Hier sowie im Folgenden wird anstelle des Begriffs „Amt“ der Begriff „Ressort“ verwendet, da im Zuge der Verwaltungsmodernisierung der Begriff des „Amtes“ in vielen Kommunen nicht mehr aktuell ist.

unteren Landschafts-, die unteren Naturschutz- sowie die unteren Immissionsschutzbehörden – die mit dem Thema Klimawandelanpassung befasst sind. Durch die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen von Hitze- oder Trockenperioden und Überschwemmungen, wie das Auftreten neuer Krankheitserreger oder Allergien, sind zudem die Gesundheitsressorts bei Klimaanpassungsmaßnahmen tangiert. Die bedeutendste Einflussmöglichkeit der genannten Behörden auf die städtebauliche Planung besteht als Träger öffentlicher Belange (TÖB) im Rahmen der Behördenbeteiligung, die von den Stadtplanungsressorts bei der Aufstellung und Änderung von Bauleitplänen durchzuführen ist. Vor allem geeignet sind aber informelle ämterübergreifende Abstimmungsrunden, die bereits frühzeitig zu einer besseren Verständigung im Sinne einer klimawandelgerechten Stadtplanung führen können.

Aus den dargestellten Möglichkeiten und Einschränkungen bei der Anpassung an den Klimawandel können für die Stadtentwicklung und -planung drei grundsätzliche Empfehlungen entwickelt werden, die in den nachfolgenden Unterkapiteln konkretisiert und mit weiteren Handlungsempfehlungen ergänzt werden sollen:

- formelle und informelle Planungsinstrumente ausschöpfen,
- Zusammenarbeitsstrukturen stärken,
- Hemmnisse identifizieren und Synergieeffekte nutzen.

In die folgenden Darstellungen und Empfehlungen sind die Ergebnisse der im Rahmen der Arbeit am vorliegenden Handbuch durchgeführten Werkstätten in den Modellkommunen Bottrop und Dortmund, sowie der ergänzend durchgeführten Telefoninterviews in den Städten Duisburg, Essen, Gladbeck, Hagen und Mülheim an der Ruhr eingeflossen (vgl. Kapitel 5).

4.2.1 Formelle und informelle Planungsinstrumente

Im Raumordnungsgesetz (ROG), das als Bundesrahmenrecht die Landesplanungsgesetze harmonisiert, ist mit der Verankerung der Leitvorstellung einer „nachhaltigen Raumentwicklung, die die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt und zu einer dauerhaften, großräumig ausgewogenen Ordnung führt“ (§ 1 Abs. 2 ROG) der Bezug zum Schutzgut Klima bereits hergestellt. Nachfolgende Abbildung 4-51 gibt eine Übersicht der planerischen Steuerungsinstrumente nach Planungsebenen. Auf jeder dieser Ebenen kann den Auswirkungen des Klimawandels planerisch entgegengewirkt und es können Belange des Klimas sinnvoll in Raum- und Stadtplanung eingebracht werden. Gemäß § 4 Abs. 1 ROG müssen die „raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen“ der unteren Planungsebenen die Ziele der Raumordnung beachten; das in § 1 Abs. 3 ROG definierte „Gegenstromprinzip“ ermöglicht aber auch eine umgekehrte Kommunikation der Planungsebenen.

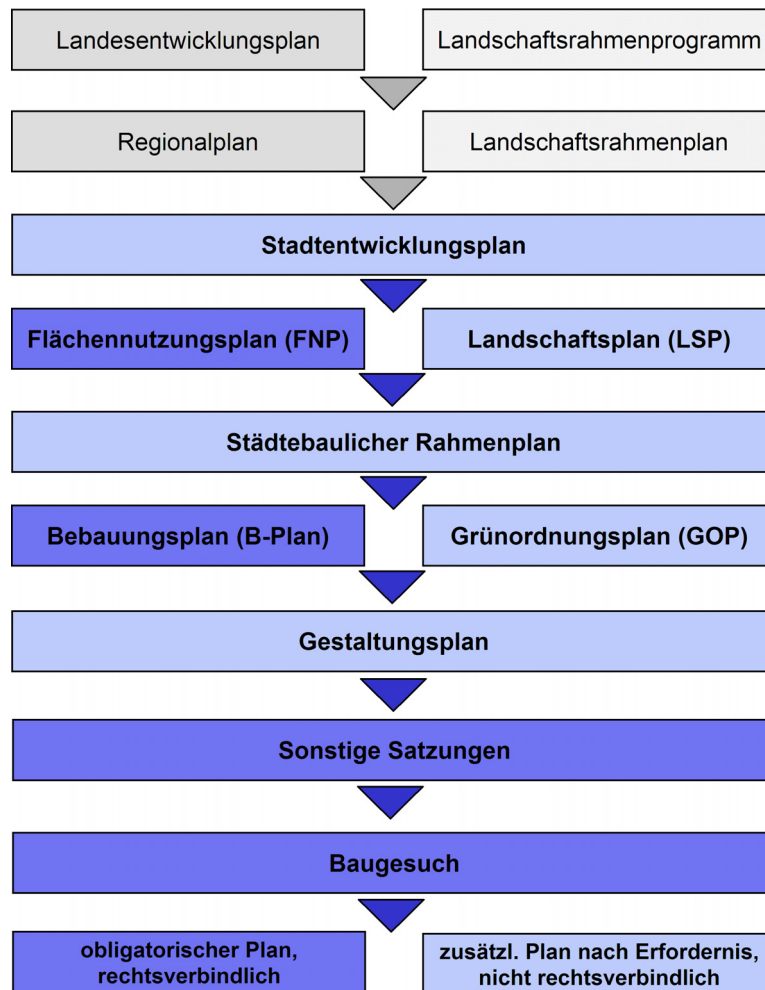


Abb. 4-51 Übersicht der planerischen Steuerungsinstrumente nach Planungsebenen, (Eigene Darstellung in Anlehnung an Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung, in: VDI RL 3785, Blatt 1 2008)

Aufgrund der Komplexität der unterschiedlichen Instrumente und Pläne sowie ihrer Rechtsgrundlagen werden in den nachfolgenden Darstellungen die integralen Pläne und die relevanten raumwirksamen Fachplanungen auf Gemeindeebene in den Mittelpunkt gestellt. Nicht unerwähnt bleiben soll an dieser Stelle jedoch die Möglichkeit der Städte und Gemeinden, Verträge mit Privaten zur Vorbereitung und Durchführung städtebaulicher Planungen zu schließen. So können beispielsweise vorbereitende Stadtklimauntersuchungen oder Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auch im Rahmen städtebaulicher Verträge nach § 11 BauGB durchgeführt werden (vgl. hierzu BMVBS/BBSR 2009).

Wie bereits dargelegt, sind die klimatischen Belange im BauGB in den bauleitplanerischen Oberzielen (vgl. § 1 Abs. 5 Satz 1 und 2 BauGB) erwähnt. Die Städte und Gemeinden sollen demnach ihre Bauleitplanung an einer „nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung“ in „Verantwortung gegenüber künftigen Generationen“ und „für den allgemeinen Klimaschutz“ ausrichten. Obwohl die Bedeutsamkeit für Stadtentwicklung und -planung gegeben ist, erfolgte eine explizite Berücksichtigung von Klimawandel und entsprechenden Anpassungsmaßnahmen im BauGB bislang nicht. Aus dem bauleitplanerischen Oberziel der nachhaltigen städtebaulichen Entwicklung lässt sich aber „mittelbar ein Handlungsauftrag im Bereich Anpassung“ folgern (BMVBS/BBSR 2009).

Mit dem Katalog der Planungsgrundsätze in § 1 Abs. 6 BauGB werden die bauleitplanerischen Oberziele konkretisiert. In dieser Auflistung sind zahlreiche, sich teilweise überschneidende Ansatzpunkte für die Berücksichtigung von Klimabelangen enthalten. Besonders hervorzuheben sind dabei die Belange des Umweltschutzes (§ 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB), die Belange der Versorgung, insbesondere mit Energie und Wasser (§ 1 Abs. 6 Nr. 8 Buchstabe e BauGB), die Belange des Verkehrs und der Mobilität (§ 1 Abs. 6 Nr. 9 BauGB) sowie die Belange des Hochwasserschutzes (§ 1 Abs. 6 Nr. 12 BauGB). Die Belange des Umweltschutzes werden zudem ergänzt durch die in § 1 a BauGB enthaltenen Vorschriften zum Umweltschutz, wie Bodenschutzklausel oder Ausgleich zu erwartender Eingriffe in Natur und Landschaft (Mitschang 2009).

Für die Belange des Umweltschutzes schreibt das BauGB eine Umweltprüfung (vgl. § 2 Abs. 4 BauGB) vor, die der Ermittlung der voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen dient. Sie ist für die Klimabelange in Bauleitplanverfahren von herausragender Bedeutung, da sie deren Berücksichtigung im Falle erheblicher Auswirkungen der Bauleitplanung auf das Klima vorschreibt. Jedoch bedarf es vielerorts noch „einer Bewusstseinschärfung der Anwender, die noch allzu oft eine enge, auf Natur- und Landschaft fixierte Sichtweise einnehmen“ (BMVBS/BBSR 2009).

In Bauleitplanverfahren soll sichergestellt werden, dass die Inhalte, Erfordernisse und Maßnahmen umweltbezogener Fachplanungen mit räumlichem Bezug Beachtung finden (Mitschang 2009). In § 1 Abs. 6 Nr. 7 Buchstabe g BauGB heißt es daher: „Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die Darstellungen von Landschaftsplänen sowie von sonstigen Plänen, insbesondere des Wasser, Abfall- und Immissionsschutzrechts zu berücksichtigen“.

Landschaftsplanung hat nach § 13 BNatSchG die Aufgabe, „die Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege für den jeweiligen Planungsraum darzustellen und zu begründen“ sowie die Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege zu verwirklichen. Da Angaben „zum Schutz, zur Verbesserung der Qualität und zur Regeneration von Böden, Gewässern, Luft und Klima“ (vgl. § 14 Abs. 1 Nr. 4 Buchstabe e BNatSchG) traditionsgemäß Bestandteil von Landschaftsplänen sind, haben diese für die Berücksichtigung von Klimabelangen in der Bauleitplanung eine bedeutende Funktion. Geeignete Darstellungen von Landschaftsplänen können als Darstellungen oder rechtsverbindliche Festsetzungen in die Bauleitplanung übernommen werden.

Neben der Landschaftsplanung sind des Weiteren die Darstellungen in Plänen des Immissionsschutzrechts für die Berücksichtigung von Klimabelangen von Bedeutung. Festlegungen in Luftreinhalte- und Aktionsplänen, die nach § 47 BImSchG aufzustellen sind, müssen von den Städten und Gemeinden im Rahmen der bauleitplanerischen Abwägung berücksichtigt werden (Mitschang 2009). Die in Luftreinhalteplänen festgelegten Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung und Verbesserung der Luftbelastung, wie z. B. die Intensivierung der Straßenbaumbegrünung und Pflanzung staubfilternder Vegetation, können zu einer wesentlichen Verbesserung des Stadtklimas beitragen.

Die Belange des Hochwasserschutzes sind als eigener Planungsgrundsatz nach § 1 Abs. 6 Nr. 12 BauGB bei der Aufstellung von Bauleitplänen zu berücksichtigen. Wenn im Zuge der bauleitplanerischen Abwägung Flächen für den Hochwasserschutz vollständig von Bebauung freigehalten werden müssen, werden diese nach § 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB im Flächennutzungsplan

dargestellt oder im Bebauungsplan nach § 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB als von Bebauung freizuhalten Flächen festgesetzt. In Überschwemmungsgebieten dürfen gemäß § 31 b Abs. 4 WHG „durch Bauleitpläne keine neuen Baugebiete ausgewiesen werden“. Gemäß § 5 Abs. 4 a BauGB und § 9 Abs. 6 a BauGB „sollen festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 31 b Abs. 2 Satz 3 und 4 WHG nachrichtlich in Bauleitpläne übernommen werden. Noch nicht festgesetzte Überschwemmungsgebiete im Sinne des § 31 b Abs. 5 WHG sowie überschwemmungsgefährdete Gebiete im Sinne des § 31 c WHG sollen vermerkt werden“. Nach § 5 Abs. 3 BauGB bzw. § 9 Abs. 5 BauGB können Flächen, „bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind“, in Bauleitplänen gekennzeichnet werden. Mit der Kennzeichnung ist indessen die Bebaubarkeit dieser Flächen noch nicht eingeschränkt (BMVBS/BBSR 2009).

Das BauGB bietet darüber hinaus vor allem über die Darstellungs- und Festsetzungskataloge in § 5 BauGB und § 9 BauGB differenzierte Möglichkeiten für eine klimagerechte Stadtplanung. Die Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten in Flächennutzungs- und Bebauungsplänen umfassen im Hinblick auf mögliche Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel vor allem:

- das Freihalten von Flächen,
- von Bebauung freizuhalten Flächen,
- die Festlegung der Mindestgröße von Baugrundstücken sowie
- Anpflanzungen und Pflanzbindungen.

Da die Darstellung oder Festsetzung einzelner Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel den klimatischen Erfordernissen nicht gerecht werden könnte, kommt es darauf an, ein auf die jeweilige Situation abgestimmtes Maßnahmenbündel und einen integrierten Ansatz unter Berücksichtigung der umweltbezogenen Fachplanungen zu entwickeln und umzusetzen. Nur die Kombination der Darstellungen und Festsetzungen in Bauleitplänen kann im Ergebnis dazu beitragen, dass ein gesundes Stadtklima bewahrt bleibt. Eine Übersicht über die einzelnen Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten der in Kapitel 4.1 entwickelten Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel (Handlungskataloge Hitzebelastung und Extremniederschläge) in Bauleitplänen geben die Tabellen 4-6 und 4-7. Verschiedene Anpassungsmaßnahmen, die nicht im Rahmen der Bauleitplanung umgesetzt werden können, bleiben in der Übersicht unberücksichtigt.

Tab. 4-6 Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Bauleitplänen: Handlungskataloge zur Hitzebelastung

Anpassungslösungen		Erläuterungen / Hinweise	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
H4	Festlegen von Bebauungsgrenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen der überbaubaren Grundstücksflächen (B-Plan) bzw. Festsetzen/Darstellen der von der Bebauung freizuhaltenden Flächen (B-Plan und FNP) 	FNP	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellen von Bauflächen und Baugebieten sowie dem allgemeinen Maß der baulichen Nutzung nach § 5 (2) Nr. 1 BauGB, konkretisiert durch §§ 22 und 23 BauNVO
			B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung nach § 9 (1) Nr. 1 BauGB • Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen nach § 9 (1) Nr. 2 BauGB, konkretisiert durch §§ 22 und 23 BauNVO
H5	Freiflächen erhalten, neue Freiflächen schaffen	<ul style="list-style-type: none"> • Einflussnahme durch BauNVO: Im Abschnitt „Maß der baulichen Nutzung“ sind Obergrenzen für den versiegelten Flächenanteil bebauter Grundstücke festgelegt • Nachrichtliche Übernahme der Flächen für den Natur- und Landschaftsschutz (BNatSchG) • Nachrichtliche Übernahme und Vermerk von Flächen für den Hochwasserschutz • Im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffs-/Ausgleichsregelung (B-Plan siehe rechte Spalte Nr. h)): Flächen zum Ausgleich im Sinne des § 1 a Abs. 3 im Geltungsbereich des FNP können den Flächen, auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, ganz oder teilweise zugeordnet werden (§ 5 (2 a) BauGB) 	FNP	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellen von Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach § 5 (2) Nr. 5 BauGB • Darstellen von Wasserflächen und Flächen, die im Interesse des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind nach § 5 (2) Nr. 7 BauGB • Darstellen von Flächen als landwirtschaftliche Flächen und Waldflächen nach § 5 (2) Nr. 9 BauGB • Darstellen von Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft nach § 5 (2) Nr. 10 BauGB
			B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke nach § 9(1) Nr.3 BauGB, konkretisiert durch BauNVO • Festsetzen, dass Stellplätze und Garagen außerhalb der überbaubaren Grundstücksflächen nur unter der Geländeoberfläche hergestellt (§ 9 (1) Nr. 4 BauGB i. V. m. § 12 (4) BauNVO) oder dass sie auf den nicht überbaubaren Grundstücksflächen nicht hergestellt werden dürfen (§ 23 (5) BauNVO) • Festsetzen der Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihrer Nutzung nach § 9 (1) Nr. 10 BauGB • Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB • Festsetzen von Wasserflächen nach § 9 (1) Nr. 16 BauGB • Festsetzen von Flächen für die Landwirtschaft und Waldflächen nach § 9 (1) Nr. 18 BauGB • Festsetzen der Flächen oder Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft nach § 9 (1) Nr. 20 BauGB • Festsetzen von Flächen oder Maßnahmen zum Ausgleich im Sinne des § 1a Abs. 3 auf den Grundstücken auf denen Eingriffe in Natur und Landschaft zu erwarten sind, oder an anderer Stelle sowohl im sonstigen Geltungsbereich des B-Plans als auch in einem anderen B-Plan
H6	Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten		FNP	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellen von Grünflächen, wie Parkanlagen, nach § 5 (2) Nr. 5 BauGB
			B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen der öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB
H7	Begrünung von Straßenzügen	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzungen zur Begrünung und Bepflanzung von Stellplätzen und zur Begrünung baulicher Anlagen können auch durch Satzung als örtliche Bauvorschrift nach § 86 (1) Nr. 4 BauO NRW erlassen werden 	B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein B-Plangebiet oder Teile davon nach § 9 (1) Nr. 25 BauGB
H8	Dachbegrünung			
H10	Fassadenbegrünung			

Fortsetzung Tab. 4-6

Anpassungslösungen		Erläuterungen / Hinweise	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
H11	Erhalt, Schaffung von Frischluftflächen		FNP	• Darstellungsmöglichkeiten siehe H5
			B-Plan	• Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB • Weitere Festsetzungsmöglichkeiten siehe H5
H12	Offene Wasserflächen schaffen	<ul style="list-style-type: none"> Der Vorrang der Fachplanung bei Vorhaben von überörtlicher Bedeutung nach §38 BauGB sowie die materiellen und formellen Erfordernisse nach WHG und Landeswassergesetzen sowie Wasserstraßengesetz sind zu beachten 	FNP	• Darstellen von Wasserflächen nach § 5 (2) Nr. 7 BauGB
			B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> Festsetzen von Wasserflächen nach § 9 (1) Nr. 16 BauGB Festsetzen von Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern nach § 9 (1) Nr. 25. b) BauGB
H13	Gebäudeausrichtung optimieren		B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen nach § 9 (1) Nr. 2 BauGB Festsetzen der Gebäudestellung nach § 9 (1) Nr. 23 b BauGB
H14	Hauswandverschattung, Wärmedämmung		B-Plan	• Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen nach § 9 (1) Nr. 25 BauGB
H16	Erhalt, Schaffung von Luftleitbahnen	<ul style="list-style-type: none"> Frischlufschneisen als zeichnerische Darstellung in den FNP übernehmen (im Ermessen der Gemeinde, keine rechtliche Begründung erforderlich im vorbereitenden BLP, erleichtert Begründung für Freihaltung im B-Plan) Im Erläuterungsbericht zum FNP (§ 5 (5) BauGB) bzw. in der Begründung zum B-Plan (§ 9 (8) BauGB) auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes besonders eingehen 	FNP	<ul style="list-style-type: none"> Darstellung von Grünflächen, wie Parkanlagen, nach § 5 (2) Nr. 5 BauGB Weitere Darstellungsmöglichkeiten siehe H5
			B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> Festsetzen von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke nach § 9 (1) Nr. 3 BauGB Festsetzen der Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind, und ihrer Nutzung nach § 9 (1) Nr. 10 BauGB Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen, wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB Festsetzen von Flächen für die Landwirtschaft und Waldflächen nach § 9 (1) Nr. 18 BauGB
H17	Hänge von hangparalleler Riegelbebauung Freihalten	<ul style="list-style-type: none"> Die überbaubaren Grundstücksflächen sollten eng ausgewiesen werden, um die Überbauung ganzer Baugrundstücke zu vermeiden 	B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung nach § 9 (1) Nr. 1 BauGB, konkretisiert insbesondere durch §§ 16 (3), 17, 19 BauNVO Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen nach § 9 (1) Nr. 2 BauGB, konkretisiert durch BauNVO Festsetzen von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke nach § 9 (1) Nr. 3 BauGB

Fortsetzung Tab. 4-6

Anpassungslösungen		Erläuterungen / Hinweise	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungsmöglichkeiten nach BauGB
H18	Bauliche Verschattungselemente im öffentlichen Raum		B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen nach § 9 (1) Nr. 25 BauGB
H20	Bepflanzung urbaner Räume mit geeigneten Pflanzenarten			
H21	Vermehrter Einsatz von bodenbedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen			
H22	Beschattung relevanter Flächen			
H28	Geeignete Bepflanzung urbaner Flächen zur Verbesserung der Durchlässigkeit der oberen Bodenschicht			

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

Anpassungslösung		Erläuterungen / Hinweise	FNP/ B-Plan	Darstellungs- und Festsetzungs-möglichkeiten nach BauGB
E1	Rückbau versiegelter Flächen	<ul style="list-style-type: none"> • indirektes Entsiegelungsgebot durch Bodenschutzklausel in § 1 a BauGB • Rückbauverpflichtung in § 35 (5) BauGB • Stadtumbaumaßnahmen nach §§ 171 a – d BauGB 		<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzung einer nichtbaulichen Nutzung (siehe H5)
E2	Flächennutzung an Hängen, abfluss- und erosionsmindernde Maßnahmen		FNP	<ul style="list-style-type: none"> • Darstellungsmöglichkeiten siehe H5
			B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzungsmöglichkeiten siehe H5
E3	Verbesserung bzw. Ermöglichung der Versickerung		B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen von Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, nach § 9 (1) Nr. 14 BauGB
E4	Schaffung von Niederschlagswasserzwischen speichern und Notwasserwegen		B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen der Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, nach § 9 (1) Nr. 14 BauGB • Festsetzen der Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses nach § 9 (1) Nr. 16 BauGB
E9	Unterführungen mit beidseitigen Entwässerungs-/Versickerungsgräben	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahme ist schwierig umzusetzen, da die Unterführungen meist sehr tief liegen und kein Platz für entsprechende Gräben vorhanden ist 	B-Plan	<ul style="list-style-type: none"> • Festsetzen der Flächen für die Abfall- und Abwasserbeseitigung, einschließlich der Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser, nach § 9 (1) Nr. 14 BauGB • Festsetzen der Flächen für die Wasserwirtschaft, für Hochwasserschutzanlagen und für die Regelung des Wasserabflusses nach § 9 (1) Nr. 16 BauGB

Für eine optimale Berücksichtigung klimatischer Belange in Planungsverfahren, sind umfassende Untersuchungen des Stadtklimas unerlässlich. Diese beschäftigen sich vor allem mit den städtischen Problemfeldern Wärmeinsel, Luftverschmutzung, städtische Belüftung und Bioklima. Anspruch und Inhalte der Klimauntersuchungen sind bestimmt durch die jeweilige Planungsebene und teilweise durch die Fragestellung (Baumüller 2008). Die VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1 gibt Empfehlungen zum methodischen Vorgehen bei planungsrelevanten Stadtklimauntersuchungen. Dabei werden für die einzelnen Planungsebenen sowohl die typischen relevanten Einflussfaktoren (z. B. Wärmeinseln oder lufthygienische Fragen) als auch geeignete Bearbeitungsmethoden (z. B. Messstationen, Thermalbefliegungen oder Ausbreitungsrechenmodelle für lufthygienische Fragestellungen) aufgezeigt. Zur Darstellung komplexer stadtklimatologischer Phänomene eignen sich am besten synthetische Klimafunktionskarten (vgl. Kap. 2.2.2.2), je nach Planungsaufgabe können aber beispielsweise auch Klimaeignungskarten bzw. Mikroklimakarten der Stadt die erforderlichen Aufschlüsse bringen.

Insbesondere vor dem Hintergrund der negativen Besetzung des Themenfeldes ist eine Stärkung formeller Planungsinstrumente im Rahmen einer Anpassung des Raumordnungs- und Städtebaurechts an die Herausforderungen des Klimawandels erforderlich. Aufgrund fehlender Rechtsverbindlichkeit sind informelle Instrumente in der Regel ungeeignet, eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen herbeizuführen. Vor allem bei konkurrierenden Raum- und Flächennutzungsansprüchen mangelt es Anpassungsmaßnahmen häufig an Durchsetzungsfähigkeit (Mitschang 2009).

4.2.2 Zusammenarbeitsstrukturen

Zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Rahmen von Planungsverfahren ist die Ressortzusammenarbeit ein entscheidender und Ergebnis beeinflussender Faktor. Besondere Bedeutung kommt dabei der Berücksichtigung von Klimabelangen im Rahmen der frühzeitigen Behördenbeteiligung zu. Diese ist seit dem 20. Juli 2004 neben der bisherigen Behördenbeteiligung im BauGB vorgeschrieben, insbesondere um die Behörden aufzufordern sich zum erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad der Umweltprüfung nach § 2 Abs. 4 BauGB zu äußern (vgl. § 4 Abs. 1 Satz 1 BauGB). Mit dieser Novellierung wurde die Notwendigkeit der frühzeitigen Zusammenarbeit verschiedener Ressorts vor allem im Hinblick auf die Umweltbelange betont. Um diese jedoch wirksam in Bauleitplanverfahren einzubringen, reicht die formale Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Behördenbeteiligung nicht aus. Problematisch ist zudem, dass die eingebrachten Umweltbelange oftmals von den Planungsressorts zunächst als das Bauleitplanverfahren behindernde Belange angesehen werden. Fachpolitische Ziele anderer Ressorts werden in Bauleitplanverfahren nur selten aufgegriffen und im Rahmen der planungsrechtlichen Möglichkeiten umgesetzt. (MUNLV NRW 2006).

In den Kommunen ist der Klimawandel als eigenständiger Themen- und Handlungsbereich noch nicht etabliert. Die Unterscheidung zwischen Klimaschutz und -anpassung und zwischen auf diese Ziele gerichtete Maßnahmen ist bislang unzureichend. In einigen Städten und Gemeinden erfolgt daher eine Berücksichtigung der Belange des Klimawandels im Rahmen der Verantwortlichkeiten für das Themenfeld Klimaschutz, die vorrangig bei den Umweltressorts liegen. Da es allerdings keine feste Zuordnung der Zuständigkeiten für Klimabelange zu einer

bestimmten Behörde oder Stelle als Träger öffentlicher Belange gibt, können über die Umweltressorts hinaus weitere am Bauleitplanverfahren Beteiligte diesen Belang in ihren Stellungnahmen vertreten (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008). In den Kommunen werden zunehmend auch bestehende Zusammenarbeitsstrukturen wie z. B. Arbeitsgruppen zum Klimaschutz genutzt, um den Klimawandel zu etablieren. Zwar werden klimatische Belange schon seit geraumer Zeit im Rahmen von Bauleitplanverfahren eingebracht, in der Umsetzung werden diese Belange jedoch häufig über Darstellungen und Festsetzungen transportiert, die vordergründig einer anderen planerischen Zielsetzung dienen. Diese Form von Synergieeffekten ist zwar zunächst erfreulich, im Hinblick auf die Klimawandelanpassung jedoch nicht steuerbar. Neben der erforderlichen Stärkung der formellen Planungsinstrumente (s. o.) könnte auch eine verbesserte Form der ressortübergreifenden Zusammenarbeit und Verständigung zu einer verstärkten Einbringung von Anpassungsmaßnahmen beitragen.

Ressortübergreifende Abstimmungsrunden, die vor der formalen Einleitung von Bauleitplanverfahren tagen, sind in den meisten Kommunen des Ruhrgebiets inzwischen etabliert. An diesen Runden, die in der Regel der frühzeitigen Machbarkeitsüberprüfung der Planungen dienen, sind aber nicht immer alle relevanten Akteure beteiligt. Insbesondere die Gesundheitsressorts, aber auch der Bereich Grünflächen sind mit ihren Belangen noch zu selten in diesen Abstimmungsrunden präsent. Oftmals liegt die Federführung der Abstimmungsrunden bei den Stadtplanungsressorts und die Beteiligung ist vorrangig auf die Bereiche Stadtentwicklung, Immobilienwirtschaft und -management sowie Bauordnung konzentriert. In einigen Städten wurden – meistens unter der Federführung des Umweltressorts – verwaltungsinterne ressortübergreifende Arbeitsgruppen zum Klimaschutz eingerichtet. Einzelne Bebauungspläne stehen hier in der Regel nur sehr selten auf der Tagesordnung, sondern vielmehr städtische Aktivitäten und Maßnahmen zum Klimaschutz. Viele Kommunen nutzen diese oftmals gut etablierten Arbeitsgruppen, um das Thema Klimawandel zu platzieren. Eigenständige Arbeitsgruppen, die sich mit der Anpassung an den Klimawandel befassen, und die Erarbeitung eigener Anpassungsstrategien an den Klimawandel sind in einzelnen Kommunen in Planung. Des Weiteren gibt es in manchen Städten Abstimmungsrunden zu verwandten Themen, wie z. B. zur „Luftreinhaltung“ oder zur „Gesunden Stadtentwicklung“ und projektbezogene ressortübergreifende Abstimmungsrunden. Besonders erschwert sind die Zusammenarbeitsmöglichkeiten im Bereich Klimawandelanpassung für die kreisangehörigen Städte und Gemeinden, da für das Thema Klimawandel wichtige, im Rahmen der Zusammenarbeit zu beteiligende Behörden (z. B. die untere Wasserbehörde, die untere Landschaftsbehörde oder das Gesundheitsressort) bei der Kreisverwaltung angesiedelt sind.

Bei der Zusammenarbeit verschiedener Ressorts im Rahmen der Bauleitplanung existieren zahlreiche weitere Hemmnisse, die im Hinblick auf die Klimafolgenanpassung von schwerwiegender Bedeutung sein können. Nachfolgend sind die wichtigsten Hemmnisse genannt:

- mangelnde Kenntnisse über Klimaschutz und Anpassungsstrategien bei den planaufstellenden Behörden und den (politischen) Entscheidungsträgern (Mitschang 2009),
- mangelnde Kenntnisse über Verfahrensabläufe und Instrumente,
- Kompetenz- und Einflusskonkurrenzen zwischen den Ressorts,
- Interessen- und Zielkonflikte zwischen den Ressorts,
- Überforderung der Planungsressorts bei der fachlichen Beurteilung und Gesamtbewertung der Umweltauswirkungen ohne fachliche Unterstützung,

- Zeitmangel bei der Erstellung und Bearbeitung von Stellungnahmen aufgrund anderer Prioritäten.

Diese Hemmnisse verhindern oder erschweren eine effektive und integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche und somit oftmals auch die unmittelbare Berücksichtigung klimatischer Belange in Bauleitplänen.

Bezug nehmend auf die in Kapitel 4.1 genannte übergreifende Anpassungslösung „H1: Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche“ können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Umweltressorts und damit die Belange der Klimawandelanpassung so früh wie möglich in das Planungsverfahren einbinden,
- regelmäßige Ressortbesprechungen, projektbezogene ressortübergreifende Arbeitsgruppen oder projektbezogene Besprechungen ergänzend zur schriftlichen Abfrage von Stellungnahmen einführen, wie z. B. einen Jour fix, möglichst unter Beteiligung der politischen Entscheidungsebene,
- verschiedene fachliche Stellungnahmen, die den Klimawandel thematisieren, abstimmen und bündeln und erst anschließend in das Planungsverfahren einbringen,
- erstellen des Umweltberichts von einer fachlich kompetenten Stelle (z. B. Umweltressort),
- Informationen verbessern, kontinuierliche Fort- und Weiterbildung der involvierten Verwaltungsmitarbeiter/innen.

4.2.3 Hemmnisse und Synergieeffekte

Bereits im Vorfeld konkreter kommunaler Planungen hemmen verschiedene Faktoren die Erarbeitung und Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Ein grundsätzliches Hemmnis ist das geringe Bewusstsein für die Folgen des Klimawandels in Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit. Eine mögliche Lösung können hier gezielte Informationsveranstaltungen, insbesondere für Entscheidungsträger, bieten. Aufgrund der problematischen Haushaltslage vieler Kommunen sind zudem ihre planerischen Handlungsspielräume oftmals stark eingeschränkt und damit die Abhängigkeiten von Investorenplanungen eminent. Investoreninteressen lassen sich nur selten mit den Zielen der Klimawandelanpassung vereinbaren. Auch sind die Grundstückspreise im Innenstadtbereich in der Regel zu hoch für Freiflächennutzungen. Nicht zuletzt entsteht durch die Konkurrenz zu benachbarten Kommunen oftmals ein Handlungsdruck dahingehend, dass beispielsweise das Freihalten einer Fläche als Grünfläche oder Parkanlage einer Gewerbeansiedlung weichen muss.

Bei der Durchführung von Planungsverfahren zeigen sich eine Reihe weiterer Hemmnisse und Zielkonflikte(siehe Kapitel 4.3.1), die eine Festsetzung oder Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel erschweren.

Folgende Hemmnisse können beispielhaft angeführt werden:

- Festsetzungen zur Dach- und Fassadenbegrünung werden in Bebauungsplänen bisher nur selten getroffen, da Eigentümer bzw. Bauherren nicht bereit oder in der Lage dazu sind, die erforderlichen Investitionen aufzubringen. Die Umsetzung von Dachbegrünungen

scheitert zudem regelmäßig an den Dachneigungen und der technischen Machbarkeit. Im baulichen Bestand lässt die Gebäudestatik vor allem bei gewerblich genutzten Gebäuden mit gut geeigneten großen Flachdächern eine Dachbegrünung häufig nicht zu und im Neubau verhindern hohe Kosten für die notwendige Statik oftmals die Umsetzung der Begrünung. Dennoch in Bebauungsplänen festgesetzte Dach- und Fassadenbegrünungen werden, um Anreize zu schaffen, nicht selten auf den Ausgleich angerechnet. Wenn die Begrünung vom Eigentümer wieder entfernt wird, was aus Erfahrung vieler Kommunen nach einigen Jahren sehr häufig geschieht, müsste der Ausgleich im Grunde ersatzlos entfallen. Die regelmäßige Kontrolle der Begrünungen durch die Bauaufsicht ist allerdings problematisch.

- Im beschleunigten Bebauungsplanverfahren, das der Wiedernutzbarmachung von Flächen, der Nachverdichtung und anderer Maßnahmen der Innenentwicklung dient (vgl. § 13a BauGB), werden „Bebauungspläne der Innenentwicklung“ ohne Umweltprüfung sowie Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen aufgestellt. Dies schränkt die Einflussmöglichkeiten der Umweltressorts und die Einbringung von Anpassungsmaßnahmen in das Verfahren erheblich ein.

Zielkonflikte ergeben sich vor allem aus konkurrierenden Flächen- und Raumnutzungsansprüchen. Eine Identifikation von Hemmnissen und Zielkonflikten reicht allein sicherlich nicht aus, um Klimabelange im Rahmen von Bauleitplanverfahren stärker als bisher zu berücksichtigen. Da keinem Belang im Rahmen der Abwägung grundsätzlich Vorrang gegeben werden kann und konkurrierende Raumnutzungsansprüche gerade in hoch verdichteten Räumen wie dem Ruhrgebiet nicht zu vermeiden sind, lassen sich die dargestellten Hemmnisse und Zielkonflikte auch zukünftig nicht vollständig ausräumen. Doch ist dies ein erster, notwendiger Schritt zur Bewusstseinsbildung und Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, auch wenn diese sich häufig nur umsetzen lassen, wenn keine anderen Interessen dem entgegenstehen. Die Umsetzung ist hingegen wesentlich einfacher, wenn eine Doppelfunktion und ein sichtbarer Nutzen vorliegen. Folglich hat die Nutzung von Synergieeffekten eine große Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen (siehe Kapitel 4.3.2).

Synergieeffekte sollte sich die Stadtplanung zu Nutze machen, um die Belange des Klimas effektiver als bisher in ihren formellen und informellen Plänen zu berücksichtigen und für eine Stärkung der formellen Instrumente einzutreten. Die Stadtentwicklungs- und -planung sollte Position beziehen und bereit sein, alle tangierten Ressorts und Fachplanungen im Sinne einer integrativen Klimaanpassungsstrategie einzubeziehen.

4.3 Zielkonflikte und Synergien von Maßnahmen

Bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im Rahmen der Stadtplanung und -entwicklung können sich sowohl Zielkonflikte als auch Synergien mit anderen städtebaulichen Maßnahmen ergeben. Mögliche Zielkonflikte sollten frühzeitig durch eine integrierte Planung mit ressortübergreifender Zusammenarbeit entschärft werden. Selbstverständlich geht es bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel letztendlich auch darum, unterschiedliche Belange und Ziele gegeneinander abzuwägen und Entscheidungen nach dem Grundsatz einer nachhaltigen Stadtplanung und -entwicklung zu treffen.

Da insbesondere Synergieeffekte zwischen unterschiedlichen Handlungsfeldern die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen fördern können, sollten diese bereits im Vorfeld konkreter kommunaler Planungen aufgedeckt und genutzt werden.

Im Folgenden werden eine Reihe von grundsätzlichen Zielkonflikten (Kapitel 4.3.1) und Synergien (Kapitel 4.3.2), die sich zwischen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und anderen Zielen der Stadtentwicklung ergeben.

4.3.1 Zielkonflikte

Zielkonflikte zwischen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und anderen politischen Zielen in der **Freiraumplanung** ergeben sich vor allem aufgrund konkurrierender Flächen- und Raumnutzungsansprüche:

- **Klimaschutz:** Bei der Freiraumplanung zeigt sich insbesondere ein Zielkonflikt von Anpassungsmaßnahmen mit den Strategien zum Klimaschutz. So ist es ein wichtiges Ziel der Klimaanpassung, Wärmeinseleffekte in Städten zu verringern und so den Hitzestress für die Bevölkerung zu minimieren. Hierfür sind eine möglichst lockere Bebauung mit einem ausreichend hohen Freiflächenanteil und genügend Frischluftschneisen erforderlich. Darüber hinaus werden Freiflächen im Rahmen der Klimaanpassung auch als Rückhalteräume im Falle von Starkregenereignissen und Hochwasser benötigt. Auf der anderen Seite gelten gerade kompakte Siedlungsstrukturen als besonders verkehrs- und energiesparend und sind somit im Sinne des Klimaschutzes anzustreben. Auch entsteht ein nicht unerheblicher interner Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung, wenn eine technische Verringerung von Hitzestress durch Klimaanlage vorgenommen würde. Die Nutzung konventioneller Klimaanlage ließe den Energieverbrauch im Sommer stark ansteigen, würde einen CO₂-Mehrausstoß verursachen und steht damit deutlich im Konflikt zu den Zielen des Klimaschutzes. Der Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage und vor allem die Passivkühlung sind daher sinnvollere Maßnahmen zur Verringerung des Hitzestresses.
- **Lärmschutz:** Die Steigerung des innerstädtischen Freiflächenanteils und die Schaffung von Frischluftschneisen widersprechen auch dem Ziel einer möglichst geschlossenen Randbebauung. Ein solcher Lückenschluss bei Baublöcken ist insbesondere wichtig für den Lärmschutz, da hierüber für die dahinterliegende Bebauung erhebliche Lärmminierungspotenziale ausgeschöpft werden können.

- **Direkte Nutzungskonkurrenzen:** Baumpflanzungen mit tief wurzelnden Baumarten können existierende Leitungstrassen und Kanäle beschädigen. Maßnahmen zur Straßenbegrünung sollten daher im Zuge von Kanalerneuerungsvorhaben von vorneherein berücksichtigt werden. Die angestrebte hohe Baumpflanzungsdichte sowie ein hoher Grünflächenanteil stehen darüber hinaus im direkten Zielkonflikt mit anderen Flächennutzungen, etwa der notwendigen Schaffung von Parkraum für Fahrzeuge im Straßenraum.
- **Prinzip des Umlegungsverfahrens:** Eine lockere Bebauung mit hohem Freiflächenanteil widerspricht schließlich auch dem Ziel, im Rahmen eines Umlegungsverfahrens bebaubare Grundstücke zu erhalten (vgl. § 45 Satz 1 BauGB).

Auch bei **Begrünungsmaßnahmen** können verschiedene Zielkonflikte vor allem im Zusammenhang mit der Belüftungssituation im städtischen Raum auftreten:

- **Baumvegetation im Straßenraum:** Bäume ermöglichen durch Beschattung und Verdunstung ein behagliches Humanbioklima und können als Spurenstofffilter dienen. Kommt es allerdings zum Kronenschluss, kann hierdurch die Durchlüftung im Straßenraum beeinträchtigt werden. Unter einem geschlossenen Baumkronendach kann es insbesondere bei einer hohen Verkehrsdichte zur Anreicherung von Luftschadstoffen kommen. Ein dichter Baumbestand kann darüber hinaus zur Verschattung von Photovoltaikanlagen führen und so deren Effizienz schmälern.
- **Baumvegetation in Frischluftbahnen:** In Frischluftbahnen kann die Durchlüftungsfunktion beeinträchtigt werden, wenn Baumreihen oder dichtes Gehölz ein Strömungshindernis bilden.
- **Bewässerungsmanagement von (öffentlichen) Grünflächen:** Begrünte Flächen, die über zu wenig Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit verfügen, müssen während Trockenperioden künstlich bewässert werden. Das kann insbesondere im Sommer Konflikte mit der Sicherung der Wasserversorgung verursachen. Für den Fall der Flächenbegrünung auf sommertrockenen Standorten sind ggf. einheimische Arten durch trockenresistente Arten zu ersetzen.
- **Dachbegrünung:** Auch zwischen der Begrünung von Dächern und einer möglichen Installation von Solarkollektoren bzw. Photovoltaikanlagen kann bei einer ungenügenden Gebäudestatik ein Zielkonflikt entstehen. Auf der anderen Seite kann aber die Effizienz von Photovoltaikanlagen durch den kühlenden Effekt einer darunterliegenden Dachbegrünung gesteigert werden.

4.3.2 Synergien

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ist wesentlich einfacher, wenn eine Doppelfunktion und ein sichtbarer Zusatznutzen vorliegen. Ein solcher Zusatznutzen liegt beispielsweise bei Begrünungsmaßnahmen, bei Maßnahmen zur Flächenentsiegelung oder zur Regenrückhaltung vor. Folglich hat die Aufdeckung von Synergieeffekten eine große Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Synergieeffekte sollte sich die Stadtplanung zu Nutze machen, um die Belange des Klimas effektiver als bisher in ihren formellen und informellen Plänen zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit **Begrünungsmaßnahmen** können folgende Synergieeffekte auftreten:

- Pflanzmaßnahmen führen sowohl zu Kühlungseffekten in den Innenstädten als auch zum Regenrückhalt und tragen somit zur Minimierung des Überschwemmungsrisikos bei. Zugleich verringert innerstädtische Begrünung die Windböigkeit und verhindert so im Winter eine zu starke Auskühlung der Gebäude, was wiederum den Heizenergieverbrauch senkt (Fleischhauer & Bornefeld 2006).
- Ein höherer Vegetationsanteil im Innenstadtbereich führt zu einer Steigerung der Aufenthalts- und Lebensqualität sowie zu einer Verbesserung der lufthygienischen Situation. Parkanlagen und Grünflächen ermöglichen darüber hinaus ein verbessertes thermisches Niveau und eine Spurenstofffilterung der Außenluft.
- Fassaden- und Dachbegrünung dient als Puffer für Niederschlagwasser, so dass Niederschlagsspitzenabflüsse reduziert werden können. Gleichzeitig können hierüber Flächen für die Regenrückhaltung auf dem Grundstück eingespart werden. Durch die Verdunstungseffekte kann darüber hinaus das thermische Niveau im Außenbereich gesenkt werden.
- Fassaden- und Dachbegrünung vermindern im Sommer eine Aufwärmung des Gebäudes und sorgen im Winter für eine zusätzliche Dämmung. So tragen sie zu einer Verbesserung des Innenraumklimas bei und führen zu Energieeinsparungen im Gebäude, die gleichzeitig dem Klimaschutz dienen.

Auch Maßnahmen zur **Flächenentsiegelung** und zum **Regenrückhalt** können verschiedene Synergien aufweisen:

- Die Flächenentsiegelung (etwa in Form von Begrünungsmaßnahmen) ermöglicht nicht nur eine bessere Versickerung des Niederschlags bzw. den schnellen Abfluss von Spitzenniederschlägen, wodurch Überschwemmungen vermieden werden, sondern sie trägt über die großflächige Verdunstung auch zur Minderung von Wärmebelastungen bei.
- Maßnahmen zur Regenrückhaltung steigern die Freiraumqualität und verringern die Hitzebelastung. In Form offener Wasserflächen führen sie darüber hinaus zu ausgeglicheneren Temperaturen und tragen schließlich auch zum Freizeitwert einer Stadt bei.

Viele Maßnahmen beim Hausbau, die eigentlich der Energieeinsparung und damit dem Klimaschutz dienen, haben auch einen positiven Effekt auf die Klimaanpassung. Eine gute Wärme-

dämmung gegen Energieverluste im Winter wirkt auch als Hitzeschutz gegen eine übermäßige Aufheizung der Wohnungswände im Sommer. Allgemein führt eine Wärmedämmung an Gebäuden zu einer Verringerung der Wärmeabgabe und damit zu einer Verringerung des Wärmeinseleffektes und gleichzeitig zu Synergien mit dem Schallschutz. Auch Passivhäuser mit einem hohen Potential an Energieeinsparung sind im Sommer aufgrund des serienmäßigen Lüftungssystems angenehm kühl.

Auch Stadterneuerungsprozesse können genutzt werden, um Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel umzusetzen. Bei der Ausnutzung von Schrumpfungsprozessen aufgrund des demographischen Wandels kann eine Entwicklung städtischer Freiräume klimawirksam und zur Steigerung der Umwelt- und Lebensqualität stattfinden. Rückbaumaßnahmen im Rahmen des Stadtumbaus können genutzt werden, um ungenutzte bauliche Strukturen einer Grünflächennutzung zuzuführen.

5. Ergebnisse aus den Werkstätten und Telefoninterviews

Nach Fertigstellung der vorläufigen Version des Handbuchs wurde diese im Rahmen einer Veranstaltung beim Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen in Düsseldorf am 20.8.2009 Vertreterinnen und Vertretern von Stadtverwaltungen und betroffenen Kreisen präsentiert.

Mit dem Handbuch Stadtklima liegt ein Leitfaden vor, der den Ruhrgebietskommunen Hilfestellung bei der Identifizierung von Problemfeldern im Zusammenhang mit den Folgen des Klimawandels leisten und Lösungswege aufzeigen soll. Dazu wurde der Leitfaden in zwei Modellstädten hinsichtlich der definierten Problemfelder und der vorgeschlagenen Maßnahmen überprüft und entsprechende spezifiziert und modifiziert, so dass Anwendbarkeit und Übertragbarkeit gewährleistet sind.

Die Stadt Bottrop wurde von Seiten des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen bereits zu Beginn des Vorhabens als eine Modellstadt ausgewählt. Gründe hierfür waren die hohe Kooperationsbereitschaft, das umfangreich vorliegende Datenmaterial zum Stadtklima und zur Lufthygiene sowie zahlreiche Aktivitäten der Stadt in den Bereichen Klimaschutz und -anpassung.

Zur Ermittlung einer zweiten, hinsichtlich Stadt- und Einwohnerstruktur deutlich von Bottrop abweichenden Modellstadt wurden für alle zehn kreisfreien und fünf kreisangehörigen Städte des Ruhrgebietes Kriterien erarbeitet, die die Bewertung und Eignung als Modellstadt ermöglichen:

1. Untersuchungen zum Stadtklima
Das Vorhandensein einer aktuellen Stadtklimaanalyse ist ein wichtiges Kriterium zur Auswahl einer zweiten Modellstadt, da hiermit ein Instrument zur detaillierten Beurteilung von Problembereichen vorliegt.
2. Siedlungsentwässerung, Ressourcenschutz und Hochwasser
Um den zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels in den Bereichen Siedlungsentwässerung / Niederschlagsmanagement, Ressourcenschutz und Hochwasser-/ Überflutungsschutz frühzeitig und effizient entgegen wirken zu können, wurde empfohlen, eine Modellstadt auszuwählen, die sich qualitativ wesentlich von der bereits ausgewählten Modellstadt Bottrop unterscheidet bzw. interessante Potenziale für die Anwendung verschiedenartiger Anpassungsmaßnahmen erwarten lässt.
3. Topographie / Reliefenergie
In Bottrop hat das Relief einen unerheblichen Einfluss auf die stadtklimatische Situation. Die zweite Modellstadt sollte sich daher hinsichtlich Topographie und Reliefenergie deutlich von Bottrop unterscheiden.
4. Kooperationsbereitschaft des Umwelt- bzw. Planungsamts
Voraussetzung zur Wahl einer zweiten Modellstadt war die Bereitschaft der Stadt aktiv am Projekt mitzuarbeiten.

5. Stadtklimatische Komplexität (z. B. einzellige Wärmeinsel, Klimatopabfolge)
Es sollte eine Stadt ausgewählt werden, deren städtische Wärmeinsel deutlich ausgeprägt sein sollte und die eine typische Klimatopabfolge oder durch kleinteilige Strukturen stark zergliederte Klimatope aufweist.
6. Stadtgröße (Einwohner, Fläche)
Die klimatischen Eigenschaften einer Stadt resultieren u. a. aus dem Versiegelungsgrad und der Stadtgröße. Um repräsentative Aussagen für die größeren Städte des Ruhrgebiets zu ermöglichen, sollte die zweite Modellstadt eine deutlich höhere Einwohnerzahl und auch eine größere Stadtfläche als Bottrop aufweisen.
7. Demographie
Die demographische Entwicklung einer zweiten Modellstadt sollte dem Trend im Ruhrgebiet entsprechen, der eine Abnahme der Bevölkerung bei zunehmend älteren Mitbürgern zeigt.

Die genannten Kriterien wurden anschließend mit einer Priorität versehen, wobei die Kategorien 1 bis 4 mit hoher, die Kategorien 5 und 6 mit mittlerer und die Kategorie 7 mit niedriger Priorität eingestuft wurden. Alle zehn kreisfreien und fünf kreisangehörigen Städte des Ruhrgebiets wurden anhand der Kriterien hinsichtlich ihrer Eignung bewertet. Mithilfe eines Punktesystems – sowohl für die Priorität eines Kriteriums als auch für die Eignung einer Stadt bezüglich eines Kriteriums wurden Punkte vergeben – wurde die Gesamtbewertung der einzelnen Städte vorgenommen und Dortmund aufgrund der sehr guten Erfüllung der Kriterien ausgewählt.

Nachdem die Grundlagen, Berechnungen und Prognosen vorlagen, wurden mit den ausgewählten zwei Modellstädten Bottrop und Dortmund jeweils eine interne Werkstatt durchgeführt. Zu diesen Werkstätten waren aus der jeweiligen Kommune Vertreter/innen aus den betroffenen Fachressorts (Stadtplanung, Umwelt, Tiefbau) eingeladen. In der Runde der Teilnehmer/innen aus den Modellstädten sollte die Anwendbarkeit der im Leitfaden aufgeführten Maßnahmen auf die jeweilige Kommune diskutiert und geprüft werden. Nach Auswertung der Werkstätten wurde ein Interviewleitfaden entwickelt, mithilfe dessen gezielte Nachfragen in weiteren fünf Kommunen gestellt werden konnten. In Telefoninterviews wurden dort gezielt sowohl die Stadtplanungs- wie auch die Umweltämter angesprochen.

Die Ergebnisse aus den Modellkommunen und aus den Telefoninterviews dienten dazu, das Handbuch an entscheidenden Stellen zu korrigieren und zu ergänzen. Somit konnten wertvolle Hinweise aus der kommunalen Praxis in die jeweiligen Kapitel einfließen.

5.1 Werkstatt in der Modellstadt Bottrop

5.1.1 Ablauf und Ergebnisse der Werkstatt in Bottrop

Die Werkstatt fand am 25. August 2009 von 10:00 bis 17:00 Uhr im städtischen Saalbau am Rathaus der Stadt Bottrop statt. Aus der Stadt Bottrop nahmen sowohl Vertreter/innen des Umweltamts, des Grünflächenamts und des Gesundheitsamts als auch des Stadtplanungsamts und des Tiefbauamts teil. Nach einer kurzen Begrüßung und Vorstellungsrunde wurden zunächst die Arbeitsgrundlagen vorgestellt:

- Ziele des Vorhabens und Struktur des Handbuchs (Präsentation durch den RVR),
- Folgen des Klimawandels für die Stadt Bottrop (Präsentation durch die Universität Duisburg-Essen, Abt. Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie),
- Ausgangslage in der Stadt Bottrop (Präsentation durch die Stadt Bottrop).

Die Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Geographie, hat vorbereitend für die Werkstatt die Folgen des Klimawandels kleinräumig für die Stadt Bottrop analysiert. Die Untersuchungen erfolgten mithilfe des Modells STAR II aufgrund seiner hohen räumlichen Differenzierbarkeit und des Vorliegens messnetzbasierter Simulationsergebnisse für viele Städte des Ruhrgebietes. Zusammenfassend zeigen die Modellprojektionen, dass die Entwicklung für die Modellstadt Bottrop in etwa dem NRW-Trend entspricht. Für die Dekade 2051-2060 wird ein Temperaturanstieg von rund 2 K projiziert. Die konkreten Zahlen als Ergebnis der Modellprojektionen für den Zeitraum 2051-2060 geben nur ein mögliches Szenario und nicht die tatsächlich eintreffenden Werte wieder:

- Zunahme der Jahresmitteltemperatur um 2,1 K
 - Rückgang der Eis- und Frosttage um 73 Prozent bzw. 41 Prozent
 - Zunahme der Sommertage um 95 Prozent
 - Zunahme der Heißen Tage um 147 Prozent
 - Zunahme der Tropennächte um 130 Prozent
 - Zunahme der Tage mit Wärmebelastung um 114 Prozent
- Anstieg der Jahresniederschlagssumme um 23 Prozent
 - Saisonale Verschiebung vom Sommerregen- zum mediterranen Winterregenklima
 - Zunahme von regenreichen Tagen bis zu 50 Prozent

In der Stadt Bottrop war insbesondere der Flächennutzungsplan, der Ende 2004 rechtskräftig wurde, eine gute Grundlage und Anstoß für den Prozess „Umgang mit dem und Anpassung an den Klimawandel“. Für die Beratung zu den im Flächennutzungsplan vorgesehenen Baugebieten wurde eine verwaltungsinterne Arbeitsgruppe bestehend aus Vertretern der Ressorts Umwelt, Städtebau und Verkehr gegründet. Diese Arbeitsgruppe hat beispielsweise eine Ampelkarte zu den Bauvorhaben erstellt.

Angestoßen durch den Flächennutzungsplan wurden in Bottrop zudem folgende Inhalte und Karten erarbeitet:

- Karte Klimaschutz und Lufthygiene: Darstellung der Temperaturverteilung; die größten Erwärmungen finden sich im Innenstadtbereich. Es konnte festgestellt werden, dass z. B. die Gartenstadtsiedlung in Bottrop aus lufthygienischer Sicht sehr positiv zu bewerten ist. Daher wurde die ursprünglich im FNP vorgesehene Nachverdichtung in diesem Gebiet zurückge-

nommen und stattdessen andere Gebiete ausgewählt. Da hier aber auch aus Gründen des Denkmalschutzes Restriktionen bestanden, ist dies ein gutes Beispiel dafür, dass die Belange der Stadtentwicklung und die des Klimaschutzes auch Synergien aufweisen können.

- Synthetische Klimafunktionskarte: Identifikation von Frischluftbahnen, Klimatische Funktion der Halden und Freiflächen.
- Umweltleitpläne: mit den Bereichen Gewässerentwicklung, Klimaschutz und Lufthygiene, Natur- und Landschaftsentwicklung, Lärmbelastung.
- Planungshinweise: Dezidierte Untersuchung der Frei- und Grünflächen in der Bottroper Innenstadt. Hierzu wurden Vorschläge und Planungsempfehlungen entwickelt.

Jedoch greift aus Sicht der Stadt Bottrop der Flächennutzungsplan für konkrete Problemlösungen bei der Anpassung an den Klimawandel zu kurz. Geeignete ergänzende Instrumente sind auf der Ebene der Bebauungsplanung und Bauausführung zu suchen.

Im zweiten Teil der Werkstatt wurden die Problemfelder in Bottrop, der Handlungsbedarf, erste realisierte Lösungsansätze, Verbesserungsmöglichkeiten und Hemmnisse identifiziert und diskutiert.

Aus stadtklimatischer Sicht wurden für Bottrop zwei Problemfelder identifiziert, auf deren Ebene Klimaanpassung stattfinden muss:

- Die Innenstadt:
Starke Interessenskonflikte, z. B.
 - Innenverdichtung vor Außenentwicklung vs. Flächensparen für Durchgrünung und Durchlüftung
 - Grundstückspreise im Innenstadtbereich sind zu hoch für Freiflächennutzung
 - Fehlende kälteproduzierende Flächen mit Ausgleichsfunktion für angrenzende Wohngebiete könnten ein Problem werden.
- Der Neubau:
 - Bebauung von Frischluftschneisen
 - Nachnutzung von Bergbauflächen

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben für die Stadt Bottrop folgenden Handlungsbedarf und Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert:

- Leitziele der Stadtentwicklung (z. B. Innenverdichtung vor Außenentwicklung oder Schrumpfungprozessen entgegenwirken) ändern?
- Stadterneuerungsprozesse nutzen
- Problembewusstsein erhöhen
- Bestehende Grünflächen sichern
- Potenziale Grünflächen nutzen
- Verknüpfung Grünflächen/Innenstadt, verbindende Elemente in dicht bebauten Bereichen
- Potenziale bei Art der Bebauung nutzen
- Strategische Entwässerungsplanung, Kanalerneuerung steuern, Regenwasserabkopplung, Versickerung

- Ausschluss von sensiblen Ansiedlungen (z. B. Altenheime) in besonders belasteten Bereichen

Im Zusammenhang mit dem Handlungsbedarf wurden jedoch auch folgende Hemmnisse erörtert:

- Investitionshemmnisse bei den Eigentümern
- Vielfalt der Abwägungsbelange
- (Interessens)Konflikte:
 - Dachbegrünung vs. Solarkollektoren/Photovoltaik
 - Dachbegrünung vs. Statik
 - Fassadenbegrünung vs. Gebäudebeeinträchtigung
 - Baumpflanzungen vs. Parkraumangebot
 - Baumpflanzungen vs. Leitungstrassen
 - Grünflächenausbau vs. Leitungstrassen

Erste (realisierte) Lösungsansätze in Bottrop

- Ziel des Projekts „Trapez“, ein Innenblockbereich im Stadtumbaugebiet, ist es, in Kooperation von Eigentümern und Grünflächenamt eine „Stadttoase“ zu entwickeln. Oberflächenbegrünung ist hier möglich, jedoch keine Entsiegelung, da sich Tiefgaragen unter dem Grundstück befinden. Dies ist laut Aussage der Stadt Bottrop eine schwierige Aufgabe mit hohem Beteiligungsaufwand.
- Im Rahmen des Stadterneuerungsprozesses in Bottrop hat sich der Arbeitskreis Innenstadt etabliert. Klimaanpassungsmaßnahmen ließen sich gut in diesen Arbeitsprozess integrieren. Bisher ist die Bedeutung des Themas im Bereich der Stadterneuerung nur ansatzweise erkannt und stellt noch keinen Handlungsschwerpunkt dar.
- Es gibt ein Haus- und Hofprogramm der Stadt, über das z. B. Fördermittel für Fassadengestaltung vergeben werden. Eigentlich dient das Förderprogramm der Verschönerung des Stadtbildes, da aber auch Begrünungsmaßnahmen förderfähig sind, könnte das Programm auch für Anpassungsmaßnahmen genutzt werden. Leider gibt es in diesem Bereich bisher wenig Resonanz. Das Problem ist u. a. die Einbindung der Öffentlichkeit.

Die im Entwurf des Handbuchs vorgeschlagenen Maßnahmen wurden im Rahmen einer Diskussion von den Teilnehmer/innen nach Relevanz, Umsetzbarkeit und Hemmnissen beurteilt. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass von den Teilnehmer/innen der Stadt Bottrop alle in den Handlungskatalogen genannten Maßnahmen sowohl für den Bestand als auch für den Neubau als relevant eingestuft wurden.

Ausgehend vom geplanten Neubaugebiet „Grafenwald“ konnten folgende (kritische) Punkte sowie besonders wichtige und anzustrebende Maßnahmen aus der Diskussion festgehalten werden:

- Anpassungsmaßnahmen mit anderen Zielen verknüpfen;
- Maßnahmen mit Doppelfunktion und sichtbarem Nutzen sind am besten und einfachsten umzusetzen;
- Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen in der Praxis aufgrund vieler unterschiedlicher Rahmenbedingungen schwierig (rechtliche und planerische, geologische, politische).

- Standardmäßig werden in Bottrop in B-Plänen festgesetzt: Baugrenzen, keine gegenseitige Verschattung, Straßenraumbegrünung an wichtigen Straßen, Freiflächen für Versickerung und Ausgleich;
- Selten werden in B-Plänen Festsetzungen zu Dachbegrünungen und fast nie zu Fassadenbegrünungen getroffen, da die Bauaufsicht die Umsetzung letzterer schlecht kontrollieren kann. Die Umsetzung von Dachbegrünungen scheitert hingegen eher an den Dachneigungen.
- Optimierung in Bottrop generell notwendig:
 - Frischluftschneisen beachten und freihalten, Ausrichtung von Gebäuden
 - Offene Wasserflächen schaffen (in Bottrop besonders wichtig, da die Versickerung schwierig ist);
- Durch Dachbegrünung Flächen für Regenrückhaltung auf dem Grundstück einsparen;
- Bergsenkungen schränken Möglichkeiten der Bauleitplanung ein;
- Bauen ohne Keller in speziellen Bereichen (über Festsetzungen) anstreben, um der Problematik des hohen Grundwasserstandes in Bottrop entgegenzuwirken;
- Auslegung der Entwässerungssysteme auf Extremereignisse unmöglich; Rückstausicherungen an Gebäuden sind problematisch;
- Problematik in Bottrop: Geringe Flurabstände;
- Verhältnis von (öffentlichen) Grünflächen zu Bauflächen beachten;
- Zielkonflikt durch Umlegung (Bebaubare Grundstücke vs. hoher Freiflächenanteil);
- Ziel der Neubebauung sollte sein, so klimaneutral wie möglich zu bauen, um das günstige Lokalklima im Neubaugebiet Grafenwald nicht zu verschlechtern.

In Bezug auf den Bestand sind aus der Diskussion zwei Punkte festzuhalten:

- Im Bestand sind andere Kommunikationsstrukturen vorhanden. Die direkte Steuerungsmöglichkeit durch die Kommune ist eingeschränkt.
- Zum großen Teil gleiche Maßnahmen wie beim Neubau, aber hier verstärkt Anreizsysteme notwendig (z. B. Anreiz zur Fassaden- und Dachbegrünung).

Abschließend wurden in der Werkstatt die Zuständigkeiten für Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel und bestehende kommunale Zusammenarbeitsstrukturen diskutiert. In Bottrop hat sich eine „kleine Abstimmungsrunde“, die vor der formalen Einleitung von Planungsverfahren tagt, etabliert. An diesen Runden, die der frühzeitigen Machbarkeitsüberprüfung der Planungen dienen, nehmen Vertreter/innen aus dem Umwelt-, Tiefbau- und Planungsamt teil. Zudem gibt es weitere, themenbezogene Abstimmungsrunden.

In der Diskussion im Rahmen der Werkstatt wurde der Wunsch seitens des Gesundheitsamts und des Grünflächenamts geäußert, an diesen Runden ebenfalls beteiligt zu werden. Aus Sicht des Grünflächenamts müsste im Rahmen der Bauleitplanung z. B. die Zahl der zu pflanzenden Bäume pro Straße festgelegt werden.

5.1.2 Lokalisierung von Problemgebieten mit erhöhter klimatischer Belastung in Bottrop

Die nach der im Kapitel 3.3 erläuterten Methode abgegrenzten Problemgebiete mit erhöhter klimatischer Belastung für den Menschen sind für das Stadtgebiet von Bottrop in der Abbildung 5-1 dargestellt. Bottrop weist im Bereich der Innenstadt überwiegend Flächen mit einer generellen und mit einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen auf. Die dichte Bebauung entlang der Sterkrader Straße im Randbereich des Stadtgebietes an der Stadtgrenze nach Oberhausen und der überdurchschnittlich hohe Anteil von alten Menschen über 65 Jahre führt dazu, dass auch hier ein Problemgebiet mit einer extrem hohen Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastung liegt. Das im Vergleich zu den Großstädten des Ruhrgebietes weniger stark versiegelte und ausgedehnte Stadtzentrum von Bottrop zeigt keine Gebiete mit einer überdurchschnittlich hohen Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen (roter Bereich). Die Probleme für Bottrop ergeben sich aus dem Zusammenspiel von erhöhter Hitzebelastung mit den bevorzugten Wohngebieten älterer Menschen. In diesen Bereichen besteht dringender Handlungsbedarf für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.

Auf der anderen Seite können Randgebiete der Innenstadt, die bisher noch nicht in die abgestuften Bereiche der Problemgebiete fallen, durch Neu- oder Umbaumaßnahmen ohne Berücksichtigung der Anpassungsstrategien an den Klimawandel in Zukunft zu Problemgebieten mit erhöhter klimatischer Belastung für den Menschen werden.

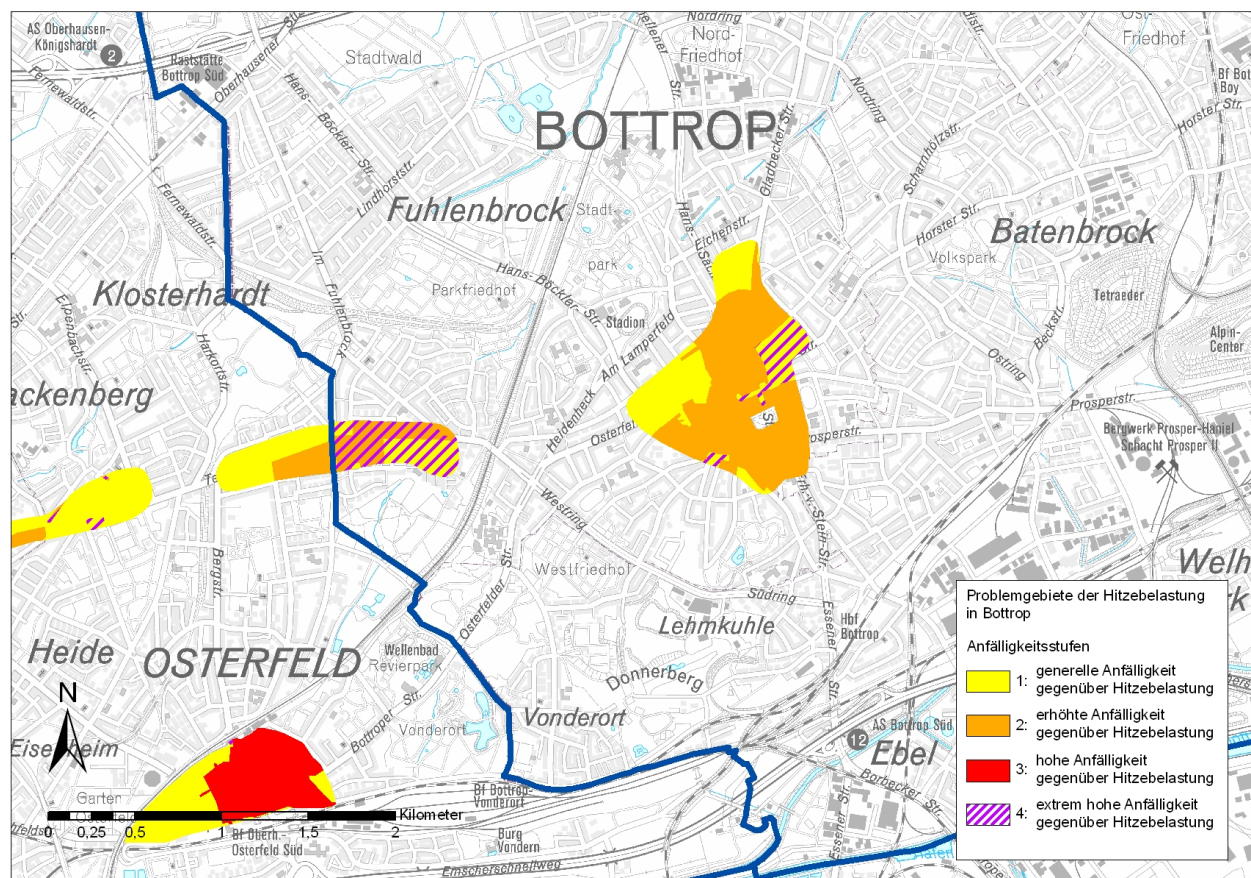


Abb. 5-1 Problemgebiete der Hitzebelastung in Bottrop (Eigene Darstellung RVR)

5.1.3 Mikroskalige beispielhafte Modellberechnungen für Bottrop

Der effiziente Einsatz von Anpassungsmaßnahmen ist nur dann gewährleistet, wenn im Vorfeld diejenigen Bereiche identifiziert werden, in denen der dringendste Handlungsbedarf besteht, und abgeschätzt wird, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Nutzen erreicht werden kann. Zur Analyse der Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells sinnvoll. Ein solches Simulationsmodell berücksichtigt die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen urbanen Elementen wie Bebauung und Vegetation und der Atmosphäre. Auf diesem Weg ist sowohl eine Planung ohne Auftreten neuer Belastungen als auch die Optimierung bereits vorhandener Strukturen möglich (Bruse 2003). Zu diesem Zweck kann beispielsweise das an der Ruhr-Universität Bochum entwickelte Computermodell ENVI-met (www.envi-met.com) eingesetzt werden. Weitere Informationen über mikroskalige Modellierungen finden sich im Kapitel 2.1.3.3 und im Kapitel 4.1.2 unter der Anpassungslösung H3.

Für die Peterstraße, im Bereich der Problemgebiete der Hitzebelastung in Bottrop gelegen, wurde beispielhaft die Wirkung von Vegetation auf die Lufttemperaturen in diesem Modellgebiet berechnet. Das Modellgebiet mit der vorhandenen Bebauung und Vegetation ist in der Abbildung 5-2 dargestellt. Die Abbildungen 5-3 bis 5-5 zeigen die Ergebnisse einer mikroskaligen Simulation mit ENVI-met im Vergleich mit und ohne Vegetation.



Abb. 5-2 Modellgebiet Bottrop-Peterstraße: Gebäude und Vegetation (Eigene Darstellung RVR)

Im hoch versiegelten und dicht bebauten Bereich der Peterstraße ist die Straßenbegrünung mit einem Rasenmittelstreifen und wenigen Bäumen nur sehr schwach ausgeprägt. Im Bereich zwischen den Gebäuden existieren einige Parkplatz- und (Innen-)Hofbegrünungen. Um die Effekte dieser Vegetation auf das Temperaturverhalten zu simulieren, wurde für einen ersten Modelllauf alles Grün entfernt. Die Temperaturverteilung in 2 m Höhe dieser Variante ohne Vegetation für 15 Uhr ist in der Abbildung 5-3 dargestellt, Abbildung 5-4 zeigt das vergleichbare Ergebnis für die Variante mit Vegetation.

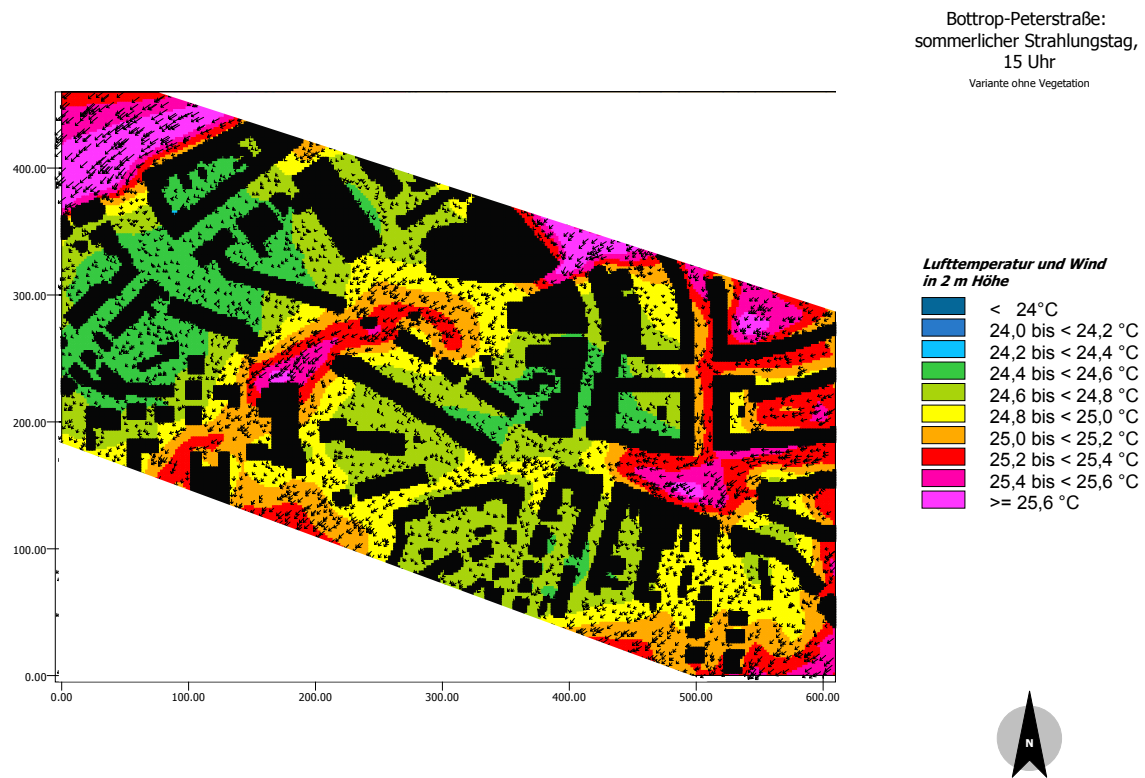


Abb. 5-3 Lufttemperaturen und Wind im Modellgebiet Bottrop-Peterstraße ohne Vegetation (Eigene Darstellung RVR)

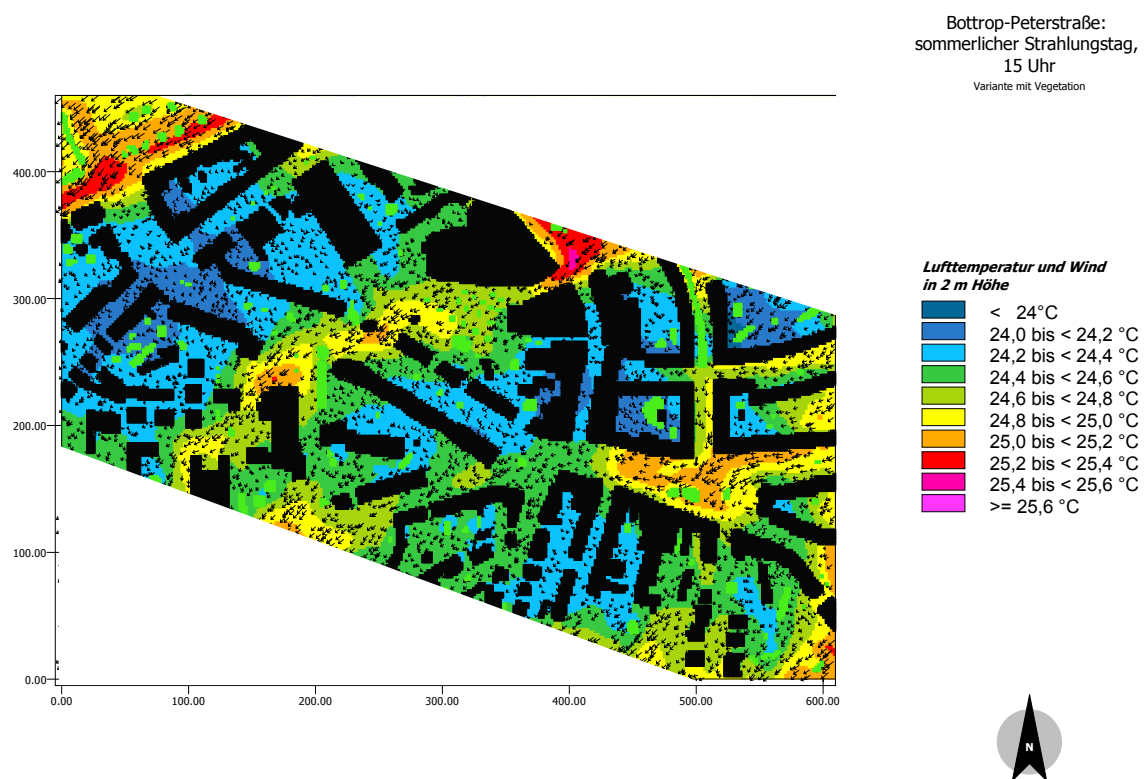


Abb. 5-4 Lufttemperaturen und Wind im Modellgebiet Bottrop-Peterstraße mit Vegetation (Eigene Darstellung RVR)

Zum besseren Vergleich der beiden Ergebnisse sind in der Abbildung 5-5 die Temperaturabweichungen zwischen den beiden Varianten dargestellt. Im gesamten Modellgebiet liegen die Lufttemperaturen der unbegrünten Variante um mindestens 0,2 K über denen der grünen Ist-Situation. Besonders deutliche Abweichungen, die nahezu 2 K erreichen, zeigen sich im Nordosten des Modellgebietes, wo eine intensive Straßen- und Innenhofbegrünung vorhanden ist. Die hohen Lufttemperaturen am Nordwestende des Modellgebietes in der unbegrünten Variante sind auf eine versiegelte Parkplatzfläche, die sich tagsüber bei Sonneneinstrahlung stark erwärmt, zurückzuführen. Hier zeigt sich im Vergleich zur Variante mit Vegetation, dass schon vereinzelte Bäume im Parkplatzbereich zu einer Absenkung der Lufttemperaturen um rund 1 K führen können.

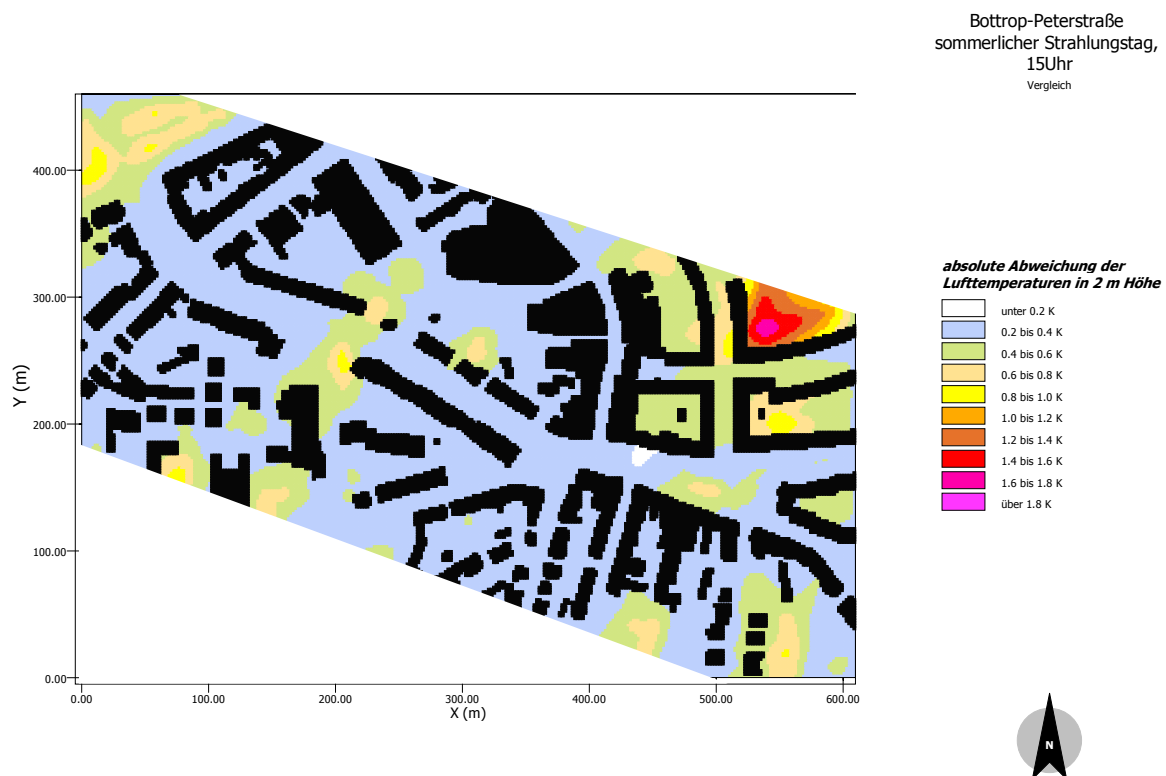


Abb. 5-5 Lufttemperaturabweichungen zwischen den Varianten ohne und mit Vegetation im Modellgebiet Bottrop-Peterstraße (Eigene Darstellung RVR)

Anhand des Modellergebnisses der Ist-Situation (Variante mit Vegetation, Abb. 5-4) können Bereiche im Verlauf der Peterstraße identifiziert werden, die eine Überwärmung zeigen. Hier können Maßnahmen zur Verringerung der Aufheizung an einem sommerlichen Strahlungstag, wie eine Erhöhung des Vegetationsanteils, Entsiegelungen von Parkplatz- und Innenhofflächen oder offene Wasserflächen zu einer Absenkung der Lufttemperaturen beitragen.

5.2 Werkstatt in der Modellstadt Dortmund

5.2.1 Ablauf und Ergebnisse der Werkstatt in Dortmund

Die ganztägige Werkstatt fand am 31. August 2009 im Umweltamt der Stadt Dortmund statt. Aus der Stadt Dortmund nahmen sowohl Vertreter/innen des Umweltamts (einschließlich Untere Immissionsschutzbehörde, Untere Wasserbehörde, Untere Landschaftsbehörde), des Geschäftsbereichs Stadtgrün und des Gesundheitsamts als auch des Stadtplanungs- und Bauordnungsamts sowie des Tiefbauamts teil. Nach einer kurzen Begrüßung und Vorstellungsrunde wurden zunächst die Arbeitsgrundlagen vorgestellt:

- Ziele des Vorhabens und Struktur des Handbuchs (Präsentation durch den RVR),
- Folgen des Klimawandels für die Stadt Dortmund (Präsentation durch die Universität Duisburg-Essen, Abt. Angewandte Klimatologie und Landschaftsökologie),
- Ausgangslage in der Stadt Dortmund (Präsentation durch die Stadt Dortmund).

Die Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Geographie, hat vorbereitend für die Werkstatt die Folgen des Klimawandels kleinräumig für die Stadt Dortmund analysiert. Die Daten für die Modellrechnungen mit dem STAR II Modell liefert in Dortmund die Stadtstation des LANUV. Diese Messstation befindet sich nördlich der Innenstadt auf der Höhe des Fredenbäumeparks. Extremereignisse, wie das Starkregenereignis im Juli 2008, werden im Modell nicht dargestellt, sondern die Dekadenmittelwerte. Zusammenfassend zeigen die Modellprojektionen, dass die Entwicklung für die Modellstadt Dortmund in etwa dem NRW-Trend entspricht. Für die Dekade 2051-2060 wird ein Temperaturanstieg von rund 2 K projiziert. Die konkreten Zahlen als Ergebnis der Modellprojektionen für den Zeitraum 2051-2060 geben nur ein mögliches Szenario und nicht die tatsächlich eintreffenden Werte wieder:

- Anstieg der Jahresmitteltemperatur von 1,9 K
 - Rückgang der Eis- und Frostage um 60 Prozent bzw. 40 Prozent
 - Zunahme der Sommertage um 80 Prozent
 - Zunahme der Heißen Tage um 240 Prozent
 - Verdreifachung von Tropennächte
 - Zunahme der Tage mit Wärmebelastung von 7 auf 18 Tage (150 Prozent)
- Abschwächung der Durchlüftung
- Anstieg der Jahresniederschlagssumme von 36 Prozent
 - Saisonale Verschiebung vom Sommerregen- zum mediterranen Winterregenklima
 - Zunahme von regenreichen Tagen bis zu 14 Prozent

In der Stadt Dortmund finden – gesteuert über das Instrument des Flächennutzungsplans – „klassische“ stadtklimatologische Maßnahmen bereits Anwendung. Dies sind vor allem folgende Maßnahmen:

- Bachtäler freihalten,
- Kaltluftentstehungsgebiete schützen (Ardeyhänge; Stadt Dortmund hat die Waldflächen erworben).

Weitere Maßnahmen finden bisher keine Berücksichtigung. Stadtklimatische Aspekte werden im Rahmen des Beteiligungsverfahrens für Bebauungsplanverfahren und Bauanträge seitens

des Umweltamtes geprüft, jedoch unterliegen diesbezügliche Anregungen wie alle anderen Belange der Abwägung.

Im Rahmen der Identifikation von Problemfeldern wurde in Dortmund die Innenstadt klimatisch gesehen als ein hoch belasteter Bereich erkannt. Dort sind Begrünungsmaßnahmen jedoch aufgrund fehlender Freiflächen schwierig, so dass hier lediglich stadtklimagerechte Fassadengestaltung oder Dachbegrünungen in Betracht gezogen werden können. Im Zusammenhang mit der Stadterneuerung wird daher innerhalb festgelegter Stadterneuerungsgebiete ein Programm zur Fassadenbegrünung und Dachbegrünung verfolgt, im Rahmen dessen für 2010 Mittel für die Innenstadt beantragt wurden. Die Mittel stammen aus Städtebauförderungsmitteln des Landes mit einem geringen Eigenanteil der Stadt Dortmund. Mindestens zur Hälfte müssen sich Eigentümer bzw. ggf. Mietergemeinschaften beteiligen.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer haben für die Stadt Dortmund folgenden Handlungsbedarf und Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert:

- Entsiegelung,
- Einrichtung und Freihalten von Notwasserwegen,
- Wiedernutzung von Brachen für große, zusammenhängende Grünflächen und Grünvernetzung,
- Sensibilisierung aller Ressorts,
- Sensibilisierung der politischen Ebene,
- Regenwasserbewirtschaftung,
- Vorhandene Instrumente und Maßnahmen auch beim Klimawandel nutzen (z. B. Umweltqualitätsziele zur Freiraumentwicklung (Freiraummodell) oder dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (im Rahmen der IBA),
- Unterscheidung Bestand/Neubau; Möglichkeiten der kommunalen Einflussnahme auf Vorhaben im Neubau einfacher als im Bestand,
- „Umweltzonen“ für Klimaschutz und Anpassungsstrategien nutzen, Unterstützung hierbei vom Gesetzgeber wünschenswert.

Im Zusammenhang mit dem Handlungsbedarf wurden jedoch auch folgende Hemmnisse erörtert:

- Bei der Dachbegrünung: technische Machbarkeit (Statik im Bestand beachten); Kosten für notwendige Statik (Neubau),
- Unverständnis bei der Bevölkerung (z. B. bei der Flächenbereitstellung für Wasserrückhaltung, Temperaturerhöhung von durchschnittlich 2°C als Folge des Klimawandels wird nicht als Belastung wahrgenommen).

Erste (z. T. realisierte) Lösungsansätze in Dortmund:

- Die neue Flachdachbebauung auf dem Gelände des Dortmunder U-Turms wird vollständig mit Dachbegrünung versehen. Dies wurde im B-Plan – allerdings nicht ausschließlich aus klimatischen Gründen – festgesetzt.
- Es fehlt in Dortmund ein wirtschaftliches Beispiel aus dem Logistik-Bereich, dies wird für die Zukunft angestrebt. Gute Beispiele aus anderen Städten wären hilfreich.

Die im Entwurf des Handbuchs vorgeschlagenen Maßnahmen wurden im Rahmen einer Diskussion von den Teilnehmer/innen nach Relevanz, Umsetzbarkeit und Hemmnissen beurteilt. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass von den Teilnehmer/innen der Stadt Dortmund alle in den Handlungskatalogen genannten Maßnahmen sowohl für den Bestand als auch für den Neubau als relevant eingestuft wurden.

Aus der Diskussion können folgende Ergänzungs- bzw. Änderungswünsche in Bezug auf die Handlungskataloge festgehalten werden:

Handlungskatalog zum Problemfeld „Hitzebelastung“

- Der Begriff „Versiegelungsrate“ (unter Sensitivitäten) wurde kritisch betrachtet. Auch der Begriff „Durchgrünungsrate“ hat sich nicht als geeignet erwiesen, da beide nicht eindeutig quantifizierbar sind. Offene Bodenflächen sind nicht begrünt, aber eben auch nicht versiegelt. Bezogen auf den Hitzestress würden sie sich am ehesten wie versiegelte Flächen verhalten, hinsichtlich des Wasserregimes aber eher wie begrünte Flächen, solange der Boden nicht vollkommen ausgetrocknet ist (in Abhängigkeit auch vom Bodentyp).
- Als zusätzliche Sensitivität sollte der Punkt „geringer Vegetationsanteil“ ergänzt werden. Dies wurde in den Handlungskatalog zur Hitzebelastung (Tab. 4-1) aufgenommen.
- Bei „Einwohnerdichte und Altersstruktur bezogen auf Stadt- und Innenstadtklimatope“ ist die abgestufte Anfälligkeit der Wohnbevölkerung innerhalb der städtischen Problemzonen bezogen auf die Hitze- bzw. Wärmebelastung dargestellt. Industrie und Gewerbe sowie die arbeitende Bevölkerung wurden hier nicht erfasst. Aus Sicht der Stadt Dortmund ist die Abstufung der Anfälligkeiten nur schwer in der Öffentlichkeit zu kommunizieren. Es könnte z. B. der Eindruck der „Nicht-Betroffenheit“ in den gelb markierten Bereichen entstehen. Daher wird dafür plädiert, die Problemzonen in der Karte lediglich einfarbig ohne Abstufung darzustellen. Aus dieser Anregung heraus wurde die Legende zur Karte der Problemgebiete der Hitzebelastung (siehe auch Abb. 5-6) überarbeitet, allerdings die 4stufige Klassifizierung beibehalten. Zusätzlich wurde im Katalog zur Hitzebelastung (Tab. 4-1) unter den Schadenspotenzialen der Punkt „herabgesetzte Produktivität“ aufgenommen.

Handlungskatalog zum Problemfeld „Extremniederschläge“

- Die Maßnahme E9 „Unterführungen mit beidseitigen Entwässerungs-/ Versickerungsgräben“ wird als schwierig eingeschätzt, da die Unterführungen meist sehr tief liegen und kein Platz für entsprechende Gräben vorhanden ist.

In der Werkstatt wurde sowohl ein in Planung befindliches Neubaugebiet als auch ein Gebiet im Bestand für eine genauere Überprüfung der vorgeschlagenen Maßnahmen im Handbuch Stadtklima als geeignet identifiziert.

Neubau:

Der ehemalige Güterbahnhof Ost soll einer neuen Nutzung zugeführt werden: Geplant sind eine aufgelockerte Wohnbebauung und eine Riegelbebauung entlang der im Süden angrenzenden Hamburger Straße mit Einzelhandels- und Büronutzungen. Im Norden der Fläche verläuft auf einem ca. drei Meter höher liegenden Bahndamm eine ehemalige Gleistrasse, die in einen Grünzug mit Fahrradverbindung umfunktioniert wurde. Haupteigentümer der Flächen östlich der Innenstadt ist die aurelis Real Estate GmbH & Co. KG, die nach Schaffung von Planungsrecht

und Baureife die Flächen vermarkten will. Zurzeit stellt die Fläche eine innerstädtische Brache dar. Zwischen Haupteigentümer und Stadtplanung laufen derzeit die Abstimmungen hinsichtlich der Umsetzung der städtischen Qualitätsziele (hier vor allem die Schaffung von Freiräumen).

Das Gebiet wurde im Rahmen der Klimaanalyse betrachtet, die der RVR 2004 für die Stadt Dortmund durchgeführt hat. Dabei wurde die ehemalige Gleistrasse als Ventilationsbahn identifiziert. Das Gebiet ist als versiegeltes Gewerbegebiet dargestellt und es wurden Immissionschutzpflanzungen südlich angrenzend an die Wohnbebauung empfohlen.

Eine Regenwasserbewirtschaftung wird in dem Gebiet voraussichtlich nicht möglich sein. Dagegen sprechen drei Gründe: Die Grundwasserstände sind sehr hoch, es gibt keine Gewässer im Gebiet und es handelt sich um eine Altlastenverdachtsfläche. Daher wird die Ableitung der Oberflächenwasser wahrscheinlich über den Mischwasserkanal erfolgen müssen.

Ausgehend vom geplanten Neubaugebiet „ehemalige Güterbahnhof Ost“ konnten folgende (kritische) Punkte sowie besonders wichtige und anzustrebende Maßnahmen aus der Diskussion festgehalten werden:

- Die Maßnahmen H4 bis H8 aus dem Bereich II (Belastungen/Sensitivitäten) des Handlungskatalogs (z. B. Dachbegrünung) können entweder über Festsetzungen im B-Plan oder über städtebauliche Verträge umgesetzt werden.
- Die Maßnahmen H6 bis H15 aus dem Bereich III (Fehlfunktionen des Systems) des Handlungskatalogs sollten sinnvoller Weise in städtebaulichen Verträgen geregelt werden.

Aus klimatologischer Sicht müssten folgende Punkte/Maßnahmen beachtet werden:

- Funktion der Grünflächen (z. B. Grünzug auf ehemaliger Bahntrasse),
- Struktur der Wohnbebauung (aufgelockerte Wohnbebauung ist vorgesehen),
- Begrünung von Straßenzügen (wird in Dortmund im Rahmen von Planungen grundsätzlich bedacht),
- Kaltluft im Wohngebiet,
- Energetische Optimierung (Verschattung, Ausrichtung zur Sonne),
- Versickerung möglichst in der Fläche.

Folgende Hemmnisse könnten den Zielen entgegenstehen:

- Ungünstiges Kosten- / Nutzenverhältnis der jeweiligen Maßnahme;
- fehlende Bereitschaft/Akzeptanz des Investors zur Umsetzung der jeweiligen Maßnahme.

Bestand:

Das 155 ha große Stadtumbaugebiet Rheinische Straße ist durch eine vorrangig viergeschossige Gründerzeitbebauung in einer hoch verdichteten Gemengelage gekennzeichnet. Das Gebiet grenzt westlich an die Innenstadt und wird von zwei Bahntrassen durchschnitten. Innerhalb des Quartiers gibt es weder eine ausreichende Begrünung noch größere, zusammenhängende Grünflächen, Straßengrün ist jedoch vorhanden. Direkt südlich angrenzend liegt der etwa 10 ha große Westpark (klimatisch untersucht von Bongardt 2006). Die Rheinische Straße ist die Ein- bzw. Ausfallstraße nach Westen und die Hauptverkehrsverbindung zwischen der Innenstadt und den westlichen Stadtteilen.

Stadtklimatologisch betrachtet handelt es sich um einen hoch belasteten Raum, der aufgrund der dichten Bebauung den Luftaustausch nur schlecht gewährleistet. Der RVR, der 2004 auch für dieses Gebiet die klimatische Situation analysiert hat, empfahl eine Begrünung und Entsiegelung der Innenhöfe, um die Schaffung abgeschlossener, klimatisch günstiger Bereiche zu ermöglichen. Das Quartier ist einer der CO₂-Minderungsschwerpunkte und liegt innerhalb der Dortmunder Umweltzone. Neben der stadtklimatischen Problemsituation stellt das Gebiet auch einen sozialen Brennpunkt dar und soll mithilfe des Stadtumbauprozesses aufgewertet werden.

In Bezug auf Maßnahmen im Bestand konnten aus der Diskussion (bezogen auf das Beispiel „Rheinische Straße“) folgende Punkte festgehalten werden:

- mit Parks/Miniparks auf vernachlässigten Grundstücken „Klimaoasen“ schaffen,
- Fernwirkung Westpark fördern (s. Bongardt 2006),
- Notwasserweg und Zwischenspeichermöglichkeiten schaffen,
- Gezielte Verschattung stark frequentierter Bereiche,
- Quartiersbüro vor Ort auch für Information/Beratung zum Klimawandel und zu Extremniederschlägen nutzen,
- Dachbegrünungsprogramm der Stadt nutzen.

Über die bereits dargestellten Hinweise hinaus wurden zum Abschluss der Werkstatt von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern weitere Anregungen, Ansätze und Ideen zur Realisierung von Anpassungsstrategien genannt:

- Stadt mit einfachen Mitteln von „außen“ klimatisieren, z. B. Grünanlagen an heißen Tagen fein verdüst bewässern. So kann auch für die Bevölkerung eine abkühlende Wirkung erzeugt und für Erleichterung gesorgt werden.
- Mit offenen Wasserflächen Verdunstungspunkte schaffen (soll in Dortmund z. B. mit dem Umbau der Kampstraße als Boulevard mit integriertem Wasserlauf erfolgen).
- Arkadenbauweise in der Innenstadt kann sowohl Schutz vor Sonneneinstrahlung als auch vor Regen bieten.
- Die Maßnahmen bzw. Lösungen im Bereich „Extremniederschläge“ sind zu abstrakt und sollten stärker mit Beispielen für Planer unterfüttert werden. Dies wurde bei der Beschreibung der Maßnahmen E1 bis E10 (Kap. 4.1.3) berücksichtigt.
- Der in Dortmund politisch einberufene „Konsultationskreis Energieeffizienz und Klimaschutz“ ist ein gutes Beispiel für bereits funktionierende Arbeitsstrukturen. Der Arbeitskreis wird für den Bereich der Klimafolgenanpassung als gut übertragbar eingeschätzt.
- Die Auswirkungen der Temperaturerhöhung von durchschnittlich 2 K als Folge des Klimawandels sollten im Handbuch deutlicher und anhand von Beispielen (Auswirkung in der Wärmeinsel Innenstadt) dargestellt werden. Erläuterungen und Beispiele hierzu finden sich im Kapitel 3.2 („Folgen des Klimawandels in den Problemfeldern“).
- Das Handbuch kann jedoch nicht alle städtischen Problemgebiete behandeln; es müssen Prioritäten gesetzt und eine Übertragbarkeit auf andere Kommunen des Ruhrgebiets sichergestellt werden.
- Mit dem Handbuch soll auch die Klimarelevanz derjenigen Maßnahmen transportiert werden, die ohnehin umgesetzt werden (müssen) (No-Regret-Maßnahmen). Positive Beispiele hierfür sind in das Kapitel 4.3.2 „Synergien“ eingeflossen.

5.2.2 Lokalisierung von Problemgebieten mit erhöhter klimatischer Belastung in Dortmund

Die nach der im Kapitel 3.3 erläuterten Methode abgegrenzten Problemgebiete mit erhöhter klimatischer Belastung für den Menschen sind für das Stadtgebiet von Dortmund in der Abbildung 5-6 dargestellt. Dortmund zeigt wie die anderen Großstädte des Ruhrgebietes im Bereich der gesamten Innenstadt große, zusammenhängende Flächen mit überwiegend erhöhter bis extrem hoher Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen. Als Folge der Industrialisierung entwickelten sich diese Städte zu Großstädten mit einem deutlichen Stadtzentrum, das aufgrund der hohen und dichten Bebauung eine großflächige und zusammenhängende städtische Wärmeinsel ausbildet. Für die Problemgebiete mit hoher oder, aufgrund des überdurchschnittlichen Anteils älterer Menschen über 65 Jahre, extrem hoher Anfälligkeit besteht dringender Handlungsbedarf für Maßnahmen zur Abschwächung der klimatischen Belastung des Menschen. Randgebiete der Innenstadt mit genereller oder erhöhter Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen können ohne Berücksichtigung der Anpassungsstrategien an den Klimawandel in Zukunft zu Problemgebieten höherer Stufe werden.

Auch in den die Dortmunder Innenstadt umgebenden Industrie- und Gewerbegebiete können bei hoher Versiegelung Hitzebelastungen, weniger für die Wohn- als für die Arbeitsbevölkerung auftreten. Auch hier kann der Handlungskatalog für das Problemfeld „Hitzebelastung“ wirksam Abhilfe schaffen.

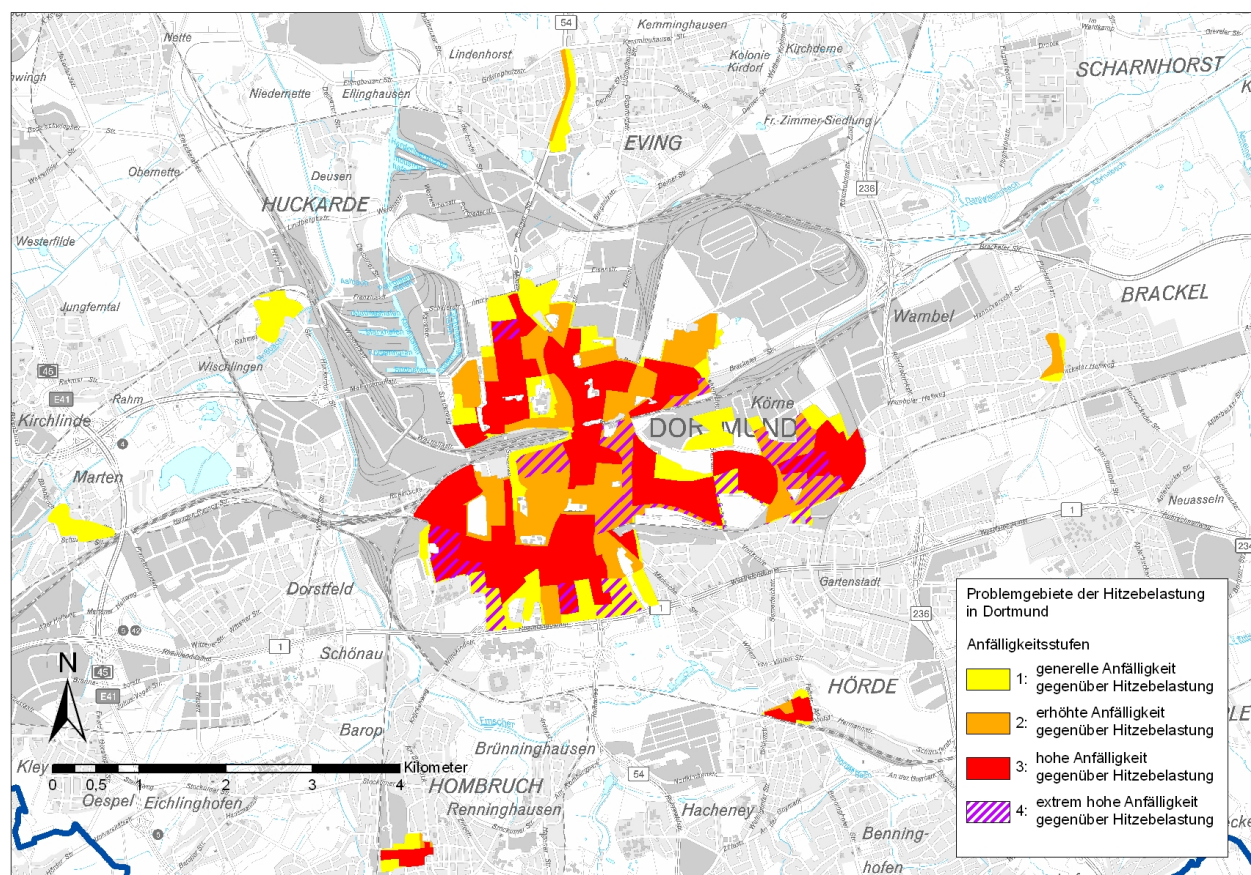


Abb. 5-6 Problemgebiete der Hitzebelastung in Dortmund (Eigene Darstellung RVR)

5.2.3 Mikroskalige beispielhafte Modellberechnungen für Dortmund

Der effiziente Einsatz von Anpassungsmaßnahmen ist nur dann gewährleistet, wenn im Vorfeld diejenigen Bereiche identifiziert werden, in denen der dringendste Handlungsbedarf besteht, und abgeschätzt wird, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Nutzen erreicht werden kann. Zur Analyse der Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells sinnvoll. Ein solches Simulationsmodell berücksichtigt die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen urbanen Elementen wie Bebauung und Vegetation und der Atmosphäre. Auf diesem Weg ist sowohl eine Planung ohne Auftreten neuer Belastungen als auch die Optimierung bereits vorhandener Strukturen möglich (Bruse 2003). Zu diesem Zweck kann beispielsweise das an der Ruhr-Universität Bochum entwickelte Computermodell ENVI-met (www.envi-met.com) eingesetzt werden. Weitere Informationen über mikroskalige Modellierungen finden sich im Kapitel 2.1.3.3 und im Kapitel 4.1.2 unter der Anpassungslösung H3.

Für die Modellstadt Dortmund wurde beispielhaft die geplante Neubebauung des ehemaligen Güterbahnhofs Ost simuliert (Modellgebiete siehe Abb. 5-7 und 5-8). Eine Beschreibung dieses Neubauvorhabens findet sich im Kapitel 5.2.1.



Abb. 5-7 Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: Brache Güterbahnhof Ost (Eigene Darstellung RVR)



Abb. 5-8 Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: geplante Bebauung (Eigene Darstellung RVR)

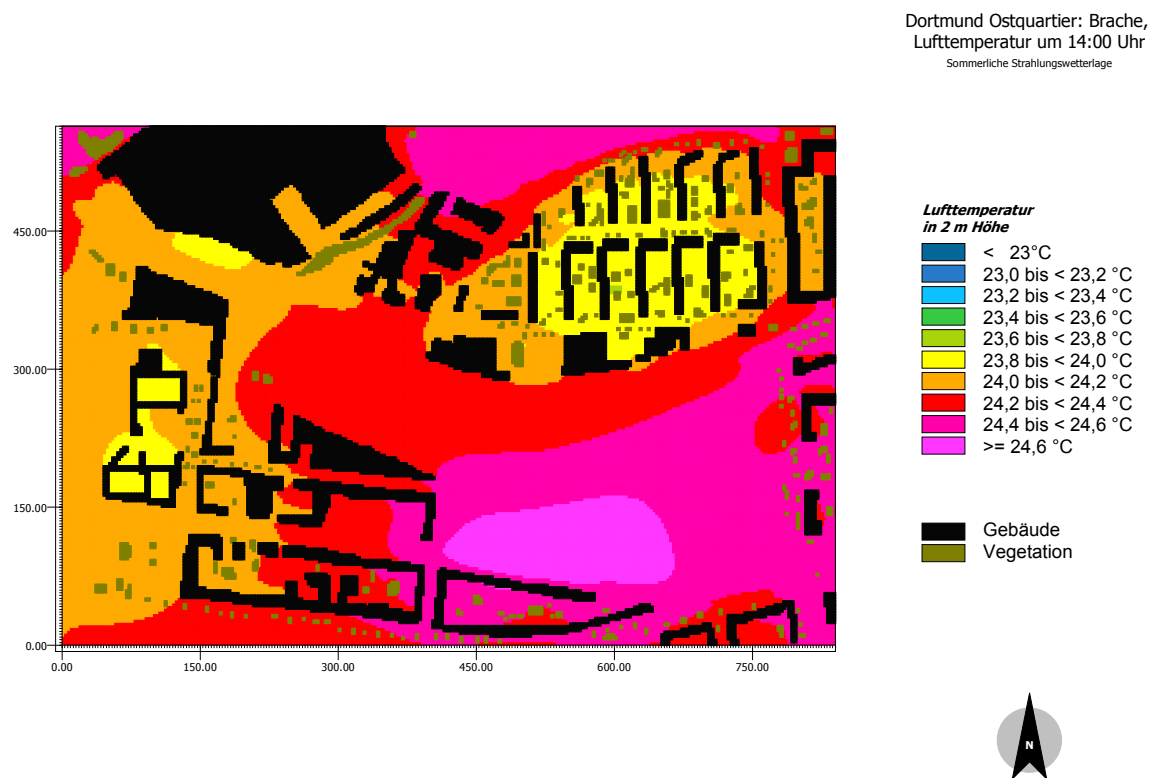


Abb. 5-9 Lufttemperaturen im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: Brache Güterbahnhof Ost
(Eigene Darstellung RVR)

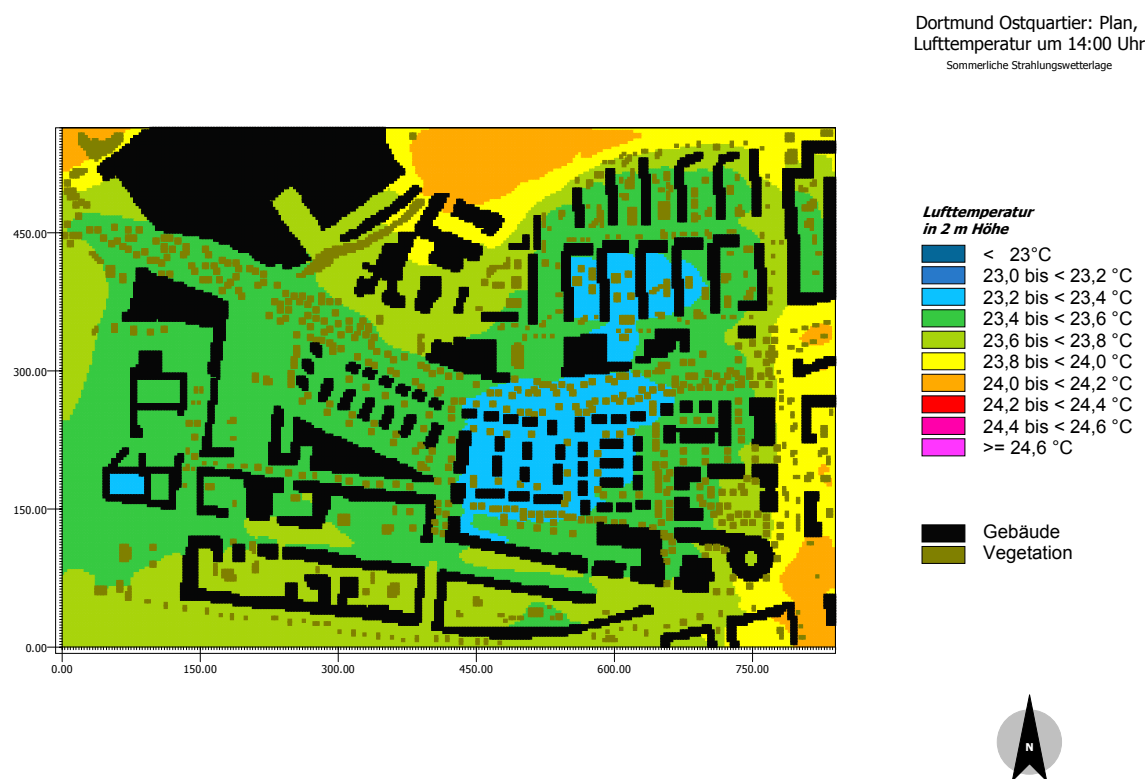


Abb. 5-10 Lufttemperaturen im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier: geplante Bebauung
(Eigene Darstellung RVR)

Die Darstellungen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 14 Uhr für die beiden gerechneten Varianten (Abb. 5-9 und 5-10) zeigen, dass sich die versiegelte Brachfläche tagsüber stark aufheizt. Eine lockere und stark begrünte Bebauung und vor allem die Begrünung der ehemaligen Gleistrasse führt zu deutlich niedrigeren Lufttemperaturen. Die Ergebnisse der Lufttemperaturabweichungen um 14 Uhr zwischen den beiden Varianten (Abb. 5-11) unterstreichen die Bedeutung der ehemaligen Bahntrasse als Luftleitbahn. Den stärksten Effekt der Verringerung der Aufheizung am Tag erkennt man zwar im Zentrum der Brachfläche, bedeutender ist aber die nach Westen entlang der Bahnlinie ziehende Abkühlung um mehr als 0,5 K.

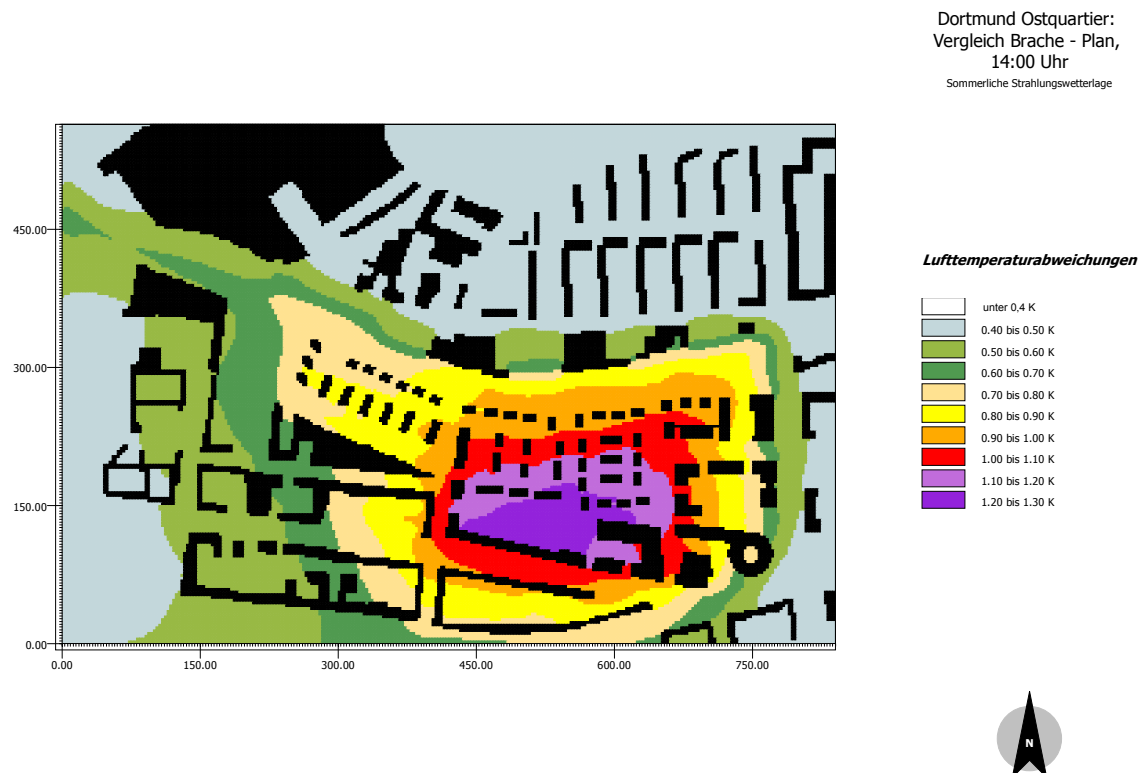


Abb. 5-11 Lufttemperaturabweichungen um 14 Uhr zwischen den Varianten „Brache“ und „Plan“ im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier (Eigene Darstellung RVR)

In der Nacht gleichen sich die Lufttemperaturen der beiden Varianten wieder an (Abb. 5-12), für das Zentrum der Brachfläche wurden für 24 Uhr maximal 0,5 bis 0,6 K höhere Temperaturen berechnet. Die Brachfläche kühlt sich aufgrund der stärkeren Ausstrahlung und der besseren Durchlüftung nachts viel stärker ab und erreicht damit trotz der tagsüber erheblich höheren Lufttemperaturen nachts fast das Niveau der Variante mit der geplanten Bebauung. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Aufheizung tagsüber durch die geplante Bebauung und vor allen durch die Begrünung deutlich vermindert wird, auf der anderen Seite aber die Bebauung durch Wärmespeicherung und Verringerung der Durchlüftung nachts zu einer eingeschränkten Abkühlung führt. Hier sollten durch Entsiegelungsmaßnahmen, auch z. B. Dachbegrünungen, die Wärmespeichermöglichkeiten verringert und die Durchlässigkeit der Gebäudestruktur für eine bessere Durchlüftung bei Schwachwindlagen erhöht werden.

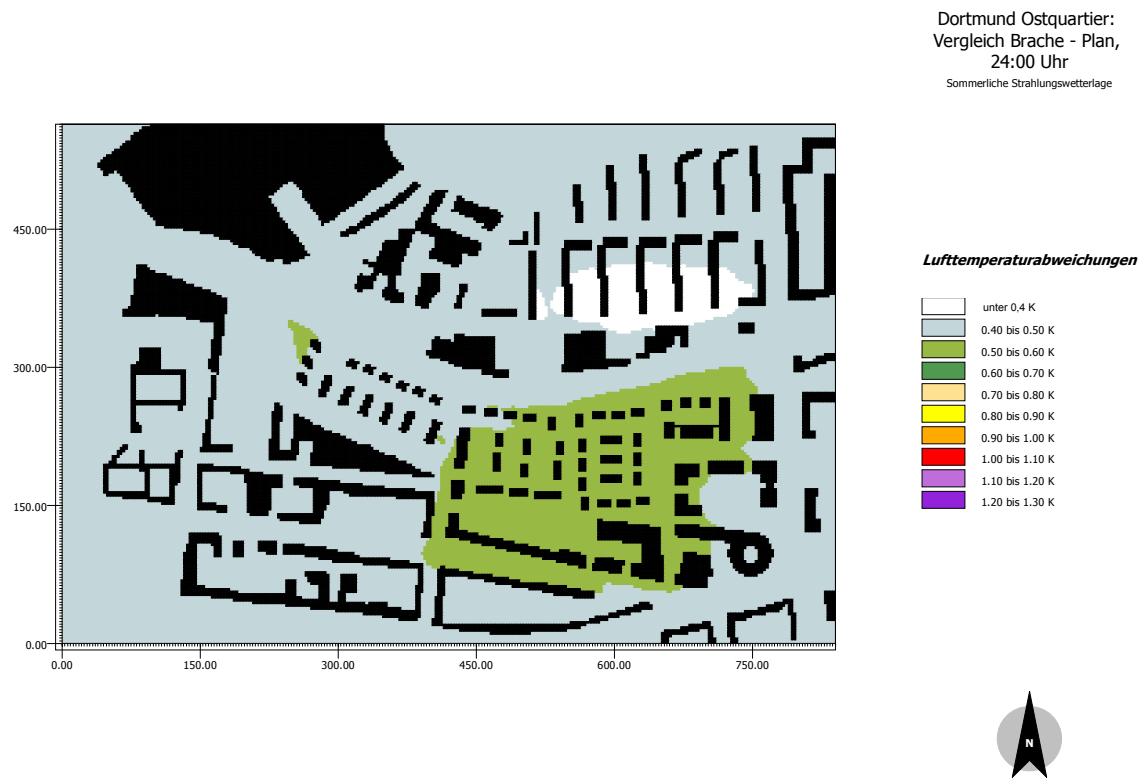


Abb. 5-12 Lufttemperaturabweichungen um 24 Uhr zwischen den Varianten „Brache“ und „Plan“ im Modellgebiet Dortmund-Ostquartier (Eigene Darstellung RVR)

5.3 Telefonische Befragung weiterer Kommunen

Zur Vertiefung der Ergebnisse aus den Werkstätten in den beiden Modellkommunen wurden im Rahmen der Arbeit am Handbuch fünf weitere Kommunen des Ruhrgebiets telefonisch befragt. Aus den Städten Duisburg, Essen, Gladbeck, Hagen und Mülheim an der Ruhr standen jeweils ein/e Vertreter/in aus dem Umweltressort und ein/e Vertreter/in aus dem Planungsressort als Interviewpartner zur Verfügung. Zur besseren Vorbereitung wurden den beteiligten kommunalen Vertreter/innen im Vorfeld der Interviews eine kurze Übersicht des Handbuchentwurfs und ein Interviewleitfaden mit den Fragestellungen zugeleitet. Die insgesamt zehn Befragungen wurden zwischen dem 4. Dezember 2009 und dem 18. Januar 2010 geführt, dauerten jeweils etwa 30 bis 45 Minuten und umfassten folgende Fragestellungen:

- Welche Probleme sind in Bezug auf den Klimawandel in Ihrer Stadt bereits identifiziert worden?
z. B. Überwärmung der Innenstadt/bestimmter Innenstadtbereiche
- Wie werten Sie die unterschiedlichen Probleme, die sich zum einen im Bestand (*z. B. Interessenskonflikte wie Innenverdichtung vor Außenentwicklung vs. Flächensparen für Durchgrünung und Durchlüftung, zu hohe Grundstückspreise im Innenstadtbereich für Freiflächennutzung*) und zum anderen im Neubau (*z. B. Bebauung von Frischluftschneisen*) ergeben können? Ist ggf. die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in einem der beiden Bereiche problematischer? Wenn ja, warum?
- Wurden bereits Lösungsansätze diskutiert/formuliert oder konkrete Maßnahmen zur Problemlösung ergriffen? Wenn ja, welche sind dies? Informationen zur Art der Maßnahme (*z. B. Modellprojekt, Förderprogramm etc.*).
- Welche Standard-Festsetzungen werden in B-Plänen getroffen, die auch der Anpassung an den Klimawandel dienen?
z. B. Straßenbaumbegrünung, Freiflächen für Versickerung und Ausgleich
- Werden zusätzliche Festsetzungen in B-Plänen getroffen, die (auch/vor allem) der Anpassung an den Klimawandel dienen?
z. B. Dach- und/oder Fassadenbegrünung
- Welche Hemmnisse sehen Sie in Bezug auf die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel?
z. B. Investitionshemmnisse, Interessenskonflikte
- Wer ist bei Ihnen für die Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel bzw. für Klimaschutz/Klimawandel zuständig?
 - Wenn die Federführung für dieses Thema in Ihrem Amt/Ressort liegt: Werden andere Ämter/Ressorts beteiligt?
 - Wenn die Federführung in einem anderen Amt/Ressort liegt: Welches? Wird Ihr Amt/Ressort beteiligt?
 - Gibt es generelle oder themenbezogene Abstimmungsrunden?
 - Wie beurteilen Sie die Zusammenarbeitsstrukturen?

Aus den Ergebnissen der geführten Interviews lassen sich zunächst einige grundsätzliche Hinweise ableiten. Aufgefallen ist vor allem, dass die Unterscheidung zwischen Klimaschutz und -anpassung und auf diese Ziele gerichtete Maßnahmen noch unzureichend ist. So stehen Maßnahmen zum Klimaschutz, zur Energieeffizienz und zur Energieeinsparung bisher im Vordergrund der Arbeit und weniger bzw. nur untergeordnet das Thema der Klimafolgenanpassung. Das Bewusstsein in der Öffentlichkeit ist jedoch in den vergangenen Jahren gestiegen und durch die zunehmend an die Stadtverwaltungen herangetragenen Umsetzungsforderungen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel damit auch der Handlungsdruck. Die Bewusstseinsbildung ist auf Eigentümerseite gerade in Bezug auf die Durchsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung.

In allen fünf befragten Kommunen liegen Klimaanalysen des jeweiligen Stadtgebietes vor. Bereits Anfang der 1990er Jahre wurde durch den RVR ein Klimagutachten für die Stadt Gladbeck erstellt, in dem u. a. eine Wärmeinsel in der Innenstadt dargestellt und auch dargelegt wurde, dass die sehr gute Durchgrünung des Stadtgebietes unbedingt erhalten bleiben muss. 1997 wurde ebenfalls durch den RVR für das Hagener Stadtgebiet eine Klimaanalyse erarbeitet. Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Klimadaten und lufthygienischen Verhältnissen flossen in zwei Planwerke ein: zum einen in die synthetische Klimafunktionskarte, mit einer Gliederung der Stadt unter klimatologischen Gesichtspunkten und den spezifischen Klimateigenschaften und zum anderen in eine Karte mit Planungsempfehlungen für bioklimatische Ausgleichsräume sowie die verschiedenen Lasträume. Betrachtet werden unterschiedliche Klimatope (Freiland, Gewässerklimate, etc.), aber auch die nachteiligen Auswirkungen der hoch verdichteten Innenstadt und die Wirkungen des Luftaustausches und der Filterfunktionen der Vegetation. Die Planwerke wurden vorrangig mit dem Ziel des Erhalts der klimaökologischen Ausgleichsfunktionen und der Vermeidung von Freiflächenversiegelungen erstellt; Klimafolgenanpassung spielte zum Zeitpunkt der Erstellung nur eine sehr geringe Rolle. Für die Städte Essen und Mülheim an der Ruhr liegen seit 2002 bzw. 2003 Klimaanalysen vor, in denen u. a. Gunst- und Ungunsträume in Verbindung mit Lufthygiene, Luftleitbahnen, horizontalen und vertikalen Vernetzungen von Grünräumen etc. für bestimmte Sektoren und Teilräume im Stadtgebiet unterschieden werden. Für die Stadt Duisburg wird zurzeit durch den RVR eine neue Klimaanalyse erarbeitet. Diese soll noch in 2010 fertig gestellt werden und u. a. Aufschluss über innerstädtische Wärmeinseln bringen. Die Klimaanalysen werden von den Umweltressorts in der Regel bei Fachstellungnahmen und Umweltprüfungen im Rahmen der Bauleitplanung zu Grunde gelegt. Die Planwerke dienen als Beurteilungsgrundlage und die dort getroffenen Aussagen fließen in die Abwägung ein.

Probleme in Bezug auf den Klimawandel wurden in allen an den Interviews beteiligten Städten bereits identifiziert. In erster Linie sind dies Wärmeinseln in den Innenstädten und Innenstadtüberwärmungen, aber auch Starkniederschläge, die in den letzten Jahren vor allem in den Sommermonaten zugenommen und vielerorts zu (Keller-)Überschwemmungen geführt haben. In Gladbeck wird fast das gesamte Stadtgebiet künstlich entwässert und liegt im Pumpengebiet der Emschergenossenschaft. Da die Pumpen nur auf ein etwa 100-jähriges Ereignis ausgelegt sind, reichte deren Leistung bei einem Starkregen im Mai 1998 nicht aus. Die Starkregenereignisse im Juli/August 2008 haben beispielsweise auch in der Stadt Essen problematische Auswirkungen gehabt. Ein weiteres identifiziertes Problem in Essen sind Trockenperioden, die in den letzten Jahren insbesondere bei zeitgleichen Inversionswetterlagen zu Luftqualitätsproblemen geführt haben. Die Ansammlung von Luftschadstoffen, vor allem Stickstoff und Ozon, wer-

den in diesen Phasen extrem begünstigt. In Mülheim an der Ruhr sorgten u. a. im Juli 2009 Unwetter für Überschwemmungen auf Straßen und Überschwemmungen von zahlreichen Kellern. Auch ist die Wasserqualität in Teichen und Gewässern zunehmend ein Problem. Cyanobakterien, die sich bei hohen Temperaturen in nährstoffreichen Seen massenhaft vermehren können, treten z. B. in Gladbeck in letzter Zeit häufig auf. Da sie giftig sind, kann dies gefährlich für Menschen und Tiere werden. Es wurden und werden finanzielle Mittel im städtischen Haushalt bereitgestellt, um die Nährstoffe zu binden und die Wasserqualität zu verbessern. In Duisburg werden – abgeleitet aus der Anpassungsstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen – z. B. eine Verstärkung der Regenereignisse und eine Verschiebung derselben von den Sommer- in die Wintermonate erwartet. Bei der räumlichen Verteilung der Temperaturtrends ist im Landesvergleich eine tendenziell etwas schwächere Erwärmung am Niederrhein zu erkennen. Aufgrund der bereits heute wärmeren Temperaturen ist aber zu erwarten, dass im nordrhein-westfälischen Vergleich auch langfristig am Niederrhein die höchsten Durchschnittstemperaturen zu verzeichnen sein werden.

Aus Sicht der befragten Städte sind Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im **Bestand** schwieriger als **Neubaumaßnahmen**, die wesentlich größere Spielräume aufweisen. Als ein Grund für die Schwierigkeiten, im baulichen Bestand der Innenstädte Anpassungsmaßnahmen umzusetzen, wurden mangelnde finanzielle Ressourcen genannt. Beim Neubau ist das insofern anders, als dass die strengereren gesetzlichen Vorgaben in jedem Fall erfüllt werden müssen. Ebenfalls bestätigt wurden die Konflikte zwischen verschiedenen Interessen, wie z. B. zwischen „Innenverdichtung vor Außenentwicklung vs. Flächensparen für Durchgrünung und Durchlüftung“. In den beteiligten Städten existieren Bereiche – mit unterschiedlichen Flächenanteilen vom jeweiligen Stadtgebiet – mit hoher Verdichtung und nur wenigen Freiflächen. In diesen Bereichen können daher in der Regel nur noch wenige Neubaugebiete ausgewiesen werden und die Siedlungsentwicklung ist eingeengt. Es geht in planerischer Sicht also immer darum, die vorhandenen Siedlungsflächen besser zu qualifizieren oder stärker zu verdichten. In Siedlungsbereichen gibt es auch zu wenig Flächen für die wohnungsnahe Freizeitgestaltung.

Von den befragten Kommunen wurden zahlreiche, unterschiedliche **Lösungsansätze und konkrete Maßnahmen** genannt, die bereits in den Bereichen Klimaschutz und Klimawandel formuliert bzw. ergriffen wurden. Die Palette reicht von konkreten (teilweise von Bund oder Land geförderten) Projekten und Maßnahmen über aufgelegte kommunale Förderprogramme und Leitlinien für das städtische Handeln. Eine saubere Trennung der beiden Bereiche war teilweise schwierig. Festzuhalten ist auch, dass ein weitaus größerer Teil der kommunalen Aktivitäten in erster Linie dem Klimaschutz gewidmet ist und nur bedingt oder ungeplant auch der Anpassung an den Klimawandel dient. Nachfolgend werden beispielhaft einige der genannten, vorbildlichen Projekte und Anpassungsmaßnahmen aufgeführt:

- Die Städte Duisburg, Essen, Gladbeck und Mülheim an der Ruhr sind Mitglieder und Projektpartner im Projekt DynaKlim unter der Projektkoordination des Forschungsinstituts für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH-Aachen. In diesem Projekt wird die Emscher-Lippe Region unter dem Gesichtspunkt Wasserwirtschaft betrachtet. Es sind weitere Kommunen aus der Region an dem auf fünf Jahre ausgelegten Projekt beteiligt.
- Die Städte Duisburg, Essen, Gladbeck und Mülheim an der Ruhr sind Unterzeichner der „Zukunftsvereinbarung Regenwasser“. Diese wurde 2005 von der Emschergenossenschaft mit insgesamt 17 Ruhrgebietsstädten und dem MUNLV getroffen. Ziel der Verein-

barung ist es, bis 2020 15 Prozent der Abwassermenge vom Kanalisationsnetz abzukoppeln. Die Vereinbarung hat sowohl einen ökologischen als auch einen ökonomischen Aspekt: Zum einen soll das Niederschlagswasser dem natürlichen Kreislauf oberirdisch wieder zugeführt und zum anderen soll die Dimension der Abwasseranlagen reduziert werden.

- In Duisburg werden bereits Entsiegelungsmaßnahmen durchgeführt. Beispielsweise wird ein ehemaliges Wohngebiet rückgebaut und in einen Grüngürtel umgewandelt, der zur stärkeren Abschirmung der Wohnbebauung von angrenzenden Industriegebieten dienen soll. Hier stehen Belange des Immissionsschutzes und stadtklimatische Aspekte im Einklang.
- Auch in der Stadt Essen konnte ein ca. 20 ha großes, ehemals industriell genutztes und unzugängliches Krupp-Gelände in eine öffentlich nutzbare Park- und Waldfläche umgestaltet und der Öffentlichkeit als Krupp-Park im August 2009 übergeben werden. Ein See, der von den Dachflächen des ThyssenKrupp Headquarters gespeist wird, wurde inmitten des Parks angelegt. Durch die Parkanlage konnten die Luftleitbahnen in dem ansonsten hochverdichteten Stadtraum gesichert werden.
- Im Umweltamt der Stadt Hagen wurden in den Jahren 2007/2008 von der Unteren Wasser- und Bodenschutzbehörde GIS-gestützte Hochwassergefahrenkarten erstellt. Das Projekt wurde mit Landesmitteln gefördert. Es wurde zudem ein Hochwasserfrühwarnsystem an einem Teilabschnitt des Holthäuser Baches eingerichtet. Dazu wurde ein dynamisches Pegelmesssystem installiert. Dieses liefert Informationen zu Wasserständen, und die Feuerwehr und andere Stellen können Vorsorgemaßnahmen ergreifen. Des Weiteren ist geplant, die vorhandenen Hochwassergefahrenkarten stärker unter dem Gesichtspunkt Hochwasserschutz und den Notwendigkeiten von Klimaanpassungsstrategien weiter zu entwickeln.
- Die Stadt Mülheim an der Ruhr vergibt seit Jahren den „Stadtpreis Dachgrün“, um privat begrünte Dächer zu fördern.

Standard-Festsetzungen in Bebauungsplänen, die auch der Anpassung an den Klimawandel dienen, werden in den interviewten Städten nur teilweise bzw. in Hagen gar nicht getroffen. In Duisburg wird jeder Plan einer Einzelfallprüfung unterzogen und da, wo es gesetzlich erforderlich ist, werden Ausgleichsmaßnahmen festgesetzt. In Hagen gibt es Standardabfragen, die für jeden zu erstellenden Bebauungsplan durchgeführt werden. In Mülheim an der Ruhr werden Ausgleichsmaßnahmen hingegen in der Regel festgesetzt. Weiterhin ist die Straßenbaumbegrünung, nicht nur aufgrund klimatologischer, sondern auch aufgrund gestalterischer Aspekte Bestandteil von Bebauungsplänen. Begrünungsmaßnahmen auf Flachdächern werden bei Garagen standardmäßig festgesetzt; bei anderen Dachformen gestaltet sich das schwierig. Vor allem im Wohnbereich ist an solche Standardfestsetzungen aufgrund der geringen Verbreitung von Flachdachlösungen nicht zu denken. Auch in Essen müssen an öffentlichen Verkehrsflächen Baumbepflanzungen vorgenommen werden. Dies gilt auch für private Stellplätze (ein Baum für fünf Stellplätze). Flachdächer von Garagen sind in der Stadt Essen nahezu immer extensiv zu begrünen. Für Flachdächer von Hauptbaukörpern ist im Einzelfall eine Begrünung zu prüfen. Hinsichtlich der Begrünungsmaßnahmen wurde ein Standardkatalog erstellt, der auch Festsetzungen für Gewerbegebiete (Begrünung, Gestaltung nicht überbaubarer Grundstücksflächen) enthält. In Hagen ist z. B. die Pflanzung von Bäumen im öffentlichen Raum auch

wegen der nachhaltigen Unterhaltungskosten nicht mehr ohne weiteres möglich und bedarf daher einer Abwägung. Bei angestrebten Wohnnutzungen wird versucht, die Pflanzung von (Straßen-)Bäumen vom Straßenraum auf die privaten Grundstücke zu übertragen, was jedoch nicht immer gelingt. In Gewerbegebieten wird an der Festsetzung entsprechender Maßnahmen weiterhin festgehalten. Um die vollständigen Versiegelung von Grundstücken zu vermeiden, kommen auf Gewerbe- und Wohnflächen Pflanzgebote zur Anwendung. Diese wirken sich eingriffsmindernd aus und liegen damit auch im Interesse der Grundstückseigentümer. In der Stadt Gladbeck werden Festsetzungen zur Dachbegrünung, Vorgartenvegetation etc. im Einzelfall getroffen. Da aber die Nachhaltigkeit und die rechtliche Grundlage schwierig sind, muss bei Eigentümern und Investoren verstärkt Überzeugungsarbeit geleistet werden.

In Bezug auf die Baugrenzen gibt es in Mülheim an der Ruhr relativ enge Festsetzungen: die Baufenstertiefe im Wohnungsbau beträgt höchstens 14 m. In Bebauungsplänen im Innenbereich werden zudem grundsätzlich niedrigere GRZ und GFZ festgesetzt, als gemäß den gesetzlichen Regelungen der BauNVO möglich wären. Auch in Gladbeck gelingt es teilweise, Freiflächen über die Festsetzung der GRZ zu erhalten.

Auf Grund der Geologie in Gladbeck ist die Versickerung von Regenwasser vor Ort schwierig; dieses muss daher mit Hilfe von Verzögerungsmaßnahmen (Mulden) in Bäche abgeleitet werden. Im Rahmen des Emscher-Umbaus werden auch die Zuflüsse im Stadtgebiet Gladbeck renaturiert. Auch in Mülheim an der Ruhr werden die Festsetzungen zur Versickerung von Regenwasser in Abhängigkeit von den geologischen Voraussetzungen getroffen (Rigolen- oder Schachtsystem). Auch die Hanglage in Hagen stellt besondere Anforderungen an die Versickerung des Oberflächenwassers bzw. dessen geregelte Ableitung. Die Versickerung der Oberflächenwasser auf den Grundstücken – möglichst mit zwingenden Festsetzungen – wird präferiert, wenn die hydrogeologischen Verhältnisse es zulassen. Die Bestimmungen des wasserrechtlichen Handlungskatalogs sind für diesen Bereich maßgeblich.

Die Befragung der fünf Kommunen hat in Bezug auf die Praxis der Festsetzungen in Bebauungsplänen vor allem bestätigt, dass Klimaanpassung aus planerischer Sicht ein Belang (unter vielen anderen) ist, den es in der Abwägung zu berücksichtigen gilt.

Von den beteiligten Interviewpartner/innen wurde eine Reihe von **Hemmnissen** in Bezug auf die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel genannt. Diese zeigen sich sowohl verwaltungsintern als auch -extern. Eine mögliche Ursache für die bisher geringe Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel wird in der Schwierigkeit gesehen, kleinräumige und detaillierte Prognosen bzw. Szenarien der Klimaveränderungen, z. B. für die Innenstädte, darzustellen. Hieraus resultiert ein Vermittlungsproblem hinsichtlich der drohenden Gefahren für Mensch und Umwelt. Das Thema ist bei vielen Akteuren der Stadtverwaltung noch nicht richtig angekommen. Persönliche Betroffenheit ändert dies oft (siehe z. B. die Überschwemmungen in Dresden vor einigen Jahren) oder auch – vor allem bei Firmen – eine Änderung im Gebührenmaßstab (z. B. die Einführung der sogenannten „Versiegelungsgebühr“).

In den Interviews wurden immer wieder auch die politischen Verhältnisse thematisiert: Wenn Klimaschutz und -anpassung nicht sehr weit oben auf der kommunalpolitischen Agenda stehen, ist die Umsetzung von Maßnahmen und die Festsetzung entsprechender Ziele in Bebauungsplänen auf ein Minimum begrenzt. Hinzu kommt, dass Anpassungsmaßnahmen – anders als Klimaschutzmaßnahmen – kaum wirtschaftlich darstellbar sind; der unmittelbare Nutzen für den

Bürger wird nicht unbedingt deutlich. Aufgrund der Freiwilligkeit von Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen muss die Finanzierung dieser Maßnahmen häufig hinten angestellt werden. Selbst Förderungen durch Land, Bund und EU sind aufgrund der Höhe des zu erbringenden Eigenanteils ein Problem. Den Städten fehlen vor allem die finanziellen Mittel, um stadtklima-bezogene Maßnahmen durchzuführen. Aufgrund immer stärker in den Vordergrund tretender wirtschaftlicher Interessen sind Maßnahmen im Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel nur umzusetzen, wenn keine anderen Interessen entgegenstehen. Die schlechte finanzielle Lage der Städte und die Konkurrenz zu Nachbarkommunen führen zudem oft dazu, dass die Interessen der Investoren noch verstärkt das kommunale Handeln bestimmen. Ebenfalls problematisch ist die oftmals mangelnde Personalausstattung der Verwaltungen, die die Bearbeitung von zusätzlich zu erbringenden Planungsleistungen – also u. a. Klimaanpassungsmaßnahmen im Bestand – nicht zulässt.

Das Konfliktpotenzial zwischen Klimaanpassungsmaßnahmen und Klimaschutzmaßnahmen (z. B. Verschattung von Gebäuden vs. Solarnutzung von Dachflächen) wird von den Umwelt- und Planungsressorts durchaus erkannt, jedoch sind im Umgang mit diesen Interessenskonflikten noch zahlreiche Fragen offen beispielsweise danach, ob eine Prioritätensetzung oder eher ein sinnvoller Ausgleich bzw. Abgleich der sich teilweise entgegen stehenden Maßnahmen empfehlenswert ist.

In einigen geführten Interviews wurde deutlich, dass das Leitbild „Innenentwicklung vor Außenentwicklung“ als grundsätzlich richtig und wichtig eingeschätzt wird, unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels jedoch eine Modifizierung notwendig erscheint. Eine zur Perfektion getriebene Innentwicklung führt möglicherweise zu unattraktiven und nicht mehr lebenswerten Innenstädten.

Als ein weiteres Hemmnis wurden Proteste von Anwohnern genannt, die sich nach Baumpflanzungen als wichtige Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel oftmals über das dann anfallende Laub beschwerten und die Laubbeseitigung nicht übernehmen wollen. Die Kommunen versuchen zwar, angepasste Baumarten zu pflanzen, sehen sich jedoch mit der Problematik konfrontiert, dass flachwurzeln Baumarten Stürmen nicht immer standhalten (siehe Kyrill) und tiefwurzeln Baumarten die (Gas-)leitungen zerstören können. Dennoch ist ein Bestreben zu verzeichnen, gemeinsam mit den Versorgungsträgern optimale Einzelfalllösungen zu finden.

Das Fehlen einer klaren Gesetzgebung, die z. B. die Freihaltung von Belüftungsschneisen in B-Plänen aus klimatischen Gründen erleichtert, wurde von einigen Kommunen als bedeutendes Hemmnis identifiziert verbunden mit dem Wunsch, dass der Gesetzgeber dies aufgreifen sollte. Als positives Beispiel wurde in diesem Zusammenhang auf die Umsetzung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen verwiesen, die seit vielen Jahren aufgrund der klaren Gesetzgebung in der Regel gut funktioniert.

In den Interviewkommunen liegt die **Federführung** für das Thema Klimafolgenanpassung entweder bei den Umweltressorts oder die Zuständigkeiten sind nicht klar geregelt. Dieser Umstand könnte bei den Stadtplanern dazu beigetragen haben, die Verantwortung für das Thema bisher nicht bei sich zu sehen. Die Zusammenarbeitsstrukturen sind in den beteiligten Städten unterschiedlich gut ausgeprägt. In den meisten Städten wurden ressortübergreifende Arbeitsgruppen zum Klimaschutz eingerichtet und eine Ausweitung dieser Arbeitsgruppen auch auf das Thema Klimawandelanpassung ist bereits vorgesehen und vergleichsweise einfach umzusetzen. Für Kommunen, die bisher nur schwache Zusammenarbeitsstrukturen im Bereich Klima-

schutz aufgebaut haben, ist dieser Schritt bedeutend schwieriger. Eigenständige Arbeitsgruppen zum Thema Klimafolgenanpassung gibt es in keiner der befragten Städte. Einige Umweltressorts beabsichtigen, Gespräche zum Thema Klimafolgenanpassung mit den Stadtplanungsressorts anzustoßen, befürchten jedoch, dass das Umweltressort auch bei diesem Thema in erster Linie als Verhinderer von Planvorstellungen und Baumaßnahmen gesehen wird. Dennoch wird es als wichtig angesehen, Druck – vor allem seitens der Politik – auf diejenigen auszuüben, die für die Umsetzung von Baumaßnahmen verantwortlich sind. Zudem müsste ein Handlungsrahmen vorgegeben werden.

In den beteiligten Städten existiert eine ganze Reihe weiterer entweder themenverwandter oder projektbezogener ressortübergreifender Arbeitsgruppen, z. B. im Rahmen des Projekts DynaKlim, zur Begleitung von Maßnahmen aus den Luftreinhalteplänen oder zur Ämterabstimmung im Zuge von Bauleitplanverfahren. Das Thema Klimawandelanpassung ließe sich auch in diesen Arbeitsgruppen gut etablieren. Ein Vorschlag lautete, dass zur Unterstützung der mit dem Klimawandel befassten Ressorts auch stadtübergreifende regionale Arbeitsgruppen unter Beteiligung oder Federführung des MUNLV bzw. der Bezirksregierungen eingerichtet werden sollten, um der Bedeutung dieses Themas Rechnung zu tragen und gemeinsame Lösungen zu diskutieren.

Die Verfasser dieses Handbuchs bedanken sich bei allen Personen, Kommunen und Institutionen, die mit ihren wertvollen Anregungen und Hinweisen oder mit Materialien und Informationen zum Ergebnis dieser Veröffentlichung beigetragen haben.

An der Werkstatt in Bottrop am 25. August 2009 nahmen als konstruktive Diskussionspartner/innen aus der Stadt Bottrop teil:

Herr Bäck, Umweltamt, Abteilungsleiter Umweltplanung/Umweltvorsorge
Herr Beckmann, Umweltamt, Amtsleiter
Herr Frehmann, Emscher-Genossenschaft
Frau Hugot, Umweltamt
Frau Kleinheins, Stadtplanungsamt, Amtsleiterin
Herr Kollath, Grünflächenamt
Herr Schüttler, Stadtplanungsamt
Herr Träger, Gesundheitsamt
Frau Voll, Umweltamt
Herr Welberg, Tiefbauamt, Sachgebietsleiter Strategische Entwässerungsplanung
Herr Wilde, Umweltamt, Abteilungsleiter Untere Wasserbehörde

An der Werkstatt in Dortmund am 31. August 2009 nahmen als konstruktive Diskussionspartner/innen aus der Stadt Dortmund teil:

Herr Bornkessel, Umweltamt, Gruppenleiter Immissionsschutz und Stadtklima, Untere Immissionsschutzbehörde
Herr Dr. Grote, Umweltamt, Amtsleiter
Herr Höing, Umweltamt, Leiter der Abteilung Umweltplanung, Untere Landschaftsbehörde
Frau Jacobs, Sport- und Freizeitbetriebe der Stadt Dortmund, Geschäftsbereich Stadtgrün
Frau Kuhlmann, Umweltamt, SB für Immissionsschutz und Stadtklima
Frau Lakes, Tiefbauamt, Gruppenleiterin für Planung und Ausschreibung
Herr Rips, Umweltamt, Untere Wasserbehörde
Frau Sankowski, Stadtplanungs- und Bauordnungsamt
Herr Wilde, Stadtplanungs- und Bauordnungsamt, Amtsleiter

Im Rahmen eines telefonischen Interviews standen als konstruktive Diskussionspartner/innen zur Verfügung:

Herr Dr. Briese, Stadt Gladbeck, Referat für Umwelt und Lokale Agenda 21
Frau Fendel, Stadt Essen, Amt für Stadtplanung und Bauordnung
Herr Hirschheide, Stadt Gladbeck, Planungsamt
Herr Hölters, Stadt Duisburg, Amt für Stadtentwicklung und Projektmanagement, stellv. Amtsleiter
Herr Liebich, Stadt Mülheim an der Ruhr, Planungsamt
Frau Müller, Stadt Duisburg, Referat für strategische Umweltkoordination
Herr Niggemann, Stadt Hagen, Fachbereich Stadtentwicklung und Stadtplanung, Fachleiter verbindliche Bauleitplanung
Herr Steinbrink, Stadt Essen, Umweltamt
Herr Weber, Stadt Hagen, Umweltamt
Frau Wegner, Stadt Mülheim an der Ruhr, Amt für Umweltschutz

Literaturverzeichnis

- Abicht, Kerstin (2009):** Fit für den Klimawandel: Artenvielfalt in der Stadt. Garten + Landschaft 7/2009, S. 13-15.
- Aktivnews (2009):** Fotograf: Hartmut Weber, Einsatzdokumentation, Kurzes aber schweres Gewitter sorgt für Verkehrskollaps in Klessheim (SL/S). Entnommen: http://aktivnews.de/z_einsatzbilder_2009/displayimage.php?album=521&pos=17.
- Ali-Toudert, F. & H. Mayer (2007):** Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. Solar Energy 81, 742-754.
- ARGEBAU – Bauministerkonferenz (2008a):** Bericht der Projektgruppe „Klimaschutz in der Bauleitplanung“, 21. Januar 2008, <http://www.is-ergebaut.de/>, Zugriff am 5.1.2010.
- ARGEBAU – Bauministerkonferenz (2008b):** Ergebnisniederschrift über die Sitzung der Bauministerkonferenz am 14. März 2008 in Berlin, TOP 3: Klimaschutz und Klimaanpassung in den Bereichen Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung, <http://www.is-ergebaut.de/>, Zugriff am 5.1.2010.
- ATV-A 138 (2005):** Arbeitsblatt DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V..
- ATV-DVWK (2004):** Abwassertechnische Vereinigung- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau: Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bestehender Entwässerungssysteme, Arbeitsbericht DWA-AG ES-2.1. KA-Abwasser, Abfall (51) Heft 1, Januar 2004, S. 69-76.
- Barlag, A.-B. (1997):** Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Stadtklima. VDI-Berichte 1330, 127–146
- BauGB (2006):** Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004: (BGBl. I S.2414) zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2006 (BGBl. I S.3316)".
- BauGB:** Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004, BGBl. I S. 2414, zuletzt geändert durch Artikel 4 ErbschaftssteuerreformG vom 24.12.2008, BGBl. I S. 3018.
- Baumbach, G. & U. Vogt (1999):** Experimental determination of the effect of mountain-valley breeze circulation on air pollution in the vicinity of Freiburg. Atmos.Environm . 33, 4019-4027.
- Bäumer, D., & B. Vogel (2007):** An unexpected pattern of distinct weekly periodicities in climatological variables in Germany, *Geophys. Res. Lett.*, 34.
- Baumüller, J. & U. Reuter (2003):** Umweltmeteorologie und Planung. Promet, 30, Heft 1/2, 46 - 56. DWD, Offenbach/Main.
- Baumüller, Jürgen (2008):** Der Klimawandel, eine Herausforderung an eine klimagerechte Stadt- und Gebäudeplanung, Vortrag im Rahmen des 15. Schweizerischen Status-Seminars „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“ am 11./12. September 2008 an der ETH Zürich.
- BauNVO (1993):** Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466)

- BDEW (2008):** Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) et al. (Hrsg.): *Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2008*, Bonn 2008, abgerufen am 13.06.2008 ([http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_B Branchenbild_der_deutschen_Wasserwirtschaft_2008/\\$file/08%2003%2010%20Branchenbild%20Wasser%202008%20endg.pdf](http://www.bdew.de/bdew.nsf/id/DE_B Branchenbild_der_deutschen_Wasserwirtschaft_2008/$file/08%2003%2010%20Branchenbild%20Wasser%202008%20endg.pdf)).
- Beckord, Claas (2008):** Kennzahlen zum demographischen Wandel im Ruhrgebiet. RVR, interner Bericht.
- Benjamin, M.T. & A.M. Winer (1998):** Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. *Atmospheric Environment*, Volume 32, Issue 1, S. 53-68.
- Bertelsmann Stiftung (2008):** www.wegweiser-kommune.de.
- BlmSchG (2005):** Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge vom 15. März 1974, zuletzt geändert am 25. 6.2005.
- BlmSchG (2009):** Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert am 11. August 2009 (BGBl. I S. 2723, 2727).
- 34. BlmSchV (2006):** Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516)
- 35. BlmSchV (2006):** Fünfunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung - 35. BlmSchV) vom 10.10.2006 Bundesgesetzblatt 2006, Teil 1, S. 2218 ff.
- 39. BlmSchV (2010):** Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BlmSchV), tritt voraussichtlich März/April 2010 in Kraft.
- Blankenstein, S. & W. Kuttler (2004):** Impact of street geometry on downward longwave radiation and air temperature in an urban environment. – In: *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 13, No. 5, pp. 373-379.
- BMU (2008):** Umweltbundesamt: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel – Erwartungen, Ziele und Handlungsoptionen. Hintergrundpapier zur Fachkonferenz, Berlin 15./16.
- BMU (2009):** Dem Klimawandel begegnen. Die Deutsche Anpassungsstrategie, Berlin.
- BMVBS/BBSR (Hrsg.) (2009):** Klimawandelgerechte Stadtentwicklung, Rolle der bestehenden städtebaulichen Leitbilder und Instrumente, BBSR-Online-Publikation Nr. 24/2009, S. 19-32.
- BMVBW (2003):** Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Hochwasserschutzfibel – Planen und Bauen von Gebäuden in hochwassergefährdeten Gebieten. 4. aktualisierte Auflage, Bonn, S.41.
- BnatSchG (2002):** Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. März 2002, BGBl. I S. 1193, zuletzt geändert durch Art. 3 G zur Neufassung des ROG und zur Änderung anderer Vorschriften vom 22.12.2008, BGBl. I S. 2986.
- Bongardt, B. (2006):** Stadtklimatische Bedeutung kleiner Parkanlagen - dargestellt am Beispiel des Dortmunder Westparks. = Essener Ökologische Schriften, Band 24, Essen.
- Brandt, K. (2007):** Die ökonomische Bewertung des Stadtklimas am Beispiel der Stadt Essen. = Essener Ökologische Schriften, Band 25, Essen.

- Bruse, M. & H. Fleer (1998):** Simulating Surface-Plant-Air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model, Environmental Modelling and Software, Vol. 13.
- Bruse, M. (2003):** Stadtgrün und Stadtklima. LÖBF-Mitteilungen 1/03.
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (2006):** THW Tauwettereinsatz OV-Pfaffenhofen 03 2006.jpg. Entnommen: http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:THW_Tauwettereinsatz_OV-Pfaffenhofen_03_2006.jpg.
- BWK (2001):** Hochwasserschadenspotenziale. In: BWK Berichte, Band/Heft 1/2001, Düsseldorf.
- Chmielewski, F.-M. & T. Rötzer (2002):** Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. Climate Research 19, 257-264.
- Danzeisen, H. (1983):** Experimentelle Untersuchung bodennaher Lufttemperatur- und Feuchteverteilungen in Stadtgebieten mit Hilfe eines Messwagens. Beitr. Landespf. Rheinland-Pfalz 9, 7-34.
- Diegmann, V.; R. Annecke; A. Mahlau (2004):** Echtzeit-Screening-System zur stadtweiten Berechnung der Schadstoff- und Lärmbelastung auf Basis von Verkehrsdaten; In: Strobl/Blaschke/Griesebner (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004, Wichmann Verlag Heidelberg, S. 85-89.
- DKKV (2003):** Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (Hrsg.), Autoren: U. Grünewald, M. Kaltfen, S. Schümborg, B. Merz, H. Kreibich, T. Petrow, A. Thieken, W. Streitz, R. Dombrowsky: Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. Schriftenreihe des DKKV 29, Bonn.
- Dütemeyer D.; A.-B. Barlag; W. Kuttler (2004):** Planungsrelevante Stadtklimatologie am Beispiel der beabsichtigten Flächenumwidmung einer Industriebrache. UVP-Report 1/2004, 21–26.
- Dütemeyer, D. (2000):** Urban-orographische Bodenwindssysteme in der städtischen Peripherie Kölns. = Essener Ökologische Schriften, 12. 171 S. Hohenwarsleben.
- Dütemeyer, D.; A.-B. Barlag; W. Kuttler (2004):** Planungsrelevante Stadtklimatologie am Beispiel der beabsichtigten Flächenumwidmung einer Industriebrache. – UVP-Report 18, Heft 1, 21 - 26.
- DVWK (1985):** Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzeinrichtungen. Arbeitsmaterialien zum methodischen Vorgehen. In: Mitteilungen des DVWK, Band/Heft 10. Bonn.
- DVWK (1997):** Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau: Maximierte Gebietsniederschlagshöhen für Deutschland. DVWK-Mitteilungen 29.
- DWA (2006):** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt DWA-A 118, März 2006, ISBN-13: 978-3-939057-15-4, 32 S.
- DWA (2008):** Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Prüfung der Überflutungssicherheit von Entwässerungssystemen. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.5: Anforderungen und Grundsätze der Entwässerungssicherheit. KA Abwasser, Abfall (55) Heft 9, September 2008, S. 972-976.
- DWD (1997):** Deutscher Wetterdienst: Starkniederschlagshöhen für Deutschland KOSTRA. Selbstverlag, Offenbach, ISBN 3-88148-325-X.
- DWD (1999):** Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland – Teil 1. Offenbach/M.
- DWD (2001):** Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland – Teil 2. Offenbach/M.

- DWD (2003):** Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland – Teil 3. Offenbach/M.
- DWD (2005):** KOSTRA-DWD-2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 – 2000), Grundlagenbericht. Selbstverlag, Offenbach, abgerufen am 02.10.2008 (http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU4/HM/Neuigkeiten/grundlagenbericht__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/grundlagenbericht__pdf.pdf).
- DWD (2006):** Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland – Teil 4. Offenbach/M.
- DWD (2009a):** Deutscher Wetterdienst: Regional Spezialisiertes Meteorologisches Zentrum (RSMC) zur Bereitstellung großräumiger UV-Index-Vorhersagen für die Wetterdienste des WMO Regionalverbandes Europa. www.uv-index.de.
- DWD (2009b):** Messnetzkarten. Offenbach/M., <http://www.dwd.de>.
- DWD (2009c):** Deutscher Wetterdienst (DWD): Kriterien für Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) unterhalb der Unwetterwarnungsgrenze, abgerufen am 03.07.2009 (<http://www.dwd.de/Warnkriterien.htm>).
- DWD (2009d):** Deutscher Wetterdienst (DWD): Warnkriterien für Unwetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), abgerufen am 03.07.2009 (<http://www.dwd.de/Unwetterkriterien.htm>).
- EG/LV – Emschergenossenschaft/Lippeverband (2009):** Liste der klimatologischen Messstationen im Ruhrgebiet. Pers. Mitteilung der Abteilung 23-WW 30 der Emschergenossenschaft vom 07.07.2009.
- Eggert, A.W.K. (1999):** Dreidimensionale SF₆-Tracergasmessung als Methodik zum Nachweis von lokalen Luftströmungen für die Planungsorientierte Stadtklimatologie. Reihe Umweltwissenschaft. Aachen.
- Emschergenossenschaft (2009):** Emschergenossenschaft Essen, Homepage Emschergenossenschaft/Lippeverband, abgerufen am 07.08.2009 (<http://www.eglv.de>).
- EnEG (2005):** Energieeinsparungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. September 2005 (BGBl. I S. 2684
- EnEv (2007):** Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) - Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519).
- Eppe-Hotz, Angelika (2008):** Versickerungsaktive Pflanzflächen – Regenwasserbewirtschaftung mit Boden und Vegetation. In: Garten + Landschaft 9/08.
- EU-Richtlinie 2000/69/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft - 2. Tochterrichtlinie der Rahmenrichtlinie 96/62/EG.
- EU-Richtlinie 2002/3/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft- 3. Tochterrichtlinie der Rahmenrichtlinie 96/62/EG.
- EU-Richtlinie 2002/49/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.
- EU-Richtlinie 2004/107/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft - 4. Tochterrichtlinie der Rahmenrichtlinie 96/62/EG.
- EU-Richtlinie 2008/50/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa.
- EU-Richtlinie 96/62/EG** des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität - Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie.

- Fanger, P.O. (1972):** Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York.
- Fleischhauer, M. & B. Bornefeld (2006):** Klimawandel und Raumplanung, in: RuR 3/2006, S. 161- 171.
- Foken, Th. (2006):** Angewandte Meteorologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Forschungsinstitut der Österreichischen Zementindustrie (2009):** Betonstraßen als Schutzschild gegen Hitze. Presseinformation 3.Juli 2009. www.zement.at.
- Friese, E.; M. Memmesheimer; I.J. Ackermann; H. Hass; B. Schell; H.J. Jakobs; A. Ebel; M. Kerschgens (2001):** Regional-scale modeling of aerosol-cloud interactions with the EURAD model system. EUROTRAC Annual Report 1999, Subproject AEROSOL, p. 21-25, EUROTRAC-2, ISS, Munich.
- GALK (Gartenamtsleiterkonferenz des Deutschen Städtetages) (2006):** Straßenbaumliste 2006 – Beurteilung von Baumarten für die Verwendung im städtischen Straßenraum.
- Gandemer, J. (1977):** Wind environment around buildings: aerodynamic concepts. – In: Proceedings, 4. International Conference on wind effects on buildings and structures Cambridge University Press, S. 423-432.
- Germanwatch (2007):** Germanwatch e.V., Bonn (Hrsg.): Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland. Hintergrundpapier, Februar 2007; abgerufen am 04.07.2009 (<http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.htm>).
- Gerstengarbe, F.W. & P.C. Werner (2005):** Das NRW-Klima im Jahr 2055. – In: LÖBF-Mitteilungen 5/05, 15 – 18.
- Gerstengarbe, F.-W.; P.C. Werner; U. Rüge (1999):** Katalog der Großwetterlagen Europas (1881 - 1998) nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky. 5., verbesserte und ergänzte Auflage. Potsdam und Offenbach a. M.
- Gerstengarbe, F.W.; P.C. Werner; Y. Hauf (2004):** Erstellung regionaler Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen. – BRUECKE-Potsdam GbR, Potsdam, 94 S.
- Gorbachevskaya, O.; C. Kappis; J. Mählmann (2009):** Mehr Grün im urbanen Raum. Mobile Vegetationsmatten zur Begrünung von Straßenbahngleisen. In: Stadt + Grün 3/2009, S. 58-61.
- Grimmond, C.S.B. & T.R. Oke (2002):** Turbulent heat fluxes in urban areas: observations and a local-scale urban meteorological parameterisation scheme (LUMPS). J Appl Meteorol 41:792–810.
- Grünewald U. (2008):** Klimawandel und Wasserbewirtschaftung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 24.08, Seite 5-18.
- Grünewald, U. et al. (2009):** Gutachten zu Entstehung und Verlauf des extremen Niederschlag-Abfluss-Ereignisses am 26.07.2008 im Stadtgebiet von Dortmund, Gutachten der des Lehrstuhls für Hydrologie und Wasserwirtschaft der BTU Cottbus und der ARCADIS Consult GmbH im Auftrag der Stadt Dortmund und der Emschergenossenschaft; abgerufen am 19.04.2009 (http://tiefbauamt.dortmund.de/upload/binarydata_do4ud4cms/46/32/18/00/00/00/183246/gutachten_neu.pdf).
- Hassi, J. & M. Rytkönen (2005):** Climate warming and health adaptation in Finland. Finadapt Working Paper 7, Finnish Environment Institute Mimeographs 337, Helsinki.
- Hatzfeld, F. (2009):** URBAS - Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten. Präsentation zum Tag der Hydrologie am 27. März 2009 in Kiel, abgerufen am 29.06.2009: <http://www.urbanesturzfluten.de/materialien/VORTRAGTDH/view>.
- Hausladen, G.; M. de Saldanha; P. Liedl; H. Kaufmann (2006):** ClimaSkin - Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten. 191CS. allwey.

- Helbig, A.; J. Baumüller; M.J. Kerschgens (Hrsg.) (1999):** Stadtklima und Luftreinhaltung. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin.
- Henninger, S. & W. Kuttler (2004):** Mobile measurements of carbon dioxide within the urban canopy layer of Essen, Germany. In: Proc. Fifth Symposium of the Urban Environment, 23.-26. August 2004, Vancouver, Canada, American Meteorological Society, pp. J 12.3.
- Henninger, S. & W. Kuttler (2007):** Methodology for mobile measurements of carbon dioxide within the urban canopy layer. – In: Climate Research, Vol. 34, pp. 161-167.
- Hidalgo, J.; G. Pigeon; V. Masson (2008):** Urban breeze circulation during the CAPITOUL experiment: observational data analysis approach.- Meteorol Atmos Phys 102, p. 223-241.
- Holzmüller, Katja (2009):** Natürlich Klimaschutz – Grüne Dächer in Düsseldorf: Finanzielle Förderung und quantitative Luftbildauswertung. In: Dachbegrünung in der modernen Städtearchitektur. Tagungsband: Internationaler Gründach-Kongress, S. 145-148. Berlin.
- Horbert M (2000):** Klimatologische Aspekte der Stadt- und Landschaftsplanung. Schriftenreihe Fachber. Umwelt u. Gesellsch. 113.
- Hörschele K. & H. Schmidt (1974):** Klimatische Wirkungen einer Dachbegrünung. Garten und Landschaft 6/74, 334–337.
- Hupfer, P. & W. Kuttler (Hrsg.) (2006):** Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage, Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- IKSR (2002):** Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Hochwasservorsorge, Maßnahmen und ihre Wirksamkeit. Koblenz.
- IPCC (2007):** Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin.
- Jendritzky, G. (1993):** Atmospheric Environment - An Introduction. Experientia, 49(9),1-8
Jendritzky, G., u.a. (1990): Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 114 (90).
- Jendritzky, G. (2007):** Folgen des Klimawandels für die Gesundheit.– In: Endlicher, W. & Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): 2007. Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 44 - 55.
- Jendritzky, G.; G. Scheid; A. Grätz (2003):** Das Bioklima der Bundesrepublik Deutschland. Bioklimakarte mit Informationsbroschüre. Gütersloh: Flöttmann.
- Kanton Solothurn (1997):** Andres, Haldimann, Knauer, Stegemann, Strähl, Würsten: Neuer Umgang mit Regenwasser: Retention und Versickerung von Regenabwasser im Liegenschaftsbereich, Kanton Solothurn, Amt für Umwelt, Bericht Nr. 38, Solothurn.
- Köhler, M.; G. Barth; T. Brandwein; D. Gast; H. G. Joger; U. Seitz; K. Vowinkel (1993):** Fassaden- und Dachbegrünung. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kompatscher, Peter (2008):** Leitfaden zum naturnahen Umgang mit Regenwasser, Landesagentur für Umwelt, Amt für Gewässerschutz, Bozen (Hrsg.), Bozen.
- Kreienkamp, F. & A. Spekat (2008):** IDP - Ein Werkzeug zur explorativen Datenanalyse. Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH, Potsdam.

- Kuttler, W. & D. Dütemeyer (2003):** Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden. – Promet, 30, Heft 1 / 2, 15 - 27. DWD, Offenbach/Main.
- Kuttler, W. & E. Zmarsly (1996):** Bodennahes Ozon - Entstehung, Standortabhängige Tagesgänge und Minderungsmaßnahmen.- In: Entsorgungspraxis EP 14 (5), S. 84-93.
- Kuttler, W. (1993):** Klimagerechtes Bauen. In: Schirmer, H., W. Kuttler, J. Löbel, K. Weber (Hrsg.)(1993): Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, 507 S., VDI-Verlag Düsseldorf, S. 352-364.
- Kuttler, W. (1999):** Humanbiometeorologische Bewertung stadtklimatologischer Erkenntnisse für die Planungspraxis. Workshop Stadtklima, 17./18. Febr. 1999 in Leipzig. Wiss. Mitt. d. Institutes für Meteorologie der Universität Leipzig u. d. Institutes für Troposphärenforschung e. V. Leipzig, Bd. 13, S. 100-115.
- Kuttler, W. (2004a):** Stadtklima - Teil 1: Grundzüge und Ursachen. – In: UWSF – Z Umweltchem Ökotox 16 (4) 187 – 199.
- Kuttler, W. (2004b):** Stadtklima - Teil 2: Phänomene und Wirkungen. – In: UWSF – Z Umweltchem Ökotox 16 (4) 263 – 274.
- Kuttler, W. (2008):** The Urban Climate - Basic and Applied Aspects. Editors: Marzluff, J.M., E. Shulenberger,, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, C. Zumbrunnen. Urban Ecology - An International Perspective on the Interaction between Humans and Nature, Springer, pp. 233-248.
- Kuttler, W. (2009):** Klimatologie. UTB 3099, Ferdinand Schöningh, Paderborn, München, Wien, Zürich.
- Kuttler, W.; D. Dütemeyer; A.-B. Barlag (2008):** Klimaanalyse Bochum – klimatologischer Teil. Abschlussbericht, durchgeführt im Auftrag des Regionalverbandes Ruhr, Essen.
- Kuttler, W.; S. Weber; J. Schonnefeld; A. Hesselschwerdt (2007):** Urban/rural atmospheric water vapour pressure differences and urban moisture excess in Krefeld, Germany. - In: International Journal of Climatology, 27 (14), pp. 2005-2015.
- Lambrecht, U. (2004):** Screening aktueller Kfz-Abgasmessungen in Hinblick auf den Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen"; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 2004. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, 21. S.
- Lambrecht, U. (2004):** Screening aktueller Kfz-Abgasmessungen in Hinblick auf den Anteil von NO₂ an den NO_x-Emissionen"; im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, 2004. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.
- Landsberg, H.E. (1981):** The Urban Climate. Int Geophys Ser 28, Academic Press New York, 275.
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2008):** Ergebnisse der regionalen Klimamodelle CLM, REMO10, STAR II und WETREG zur Abschätzung des Klimawandels für Nordrhein-Westfalen. Unveröffentlicht, Recklinghausen.
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2008a):** Ampelkarte für NO₂ und geplante Umweltzonen im Ruhrgebiet. Stand: 31.03.2008. <http://www.lanuv.nrw.de/luft/ampel.htm>.
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2008b):** Ampelkarte für Feinstaub und geplante Umweltzonen im Ruhrgebiet. Stand: 31.03.2008. <http://www.lanuv.nrw.de/luft/ampel.htm>.

- LANUV NRW - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2009):** Emissionskataster NRW 2004. Webdatenbank. Recklinghausen. <http://www.gis.nrw.de/ims/ekatsmall2004/smallclient.htm>.
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2009a):** Jahresauswertungen der kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messungen nach den Luftqualitätsrichtlinien der EU für Stickoxide, Feinstaub, SO₂, CO, Blei und Benzol. Listen für die Jahre 2000 bis 2007.
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2009b):** Luftreinhalteplan Ruhrgebiet - Karten der Umweltzonen im Ruhrgebiet. <http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umweltzonen/karte/index.php>
- LANUV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2010):** Langjährige Entwicklungen ausgewählter Schadstoffkomponenten. Stand: Februar 2010. http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/ber_trend/trends.htm.
- LANUV/MUNLV - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen/Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009):** Umgebungslärm in NRW – Lärmkarten NRW. <http://www.umgebungslaerm.nrw.de/>.
- Laux, P. & H. Kunstmann (2008):** Detection of regional weekly weather cycles across Europe; Environmental Research Letters 3.
- LFU Bayern (2010):** Natürlicher Rückhalt; Bayerisches Landesamt für Umwelt, München. Entnommen: http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/hochwasserschutz_natuerlicher_rueckhalt/pic/rasengittersteine_gr.jpg
- Mark, O. et al. (2004):** Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. In: Journal of Hydrology, Jg.299, S.284-299.
- Mayer, H. (1989):** Workshop 'Ideales Stadtklima' am 26. Okt. 1988 in München. Mitt Deutsche Meteorol Ges 3/89, 52–54.
- Mayer, H. (2006):** Indizes zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen und lufthygienischen Komponente des Klimas. – Gefahrstoffe-Reinh. Luft. 66, 4, S. 165-174.
- Mayer, H.; F. Kalberlah; D. Ahrens; U. Reuter (2002):** Analyse von Indizes zur Bewertung der Luft. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 62, 177-183.
- Mayer, H.; J. Holst; P. Dostal; F. Imbery; D. Schindler (2008):** Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe.- In: Meteorologische Zeitschrift, Vol. 17, No. 3, p. 241-250.
- Mayer, H.; W. Beckröge; A. Matzarakis (1994):** Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report, 5, S. 265 -268.
- Mayer, M. & A. Matzarakis (2006):** Impact of street trees on the thermal comfort of people in summer. A case study in Freiburg (Germany).- In: MERHAVIM 6, p. 285-300.
- MBV (Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Hrsg.) (2009):** Klimaschutz in der integrierten Stadtentwicklung, Handlungsleitfaden für Planerinnen und Planer, Düsseldorf.
- Meteomedia (2008):** Extremes Unwetter über Teilen der Stadt Dortmund (26.07.2008). In: - Jahresrückblick 2008. Meteomedia, Gais.
- Meteomedia AG (2009):** Messnetz Deutschland. Gais. http://wetterstationen.meteomedia.de/messnetz/eu_d.html.
- Mitschang, Stephan (2009):** Klimaschutz und Energieeinsparung als Aufgaben der Regional- und Bauleitplanung, in: Stephan Mitschang (Hrsg.): Klimaschutz und Energieeinsparung in der Stadt- und Regionalplanung, Berliner Schriften zur Stadt- und Regionalplanung Band 7, Frankfurt am Main, S. 15-66.

- Möller, D. (2003):** Luft – Chemie Physik Biologie Reinhaltung Recht. 720S. de Gruyter, Berlin, New York.
- Moriske, H.-J. (2000):** Aktive und passive Probenahmeverfahren. In: Moriske, H.-J.; E. Turowski (ab 1999 fortlaufend ergänzt): Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. Ecomed-Verlag, Landsberg, Kap. III-6.2.1, 1-18.
- Mosimann, Thomas (2007):** Wirkung von Erosionsschutzmaßnahmen. – Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibnitz Universität Hannover, S. 11, Hannover.
- MUNLV - Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2001):** Workshop PMx-Quellenidentifizierung: Methoden und Ergebnisse. 12. und 13. September 2001. Konferenzbericht. 141 S. Düsseldorf.
- MUNLV NRW - Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2007):** Klimawandel in Nordrhein- Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie.
- MUNLV NRW - Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009):** Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- MUNLV NRW - Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009):** Kommunale Zusammenarbeitsstrukturen zur Berücksichtigung von Umwelt- und Gesundheitsbelangen in Planungsverfahren, Bearbeitung durch Cornelia Rösler, Arno Bunzel, Vera Lorke, Düsseldorf.
- MURL NRW (Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW, Hrsg.) (1989):** Klimaatlas Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- NADINE (2008):** Natural Disasters Networking Platform (NaDiNe). Abgerufen am 15.01.2010, (<http://nadine-ws.gfz-potsdam.de/webbroschuere/start>).
- Paeth, H. (2007):** Klimamodellsimulationen – In: Endlicher, W. & Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): 2007. Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 44 - 55.
- Persson, P. (1997):** Differential Nocturnal Cooling in the Landscape detected by Mobile Measurements. Theor.Appl. Climat. 56, 215 – 224.
- Plate, E. (1995):** Urban climates and urban climate modelling. – In: Cermak et al. (Hrsg.) (1995): Wind climate in cities. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 23 - 39.
- Plate, E. (1996):** Der Einsatz des Windkanals bei der Lösung stadtklimatischer Probleme. Geowissenschaften 6, 240-244.
- Röckle, R.; C.-J. Richter; K.-H. Enderle (1998):** Geruchsausbreitung innerhalb von Kaltluftabflüssen. Messungen und Modellrechnungen zur Erarbeitung von Planungshinweisen. Entsorgungspraxis 7-8, 36-40.
- Roloff, A. & S. Gillner (2007):** Gehölzartenwahl im urbanen Raum unter dem Aspekt des Klimawandels. In: BdB (Hrsg.) Forschungsstudien: Klimawandel und Gehölze. Bonn.
- Roloff, A.; S. Bonn; S. Gillner (2008):** Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – als Straßenbäume geeignete Arten. Allg. Forstztzshr. / Der Wald 63: S. 398-399.
- Ropertz, A. (2008):** Transport atmosphärischer Spurenstoffe in eine innerstädtische Grünfläche – Eine Analyse mittels optischer Fernmessverfahren. – In. Essener Ökologische Schriften, Bd. 26, Essen.
- RP Arnsberg (Regierungspräsident Arnsberg) (2008):** Luftreinhalteplan Ruhrgebiet - Teilplan "Ruhrgebiet Ost". Bezirksregierung Arnsberg.

- RP Düsseldorf (Regierungspräsident Düsseldorf) (2008):** Luftreinhalteplan Ruhrgebiet - Bereich "Westliches Ruhrgebiet". Bezirksregierung Düsseldorf.
- RP Münster (Regierungspräsident Münster) (2008):** Luftreinhalteplan Ruhrgebiet - Teilplan "Ruhrgebiet Nord". Bezirksregierung Münster.
- Rühling, A. & A. Lohmeyer (1999):** Multitracertechnik zur Untersuchung überlagerter Kaltluftsysteme. Wiss.Mitt.Inst.Meteorol.Univ.Leipzig 13, 93-97.
- Ruhrverband (2009):** Ruhrverband Essen, Homepage des Ruhrverbands, abgerufen am 07.08.2009 (<http://www.ruhrverband.de>).
- Ruhrverband (2009a):** Liste der klimatologischen Messstationen im Ruhrgebiet. Pers. Mitteilung der Abteilung Mengenwirtschaft und Morphologie des Ruhrverbandes vom 30.06.2009.
- Rutishauer, T. & S. Sturder (2007):** Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie – In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 158, 105-111.
- RVR (Regionalverband Ruhr) (2005):** Das Ruhrgebiet. Zahlen, Daten, Fakten. Essen.
- RVR (Regionalverband Ruhr) (2006a):** Klimaanalyse Stadt Bottrop. Essen.
- RVR (Regionalverband Ruhr) (2006b):** Klimaanalyse Stadt Moers. Essen.
- Sachweh, M. & P. Koepke (1995):** Radiation fog and urban climate. – In: Geophysical Research Letters 22(9): 1073–1076.
- Schlünzen, K.H. (2002):** Simulations of transport and chemical transformations in the atmospheric boundary layer – review on the past 20 year's development in science and practice. Meteor. Zeitschr., N.F 11, 303-313.
- Schmidt, Christoph & Uwe Neumann (2004):** Strukturwandel und ökonomische Entwicklungsperspektiven des Ruhrgebietes – Ursachen und Folgen des demographischen Wandels. vhw Forum Wohneigentum 3/Mai-Juli 04.
- Schmitt T.G; M. Illgen; I. Kaufmann (2006):** Klimawandel – Konsequenzen für die Siedlungsentwässerung? KA Abwasser und Abfall 2006 (53) Nr.8, Seite 756-259.
- Schönwiese, Ch.-D. (2000):** Treibhauseffekt und Klimaänderungen. – In: Guderian, R. (Hrsg.) (2000): Atmosphäre, Bd. 1 B, 331–393. Berlin: Springer.
- Schütz, M. (1996):** Anthropogene Niederschlagsmodifikationen im complex-urbanen Raum (Man-made precipitation modifications in complex urban structures). Geowissenschaften 14, Organ der Alfred Wegener Stiftung, Vol. 6: 249-252.
- Shepherd, J.M. (2005):** A Review of Current Investigations of Urban-Induced Rainfall and Recommendations for the Future. – In: Earth Interactions 9, No. 12, 1 – 27.
- Spekat, A.; F.W. Gerstengarbe; F. Kreienkamp; P.C. Werner (2006):** Fortschreibung der Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen. - Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH, Potsdam.
- Spekat, A.; W. Enke; F. Kreienkamp (2007):** Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRESSzenarios B1, A1B und A2. - Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138.
- Stadt Balingen (2010):** Foto des Büros des Oberbürgermeisters der Stadt Balingen, Balingen.
- Stadt Herne (2010):** Foto der Stadt Herne. Entnommen: [http://www.herne.de/kommunen/herne/ttw.nsf/res/rw_kapitel3_2_278.gif/\\$file/rw_kapitel3_2_278_add1.gif](http://www.herne.de/kommunen/herne/ttw.nsf/res/rw_kapitel3_2_278.gif/$file/rw_kapitel3_2_278_add1.gif).
- Stichting RIONED (2008):** Visie - Klimaatverandering, hevige buien en riolering, Ede.

- Stock, Manfred (Hrsg.) (2005):** KLARA – Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK Report No. 99. Potsdam.
- TA Luft (2002):** Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft = Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (T A Luft)) vom 24.07.2002. Gemeinsames Ministerialblatt, Nr. 25-29 (2002) S. 511 ff. Hrsg.: Bundesminister des Inneren.
- UBA (2008):** Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Forschungsbericht 204 41 138 UBA-FB 000969. Umweltbundesamt Dessau.
- UBA (2008a):** Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Forschungsbericht 205 42 322, UBA-FB 001217. 101S. Umweltbundesamt Dessau.
- UBA (2008b):** Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Forschungsbericht 201 41 253, UBA-FB 000844. 203 S. Umweltbundesamt Dessau.
- UBA (2008c):** Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 - 2006. Umweltbundesamt Dessau.
- UBA (2008d):** Deutschland im Klimawandel - Anpassung ist notwendig. Umweltbundesamt Dessau.
- Upmanis, H.; I. Eliasson; S. Lindqvist (1998):** The Influence of Green Areas on Nocturnal Temperatures in a High Latitude City (Goteborg, Sweden). Int. J. of Clim., 18, S.681-700.
- URBAS (2008):** Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS) – Förderprogramm des BMBF: Risikomanagement extremer Hochwasser-ereignisse (RIMAX).
- UVPG (2008):** Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1757, 2797), zuletzt geändert durch Artikel 7 der Verordnung vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986).
- VDI (Hrsg.) (1988):** Stadtklima und Luftreinhaltung. Springer, Berlin.
- VDI RL 3785, Blatt 1 (2008):** Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Düsseldorf.
- VDI RL 3787, Blatt 1 (1997):** Umweltmeteorologie - Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf.
- VDI RL 3787, Blatt 2 (2008):** Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung - Teil I: Klima. Düsseldorf.
- VDI RL 3787, Blatt 5 (2003):** Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- VDI RL 3787, Blatt 9 (2004):** Umweltmeteorologie - Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in räumlichen Planungen. Düsseldorf.
- Verworn, H.-R. & U. Kummer (2003):** Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). Abschlussbericht. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover, August 2003, 39 S. und Kartenanhang.
- Walter, A. & Ch.-D. Schönwiese (2002):** Attribution and detection of anthropogenic climate change using a backpropagation neural network. – Meteorol. Zeitschr., 11, 335–343.
- Weber, K.; A. Ropertz; W. Kuttler (2004):** Erfassung und Analyse atmosphärischer Spurenstoffe im Bereich einer urbanen Grünfläche unter Verwendung optischer Fernmessverfahren. – In: Gefahrstoffe –Reinhaltung der Luft, 64, Nr. 6, S. 271-279.

- Weber, S. & W. Kuttler (2003):** Analyse der nächtlichen Kaltluftdynamik und -qualität einer stadtklimarelevanten Luftleitbahn. In: Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 63, S. 381-386.
- Weber, S. & W. Kuttler (2005):** Surface energy-balance characteristics of a heterogeneous urban ballast facet. In: Climate Research, Vol. 28: pp. 257-266.
- Wehling, H.-W. (2003):** Industrielles Städtenetz Ruhrgebiet. Entwicklungsachsen und voraussehbare Perspektiven der Region. Stadtforschung und Statistik 2/03, S. 57-65.
- Werner, P.C. & F.W. Gerstengarbe (2007):** Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten? – In: Endlicher, W. & Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): 2007. Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, 56 - 59.
- Wessolek, G. & M. Renger (1998):** Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt. – In: H. Sukopp und R. Wittig (Hrsg.): Stadtökologie, 2. Aufl., Fischer, Jena, Lübeck, Ulm, 186 - 200.
- Wienert, U. (2002):** Untersuchungen zur Breiten- und Klimazonenabhängigkeit der urbanen Wärmeinsel. Hohenwarsleben: Essener Ökologische Schriften 16, Essen.
- Wiesner, K.P. (1986):** Programme zur Erfassung von Landschaftsdaten, eine Bodenerosionsgleichung und ein Modell der Kaltluftentstehung. = Heidelberger Geogr. Arb., 79. Heidelberg.
- Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.) (2008):** Städtebauliche Klimafibel Online.
- WMO - World Meteorological Organization (2006):** Instruments and observing methods report no. 81 - Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. WMO/TD-No. 1250, 47 S., Genf.
- WWK (Wasserverband Westdeutsche Kanäle) (1994):** *Informationsschrift zur Brauchwasserversorgung aus den westdeutschen Kanälen*, Essen 1994, in: MUNLV NRW, *Bestandsaufnahme Niederrhein - Umsetzung der WRRL in der FGE Rhein*, Düsseldorf 2005, abgerufen am 07.08.2009 (http://www.niederrhein.nrw.de/emscher/abb/abb3_1_4_2.pdf).
- www.hitze.nrw.de (2010):** Gesundheitliche Auswirkungen von Hitze. Internet-Portal des Landesinstituts für Gesundheit und Arbeit des Landes NRW. Abgerufen: 16.03.2010.
- Zinn, J. (2006):** Wie kommen wir zu angemessenen Umgangsweisen mit dem Klimawandel? – Zum gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit, Vortrag Workshop des Deutschen Komitee Katastrophenschutzvorsorge e.V. und der Akademie für Raumforschung und Landesplanung am 27./28. November 2006.

Bildnachweis Titel:

@photocase/himbeertoni (o.l.)

@photocase/mamamäh (u.l.)

@Panthermedia/Dieter B. (r.)

Das Projekt „Handbuch Stadtklima“ ist Teil der Anpassungspolitik des Landes Nordrhein-Westfalen und wurde mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen finanziert. Weitere Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel sowie die Anpassungsstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen finden Sie im Internet unter: www.klimawandel.nrw.de.