BIELEFELD FIT FÜR DEN KLIMAWANDEL – KLIMAANPASSUNGSKONZEPT

Bielefeld
Fit für den Klimawandel!

Impressum

Auftraggeber

Stadt Bielefeld - Umweltamt

August-Bebel-Straße 75-77

33602 Bielefeld

+49 521 518520

www.bielefeld.de

Bielefeld
Fit für den Klimawandel!

Auftragnehmer

GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Große Pfahlstraße 5a

D-30161 Hannover

+49 511 388 7200

www.geo-net.de

Dr. Pecher AG

Klinkerweg 5

D-40699 Erkrath

+49 30 2145959 0

www.pecher.de

MUST Städtebau

Eigelstein 103-113

D-50688 Köln

+49 221 1699 2929

www.must.eu

Gefördert durch:
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

NATIONALE KLIMASCHUTZ INITIATIVE

Das Projekt wurde als „Klimaschutzteilkonzept Anpassung an den Klimawandel“ im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative durch das Bundesumwelt-ministerium gefördert (Förderkennzeichen 03K04891).

Bielefeld, August 2019

Inhaltsverzeichnis

IMPRESSUM I

INHALTSVERZEICHNIS II

ABBILDUNGSVERZEICHNIS V

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ANHANG VIII

TABELLENVERZEICHNIS IX

GLOSSAR X

1. EINFÜHRUNG 1

1.1 Hintergrund 1

1.2 Projektziele und -ablauf 2

1.3 Beteiligungsprozess 3

2. KLIMAWANDEL IN BIELEFELD 4

2.1 Methode & Datengrundlagen 4

2.2 Temperaturerhöhung & Hitze 10

2.3 Niederschlagsverschiebung & Trockenheit 14

2.4 Starkniederschlag 17

2.5 Wind & Sturm 20

2.6 Zusammenfassung 21

3. BETROFFENHEITSANALYSE 23

3.1 Übersicht potentielle Betroffenheiten 23

3.2 Betroffenheit durch Stadtklimawandel und Hitze 24

3.2.1 Der Stadtklimaeffekt 24

3.2.2 Methodisches Grundgerüst 25

3.2.3 Modelleingangsdaten und meteorologische Randbedingungen 28

Klasse 34

Beschreibung 34

3.2.4 Ergebnisse der Modellrechnungen 38

3.2.5 Synthetische Klimaanalysekarten 53

3.2.6 Bewertungs- und Hinweiskarten 62

3.3 Betroffenheit durch Starkregenereignisse 90

3.3.1 Aufbereitung der Grundlagendaten 90

3.3.2 Methodik zur Modellierung des Oberflächenabflusses und Ermittlung der Fliesswege 96

3.3.3 Starkregengefahrenkarte Bielefeld 101

3.3.4 Risikokarte 105

3.3.5 Planungshinweiskarte Starkregenvorsorge und wassersensible Stadtentwicklung 108

3.3.6 Maßnahmen 110

4. GESAMTSTRATEGIE ZUR KLIMAANPASSUNG 113

4.1 Gesamtstädtischer Maßnahmenkatalog 113

4.2 Transfer des Massnahmenkatalogs - Anpassungskonzepte für zwei Fokusgebiete 144

4.2.1 Jöllheide/Teichsheide 144

4.2.2 Jahnplatz 154

4.2.3 Zentrale Erkenntnisse aus den Fokusgebietsanalysen 159

4.3 Verstetigungsstrategie 160

4.4 Controlling-Konzept 167

4.5 Strategie zur Kommunikation des Anpassungskonzeptes in die Stadtgesellschaft 170

4.5.1 Informationsbereitstellung 171

4.5.2 Beratung zur Mitwirkung und Eigenvorsorge 173

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 175

LITERATURVERZEICHNIS 176

ANHANG 180

A1 – Klimawandel in Bielefeld 180

Temperaturzunahme und Hitze 180

Niederschlagsverschiebung 184

Trockenheit 186

StarkNiederschläge 188

Starkniederschläge: Starker Niederschlag (N ≥ 10 mm/d) 188

Starkniederschläge: Stärkerer Niederschlag (N ≥ 20 mm/d) 190

Starkniederschläge: Starkniederschlag (N ≥ 50 mm/d) 192

Sturmereignisse 193

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: schematischer Projektablauf *2*
Abb. 2: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien, die schwarze Linie repräsentiert Messwerte (Cubasch et al. 2013) *7*
Abb. 3: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots *9*
Abb. 4: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld, alle Szenarien. Die durchgezogenen Linien sind die Mediane der einzelnen Szenarien des Ensembles. Der Möglichkeitsbereich bildet die Bandbreite zwischen kleinstem und größtem Wert des Ensembles, der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Ensembles. *10*
Abb. 5: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *11*
Abb. 6: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30$ °C) in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *13*
Abb. 7: Zeitlicher Trend der jährlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, alle Szenarien *14*
Abb. 8: Langjährige mittlere Änderungen der jährlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *15*
Abb. 9: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *15*
Abb. 10: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen klimatischen Wasserbilanz in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *16*
Abb. 11: Zeitlicher Trend der Anzahl an Tagen mit stärkerem Niederschlag (N ≥ 20 mm/d) in Bielefeld, alle Szenarien. *18*
Abb. 12: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Tage mit stärkerem Niederschlag (N ≥ 20 mm/d), Szenario RCP 8.5 ..... *18*
Abb. 13: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *19*
Abb. 14: Prinzipskizze Flurwind *24*
Abb. 15: Methodisches Grundgerüst der Stadtklimaanalyse *25*
Abb. 16: Gesamter Untersuchungsraum Klima mit Stadtgrenze (Darstellung mit den Modelleingangsdaten zur Geländehöhen) *29*
Abb. 17: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen *31*
Abb. 18: Landnutzungsklassifizierung für die numerische Modellierung des Stadtklimas (Ist-Situation) *33*
Abb. 19: Schema zur Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation *35*
Abb. 21: Beispielhafter Ausschnitt nächtliche Lufttemperatur (Gegenwart 4:00 Uhr, 2 m über Grund in °C) *40*
Abb. 22: Beispielhafter Ausschnitt nächtliche Lufttemperatur (Zukunft 4:00 Uhr, 2 m über Grund in °C) *42*
Abb. 23: Beispielhafter Ausschnitt Wärmebelastung am Tage (Gegenwart 14:00 Uhr, PET in °C) *44*
Abb. 24: Beispielhafter Ausschnitt Wärmebelastung am Tage (Zukunft 14:00 Uhr, PET in °C) *45*
Abb. 25 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom *47*
Abb. 26: Beispielhafter Ausschnitt bodennahes Strömungsfeld (Gegenwart 4:00 Uhr, 2 m über Grund in $m \cdot s^{-1}$, Aggregierte Windrichtung in 50m-Abstand) *49*
Abb. 27: Beispielhafter Ausschnitt Kaltluftvolumenstromdichte (Gegenwart 4:00 Uhr, in m^3/ms, Windrichtung bodennah, in 50m-Abstand aggregiert *49*
Abb. 28: Beispielhafter Ausschnitt bodennahes Strömungsfeld (Zukunft 4:00 Uhr, 2 m über Grund in $m \cdot s^{-1}$, Aggregierte Windrichtung in 50 m-Abstand *52*
Abb. 29: Beispielhafter Ausschnitt Kaltluftvolumenstromdichte (Zukunft 4:00 Uhr, in m^3/ms, Windrichtung bodennah, in 50 m-Abstand aggregiert *52*
Abb. 30: Beispielhafter Ausschnitt Klimaanalysekarte (Gegenwart 4:00 Uhr, vollständiges Stadtgebiet und gesamte Legende im Kartenanhang *55*
Abb. 31: Beispielhafter Ausschnitt Klimaanalysekarte (Zukunft 4:00 Uhr, vollständiges Stadtgebiet und gesamte Legende im Kartenanhang) *58*
Abb. 32: Ausschnitt Klimaanalysekarte (Gegenwart und Zukunft 4:00 Uhr, näheres siehe Text) *59*

Abb. 33: Beispielhafter Ausschnitt aus der Bewertungskarte Nacht (Gegenwart, Nacht, 4:00 Uhr) 64
Abb. 34: Vereinfachtes Bewertungsmodell zur Ermittlung der humanbioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen in den Bewertungskarten Nacht 66
Abb. 35: Beispielhafter Ausschnitt Bewertungskarte (Zukunft, Nacht, 4:00 Uhr) 67
Abb. 36: Beispielhafter Ausschnitt Bewertungskarte Tag mit vereinfachter Legende (Ist-Situation) 71
Abb. 37: Beispielhafter Ausschnitt Bewertungskarte Tag mit vereinfachter Legende (Szenario 2050) 71
Abb. 38: Vereinfachtes Bewertungsmodell zur Ermittlung der humanbioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen in den Bewertungskarten Tag 72
Abb. 39: Absolute Anteile der Risikogruppen gegenüber thermischer Belastung an der Gesamtbevölkerung nach Stadtbezirk 76
Abb. 40: Kleinräumige Verteilung der Bevölkerungsdichte im kernstädtischen Bereich Bielefelds 77
Abb. 41: Absolute Änderung der Gesamtbevölkerung und der Risikogruppen gegenüber thermischer Belastung nach Stadtbezirk gemäß „mittlerer Variante“ des Demographieberichtes 2016 für das Jahr 2045 78
Abb. 42: Hot-Spots der sozialen Lage in Bielefeld 79
Abb. 43: Bewertungsstufen des PHK-Ausgleichsraumthemas „klimaökologischer Schutzbedürftigkeit“ 80
Abb. 44: Verrechnungsvorschriften zur Verknüpfung der Bewertung von thermischer Tag- und Nachtsituation für den Ausgleichsraum). 80
Abb. 45: Hohe Dichte an Flächen mit klimaökologischem Schutzbedarf der 1. Priorität im Bereich des Teutoburger Waldes und des Schloßhofbaches (links) und weitgehend ohne klimaökologischem Schutzbedarf im Bielefelder Nordwesten (rechts) Legenden siehe Abb. 36 auf Seite 71 81
Abb. 46: Inhalte des PHK-Ausgleichsraumthemas „Kaltluftprozessgeschehen“ 82
Abb. 47: Informationenebene PHK-Wirkraumthema „Anzahl Einwohner der sensiblen Wohnbevölkerung (sofern > 0)“83
Abb. 48: Bewertungsstufen des PHK-Wirkraumthemas „klimaökologischer Sanierungsbedarf“ 83
Abb. 49: Verrechnungsvorschriften zur Verknüpfung der Bewertung von thermischer Tag- und Nachtsituation für den bewohnten (links) sowie unbewohnten Wirkraum (rechts). 84
Abb. 50: Hohe Dichte an Flächen mit stadtklimatischem Sanierungsbedarf der 1. Priorität im Bielefelder Stadtzentrum (links) und weitgehend ohne Sanierungsbedarf entlang der Hänge des Teutoburger Waldes im Bielefelder Osten (rechts). Legenden siehe Abb. 36 auf Seite 71 85
Abb. 51: Bewertungsstufen des PHK-Wirkraumthemas „Hinweise für zukünftige bauliche Entwicklungen“ 85
Abb. 52: Prozentuale Anteile der geprüften baulichen Entwicklungsvorhaben im Ausgleichs- und im Wirkungsraum in den gewählten Bewertungsklassen 87
Abb. 53: Dateistruktur des digitalen Stadtklimamanagementsystems 88
Abb. 54: Screenshot aus der digitalen Planungshinweiskarte innerhalb des Stadtklimamanagementsystems mit Auszug aus dem „Super Shape“ 89
Abb. 55: DGM (Blickrichtung Nordost) 90
Abb. 56: Innenstadt von Bielefeld, östlich des Hauptbahnhofs. Grau: undurchströmbare Gebäudeteile, rot: Gebäudeteile, die nicht in das DOM übernommen wurden, da sie keine Fließhindernisse darstellen 91
Abb. 57: Oberflächenrauheiten auf der Basis von ALKIS-Nutzungsklassen 92
Abb. 58: Das natürliche Gewässernetz Bielefelds 93
Abb. 59: Unrealistische Aufstauungen, die sich durch nicht im Modell eingearbeitete Gewässerverrohrungen einstellen würden 94
Abb. 60: Darstellung der entsprechenden verrohrten Gewässerabschnitte 94
Abb. 61: Durchlässe in einem Bahndamm (rote Linien) 95
Abb. 62: Beispielhafter Ausschnitt der Starkregengefahrenkarte für Bielefeld,: maximale Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten als Ergebnisse der 2D-Simulation 96
Abb. 63: Niederschlagsverteilung eines 100-jährlichen Starkregens gemäß KOSTRA-DWD 2010R 98
Abb. 64: Starkregenindices (obere Reihe) sowie dazugehörige Kategorisierungen (mittlere Reihe) und Wiederkehrzeiten (untere Reihe) von Starkregen gemäß dem Starkregenindexkonzept SRI12 nach Schmitt et al. (2018) 98
Abb. 65: Ergebnis-Elemente der topographischen Analyse: Fließwege, Wasserscheiden und Tiefpunkte (Ausschnitt zeigt den nördlichen Teil des Stadtbezirks Sennestadt, oben: Teutoburger Wald, unten: Verlauf der BAB 2) 99
Abb. 66: Simulationsgebiet = hydrologisches Einzugsgebiet 100

Abb. 67: Nachweise gemäß entsprechender Regelwerke und Zuständigkeiten in Bezug auf Starkregenereignisse unterschiedlicher Stärke (SAMUWA 2016) *102*
Abb. 68: Übersichtsplan der Starkregengefahrenkarte für den 100-jährlichen Niederschlag. Die Überflutungsflächen sind vom Gewässernetz Bielefelds überlagert. *103*
Abb. 69: Beispielhafte Abbildung der Überflutungen bei einem 100-jährlichen Starkregen, die Fließpfeile zeigen jeweils einen gemittelten Wert der Fließrichtung für einen 5 x 5 Meter großen Bereich an (die relative Größe der Pfeile zeigt die maximale Fließgeschwindigkeit an). *104*
Abb. 70: Beispielhafter Ausschnitt aus der Risikokarte Starkregen, Gebäude mit sensibler Infrastruktur in rot, Gebäude der Stadt Bielefeld in orange, übrige Gebäude in grau, zu Grunde liegendes Szenario hN=90mm, Icons s. Tabelle 1, Kartenmaßstab 1:2.000. ..... *107*
Abb. 71: Planungshinweiskarte Starkregenvorsorge und wassersensible Stadtentwicklung *112*
Abb. 72: Die Fokusgebiete Jahnplatz und Jöllheide/Teichsheide *144*
Abb. 73: Ist-Situation im Fokusgebiet Jöllheide/Teichsheide; links : Realnutzung; rechts: Gestaltungsplan Jöllheide lt. B-Planbeschluss *145*
Abb. 74: Planungsvarianten für das Fokusteilgebiet Jöllheide (Variante 1 links; Variante 2 rechts) *145*
Abb. 75: Planungsvarianten für das Fokusteilgebiet Teichsheide (Variante 1 links und Variante 2 rechts) *146*
Abb. 76: Modellierungsergebnisse zur thermischen Situation im Ist-Zustand (oben) sowie für Planungsvariante 1 (Mitte) und Planungsvariante 2 (unten) für das Fokusteilgebiet Jöllheide *148*
Abb. 77: Modellierungsergebnisse zur thermischen Situation im Ist-Zustand (oben) sowie für Planungsvariante 1 (Mitte) und Planungsvariante 2 (unten) für das Fokusteilgebiet Teichsheide *149*
Abb. 78: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für das Teilgebiet Jöllheide (zu den Signaturen siehe die Erläuterungen der Planungshinweiskarte) *150*
Abb. 79: Geplantes Trennsystem im Bereich des B-Planes Jöllheide *151*
Abb. 80: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für das Teilgebiet Teichsheide. Der verrohrte Abschnitt des Wellbachs endet am östlichen Rand des Teilgebiets und fließt von dort im offenen Gerinne weiter. *152*
Abb. 81: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich der Straße Teichsheide (Bildmitte), ohne Anpassungen der Oberfläche (Randbedingungen der Simulation wie beim entsprechenden Szenario der Starkregengefahrenkarte) *152*
Abb. 82: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich der Straße Teichsheide (Bildmitte), bei Absenkung der Straßenfläche um 20 cm und Simulation einer zusätzlichen Verrohrung am östlichen Ende der Straße *153*
Abb. 83: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich der Straße Teichsheide (Bildmitte), bei Absenkung der Straßenfläche um 30 cm und Simulation einer zusätzlichen Verrohrung am östlichen Ende der Straße *153*
Abb. 84: Ist-Situation im Fokusgebiet Jahnplatz *154*
Abb. 85: Planungsvarianten für das Fokusgebiet Jahnplatz *155*
Abb. 86: Modellierungsergebnisse zur thermischen Situation im Ist-Zustand (oben) sowie für Planungsvariante 1 (Mitte) und Planungsvariante 2 (unten) für das Fokusgebiet Jahnplatz *156*
Abb. 87: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich des Jahnplatzes (Bildmitte), ohne Anpassungen der Oberfläche (Randbedingungen der Simulation wie beim entsprechenden Szenario der Starkregengefahrenkarte) *157*
Abb. 88: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich des Jahnplatzes (Bildmitte), bei Anhebung der Gehwegflächen im Bereich des violett umrandeten Gebietes um 20 cm *158*
Abb. 89: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich des Jahnplatzes (Bildmitte), bei Anhebung der Gehwegflächen im Bereich des violett umrandeten Gebietes um 30 cm *158*
Abb. 90: Zentrale Bausteine für den regelmäßigen Fortschrittsbericht *168*
Abb. 91: Schema zur Evaluation der Schlüsselmaßnahmen *170*

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abb. A 1: Für die Analyse des Klimawandels in Bielefeld ausgewählte Gitterpunkte aus dem EURO-CORDEX-Modellgitter (Hintergrund: © OpenStreetMap contributors, Open Database www.opendatacommons.org/licenses/odbl) *180*
Abb. A 2: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 8.5 ..... *180*
Abb. A 3: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 2.6 ..... *181*
Abb. A 4: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 4.5 ..... *181*
Abb. A 5: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld. Szenario RCP 2.6 ..... *181*
Abb. A 6: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld. Szenario RCP 4.5 ..... *182*
Abb. A 7: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit Tmax ≥ 30 °C) in Bielefeld. Szenario RCP 2.6 ..... *182*
Abb. A 8: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit Tmax ≥ 30 °C) in Bielefeld. Szenario RCP 4.5 ..... *183*
Abb. A 9: Trendbewertung des zeitlichen Trends der jährlichen Niederschlagssummen, Szenario RCP 8.5 ..... *184*
Abb. A 10: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Bielefeld, Szenario RCP 2.6 ..... *184*
Abb. A 11: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Bielefeld, Szenario RCP 4.5 ..... *185*
Abb. A 12: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 2.6 ... *186*
Abb. A 13: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 4.5 ... *186*
Abb. A 14: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Klimatischen Wasserbilanz in Bielefeld, Szenario RCP 2.6 ..... *187*
Abb. A 15: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Klimatischen Wasserbilanz in Bielefeld, Szenario RCP 4.5 ..... *188*
Abb. A 16: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 10 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 2.6 ..... *188*
Abb. A 17: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 10 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 4.5 ..... *189*
Abb. A 18: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 10 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *189*
Abb. A 19: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 2.6 ..... *190*
Abb. A 20: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 4.5 ..... *190*
Abb. A 21: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 8.5 ..... *191*
Abb. A 22: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 2.6 ..... *192*
Abb. A 23: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 4.5 ..... *192*

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Für das verwendete Modellensemble verfügbare Ensemblemitglieder (Modellkombinationen) und Szenarien (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5). GCM - Globales Klimamodell (Global Climate Model), RCM - Regionales Klimamodell (Regional Climate Model).....5
Tab. 2: Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses, (siehe oben). 7
Tab. 3: Mittlerer langjähriger Temperaturanstieg (in °C) in Bielefeld, Szenario RCP 8.5. 11
Tab. 4: langjährige mittlere Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Bielefeld. 12
Tab. 5: Mittlere langjährige Änderung der jährlichen Niederschlagssumme (in mm/Jahr) in Bielefeld. 14
Tab. 6: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraums in Bielefeld.....19
Tab. 7: Erwartete Klimaänderungen für Bielefeld 22
Tab. 8: Prioritär zu analysierende Klimawirkungen in Bielefeld 23
Tab. 9: Projizierte Zunahme der mittleren Temperatur in den Sommermonaten (J/J/A) in verschiedenen Perioden gegenüber 1971-2000 für die Stadt Bielefeld.....32
Tab. 10: Mittlere Parameter der Nutzungskategorien im Untersuchungsgebiet 34
Tab. 11: Bilanz Siedlungs- und Gewerberaum (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage 60
Tab. 12: Bilanz Grün- und Freiflächen (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage 61
Tab. 13: Bewertungsbilanz Siedlungs- und Gewerberaum (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage 68
Tab. 14: Bewertungsbilanz Grün- und Freiflächen (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage.....69
Tab. 15: Zuweisungsalgorithmen für die Bewertung des Schutzbedarfs des Ausgleichsraums in der PHK.....81
Tab. 16: Zuweisungsalgorithmen für die Einstufung des klimaökologischen Sanierungsbedarfs im Wirkraum 84
Tab. 17: Zuweisungsalgorithmen für die Einstufung der Stadtklimaverträglichkeit von Entwicklungsvorhaben im Wirkraum 86
Tab. 18: Simulationsparameter der drei simulierten Starkregen-Szenarios.....101
Tab. 19: Sensible Infrastruktureinrichtungen und deren Darstellung in der Risikokarte.....106
Tab. 20: Darstellung von Maßnahmengruppen auf der Planungshinweiskarte und dazugehörige Einzelmaßnahmen des Maßnahmenkatalogs.....111
Tab. 21: Ansätze zur Verstetigung der Klimafolgenanpassung im Verwaltungshandeln der Stadt Bielefeld 161
Tab. 22: Vorschlag eines Indikatorensets für das Klimawandel-Monitoring.....167
Tab. 23: Mögliche Evaluations-Indikatoren 169

Glossar

Albedo	Rückstrahlvermögen einer Oberfläche (Reflexionsgrad kurzwelliger Strahlung). Verhältnis der reflektierten zur einfallenden Lichtmenge. Die Albedo ist abhängig von der Beschaffenheit der bestrahlten Fläche sowie vom Spektralbereich der eintreffenden Strahlung.
ASMUS green	Ausbreitungs- und **S**trömungs-**M**odell für **U**rbane **S**trukturen
AUIK	Im Anlagen- und Indirekteinleiterkataster (*AUIK*) der Stadt Bielefeld werden standortbezogene Daten zu Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und Indirekteinleitern erfasst. Durch die objektorientierte Struktur lässt es sich leicht für andere Informationen, die über einen Standort (Straße/Hausnummer) und einen Betreiber definiert sind, einsetzen.
Ausgleichsraum	Grüngeprägte, relativ unbelastete Freiflächen, die an einen → *Wirkungsraum* angrenzt oder mit diesem über Kaltluftleitbahnen bzw. Strukturen mit geringer Rauigkeit verbunden sind. Durch die Bildung kühlerer und frischerer Luft sowie über funktionsfähige Austauschbeziehungen tragen diese zur Verminderung oder zum Abbau der Belastungen im Wirkungsraum bei. Mit seinen günstigen klimatischen Eigenschaften bieten sie eine besondere Aufenthaltsqualität für Menschen.
Autochthones Windfeld	Strömungen, deren Antrieb im Betrachtungsgebiet selber liegt und die nicht durch großräumige Luftdruckgegensätze beeinflusst werden, z.B. Kaltluftabflüsse und → *Flurwinde*, die sich als eigenbürtige, landschaftsgesteuerte Luftaustauschprozesse während einer windschwachen sommerlichen → *Autochthonen Wetterlage* ausbilden.
Autochthone Wetterlage	Durch lokale und regionale Einflüsse bestimmte Wetterlage mit schwacher Windströmung und ungehinderten Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, die durch ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur, Luftfeuchte und Strahlung gekennzeichnet ist. Die meteorologische Situation in Bodennähe wird vornehmlich durch den Wärme- und Strahlungshaushalt und nur in geringem Maße durch die Luftmasse geprägt, sodass sich lokale Klimate wie das Stadtklima bzw. lokale Windsysteme wie z.B. Berg- und Talwinde am stärksten ausprägen können.
AwS-Anlagen	In der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) werden Anlagen klassifiziert, die mit einer potentiellen Gefährdung von Oberflächengewässern einhergehen.
Bewertungskarten	Die Bewertungskarten stellen eine erste integrierende Bewertung der Modellergebnisse im Hinblick auf planungsrelevante Belange dar. Aus ihnen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Humanbioklimas ableiten und in einer Planungshinweiskarte zusammenfassen. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele zur Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen.

Bioklima	Beschreibt die direkten und indirekten Einflüsse von Wetter, Witterung und Klima (= atmosphärische Umgebungsbedingungen) auf die lebenden Organismen in den verschiedenen Landschaftsteilen, insbesondere auf den Menschen (Humanbioklima).
Blockregen	Gleichmäßige Regenintensität über das gesamt Ereignis eines Simulationsmodells.
Courant-Kriterium	Das Courant-Kriterium stellt einen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser bewegt, und der Auflösung des →*DOM*-Gitters her. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Wassers, etwa durch stärker ausgeprägte Morphologie des Oberflächenmodells, durch höhere Niederschlagsintensität bei gegebener Gitterweite oder umgekehrt durch abnehmende DOM-Gitterweite (höhere Auflösung) bei gegebener Geschwindigkeit muss der Zeitschritt verringert werden, um das Courant-Kriterium zu erfüllen.
DOM (Digitales Oberflächenmodell)	Das DOM ist ein aus 3D-Messdaten abgeleitetes Produkt. Es besteht aus einem gleichförmigen Gitter mit Höhenpunkten, das die Geländeoberfläche zum Erfassungszeitpunkt (einschließlich temporärer Objekte) wiedergibt.
Downscaling	Nachbearbeitungsmethode von regionalen Klimamodellen, die globale und regionale Klimamodelle als Grundlage benutzen, um zusätzliche, kleinräumigere, anwendungsorientierte Informationen zu erhalten.
Einzugsgebiet	Das Gebiet bzw. die Fläche, aus der ein Gewässersystem seinen Abfluss bezieht.
Eulerregen	Modellregenkonzept zur Bestimmung der Verteilung der Niederschlagshöhe über einen bestimmten Zeitraum.
Euro-CORDEX	EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete Europas erstellt. EURO-CORDEX-Daten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar (www.euro-cordex.net).
Ensemble	Technik in der regionalen Klimamodellierung zur Abschätzung der Unsicherheit der äußeren Antriebe (Szenarien), die durch das (unbekannte) zukünftige menschliche Verhalten (Bodennutzung, Emissionen) mitbestimmt sein kann.
Evapotranspiration	Evapotranspiration ist die gesamte Wasserabgabe eines Pflanzenbestandes an die Atmosphäre. Sie setzt sich aus der Evaporation (der Wasserabgabe von freien Wasseroberflächen und Böden) und der Transpiration (der Wasserabgabe von Pflanzen) zusammen.
Flachwassergleichungen (Saint-Venant-Gleichungen)	Die Flachwassergleichung besteht aus der Massenerhaltungsgleichung und der Impulserhaltungsgleichung in beide Raumrichtungen. Durch numerische Lösung dieser Gleichung werden die Strömungen und die jeweiligen Wasserstände auf der Geländeoberfläche rechnerisch ermittelt.
Fließakkumulationswege	Fließakkumulation wird aus der Fließrichtung abgeleitet und gibt in ArcGIS die Anzahl der Zellen wieder, die in eine Zelle entwässern. Hohe Zellwerte deuten somit auf ein Tal oder eine Senke hin, wohingegen Zellen ohne Fließakkumulation Gipfel oder Gebirgskämme darstellen.

Fließwege	Aus der topographischen Analyse ermittelte Abflussstrecke des Wassers.
Flow+	Software zur Abbildung von Wasserstandsänderungen und Wassermassenabflüssen auf der Oberfläche in Abhängigkeit von einer Niederschlagsbelastung. Dabei werden die hydrodynamischen Abflussverhältnisse auf der Oberfläche in zwei Dimensionen simuliert. Grundlage bilden die zweidimensionalen → *Flachwassergleichungen*.
Flurwinde	Thermisch bedingte, relativ schwache Ausgleichsströmung, die durch horizontale Temperatur- und Druckunterschiede zwischen vegetationsgeprägten Freiflächen im Umland und (dicht) bebauten Gebieten entsteht. Flurwinde strömen vor allem in den Abend- und Nachtstunden schubweise in Richtung der Überwärmungsbereiche (meist Innenstadt oder Stadtteilzentrum)
Geostatistik	stochastische Methoden zur Charakterisierung und Schätzung von räumlich korrelierten georeferenzierten Daten
Geostrophischer Wind	Wind in hohen Luftschichten bei geradlinigen Isobaren (Linien gleichen Luftdrucks).
Humanbioklima	→ *Bioklima*
Kaltluft(haushalt)	Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist und sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Der ausstrahlungsbedingte Abkühlungsprozess der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Konkrete Festlegungen über die Mindesttemperaturdifferenz zwischen Kaltluft und Umgebung oder etwa die Mindestgröße des Kaltluftvolumens, die das Phänomen quantitativ charakterisieren, gibt es bisher nicht.
Kaltluftabflussgebiet	Gebiet, in dem flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auftretende Kaltluftabflüsse stattfinden.
Kaltluftentstehungsräume bzw. -quellgebiete	Grünflächen mit einem überdurchschnittlichen → *Kaltluftvolumenstrom*, die → *Kaltluftleitbahnen* speisen (→ *Flurwinde* zeigen in Richtung der Kaltluftleitbahnen) bzw. über diese hinaus bis in das Siedlungsgebiet reichen.
Kaltluftproduktionsrate	Die Menge der sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter relativ zu ihrer Umgebung abkühlenden Luft.
Kaltluftsammelgebiet	Geländemulden, Senken und Täler wirken als nächtliche Kaltluftsammelgebiete. Die dort in windschwachen wolkenarmen Strahlungsnächten von den Kaltlufteinzugsgebieten der Hänge und Höhen zusammenfließende Kaltluft lässt niedrige nächtliche Temperaturminima entstehen, die am Tage - insbesondere im Sommer - durch die für Täler typischen Übertemperaturen im statistischen Mittel wieder ausgeglichen werden. Extrem niedrige nächtliche Temperaturminima ergeben sich, wenn eingeflossene Kaltluft an Strömungshindernissen zu einem stagnierenden Kaltluftsee aufgestaut wird.

Kaltluftvolumenstrom Vereinfacht ausgedrückt das Produkt der Fließgeschwindigkeit der → *Kaltluft,* ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an → *Kaltluft* in der Einheit m³, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer → *Kaltluftleitbahn* fließt. Anders als das → *Strömungsfeld* berücksichtigt der Kaltluftvolumenstrom somit auch Fließbewegungen oberhalb der bodennahen Schicht.

Kaltluftvolumenstromdichte Die Kaltluftvolumenstromdichte ist diejenige Kaltluftmenge in m³, die pro Sekunde durch einen 1m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Obergrenze der Kaltluftschicht, welcher senkrecht zur Strömung steht, fließt.

Kelvin (K) SI (Système international d'unités - Internationale Einheitensystem)-Basiseinheit der thermodynamischen Temperatur, die zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet wird. Der Wert kann in der Praxis als Abweichung in Grad Celsius (°C) interpretiert werden.

Klima-Michel Energiebilanzmodelle für den menschlichen Wärmehaushalt bezogen auf das Temperaturempfinden einer Durchschnittsperson („Klima-Michel" mit folgenden Annahmen: 1,75 m, 75 kg, 1,9 m² Körperoberfläche, etwa 35 Jahre; vgl. Jendritzky 1990)

Klimaanalysekarte Analytische Darstellung der Klimaauswirkungen und Effekte in der Nacht im Stadtgebiet und dem näheren Umland (Kaltluftprozessgeschehen, Überwärmung der Siedlungsgebiete).

KOSTRA-Atlas Ein Starkregenkatalog, der vom Deutschen Wetterdienst (DWD) herausgegeben wird. KOSTRA steht für **Ko**ordinierte **S**tarkniederschlags-**R**egionalisierung und –**A**uswertung.

Laseraltimetrie Laseraltimetrie ist eine Methode der Geodäsie, bei der Objekte mit Hilfe von punktweisen Entfernungsmessungen erfasst werden. Es gibt terrestrisches Laserscanning, bei dem ein Messgerät z.B. vor einem Gebäude installiert und das Objekt damit punktweise abgetastet wird. Daneben gibt es das luftgestützte Laserscanning Airborne Laserscanning, bei dem die Sensoren in einem Flugzeug oder Hubschrauber installiert werden. Dieses Verfahren dient im Allgemeinen zur Erfassung von Geländehöhen und Objekten auf dem Gelände und ersetzt zunehmend die klassische Photogrammetrie.

Median Der Wert, der genau in der Mitte einer Datenverteilung liegt. (Zentralwert). Die eine Hälfte aller Individualdaten ist immer kleiner, die andere größer als der Median.

Merkblatt DWA-M 119 Das Merkblatt DWA-M 119 befasst sich mit der Analyse der Überflutungsgefährdung und des Schadenspotenzials zur Bewertung der daraus resultierenden Überflutungsrisiken durch lokale Starkregen in Bezug auf kommunale Entwässerungssysteme.

Mesoskaliges Modell	Im mesoskaligen Modellbereich liegt die räumliche Auflösung zwischen einigen Dekametern und mehreren Kilometern. Manche Rechengitter lassen sich dabei zum Modellrand hin spreizen, ermöglichen also einen Fokus auf einen engeren Untersuchungsbereich unter Berücksichtigung der Umgebung. Die zur Verfügung stehenden prognostischen Modelle (z.B. FITNAH und METRAS) lassen sich auf unterschiedlichste städtebauliche und planerische Fragestellungen anwenden, so z.B. die Modellierung von Windfeldern, von Kaltluftabflüssen und die Ausbreitung von Luftschadstoffen.
Metadaten	Als Metadaten bzw. Metainformationen werden strukturierte Daten bezeichnet, die Informationen über andere Informationsressourcen enthalten. Metadaten beschreiben also die eigentlichen Daten auf eine Art und Weise. Metainformationen werden erforderlich, wenn es größere Datenmengen zu verwalten gibt. Ein ausgesprochenes Merkmal von Metadaten ist daher oft, dass sie maschinell lesbar und auswertbar sind.
Morbidität	Krankheitshäufigkeit bezogen auf eine bestimmte Bevölkerungsgruppe.
Mortalität	Verhältnis der Zahl der Todesfälle zur Zahl der statistisch berücksichtigten Personen.
No-Regret-Maßnahme	Maßnahmen, bei denen, auch wenn die Wirkung geringer sein sollte als vermutet, trotzdem für alle Beteiligten Vorteile entstehen.
Notabflusswege	Im Bebauungsplan festgelegte Fließwege, die für eine schadlose Ableitung von ungefasstem und überstauendem Niederschlagswasser sorgen.
Perzentil	Das Perzentil bzw. der Prozentrang ist der Prozentsatz der Werte einer Verteilung, der <= (kleiner gleich) einem bestimmten Wert ist. Das Perzentil kann also als ein Vergleichsmaßstab verwendet werden, um einen bestimmten Wert einordnen zu können. Manche Perzentile werden standardmäßig als statistische Maßzahlen verwendet, so z.B. der → *Median* als 50%-Perzentil und das untere bzw. obere Quartil als das 25%- bzw. das 75%-Perzentil.
PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur)	Humanbioklimatischer Index zur Kennzeichnung der Wärmebelastung des Menschen, der Aussagen zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombiniert und aus einem Wärmehaushaltsmodell abgeleitet wird.
PMV-Wert (Predicted Mean Vote)	Grundlage für die Beurteilung der bioklimatischen Belastung in Siedlungsflächen. Er basiert auf der Wärmebilanzgleichung des menschlichen Körpers und gibt den Grad der Unbehaglichkeit bzw. Behaglichkeit als mittlere subjektive Beurteilung einer größeren Anzahl von Menschen wieder.
RStO	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, ein technisches Regelwerk im Straßenbau
Trend-/Rauschverhältnis	Zur Einordnung der Signifikanz eines Trends kann das „Trend-Rausch-Verhältnis“ Tr / σ betrachtet werden. Der Betrag des Trends wird dabei in Bezug zur Variabilität der Zeitreihe gesetzt, die durch die Standardabweichung σ, also die Streubreite der Datenwerte rund um ihren Mittelwert, gegeben ist.

RCP-Szenarien	Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre. Die RCP-Szenarien lösen im fünften Sachstandsbericht des „Weltklimarats“ der Vereinten Nationen (IPCC) die bis dahin genutzten, auf sozio-ökonomischen Faktoren beruhenden SRES-Szenarien ab. Die Zahl in der Bezeichnung RCP 2.6, RCP 4.5 bzw. RCP 8.5 gibt den zusätzlichen Strahlungsantrieb in W/m² bis zum Jahr 2100 im Vergleich zum vorindustriellen Stand Mitte des 19. Jahrhunderts an.
Risikogruppe	Ein Personenkreis, für den (in bestimmter Hinsicht) ein Risiko besteht. In diesem Fall die thermische Belastung durch das Stadtklima.
Sensitivität	Die Empfindlichkeit von Menschen, Tieren, Pflanzen oder auch Systemen gegenüber (veränderten) Umweltreizen.
Städtische Wärmeinsel (Urban Heat Island)	Städte weisen im Vergleich zum weitgehend natürlichen, unbebauten Umland aufgrund des anthropogenen Einflusses (u.a. hoher Versiegelungs- und geringer Vegetationsgrad, Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalt) ein modifiziertes Klima auf, das im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen führt. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet.
Starkregen	Von Starkregen spricht man bei großen Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit. Er fällt meist aus konvektiver Bewölkung (z.B. Cumulonimbuswolken). Starkregen kann zu schnell ansteigenden Wasserständen und (bzw. oder) zu Überschwemmungen führen, häufig einhergehend mit Bodenerosion.
Strukturwinde	Kleinräumiges Strömungsphänomen, das sich zwischen strukturellen Elementen einer Stadt ausbildet (bspw. zwischen einer innerstädtischen) → *Grünfläche* und der Bebauung entlang einer angrenzenden Straße.
Temperaturantrieb	Die FITNAH-Modellrechnungen starten mit einer bestimmten Temperatur als Ausgangswert (= Temperaturantrieb des Modells). Bei der Zukunftsrechnung ist dieser Temperaturantrieb gegenüber des derzeitigen Zustands erhöht.
Temperaturfeld	Eine skalarwertige Funktion mit einem Wertebereich von 0 bis unendlich, die auf dem gesamten dreidimensionalen Raum bzw. Teilmengen von ihm definiert ist. Ein Temperaturfeld ordnet jedem Raumpunkt seines Definitionsbereiches eine Temperatur zu.
Tropennacht	Eine Nacht, in der eine Lufttemperatur von 20°C nicht unterschritten wird (Zeitraum von 18:00 bis 06:00 UTC).
UTCI (Universal Thermal Climate Index)	Eine aus meteorologischen Parametern abgeleitete Größe für das “Wohlbefinden” des Menschen bzw. der „gefühlte Temperatur“. Mit dem UTCI versucht man alle für den menschlichen Körper relevanten Eingangsdaten zu kombinieren.
Wärmehaushaltsmodell	Berechnet den Wärmeaustausch eines Menschen mit seiner Umgebung und kann so die Wärmebelastung des Menschen abschätzen. Ein Beispiel für ein solches Modell ist der sog. „Klima-Michel“, bei dem von physiologischen Modell-Kenngrößen ausgegangen wird.

Wärmestrom	Ist eine physikalische Größe zur quantitativen Beschreibung von Wärmeübertragungsvorgängen. Er kann nicht direkt gemessen werden, sondern beruht immer auf Temperaturdifferenzmessungen. Die Wärmeenergie fließt von selbst immer vom Bereich mit der höheren Temperatur zum Bereich mit der niedrigeren Temperatur.
Wärmetransport	Wärmetransport oder Wärmeübertragung ist der Transport von Energie in Form von Wärme über mindestens eine thermodynamische Systemgrenze hinweg. Die Wärmeübertragung erfolgt in Richtung der Orte mit tieferen Temperaturen. Es gibt drei Arten von Wärmetransportvorgängen. Wärmeleitung, Konvektion (das Mitführen thermischer Energie in einem strömenden Medium) und Wärmestrahlung.
Windfeld	Ein Windfeld ordnet jedem Raumpunkt seines Definitionsbereiches eine Windrichtung und Geschwindigkeit zu → *Temperaturfeld*
Wirkraum	→ *Wirkungsraum*
Wirkungsraum	Bebauter oder zur Bebauung vorgesehener Raum (Siedlungs- und Gewerbeflächen), in dem eine bioklimatische Belastung auftreten kann. Meistens in Verbindung mit → *Ausgleichsräumen*
Worst-Case-Szenario	Bezeichnung für den schlechtesten oder den ungünstigsten (anzunehmenden) Fall.

1. Einführung

1.1 HINTERGRUND

Die Veränderung des Weltklimas und die Auswirkungen eines weltweiten Klimawandels werden durch den zwischenstaatlichen Ausschuss zum Klimawandel der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, „Weltklimarat") in regelmäßigen Sachstandsberichten dokumentiert und öffentlichkeitswirksam diskutiert.

Angesichts der Aussagen des 5. Sachstandsberichtes (IPCC 2014) und global ansteigender CO_2-Emissionen, ist davon auszugehen, dass die Klimafolgenanpassung im Laufe der kommenden Jahrzehnte noch weiter an Bedeutung gewinnen wird. Daher hat die Europäische Union ihre Mitgliedsstaaten im Rahmen einer Klimafolgenanpassungsstrategie zu einem gemeinschaftlichen Vorgehen aufgefordert (EU-Kommission 2007, 2009, 2013). Der deutsche Anpassungsprozess wird vom Umweltbundesamt bzw. vom dortigen „Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass)" im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB; mittlerweile: BMU) gesteuert. Die Deutsche Anpassungsstrategie (Bundesregierung 2008) und der Aktionsplan Anpassung (Bundesregierung 2011) werden regelmäßig evaluiert und fortgeschrieben (UBA 2015a).

In der Deutschen Anpassungsstrategie heißt es: **"Da Anpassung in den meisten Fällen auf regionaler oder lokaler Ebene erfolgen muss, sind viele Entscheidungen auf kommunaler oder Kreisebene zu treffen"** (Bundesregierung 2008). Diesen Ansatz unterstreicht der Deutsche Städtetag in einem Positionspapier (Deutscher Städtetag 2012). In Nordrhein-Westfalen werden die Kommunen seit dem Jahr 2009 durch eine umfangreiche Landesanpassungsstrategie sowie diverse Dienstleistungen und Angebote (u.a. Fachinformationssystem Klimawandel, Klimafolgenmonitoring, Regionalkonferenzen) unterstützt. Auf kommunaler Ebene verfügen mittlerweile neben den großen Metropolen wie dem Regionalverband Ruhr (RVR 2016 /2016a), die Stadt Köln (LANUV 2013) oder die Landeshauptstadt Düsseldorf (Stadt Düsseldorf 2017) auch zunehmend Städte und Gemeinde außerhalb der Ballungszentren über eigene Konzepte und Beratungsinstrumente (u.a. Bergisches Dreieck 2013, Stadt Bochum 2012). Gegenwärtig zeichnet sich eine ähnlich dynamische Entwicklung wie bei den kommunalen Klimaschutzkonzepten und damit eine Entwicklung weg vom Nischenthema hin zu einem Planungsparadigma der klimawandelgerechten Stadt ab.

Der (inter-)national und regional initiierte Anpassungsprozess hat darüber hinaus bereits in einigen normativen Regelungen seinen Niederschlag gefunden (Gesetze, Verordnungen, Richtlinien). Für die nachhaltige, klimagerechte Stadtentwicklung ist in diesem Zusammenhang vor allem die Klimanovelle des BauGB von 2011/2013 von Bedeutung. Seither sind Klimaschutz und Klimaanpassung als Grundsätze der Bauleitplanung verankert. Ergänzend dazu wurde das „Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung" im Jahr 2017 novelliert. Seither ist in den Umweltberichten zu Umweltverträglichkeitsprüfungen bzw. Strategischen Umweltprüfungspflichtigen Vorhaben auch auf die zu erwartenden Folgen des Klimawandels für die Projekte bzw. Pläne einzugehen.

1.2 PROJEKTZIELE UND -ABLAUF

Die Stadt Bielefeld zielt mit der Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes auf eine Initiierung und Strukturierung des lokalen Anpassungsprozesses, für den wichtige analytische Grundlagen geschaffen und zentrale Maßnahmen identifiziert werden sollen.

Die Erstellung des Klimaanpassungskonzeptes gliederte sich in enger Anlehnung an das „Merkblatt Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten“ (BMUB 2014) in eine analytische und eine strategische Phase. Der Kern der Analysephase ist die räumlich differenzierte Ermittlung und Bewertung der Klimawandelfolgen mit dem Fokus auf „Hitze“ und „Starkregen“ (Kap. 3). In der Strategiephase lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines gesamtstädtischen Maßnahmenkatalogs und dessen teilstädtische Erprobung in zwei Vertiefungsgebieten. Die Gesamtstrategie wird durch ein Verstetigungskonzept, ein Controllingkonzept und eine Kommunikationsstrategie abgerundet, auf deren Grundlage die Umsetzung des Klimaanapassungskonzeptes gesteuert werden soll.

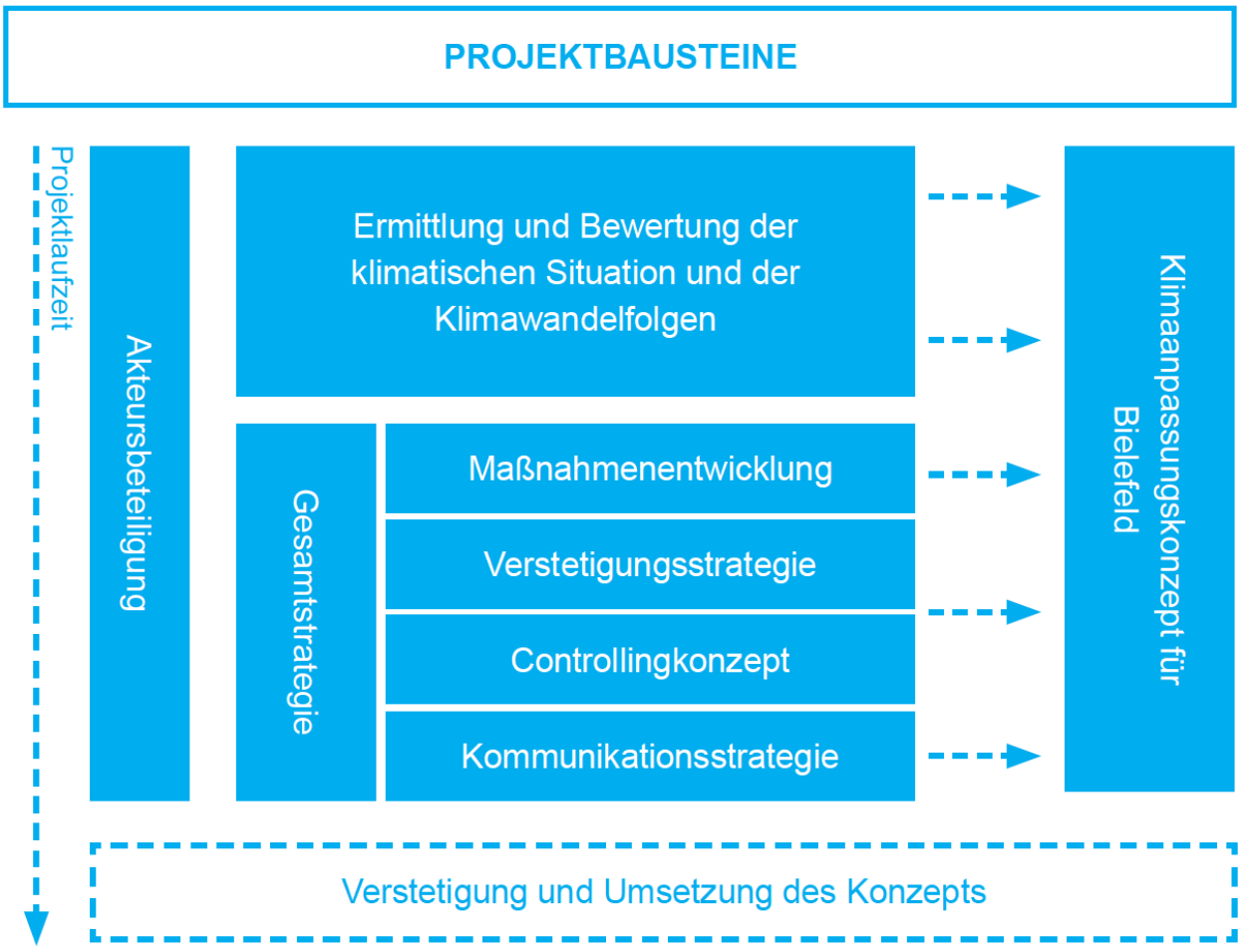


Abb. 1: schematischer Projektablauf

1.3 BETEILIGUNGSPROZESS

Um ein größtmögliches Maß an Verständnis, Qualität und Akzeptanz zu erreichen, fand die Erstellung des Konzeptes unter intensiver Beteiligung der Bielefelder Stadtverwaltung statt. Auch Vertretern der Stadtgesellschaft wurde im Rahmen der Abschlussveranstaltung – gleichsam als „kick-off" für die Umsetzung des Konzeptes – Gelegenheit gegeben, sich über den weiteren Anpassungsprozess zu informieren und zu engagieren. Nicht zuletzt wurde die Lokalpolitik (Ausschuss für Umwelt und Klimaschutz) zweimal während der Konzepterstellung über den Projektstand informiert.

In insgesamt fünf Veranstaltungen wurden Projektergebnisse vorgestellt und diskutiert sowie mithilfe von fragestellungsorientierten Beteiligungsformaten gemeinsam mit den Akteuren auch projektrelevante Inhalte erarbeitet:

- Verwaltungsinterner Auftaktworkshop am 19.03.2018

  Einführung in das Thema Klimafolgenanpassung, Klimawandel in Bielefeld, analytische Ansätze für die Betroffenheitsanalyse, Ausblick: Maßnahmen für eine klimagerechte Stadtentwicklung

- Workshop „Klimawandelfolge Hitze" am 04.07.2018

  Vorstellung und Diskussion von (Zwischen-)Ergebnissen der Analysen, erste Sammlung von Maßnahmenansätzen

- Workshop „Klimawandelfolge Starkregen" am 05.07.2018

  Vorstellung und Diskussion von (Zwischen-)Ergebnissen der Analysen, erste Sammlung von Maßnahmenansätzen

- Workshop „Maßnahmen zur Klimaanpassung" am 15.11.2018

  Vorstellung von Ergebnissen der Analysen, Handlungskarten und Maßnahmenkatalog, Diskussion von Klimaanpassungsmaßnahmen für Planszenarien zu zwei städtischen Teilräumen

- Workshop „Wirksamkeit von Maßnahmen/Verstetigung der Klimaanpassung" am 17.01.2018

  Vorstellung und Diskussion der stadtklimatischen und wasserwirtschaftlichen Modellierungsergebnisse für die Planvarianten der zwei Teilräume, Diskussion in Kleingruppen über Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Konzeptergebnisse in künftigen Planungsprozessen (Verstetigung)

- Abschlussveranstaltung zur Information der Öffentlichkeit am 03.07.2019

  Präsentation der Projektergebnisse unter Einbeziehung der Öffentlichkeit. Zusammenfassung der Ergebnisse zum Klimawandel, zu Betroffenheiten sowie zu Anpassungsmöglichkeiten für die Stadt und zur Mitwirkung der Öffentlichkeit

- Präsentation im Ausschuss für Umwelt und Klimaschutz am 01.10.2019 und im Stadtentwicklungsausschuss am 29.10.2019

  Vorstellung und Diskussion von (Zwischen-)Ergebnissen, Ausblick

- Vorstellung im Rat der Stadt Bielefeld am 07.11.2019

  Vorstellung und Diskussion von (Zwischen-)Ergebnissen, Ausblick

Die Inhalte und Ergebnisse der Veranstaltungen können auf der Homepage der Stadt Bielefeld eingesehen werden (Stadt Bielefeld 2019). Unter derselben Adresse wurde auch der Projektfortschritt dokumentiert und zentrale Informationen für jedermann zugänglich gemacht.

2. Klimawandel in Bielefeld

Der Klimawandel ist bereits heute erkenn- und messbar (IPCC 2014). Besonders im Hinblick auf die Entwicklung von Anpassungsstrategien und Konzepten zum Umgang mit veränderten klimatischen Bedingungen ist es wichtig zu wissen, in welchem Umfang sich die Klimaelemente Temperatur, Niederschlag und Wind in den nächsten Dekaden verändern.

Analysen für Mitteleuropa und Deutschland deuten darauf hin, dass zukünftig steigende Temperaturen mit zunehmenden Hitzewellen und Trockenheit sowie veränderten Niederschlägen einhergehen. Dabei können abnehmende Niederschläge im Sommer und zunehmende Niederschläge im Winter auftreten. Weiterhin nehmen Starkniederschlagsereignisse zu, die v.a. Abflusssysteme überlasten und für Überschwemmungen sorgen können. Hinzu kommt eine, zumindest subjektiv wahrgenommene, Häufung starker bis extremer Sturmereignisse in den vergangenen Jahren mit teilweise verheerenden Folgen für die Verkehrsinfrastruktur, Gebäude und Stadtbäume. Diese Auswirkungen können regional recht unterschiedlich sein und müssen somit für jeden betrachteten Raum individuell analysiert und bewertet werden (Jacob et al. 2014).

2.1 METHODE & DATENGRUNDLAGEN

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen für die Stadt Bielefeld basiert auf Daten von numerischen, regionalen Klimamodellen der EURO-CORDEX-Initiative. EURO-CORDEX erstellt Ensembles von Klimasimulationen basierend auf einer Vielzahl von Downscaling-Modellen, angetrieben von verschiedenen globalen Klimamodellen für Europa. EURO-CORDEX ist der europäische Zweig der CORDEX-Initiative, welche regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften IPCC Assessment Reports (AR5) und darüber hinaus erstellt. Verwendet wurden tägliche Daten mit einer räumlichen Auflösung von ca. 12,5 km (0,11 °).

Tab. 1 listet die zum Zeitpunkt der Durchführung der Auswertungen verfügbaren Modellrechnungen von EURO-CORDEX auf, welche die Grundlage für das zusammengestellte Ensemble bilden. EURO-CORDEX ist ein fortlaufendes Projekt, d.h. die Datenbanken mit den verfügbaren Modellergebnissen werden permanent aktualisiert. Somit sind eventuell in der Zeit bis zur Erstellung dieses Berichtes weitere Modellläufe für Europa hinzugekommen, die jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Ein erheblicher Einfluss dieser Daten auf die hier präsentierten Ergebnisse ist allerdings nicht zu erwarten.

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind Klimamodelle Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik sowie der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden ein sogenanntes Modellensemble. Diesem Ansatz folgend wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung von Bielefeld auf ein Ensemble bestehend aus 12 Regionalen Klimamodellen zurückgegriffen.

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

	GCM	RCM	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
1	EC-EARTH	CCLM4-8-17	✓	✓	✓
2	EC-EARTH	RACMO22E	✓	✓	✓
3	EC-EARTH	RACMO22E	×	✓	✓
4	EC-EARTH	SMHI-RCA4	✓	✓	✓
5	IPSL-CM5A	SMHI-RCA4	×	✓	✓
6	HadGEM2-ES	CCLM4-8-17	×	✓	✓
7	HadGEM2-ES	RACMO22E	✓	✓	✓
8	HadGEM2-ES	RCA4	✓	✓	✓
9	MPI-ESM	CCLM4-8-17	×	✓	✓
10	MPI-ESM	REMO2009 (v1)	✓	✓	✓
11	MPI-ESM	REMO2009 (v2)	✓	✓	✓
12	MPI-ESM	RCA4	✓	✓	✓

Zur Auswertung der Ergebnisse eines Modellensembles stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. So ist es möglich, die Ergebnisse zu aggregieren und einen Ensemble-Mittelwert auszuwerten oder aus den Ensemblewerten statistische Maße wie bspw. den Median oder Quantile abzuleiten. Auch komplexe statistische Ansätze wie bspw. das Bayes-Verfahren kommen bei der Auswertung von Modellensembles zur Anwendung (vgl. Fischer et al. 2012). Es stellt sich weiterhin die Frage, ob alle Ensemble-Mitglieder gleichberechtigt betrachtet oder eventuell nach ihrer Güte (die zu definieren wäre) gewichtet werden sollen. Jede Methode zur Auswertung von Modellensembles hat Vor- und Nachteile, die jedoch an dieser Stelle nicht tiefergehend diskutiert werden können (siehe z.B. Knutti et al. 2010). Für diesen Bericht wurden die Mitglieder des Regionalmodell-Ensembles gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke et al. 2016).

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO_2-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO_2-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO_2-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 (RCP = *Representative Concentration Pathways*). Die Zahl in der Bezeichnung der Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m^2, der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010):

- Das Szenario RCP 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m^2 ab. Die globale Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass das RCP 2.6 oft auch als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- RCP 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das Szenario RCP 8.5 weist hingegen den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und einen Anstieg der globalen Mitteltemperatur um ca. 4,8°C gegenüber dem Zeitraum 1985-2005 bewirken würde. Das Szenario RCP 8.5 wird auch als „Weiter wie bisher Szenario" bezeichnet.

Nach den Ergebnissen des Global Carbon Projektes[1] befinden wir uns, gemessen an den globalen CO_2-Emissionen, aktuell auf dem „Pfad“ des RCP 8.5-Szenarios (Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO_2-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Die Stadt Bielefeld hat für die beauftragten Modellberechnungen für die Prognose das Szenario RCP 8.5 im Sinne der Maximalabschätzung zugrunde gelegt. Daher sind in diesem Bericht im Hauptteil vornehmlich Grafiken zu Klimaänderungen des Szenarios RCP 8.5 platziert, die Auswertungen der Szenarien RCP 2.6 und RCP 4.5 finden sich jeweils im Anhang. Die in der Abbildung ebenfalls aufgeführten SRES-Kurven entsprechen differenzierteren "Special Report on Emissions Scenarios", die hier nicht näher betrachtet werden sollen.

Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Europa flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Ermittlung des dem Stadtzentrum von Bielefeld am nächsten gelegen Gitterpunktes sowie den 8 umliegenden Gitterpunkten (Abb. A 1). Die an den Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (täglich) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten (vgl. DWD 2016). Alle Auswertungen basieren auf diesen Zeitreihen.

[1] www.globalcarbonproject.org

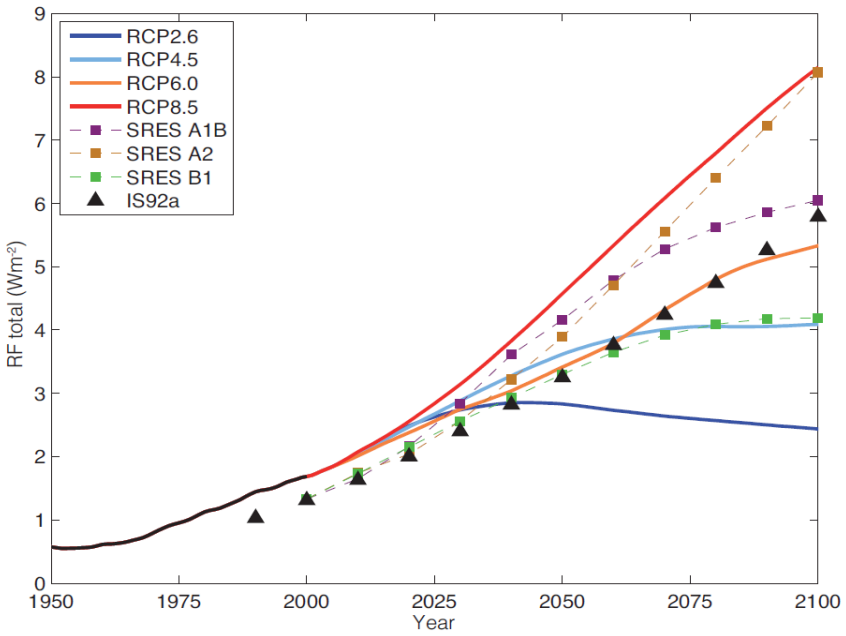


Abb. 2: Anthropogener Strahlungsantrieb der verschiedenen IPCC-Klimaszenarien, die schwarze Linie repräsentiert Messwerte (Cubasch et al. 2013)

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

Tab. 2: Bewertung der statistischen Signifikanz anhand des Trend-/Rauschverhältnisses, (siehe oben).

Trend- / Rauschverhältnis	Bewertung
≥ 2,0	sehr stark zunehmend
≤ -2,0	sehr stark abnehmend
≥ 1,5 und < 2,0	stark zunehmend
≤ -1,5 und > -2,0	stark abnehmend
≥ 1,0 und < 1,5	schwach zunehmend
≤ -1,0 und > -1,5	schwach abnehmend
< 1,0 und > -1,0	kein Trend

Für die Beschreibung des zukünftigen Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in welchem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind. Die WMO (World Meteoro-

logical Organisation) empfiehlt die Verwendung der sogenannten 30-jährigen Klimanormalperiode von 1961 bis 1990. Da jedoch bei einigen der verwendeten Regionalen Klimamodelle der Zeitraum des Referenzlaufs erst 1971 beginnt wurde im Rahmen dieses Projektes der Zeitraum von 1971 bis 2000 als Referenzperiode festgelegt. Dieser ist im Verhältnis zu den betrachteten Zukunftszeiträumen noch ausreichend wenig vom Klimawandel beeinflusst, so dass eine vergleichende Betrachtung die wesentlichen klimatischen Veränderungen aufzeigt.

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

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

- Referenzperiode: 1971 - 2000
- Zukunftsperiode 1 (kurzfristiger Planungshorizont): 2021 - 2050
- Zukunftsperiode 2 (mittelfristiger Planungshorizont): 2041 - 2070
- Zukunftsperiode 3 (langfristiger Planungshorizont): 2071 - 2100

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

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

Die nachfolgenden Ausführungen enthalten eine Vielzahl von Grafiken in Form von sogenannten *Box-Whisker Plots*. Diese haben den Vorteil, dass die Kennwerte statistischer Verteilungen schnell erfassbar und vergleichbar sind (siehe Abb. 3 zur Erläuterung der Plots).

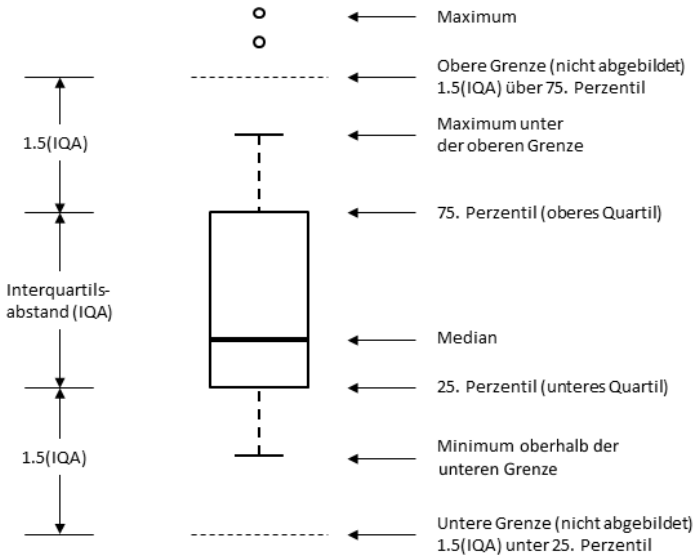


Abb. 3: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots

2.2 TEMPERATURERHÖHUNG & HITZE

Die jährliche Mitteltemperatur lag in Bielefeld in der Referenzperiode von 1971 bis 2000 bei 9,7°C, wobei im Mittel etwa 6 Heiße Tage (Tmax ≥ 30 °C) pro Jahr auftraten. An den umliegenden Klimastationen wurden im benannten Zeitraum bis zu 3 Hitzewellen registriert (DWD Station 2147 Herford, 4371 Bad Salzuflen, 1891 Rheda Wiedenbrück und 3028 Bad Lippspringe). Im Mittel traten etwa 55 Frost- und 13 Eistage pro Jahr auf (Frosttag: Tmin < 0 °C; Eistag: Tmax < 0 °C).

Im zeitlichen Verlauf von 1971 bis zum Jahr 2100 zeigt der Median der Jahresmitteltemperaturen des Regionalmodellensembles einen deutlichen Anstieg beim Szenario RCP 8.5 (Abb. 4). Dieser Trend ist äußerst robust, ein Anstieg der jährlichen Mitteltemperaturen wird von allen Modellkombinationen des Ensembles bestätigt (Abb. A 2 bis Abb. A 4 im Anhang). Zum Ende des Jahrhunderts nimmt neben der Jahresmitteltemperatur auch die Variabilität zu, dies wird durch die Darstellung der Bandbreite des Modellensembles in Abb. 4 deutlich (Möglichkeitsbereich). Hierbei sei darauf hingewiesen, dass der im Diagramm abgebildete, bereits vergangene Zeitraum durch Modelldaten und nicht durch Beobachtungsdaten repräsentiert wird (dies gilt für alle Diagramme mit Zeitreihen von Modelldaten in diesem Kapitel). Der Unterschied ist in Kapitel 2.1 erläutert.

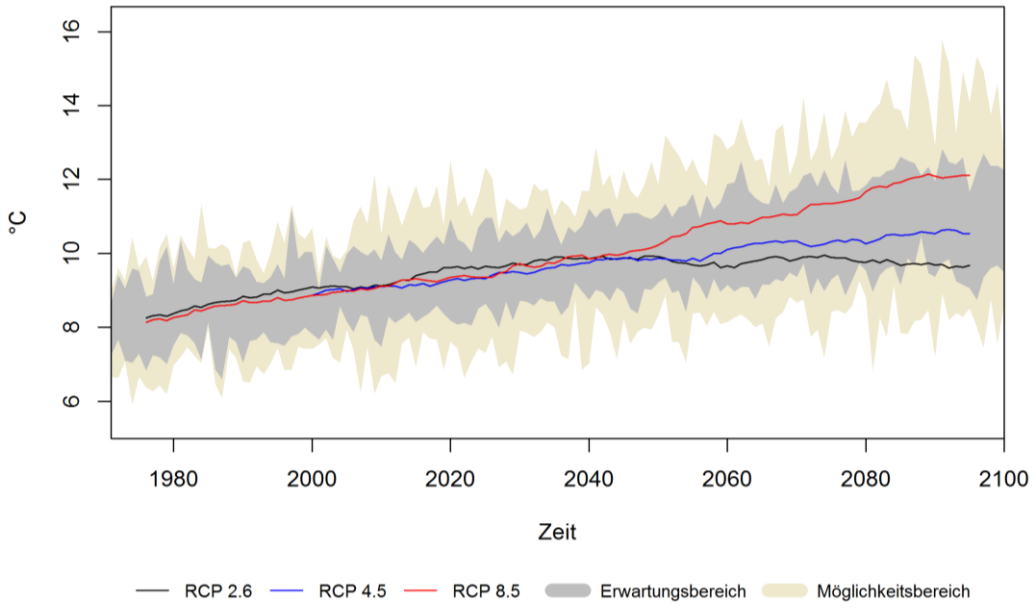


Abb. 4: Zeitlicher Trend der jährlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld, alle Szenarien. Die durchgezogenen Linien sind die Mediane der einzelnen Szenarien des Ensembles. Der Möglichkeitsbereich bildet die Bandbreite zwischen kleinstem und größtem Wert des Ensembles, der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Ensembles[2].

Die Änderungen der langjährigen Mittelwerte der Temperatur zeigen für Bielefeld ebenfalls einen deutlichen Anstieg in allen Zeiträumen, wobei zum Ende des Jahrhunderts die stärksten Zunahmen zu verzeich-

[2] Der Möglichkeitsbereich ist synonym dem Begriff Vertrauensbereich zu verwenden und bildet die Bandbreite zwischen kleinstem und größtem Wert des Ensembles, der Erwartungsbereich zeigt die Bandbreite zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Ensembles.

nen sind (Tab. 3). Die jährlichen Minimumtemperaturen steigen am stärksten. Die Änderungen der Temperaturmaxima fallen höher aus als die der Mitteltemperaturen. Die höchsten Zunahmen der Mitteltemperatur treten in der Zukunftsperiode von 2071 bis 2100 bei den Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 auf, beim Szenario RCP 2.6 ist ein leichter Rückgang der Temperatur zu erkennen. Hier zeigen sich die projizierten positiven Auswirkungen globaler Klimaschutzmaßnahmen deutlich.

Eine Zunahme der Temperaturen ist in allen Regionen Deutschlands beobachtbar und auch in den regionalen Klimaprojektionen erkennbar (DWD 2016, Deutschländer und Mächel 2017). In der 3. Zukunftsperiode (2071-2100) liegt die Temperaturänderung des Szenarios RCP 8.5 in Bielefeld mit 3,5 °C leicht unter dem deutschlandweiten Mittelwert von 3,8 °C. Bei der Annahme dieses Szenarios würde die Jahresmitteltemperatur in Bielefeld zum Ende des Jahrhunderts somit bei ca. 12 °C bis 13 °C liegen. Dies entspricht beispielsweise der heutigen Jahresmitteltemperatur von Mailand oder auch Venedig im Norden Italiens. Wie bei den Trends der Temperatur sind auch die projizierten Änderungen der langjährigen Mittelwerte sehr robust und werden von allen Modellkombinationen des Ensembles als statistisch signifikant ausgegeben (vgl. Tab. A 3 im Anhang).

Tab. 3: Mittlerer langjähriger Temperaturanstieg (in °C) in Bielefeld, Szenario RCP 8.5.

	Mitteltemperatur	Maximumtemperatur	Minimumtemperatur
2021 - 2050	1,2	3,1	1,8
2041 - 2070	2,1	5,0	2,7
2071 - 2100	3,5	7,8	5,0

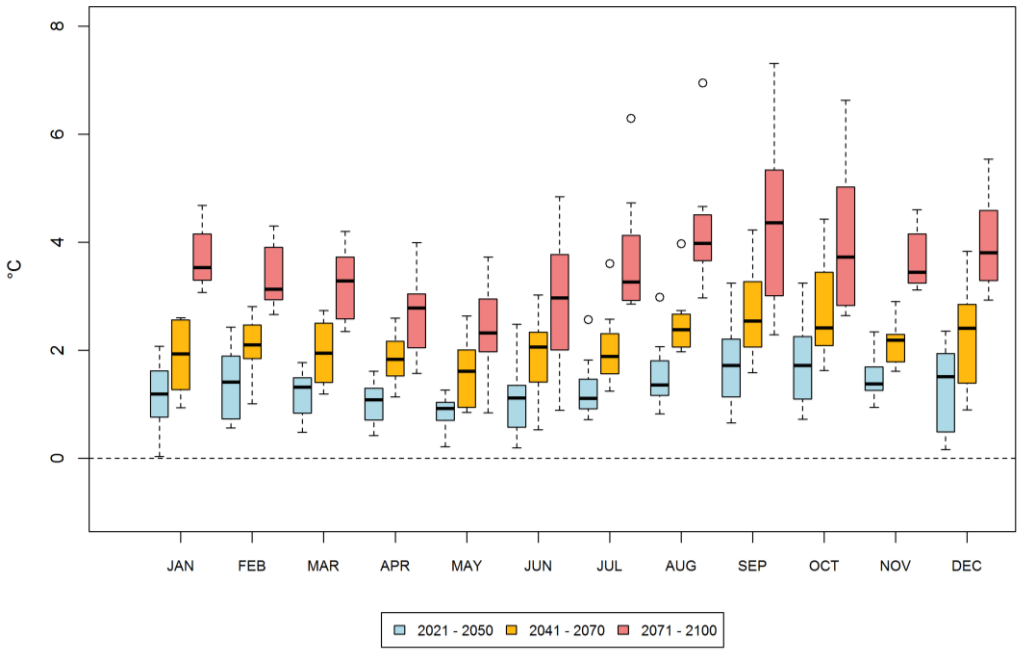


Abb. 5: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

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

Der projizierte Anstieg der Temperatur steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung meteorologischer Kenntage, die eine anschaulichere Sicht auf klimatische Änderungen zulassen. In Tab. 4 sind die langjährigen mittleren Änderungen ausgewählter Kenntage aufgeführt. Die durchschnittliche jährliche Anzahl an Sommertagen, Heißen Tagen und Tropennächten nimmt bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich zu. So ist bspw. in der Zukunftsperiode 3 beim Szenario RCP 8.5 mit 15 zusätzlichen Heißen Tagen zu rechnen. Damit würden zukünftig im Mittel ca. 21 Heiße Tage im Gegensatz zu aktuell ca. 6 Heißen Tagen pro Jahr auftreten.

Tropennächte treten relativ selten auf, weshalb beobachtete Änderungen statistisch nur unzureichend belastbar sind. Trotzdem können sie als Anhaltspunkte für die Tendenz zur zunehmenden Erwärmung dienen. Tropennächte treten ab Mitte des Jahrhunderts häufiger auf. Dieser Kennwert beschreibt die zunehmende nächtliche Temperaturbelastung besonders in urbanen eng bebauten Räumen sehr gut. Zum Ende des Jahrhunderts führt die projizierte Erwärmung zu 13 zusätzlichen Tropennächten im Jahr (siehe Tab. 4).

Die Zunahme der Heißen Tage lässt in Zukunft eine zunehmende Häufigkeit von Hitzeperioden und Hitzewellen erwarten. Für Hitzeperioden gibt es keine eindeutige Definition. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um einen Zeitraum mit länger anhaltenden ungewöhnlich hohen Temperaturen. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze zur objektiven Erfassung der Eigenschaft „ungewöhnlich hoch“. Einerseits werden Schwellenwerte verwendet wie z.B. eine maximale Tagestemperatur von 30 °C, andererseits gibt es statistische Ansätze wie die Verwendung des 95. oder 99. Perzentils der Temperaturverteilung zur Erfassung ungewöhnlich hoher Temperaturen. Wird der Schwellenwert einer Tageshöchsttemperatur ≥ 30 °C verwendet und die Länge aufeinanderfolgender Tage betrachtet, die diesen Wert erreicht oder überschritten haben, zeigt sich für Bielefeld, dass die Länge von Hitzeperioden in Zukunft zunimmt (Abb. 6, Abb. A 7 und Abb. A 8 im Anhang).

Tab. 4: langjährige mittlere Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Bielefeld.

	2021-2050	2041-2070	2071-2100
Sommertage ($T_{max} \geq 25$ °C)	9	19	35
Heiße Tage ($T_{max} \geq 30$ °C)	4	7	15
Tropennächte ($T_{min} \geq 20$ °C)	2	5	13
Frosttage ($T_{max} < 0$ °C)	-22	-31	-46
Eistage ($T_{min} < 0$ °C)	-8	-9	-13

Hitzewellen gelten nach der Definition der WMO als ein Zeitraum von mindestens 3 aufeinanderfolgenden Tagen, an welchen der langjährige Mittelwert der jährlichen Maxima der Temperatur der Sommermonate (JJA) überschritten wird. Im Raum Bielefeld traten in der 30-jährigen Referenzperiode von 1971 bis 2000 etwa 3 Hitzewellen auf. Dies entspricht einer Auftrittshäufigkeit von 10 Jahren. Beim Szenario RCP 8.5 würden zum Ende des Jahrhunderts 29 Hitzewellen auftreten, was dann einer nahezu jährlichen Auftrittshäufigkeit entspräche.

Neben den auf die hohen Temperaturen abzielenden Kenntagen steht die eingangs beschriebene intensive Zunahme der Minimumtemperaturen im Zusammenhang mit einer Abnahme an Frost- und Eistagen. Dies lässt ein häufigeres Auftreten wesentlich milderer Winter und eine geringere Zahl an Tagen mit Frost- und Tauwechseln erwarten. In Bielefeld treten im langjährigen Mittel ca. 55 Frosttage pro Jahr auf. Darin enthalten sind etwa 13 Eistage pro Jahr. Beim Szenario RCP 8.5 würden zum Ende des Jahrhunderts im Mittel nur noch 9 Frosttage und kein Eistag mehr pro Jahr auftreten.

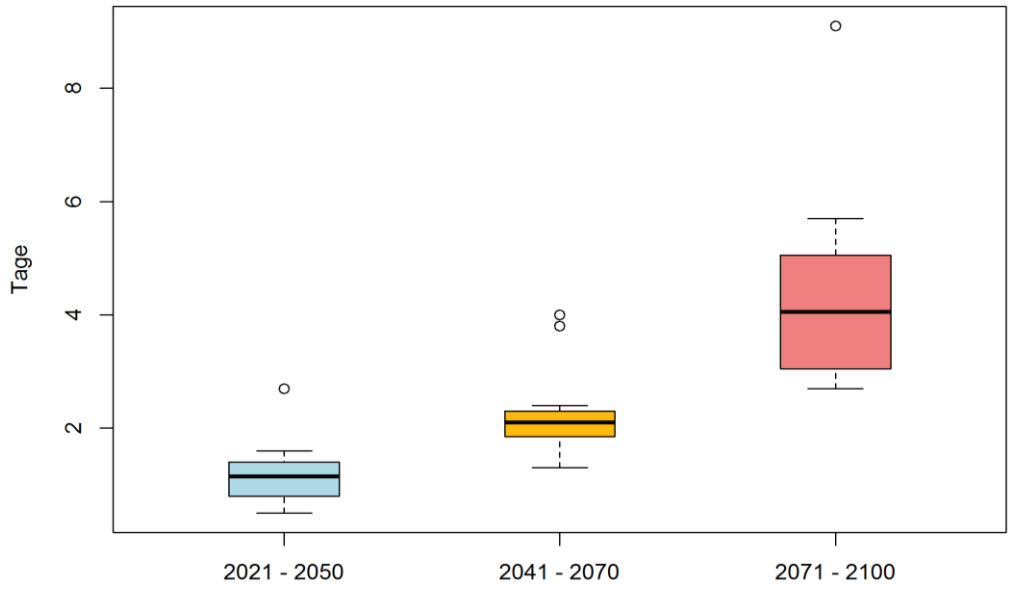


Abb. 6: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit $T_{max} \geq 30$ °C) in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

2.3 NIEDERSCHLAGSVERSCHIEBUNG & TROCKENHEIT

Niederschlagsverschiebung

Die langjährige mittlere jährliche Niederschlagssumme in Bielefeld beträgt 887 mm. Sommer- und Winterniederschläge halten sich mit 238 mm und 239 mm fast exakt die Waage.

Die jährlichen Niederschlagssummen in Bielefeld zeigen für alle Szenarien einen nur schwachen Anstieg bis zum Ende des Jahrhunderts (Abb. 7). Beim Szenario RCP 8.5 ist dieser Trend nur bei 3 von 12 Modellläufen statistisch signifikant (Abb. A 9 im Anhang). Der Niederschlag nimmt in allen drei Zukunftsperioden zu (Tab. 5), wobei zum Ende des Jahrhunderts durchschnittlich 71 mm Niederschlag mehr pro Jahr zu erwarten sind. Im Verhältnis zur natürlichen Schwankung, die bis zu ca. 450 mm von Jahr zu Jahr betragen kann, sind die Änderungen der jährlichen Niederschlagsmengen eher gering. Jedoch zeigt die Mehrzahl der Regionalmodelle eine Zunahme an (Tab. A 5 im Anhang), wobei diese beim Szenario RCP 8.5 in der Zukunftsperiode von 2071 bis 2100 in der Mehrzahl auch statistisch signifikant ist.

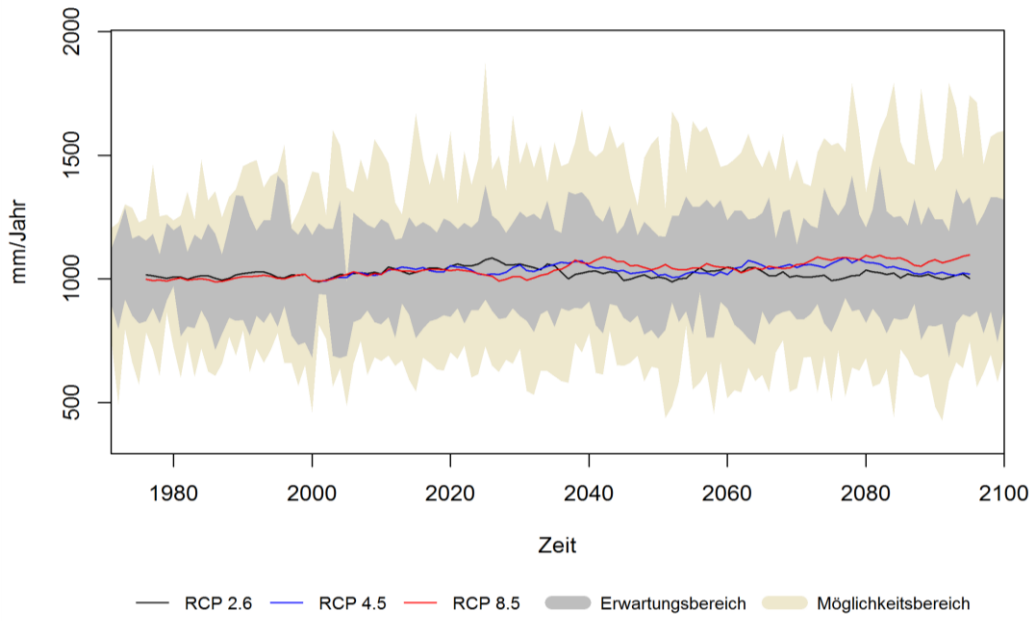


Abb. 7: Zeitlicher Trend der jährlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, alle Szenarien

Tab. 5: Mittlere langjährige Änderung der jährlichen Niederschlagssumme (in mm/Jahr) in Bielefeld.

	Niederschlag
2021 - 2050	48
2041 - 2070	41
2071 - 2100	71

Im Jahresgang zeigen sich auffällige Unterschiede der Niederschlagsänderungen. Es ist eine Tendenz zur Verschiebung erkennbar, mit geringer ausfallenden Änderungen im Sommer als im Winter. In den Monaten

Juli - September sind im Zeitraum von 2071-2100 abnehmende Niederschlagsmengen erkennbar (Abb. 9). Die Modellvariabilität innerhalb des Ensembles ist recht hoch, was wiederum auf relativ hohe Unsicherheiten in der Aussage hindeutet. Die in den Abbildungen erkennbare Niederschlagsverschiebung mit Zunahmen des Niederschlags vornehmlich im Winter und Abnahmen im Sommer kann trotz bestehender Unsicherheiten zumindest als auffallende Tendenz interpretiert werden.

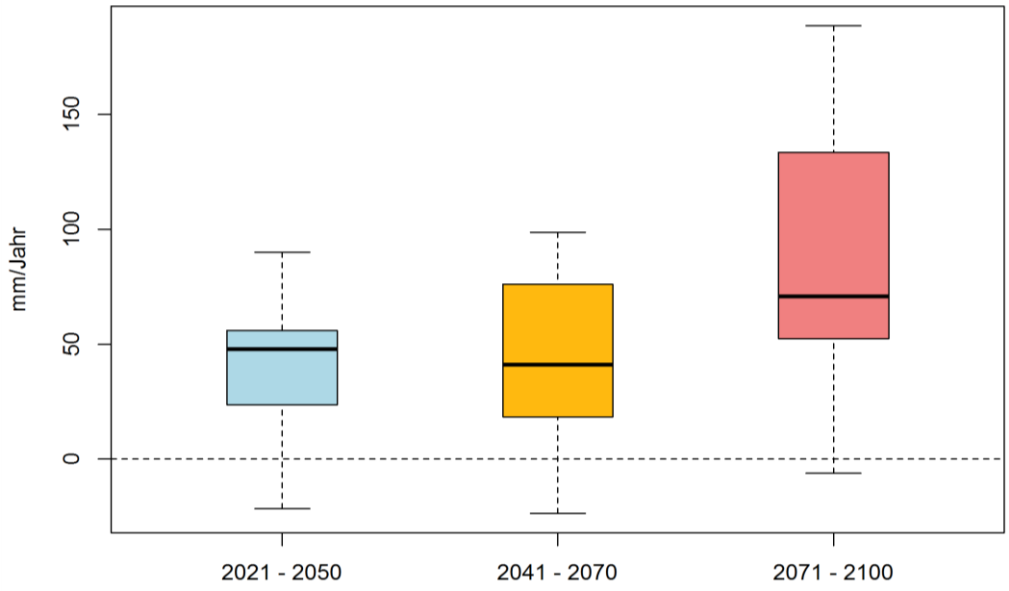


Abb. 8: Langjährige mittlere Änderungen der jährlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

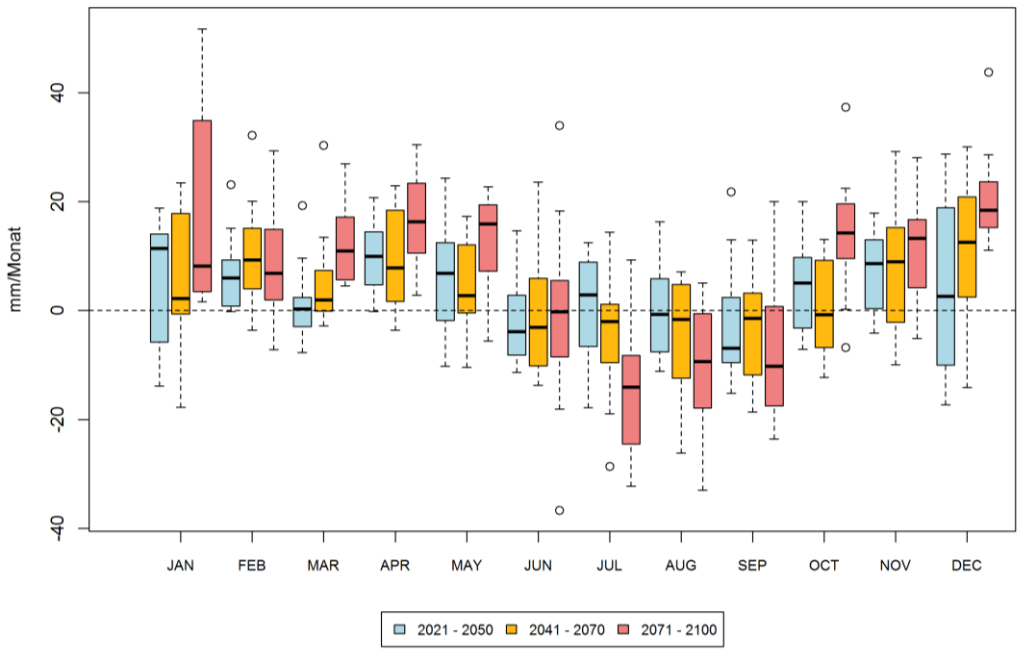


Abb. 9: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

Trockenheit

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

Die monatlichen Änderungen der klimatischen Wasserbilanz weisen entscheidende jahreszeitliche Differenzen auf (Abb. 10). Während die Winter- und Frühjahrsmonate größtenteils positive Änderungen der klimatischen Wasserbilanz zeigen, sind in den Monaten von Juni bis September in allen drei Zukunftsperioden Abnahmen erkennbar. Auch wenn die Änderungen in den Sommermonaten teilweise recht gering sind, deutet dies zumindest auf die Tendenz zu einer Verminderung des natürlichen Wasserdargebots hin. Dies kann in heißen Sommern die Situation, in bereits heute schon von Wasserknappheit oder Trockenheit betroffenen Bereichen, noch verschärfen. Ähnlich wie beim Niederschlag sind auch die Änderungen der klimatischen Wasserbilanz mit Unsicherheiten behaftet, da diese zu einem nicht unwesentlichen Teil durch die Variabilität des Niederschlags beeinflusst sind. Die klimatische Wasserbilanz ist bei den Szenarien RCP 2.6 und RCP 4.5 ähnlich, jedoch weniger deutlich ausgeprägt als beim Szenario RCP 8.5 (Abb. A 14 und Abb. A 15 im Anhang).

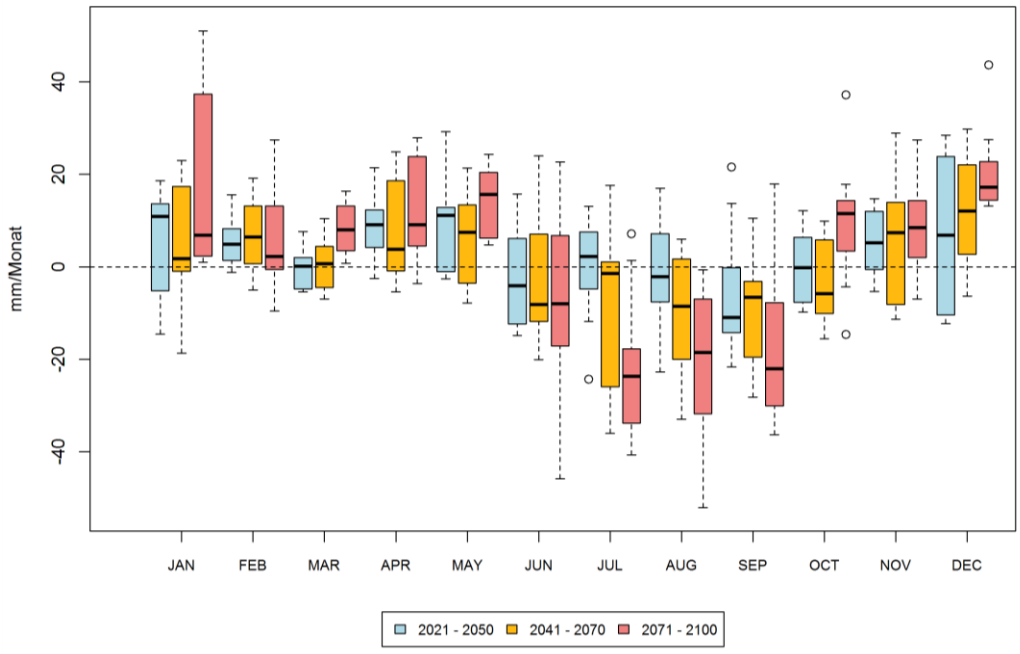


Abb. 10: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen klimatischen Wasserbilanz in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

2.4 STARKNIEDERSCHLAG

Mehr noch als die mittleren Niederschlagssummen ist für Städte die Frage nach der Häufigkeit und der Intensität von Starkniederschlägen relevant. Verschiedene Ereignisse in jüngster Vergangenheit haben gezeigt, dass Starkregenereignisse ein erhebliches Schadens- und Gefahrenpotenzial besitzen.[3]

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

- starker Niederschlag: N ≥ 10 mm/d
- stärkerer Niederschlag: N ≥ 20 mm/d
- Starkniederschlag: N ≥ 50 mm/d

Beispielhaft für den Trend von Starkniederschlagsereignissen in Bielefeld ist die zeitliche Entwicklung der Auftrittshäufigkeit von Tagen mit einem Niederschlag ≥ 20 mm/d dargestellt (Abb. 11). Die Werte zeigen einen leicht ansteigenden positiven Trend, wobei dieser beim Szenario RCP 8.5 nur bei 5 von 12 Modelläufen auch statistisch signifikant ist (Abb. 12).

Starkniederschläge treten relativ selten auf und lassen sich somit statistisch nur bedingt erfolgreich auswerten. Bei Betrachtung der Änderungen des Auftretens dieser seltenen Ereignisse pro Jahr fallen die Ergebnisse äußerst gering und wenig anschaulich aus, da diese unter Umständen gar nicht jährlich in Erscheinung treten. Werden jedoch Ereignisse mit starkem Niederschlag innerhalb der eingangs beschriebenen 30-jährigen Zeiträume gezählt, zeigen sich Veränderungen im Vergleich zum Referenzzeitraum. Für die Kategorien N ≥10 mm/d und N ≥20 mm/d des Starkniederschlages wird bei allen regionalen

[3] Vgl. auch Stadt Bielefeld, Gesundheitsziele für Bielefeld 2017-2022, S. 13., http://www.bielefeld.de/de/rv/ds_stadtverwaltung/gvla/kgk/zie/

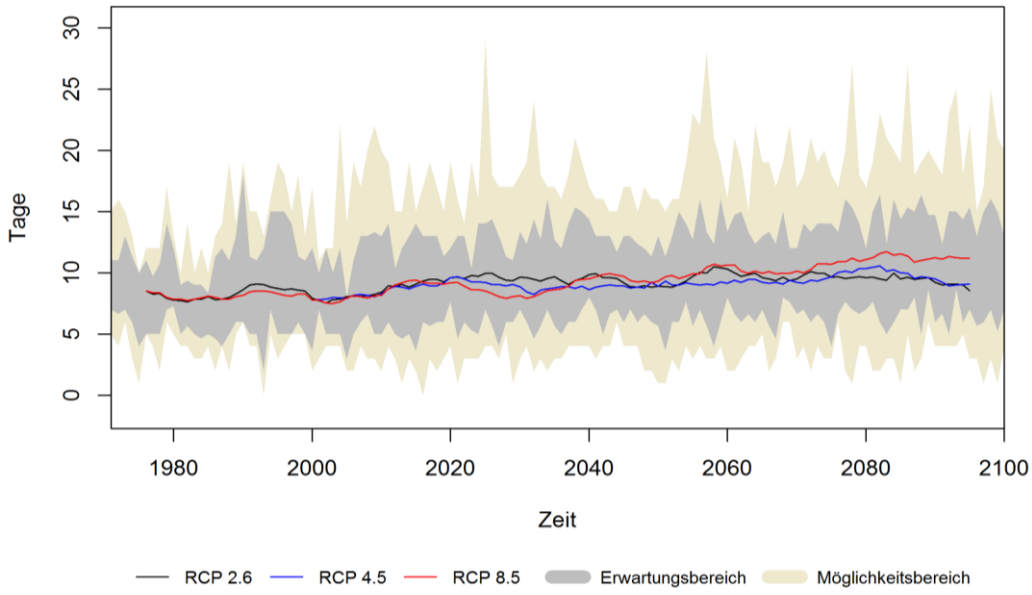


Abb. 11: Zeitlicher Trend der Anzahl an Tagen mit stärkerem Niederschlag (N ≥ 20 mm/d) in Bielefeld, alle Szenarien.

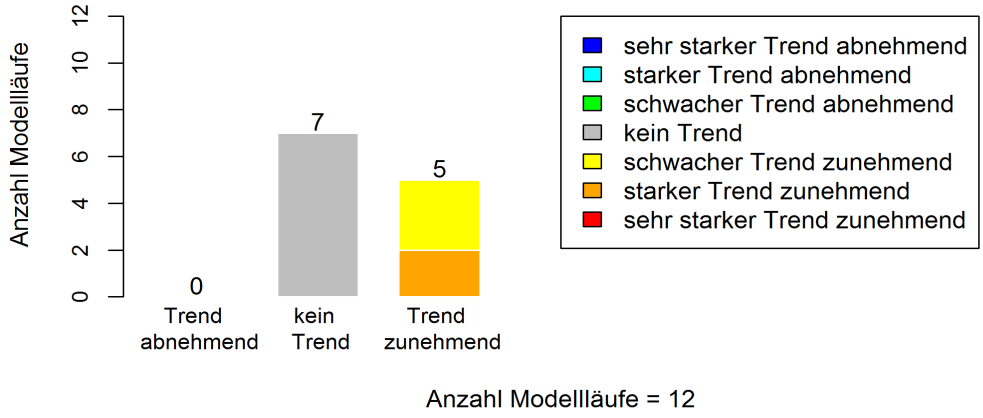


Abb. 12: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Tage mit stärkerem Niederschlag (N ≥ 20 mm/d), Szenario RCP 8.5

Klimamodellen für alle Szenarien eine Zunahme der Ereignisse festgestellt, wobei zum Ende des Jahrhunderts die Zunahmen am größten sind (vgl. Tab. 6 und Abb. 13). Niederschlagsereignisse ≥ 50 mm/d treten sehr selten auf. So wurden an der Station Bielefeld-Stadtreinigungsamt von 1971 bis 1999 nur zwei Niederschlagsereignisse ≥ 50 mm/d registriert. Beim Szenario RCP 8.5 tritt die höchste Zunahme von Starkniederschlagsereignissen im Zeitraum von 2071 bis 2100 mit zusätzlich 5 Ereignissen in 30 Jahren auf. Dies würde eine Zunahme der Auftrittshäufigkeit von „einmal pro 15 Jahre“ auf etwa „einmal pro 4 Jahre“ bedeuten.

Die Zunahme von Tagen mit Niederschlag ≥ 10 mm/d (dies schließt Tage mit N ≥ 20 mm/d und N ≥ 50 mm/d mit ein) ist verbunden mit einer Abnahme von Tagen mit Niederschlag < 10 mm/d. Bei wenig veränderten oder gar zunehmenden Jahresniederschlagssummen bedeutet dies, dass die Häufigkeit von

Tagen mit Niederschlag im Mittel abnimmt, die Niederschlagsintensität jedoch zunimmt. Mit einfachen Worten: Es regnet weniger, aber wenn, dann stärker als im Referenzzeitraum. Dies wird durch die Zunahme des höchsten täglichen Niederschlags noch untermauert. So kann in der Zukunft, je nach Szenario, die maximale tägliche Niederschlagsmenge 2 mm bis 6 mm höher sein als heute. Der höchste bisher an der Station Bielefeld-Sennestadt gemessene tägliche Niederschlag wurde am 29.06.1981 mit 69 mm/d registriert.

Im Kapitel 2.3 wurde bereits darauf hingewiesen, dass der von den Regionalmodellen abgebildete Niederschlag relativ großen Unsicherheiten unterliegt. Dies gilt umso mehr für die Extreme. Deshalb sollten die hier aufgeführten Auswertungen nur unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis interpretiert werden. Prinzipiell wird jedoch offensichtlich, dass die zunehmende Erwärmung mit einer Intensivierung des Niederschlagsgeschehens einhergeht und die Wahrscheinlichkeit der Zunahme von extremen Niederschlagsereignissen, in Abhängigkeit vom betrachteten Klimaszenario und Zukunftszeitraum, in einer allgemein wärmeren Atmosphäre steigt.

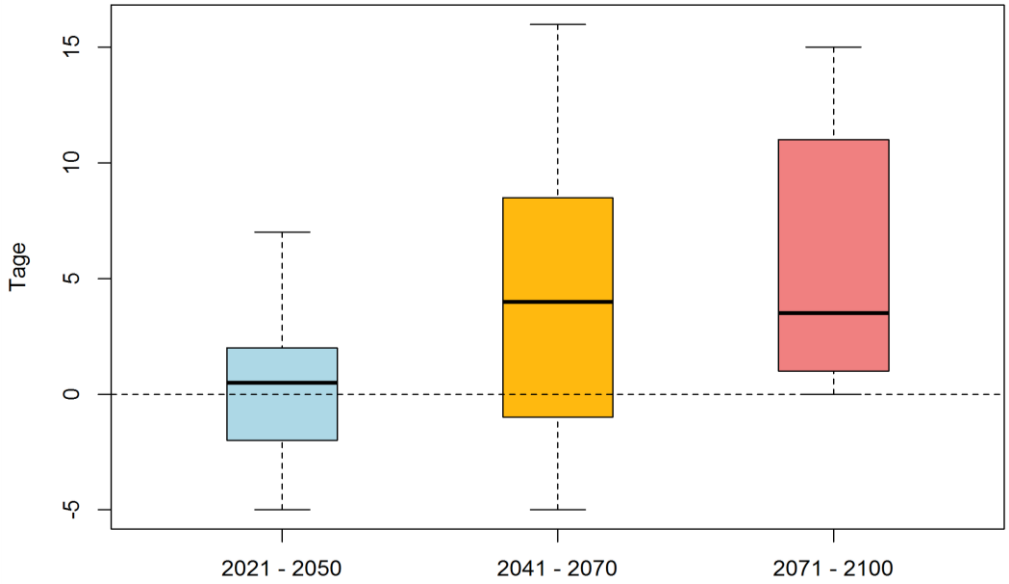


Abb. 13: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

Tab. 6: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraums in Bielefeld.

	2021-2050	2041-2070	2071-2100
starker Niederschlag (N ≥ 10 mm/d)	81	99	158
stärkerer Niederschl. (N ≥ 20 mm/d)	22	47	89
Starkniederschlag (N ≥ 50 mm/d)	1	4	5

2.5 WIND & STURM

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

- Sturm: Beaufort 9 (75 bis 88 km/h)
- schwerer Sturm: Beaufort 10 (89 bis 102 km/h)
- orkanartiger Sturm: Beaufort 11 (103 bis 117 km/h)
- Orkan: Beaufort 12 (> 117 km/h)

Auch Stürme gehören zu den seltenen Ereignissen, sodass sie ebenfalls nur bedingt erfolgreich statistisch auswertbar sind. Hinzu kommt, dass Regionale Klimamodelle teilweise nicht in der Lage sind Böen korrekt zu reproduzieren und daher Sturmereignisse oftmals nur unzureichend abbilden können. Es ist jedoch anzunehmen, dass es in einer wärmeren Atmosphäre aufgrund von mehr verfügbarer latenter Wärme, die beim Phasenübergang von Wasserdampf zu Flüssigwasser frei wird, zu besseren Wachstumsbedingungen für starke Zyklonen kommen kann und somit zu potenziell stärkeren Stürmen (Pinto et al. 2009, Fink et al. 2012, Pinto und Ryers 2017). Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über Westeuropa zur Folge (Pinto et al. 2009, Donat et al. 2010, McDonald 2011). In diesem Zusammenhang konnte bisher jedoch noch nicht eindeutig wissenschaftlich geklärt werden, ob die Häufigkeit der Sturmereignisse an sich zunimmt oder ob bei gleichbleibender Häufigkeit die Intensität steigt, also die Höhe der auftretenden Windgeschwindigkeiten (vgl. Pinto und Ryers 2017).

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

2.6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Analysen zum zukünftigen Klima[4] in Bielefeld zeigen für die Jahresmitteltemperaturen einen deutlichen Anstieg bis zum Ende des Jahrhunderts, wobei die Temperaturen im Winter stärker zunehmen als im Sommer. Deutlich zunehmen wird die Anzahl an Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten während Frost- und Eistage weniger häufig auftreten. Weiterhin gibt es Hinweise, dass die Länge von Hitzeperioden sowie die Anzahl von Hitzewellen vermutlich zunehmen.

Die jährlichen Niederschlagsmengen nehmen leicht zu. Im Jahresgang treten geringere Niederschlagsmengen im Sommer und höhere Niederschlagsmengen im Winter und Frühjahr auf. Aufgrund der Erwärmung kommt es zu zunehmenden Verdunstungsraten, die vornehmlich in den Sommermonaten zu einer Abnahme der klimatischen Wasserbilanz und somit zu einem Rückgang des natürlichen Wasserdargebots führen kann. Es muss in den Sommermonaten zunehmend mit erhöhter Trockenheit gerechnet werden. Besonders betroffen dürften dabei Gebiete sein, die bereits heute schon Trockenheitstendenzen aufweisen.

Die regionalen Klimamodelle projizieren für die nahe, mittlere und ferne Zukunft in Bielefeld eine zunehmende Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen bei gleichzeitiger Abnahme von Tagen mit geringem Niederschlag. Dies bedeutet, dass bei wenig veränderten oder gar zunehmenden Jahresniederschlagssummen die Häufigkeit von Tagen mit Niederschlag im Mittel abnimmt, die Niederschlagsintensität jedoch zunimmt.

Stürme können von den regionalen Klimamodellen für kleinräumige Analysen nicht ausreichend abgebildet werden und sind aufgrund ihres seltenen Auftretens nur unzureichend statistisch auswertbar. Eine durch die zunehmende Erwärmung aufgeheizte Atmosphäre deutet jedoch darauf hin, dass es in Zukunft zu besseren Wachstumsbedingungen für starke Zyklonen kommen kann und somit zu potenziell stärkeren Stürmen. Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über Westeuropa zur Folge. Stürme beinhalten ein äußerst hohes Schadenspotenzial und sollten, auch wenn eine Zunahme der Ereignisse auf Basis der EURO-CORDEX Modellsimulationen nicht nachweisbar ist, bei Klimaanpassungsmaßnahmen angesichts des Ausmaßes der jüngsten Ereignisse mit in Betracht gezogen werden (z.B. Sturmtief „Herwart“ im Oktober 2017 oder Orkantief „Friederike“ im Januar 2018). In Tab. 7 sind die wichtigsten Ergebnisse zum erwarteten Klimawandel in Bielefeld noch einmal überblicksartig und zusammenfassend aufgeführt.

[4] Für aktuelle Witterungsberichte der Region aus den Jahren 2008-2017 siehe Bielefeld 2000plus (2017)

Tab. 7: Erwartete Klimaänderungen für Bielefeld

	Erwartete Klimaveränderungen **Anhaltspunkte (Beispiele)**
 Temperaturzunahme und Hitze	× Zunahme der Jahresmitteltemperaturen → Anstieg der Jahresmitteltemperaturen um 1,0 K bis 3,5 K (2071-2100) × Mehr Sommertage, Heiße Tage und Tropennächte → Anstieg der Heißen Tage pro Jahr von derzeit 6 auf 10 bis 21 in der fernen Zukunft (2071-2100) → Anstieg der Tropennächte pro Jahr von derzeit 1 auf bis zu 17 in der fernen Zukunft (2071-2100) → Achtung: Wärmeinseleffekt nicht berücksichtigt! Zahlen liegen in Teilbereichen der Stadt darüber × Häufigere und länger andauernde Hitzeperioden × Häufigere Hitzewellen → jährliches Auftreten von Hitzewellen in der fernen Zukunft (heute etwa alle 10 Jahre) × Abnahme von Frost- und Eistagen → Rückgang der Eistage pro Jahr von aktuell 13 auf 5 bis 0
 Niederschlagsverschiebung und Trockenheit	× Zunahme des Jahresniederschlages → Zunahme des Jahresniederschlages um bis zu 8 % × Trockenere Sommer, feuchtere Winter → Zunahme der Winterniederschläge um bis zu 17 % (2071-2100) → Abnahme der Sommerniederschläge um bis zu 13 % (2071-2100) × Längere Trockenperioden im Sommer × Abnahme der Klimatischen Wasserbilanz im Sommer
 Starkregen	× Zunahme des Anteils von Starkniederschlägen am Gesamtniederschlag × Zunahme der Niederschlagsintensität → Zunahme der Tage mit Niederschlag ≥ 20 mm/d und < 50 mm/d von derzeit ca. 6 auf 7 bis 9 Tage pro Jahr in der fernen Zukunft (2071 – 2100)
 Wind und Sturm	× Änderungen nicht sicher nachweisbar × Eine Zunahme der Sturmintensität ist jedoch wahrscheinlich × Selbst wenn die Auftrittshäufigkeit von Stürmen sich nicht ändert wird es auch zukünftig starke bis extreme Sturmereignisse geben

3. Betroffenheitsanalyse

Im Rahmen der Betroffenheitsanalyse wurde untersucht, welche Folgen der Klimawandel auf die städtischen Strukturen und Funktionen mit sich bringt. Für das Stadtklima und die Starkregenvorsorge werden die gegenwärtigen und zukünftigen räumlichen Betroffenheiten verortet und in entsprechenden Kartenwerken dargestellt (Kap. 3.2 und 3.3).

3.1 ÜBERSICHT POTENTIELLE BETROFFENHEITEN

Die in Kapitel 2 skizzierten Klimaveränderungen können im urbanen und suburbanen Raum zu verschiedenen Auswirkungen führen bzw. Betroffenheiten erzeugen. Die wesentliche methodische Grundlage für die Bearbeitung einer entsprechenden Wirkungsanalyse bilden die durch das bundesweite „Netzwerk Vulnerabilität“ für den Fortschrittsbericht der Deutschen Anpassungsstrategie erarbeiteten „Wirkungsketten“ (UBA 2015). Diese stellen den Zusammenhang zwischen klimatischen Veränderungen und den daraus resultierenden zentralen Folgewirkungen für unterschiedliche Handlungsfelder dar und zeigen darüber hinaus die jeweiligen Wechselbeziehungen zwischen den Sektoren auf. Inwiefern diese potentiellen Klimawirkungen in Bielefeld tatsächlich zu einem relevanten Betroffenheitsniveau führen – also eine Handlungsnotwendigkeit nach sich ziehen – kann nur im Rahmen von räumlich differenzierenden Detailanalysen geklärt werden. Mit Blick auf die originären Aufgaben der Kommunalverwaltung und Ihrer Eigenbetriebe in Verbindung mit dem Vorsorgeprinzip sind das Stadtklima und die Starkregenrisiken als prioritär zu analysierende Themenfeldern ausgewählt worden (Tab. 8). Im Fokus stehen dabei zum einen die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit und zum anderen Schäden an Gebäuden und Infrastruktur, Leitungsnetzen, Energieerzeugungsanlagen, Gewerbe- und Industriebauten.

Darüber hinaus existieren weitere ggf. relevante Klimawirkungen in den Clustern Niederschlagsverschiebung und Trockenheit, die im weiteren Anpassungsprozess einer detaillierteren Analyse unterzogen werden sollten. Hierzu gehören insbesondere sich verändernde Grundwasser- und Niedrigwasserstände, der chemisch-physikalische Gewässerzustand sowie Sturmrisiken für Stadtbäume.

Tab. 8: Prioritär zu analysierende Klimawirkungen in Bielefeld

	Potentielle Klimawirkungen
Temperaturzunahme und Hitze	**In den Detailanalysen adressierte Themen: Stadtklima und Luftqualität, hitzeabhängige Belastungen, Erkrankungen und Sterbefälle (v.a. bei Risikogruppen) und Verringerung der Leistungsfähigkeit von Arbeitskräften, Lebensqualität sowie Wohlbefinden** Weitere relevante Themen: Heizen und Kühlen; Ausbreitung invasiver Arten; Verlust von Ökosystemleistungen; verringerte Bodenkühlleistung; Bodenfunktionen, veränderte Zeiten für Bautätigkeiten; erhöhter Druck auf Naherholungsgebiete, Schäden an Straßen und Schienen, Gewässerökologie, Trockenheitsschäden
Starkregen	**In den Detailanalysen adressierte Themen: Unfallfolgen/Verletzungen, Erkrankungen, Tod z.B. durch Ertrinken und Stromschläge, Schäden an Gebäuden, Denkmälern und Infrastruktur, Leitungsnetzen, Energieerzeugungsanlagen, Gewerbe- und Industriebauten, Verkehrsanlagen; Freisetzung von Gefahrenstoffen** Weitere relevante Themen: Bodenerosion; Rettungsdienst-/Katastropheneinsätze, Kläranlagen

3.2 BETROFFENHEIT DURCH STADTKLIMAWANDEL UND HITZE

3.2.1 DER STADTKLIMAEFFEKT

Durch den anthropogenen Einfluss herrschen in einer Stadt modifizierte Klimabedingungen vor, die tendenziell mit steigender Einwohnerzahl bzw. Stadtgröße stärker ausgeprägt sind (Oke et. al 2017). Gründe hierfür sind bspw. der hohe Versiegelungsgrad, dem ein geringer Anteil an Vegetation und natürlicher Oberfläche gegenübersteht, die Oberflächenvergrößerung durch Gebäude (Beeinträchtigung der Strömung durch höhere Rauigkeit, Mehrfachreflexion der Gebäude) sowie Emissionen durch Verkehr, Industrie und Haushalte (anthropogener Wärmefluss). Im Vergleich zum weitgehend natürlichen, unbebauten Umland führen diese Effekte im Sommer zu höheren Temperaturen und bioklimatischen Belastungen. Das Phänomen der Überwärmung kommt vor allem nachts zum Tragen und wird als Städtische Wärmeinsel bezeichnet. Diese belastenden Situationen entstehen vornehmlich bei Hochdruckwetterlagen und sind durch einen ausgeprägten Tagesgang der Strahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Bewölkung bestimmt (autochthone Wetterlagen). Durch lokal unterschiedliche Abkühlungsraten entstehen Temperatur- und damit Dichteunterschiede, die Ausgleichsströmungen hervorrufen (Flurwinde; Abb. 14).

Unter diesen Rahmenbedingungen kommt es tagsüber zu einem konvektiven Aufsteigen warmer Luft über dem überwärmten Stadtkörper. Infolge des entstehenden bodennahen Tiefdruckgebietes treten Ausgleichsströmungen in Form eines bodennahen Zuströmens von Luft aus dem Umland über gering bebaute Flächen hin zum Stadtgebiet auf. Das Aufsteigen von Warmluftblasen verursacht zusätzlich eine Böigkeit der bodennah nachströmenden Luft, so dass die Ausgleichsströmungen am Tage weniger sensibel auf Strömungshindernisse reagieren als in der Nacht. Während der Tagsituation führen sie aufgrund eines meist ähnlichen Temperaturniveaus im Umland nicht zum Abbau von Wärmebelastungen in den Siedlungsflächen, tragen aber zur Durchmischung der bodennahen Luftschicht und damit zur Verdünnung von Luftschadstoffen bei. In den Nachtstunden sind autochthone Wetterlagen durch stabile Temperaturschichtungen der bodennahen Luft gekennzeichnet. Damit wird eine vertikale Durchmischung unterbunden, und eine ggf. überlagerte Höhenströmung hat keinen Einfluss mehr auf das bodennahe Strömungsfeld. Während der nächtlichen Abkühlung fließt kühlere Umgebungsluft aus stadtnahen und ggf. innerstädtischen Grün- bzw. Freiflächen in das wärmere Stadtgebiet ein (= Flurwind). Da der bodennahe Zustrom mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt, kann dieser Luftaustausch nur entlang von Flächen ohne blockierende Strömungshindernisse stattfinden, insb. entlang sogenannter Kaltluftleitbahnen.

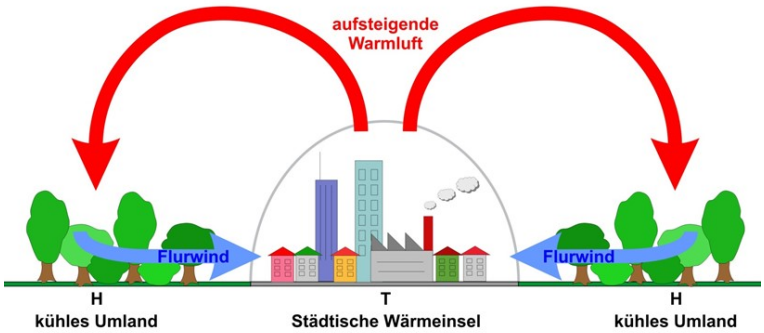


Abb. 14: Prinzipskizze Flurwind

Neben der vom Menschen freigesetzten Abwärme, kommt es durch den hohen Versiegelungsgrad und die Baukörper zu einer Erwärmung des Stadtgebietes. Während unbebaute Flächen im Umland schnell auskühlen, erfolgt der Prozess des Abkühlens bei städtischen, versiegelten Flächen über einen längeren Zeitraum. Beton und Asphalt besitzen eine hohe Wärmekapazität und -leitfähigkeit sowie eine geringe Albedo, so dass viel Strahlung absorbiert wird, und sich die Flächen am Tag stark aufwärmen. In der Nacht kann die gespeicherte Wärme als langwellige Ausstrahlung an die Atmosphäre abgegeben werden (Häckel 2012, Malberg 2002). Aufgrund der starken Versiegelung und geringeren Wasserverfügbarkeit ist der Energieverbrauch zur Verdunstung herabgesetzt, so dass der latente Wärmestrom in der Stadt geringer, der fühlbare Wärmetransport dagegen höher ausfällt. Beide Aspekte haben höhere Temperaturen des Stadtgebiets im Vergleich zum Umland zur Folge (Schönwiese 2008), so dass deren Bevölkerung einer größeren thermischen Belastung ausgesetzt ist.

3.2.2 METHODISCHES GRUNDGERÜST

Die Stadtklimaanalyse basiert auf einer 3-stufigen Vorgehensweise, bei der komplexe Geo-, Sach- und Modellinformationen Schritt für Schritt verdichtet und für planerische Fragestellungen in Wert gesetzt werden (Abb. 15).

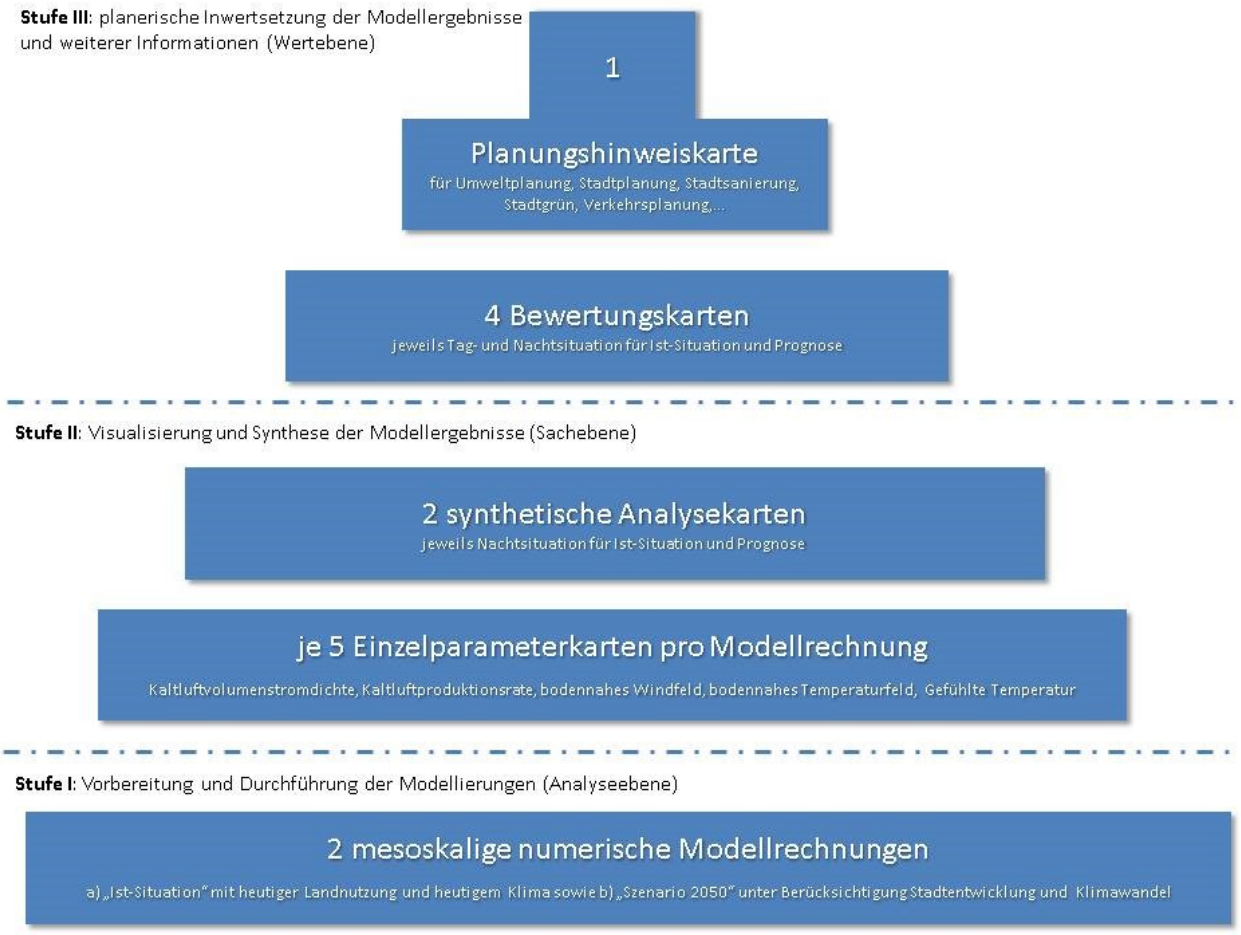


Abb. 15: Methodisches Grundgerüst der Stadtklimaanalyse

Für die Erarbeitung einer detaillierten, flächendeckenden digitalen Stadtklimaanalyse bietet die komplexe numerische Simulation planungsrelevanter Klimaparameter beste Voraussetzungen. Den Ausgangspunkt für die vorliegende Stadtklimaanalyse bilden daher Modellrechnungen mit dem mesoskaligen Stadtklimamodell FITNAH-3D (Stufe I – Analyseebene). FITNAH 3D ist als validiertes Modell in der Lage, für alle stadtklimatisch relevanten Kenngrößen flächendeckende zwei- und dreidimensionale meteorologische Felder zu erzeugen. Dabei werden Phänomene wie die kleinräumige Ausbildung der städtischen Wärmeinsel, von Hang- und Flurwinden sowie der Einfluss von Hindernissen auf den Wind wie Kanalisierung, Umströmung bzw. Düseneffekte explizit in ihren physikalischen Gesetzmäßigkeiten modelliert.

Numerische Modellrechnungen bieten den Vorteil, dass eine zu erwartende zukünftige Stadtentwicklung, der Klimawandel oder auch mögliche Anpassungsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz berücksichtigt werden können. Für die vorliegende Stadtklimaanalyse wurden zwei gesamtstädtische Modellrechnungen durchgeführt. Modellrechnung 1 „Ist-Situation“ basiert auf der heutigen Landnutzung und dem heutigen Klima, während der Modellrechnung 2 „Szenario 2050“ eine mögliche Stadtentwicklung und eine mögliche Klimaerwärmung zugrunde liegen (vgl. Kap. 3.2.3.5).

Das Modell gibt flächendeckende Felder für alle planungsrelevanten Stadtklimakenngrößen aus:

- Nächtliche Kaltluftvolumenstromdichte
- Nächtliche Kaltluftproduktionsrate
- Nächtliches bodennahes Windfeld
- Nächtliches bodennahes Temperaturfeld
- Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) am Tage (vergleichbar der „Gefühlten Temperatur“)

Die Ergebnisse für diese fünf zentralen Parameter wurden in Stufe II der Stadtklimaanalyse zum einen geostatistisch analysiert und kartographisch visualisiert. Für die beiden Modellrechnungen ergeben sich so insgesamt 10 Einzelkarten.

Die synthetischen Klimaanalysekarten (Stufe 2) fassen die Modellergebnisse übersichtlich zusammen und grenzen den Wirkraum (Siedlungsflächen) vom Ausgleichsraum (Grün- und Freiflächen) flächenscharf ab. Eine wertende Interpretation wird auf dieser Sachebene aber explizit nicht vorgenommen. Dieser Bewertungsschritt erfolgt dann in Stufe III der Stadtklimaanalyse, der Wertebene. Hier werden die Modellergebnisse zunächst in je 2 Karten (tags und nachts) für die Ist-Situation und das Szenario 2050 gutachterlich bewertet. Das heißt, dass jeder Fläche des Wirkraums ein thermisches Belastungsniveau zwischen sehr günstig und sehr ungünstig und jeder Fläche des Ausgleichsraums eine klimaökologische Bedeutung zwischen gering und sehr hoch jeweils sowohl für die Tag- als auch für die Nachtsituation zugeordnet wird. Anschließend werden diese Erkenntnisse zu einer Wertaussage je Fläche verdichtet, mit weiteren Sach- und Geoinformationen (vor allem sozio-demographische) verschnitten und für (stadt)planerische Fragestellungen (u.a. Stadtentwicklung, Stadtsanierung, Straßenplanung, Grünplanung) in Wert gesetzt. Produkt und zentrales Arbeitsinstrument dieses Prozesses ist die Planungshinweiskarte Stadtklima.

3.2.3 MODELLEINGANGSDATEN UND METEOROLOGISCHE RANDBEDINGUNGEN

Bei einem numerischen Modell wie FITNAH 3D werden zur Festlegung und Bearbeitung einer Aufgabenstellung eine Reihe von Eingangsdaten benötigt, die charakteristisch für die Landschaft des Untersuchungsgebiets sind und die größerskaligen meteorologischen Rahmenbedingungen wie Wetterlage oder Klimaszenario definieren. Für jede Rasterzelle müssen repräsentative Geländedaten (z.B. Geländehöhe, Neigung, Orientierung), die Nutzungsstruktur (Verteilung der Landnutzung siehe Abb. 16, Strukturhöhe) und der Versiegelungsgrad (parametrisiert aus der Landnutzung) vorliegen.

3.2.3.1 UNTERSUCHUNGSRAUM

Bielefeld ist mit etwa 339 000 Einwohnern (Stand 31.12.2018) und 258 km² Fläche die größte Stadt und das wirtschaftliche Zentrum der Region Ostwestfalen-Lippe. Das Stadtgebiet wird durch den von Nordwest nach Südost verlaufenden Höhenrücken des Teutoburger Waldes in drei Landschaftsräume gegliedert: Ein großer Teil des Siedlungsraumes einschließlich des Stadtzentrums liegt im Ravensberger Hügelland, dass in seinem Süden unmittelbar an den Teutoburger Wald angrenzt. Vom Bielefelder Pass aus führt der sich in die Längstäler des Gebirgszuges erstreckende Stadtbezirk Gadderbaum in Richtung der flacheren Landschaften von Senne und Ostmünsterland, in denen die Stadtbezirke Brackwede, Senne und Sennestadt liegen.

Die stadttypischen Nutzungsstrukturen sind insbesondere im Norden deutlich ausgeprägt: im Stadtumland befinden sich die nicht direkt mit dem zentralen Siedlungskörper verbundenen Ortsteile mit ihrer größtenteils lockeren Einzelhausbebauung (z.B. Heepen, Jöllenbeck und Brake). Ausgehend von den umgebenden Grün- und Freiräumen verdichtet sich die Wohnbebauung in den Bezirken Schildesche, Mitte und Stieghorst über zeilen- und blockartig ausgebildete Strukturen mit zwischenliegenden Gewerbeflächen in Richtung innerstädtisches Zentrum und umliegende Stadtteilzentren.

Die zahlreichen siedlungsnahen Grünflächen der Stadt bilden verbindende Strukturen zwischen außerstädtischen und innerstädtischen Bereichen aus und sind ein wesentlicher Bestandteil des Bielefelder Grünsystems. Auffällige Grün- und Freiflächen innerhalb des verdichteten Siedlungsraumes sind die Begleiträume der kleineren Fließgewässer (z.B. Luttergrünzug, Schlosshofbach, Aßbach), Parks wie der Nordpark, der Bürgerpark oder der Ravensberger Park (im Verbund mit dem Wiesenbad) sowie Friedhofsflächen wie der Alte Friedhof. Knapp 21 Prozent der Gesamtfläche Bielefelds ist bewaldet.

Für die Klimaanalyse der Stadt Bielefeld wurde nicht nur das Stadtgebiet selbst, sondern auch das nähere Umland betrachtet. Insgesamt hat das Untersuchungsgebiet bei einer Ausdehnung von ca. 23 x 20 km eine Größe von etwa 452 km².

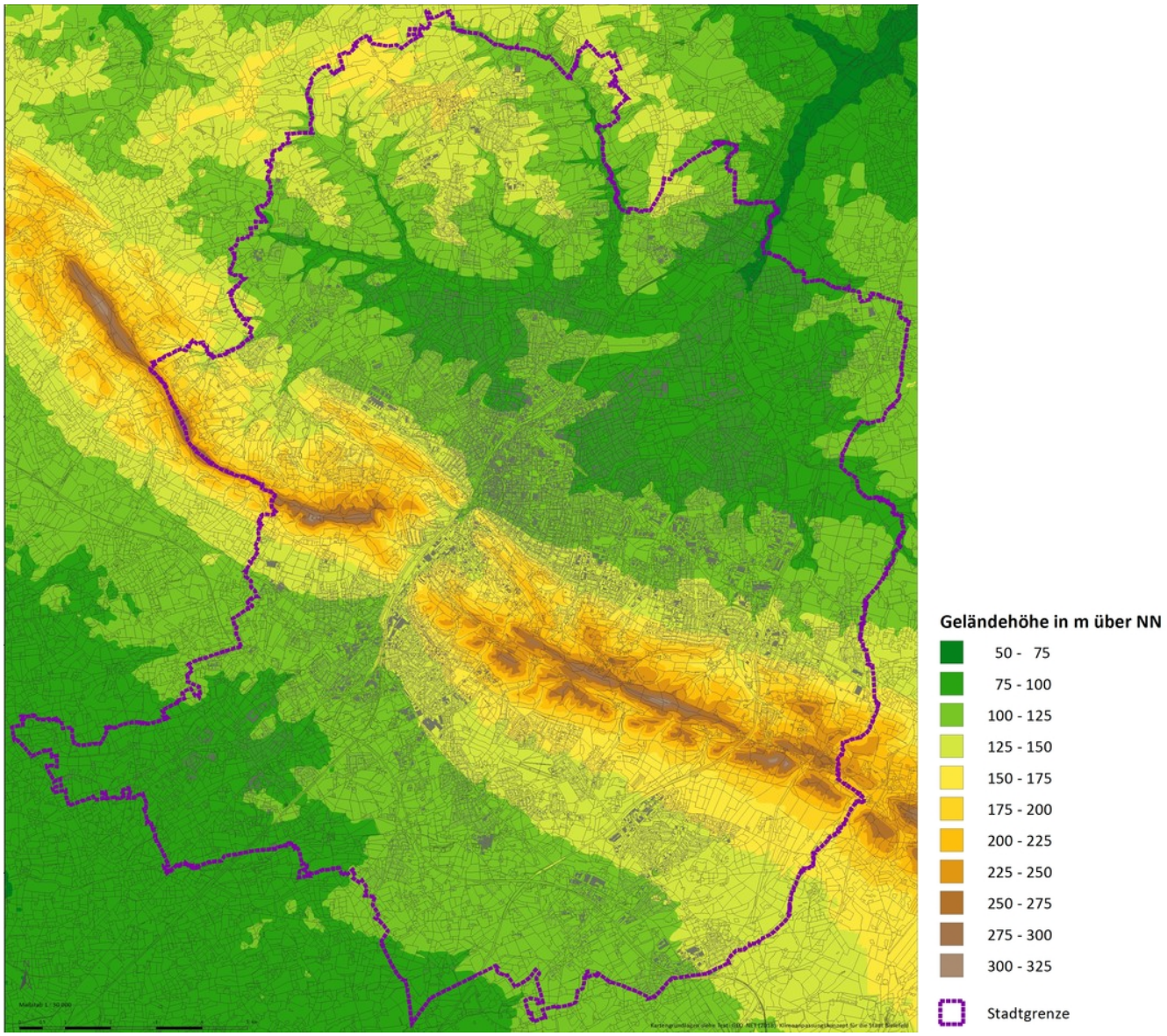


Abb. 16: Gesamter Untersuchungsraum Klima mit Stadtgrenze (Darstellung mit den Modelleingangsdaten zur Geländehöhen)

3.2.3.2 DAS MESOSKALIGE KLIMAMODELL FITNAH-3D

Neben globalen Klimamodellen und regionalen Wettervorhersagemodellen wie sie zum Beispiel vom DWD für die tägliche Wettervorhersage eingesetzt werden, nehmen kleinräumige Modellanwendungen für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen einen immer breiteren Raum ein. Beispiele für mesoskalige Phänomene sind Land-See-Winde, Flurwinde oder die Ausbildung einer städtischen Wärmeinsel, wobei der Übergang zur Mikroskala fließend ist (bspw. der Einfluss von Hindernissen auf den Wind wie Kanalisierung, Umströmung bzw. Düseneffekte, aber auch die klimaökologischen Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen).

Die Verteilung lokalklimatisch relevanter Größen wie Wind und Temperatur können mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variation der meteorologischen Felder im Bereich einer komplexen Umgebung sind Messungen allerdings nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume selten möglich. Stadtklimamodelle wie FITNAH 3D können zu entscheidenden Verbesserungen dieser Nachteile herangezogen werden, indem sie physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen den Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen und Wind- bzw. Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln. Die Modellrechnungen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass Planungsvarianten und Ausgleichsmaßnahmen in ihrer Wirkung und Effizienz studiert und auf diese Art und Weise optimierte Lösungen gefunden werden können.

Für jede meteorologische Variable wird eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Die Modelle basieren daher, genauso wie Wettervorhersage- und Klimamodelle, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (*Navier-Stokes Bewegungsgleichung*), der Massenerhaltung (*Kontinuitätsgleichung*) und der Energieerhaltung (*1. Hauptsatz der Thermodynamik*).

Die Lösung der Gleichungssysteme erfolgt in einem numerischen Raster. Je feiner das Raster gewählt wird, umso mehr Details und Strukturen werden aufgelöst.

Mit feiner werdender Rasterweite steigen die Anforderungen an Rechenzeit und die benötigten Eingangsdaten. Hier muss ein Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit gefunden werden. In der vorliegenden Untersuchung beträgt die für die Modellierung mit FITNAH 3D verwendete horizontale räumliche Maschenweite 10 m. Die vertikale Gitterweite ist dagegen nicht äquidistant und in der bodennahen Atmosphäre besonders dicht angeordnet, um die starke Variation der meteorologischen Größen realistisch zu erfassen. So liegen die untersten Rechenflächen in Höhen von 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 70 m über Grund (ü. Gr.). Nach oben hin wird der Abstand immer größer und die Modellobergrenze liegt in einer Höhe von 3000 m ü. Gr. In dieser Höhe wird angenommen, dass die am Erdboden durch Orographie und Landnutzung verursachten Störungen abgeklungen sind.

Die Auswertungen der FITNAH-Modellierung beziehen sich auf das bodennahe Niveau der Modellrechnung (2 m ü. Gr. = Aufenthaltsbereich der Menschen).

3.2.3.3 BETRACHTETE WETTERLAGE

Den beiden durchgeführten numerischen Simulationen mit FITNAH 3D liegen mit einer ***sommerlichen Hochdruckwetterlage*** dieselben meteorologischen Randbedingungen zugrunde. Eine solche autochthone ("eigenbürtige", von lokalen und regionalen Einflüssen dominierte und damit austauscharme) Wetterlage ist durch einen wolkenarmen Himmel und maximal schwach überlagernde Winde mit herabgesetztem Luftaustausch in der bodennahen Luftschicht gekennzeichnet. So können die lokalklimatischen Besonderheiten einer Stadt besonders gut in Erscheinung treten: Die unterschiedlichen nächtlichen Abkühlungsraten des städtischen Nutzungsmosaiks führen zur Ausbildung humanbioklimatischer Belastungs- und Entlastungsräume, zwischen denen es aufgrund der unterschiedlichen Lufttemperaturen zu Ausgleichsströmungen kommen kann.

Bei den hier durchgeführten numerischen Simulationen wurden die großräumigen synoptischen Rahmenbedingungen als „Worst-Case-Szenario“ folgendermaßen festgelegt:

- Bedeckungsgrad 0/8
- Kein überlagernder geostrophischer Wind
- relative Feuchte der Luftmasse 50%.

In Abb. 17 sind schematisch die für die angenommene Wetterlage simulierten tageszeitlichen Veränderungen der Temperatur und Vertikalprofile der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit für die Landnutzungen Freiland, Stadt und Wald dargestellt. Beim Temperaturverlauf zeigt sich, dass sowohl Freiflächen als auch Bebauung ähnlich hohe Temperaturen zur Mittagszeit aufweisen können, die nächtliche Abkühlung der Siedlungsflächen hingegen deutlich geringer ist. Waldflächen nehmen eine mittlere Stellung ein, da die nächtliche Auskühlung durch das Kronendach gedämpft wird. Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit wird der Einfluss von Bebauung und Vegetationsstrukturen im Vertikalprofil deutlich.

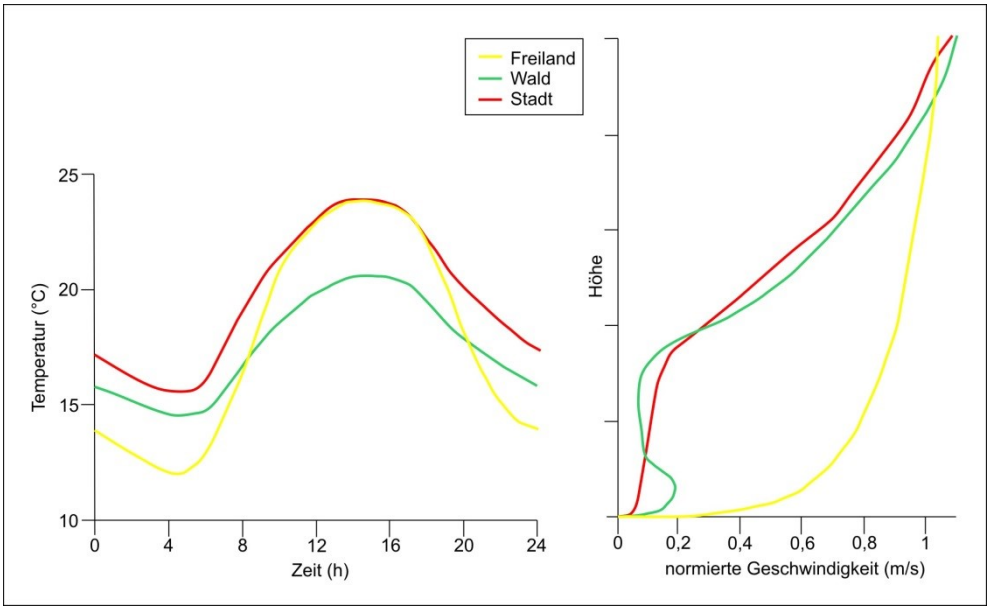


Abb. 17: Temperaturverlauf und Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit zur Mittagszeit verschiedener Landnutzungen

Die Wärmebelastung, wie sie bei Hochdruckwetterlagen ***tagsüber*** auftritt, hängt ganz wesentlich von der jeweiligen Beschaffenheit des direkten lokalen Umfeldes ab. Veränderungen der Nutzungsintensität oder Grünausstattung weisen daher bei Tage eine räumlich nur sehr begrenzte Wirkung auf. ***Nächtliche*** Luftaustauschströmungen hingegen induzieren zwischen den sich unterschiedlich stark abkühlenden Flächen eine klimafunktionale Fernwirkung: Kalt- und Frischluft aus Grün- und Freiflächen trägt in der Nacht zum Abbau von thermischen und lufthygienischen Belastungen in den überwärmten Siedlungsflächen bei. Durch ***Nutzungsintensivierungen*** können solche Prozess- und Funktionszusammenhänge nachhaltig gestört werden. Aus diesem Grund werden die humanbioklimatischen Auswirkungen einer Planung auf ihr Umfeld beurteilt, indem die ***Nachtsituation*** einer austauscharmen, sommerlichen Hochdruckwetterlage untersucht wird. Da das Kaltluftprozessgeschehen in der zweiten Nachthälfte sein Maximum erreicht, beziehen sich die Auswertungen auf den Zeitpunkt 4 Uhr morgens (siehe Kapitel 4 und 5).

Neben dem räumlichen Aspekt trägt ein weiterer Umstand zur besonderen Bedeutung der nächtlichen Wärmebelastung bei: Ausgewogene thermische Verhältnisse sind eine wesentliche Bedingung für einen erholsamen Schlaf. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftwechsel modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Humanbioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas.

Die beiden durchgeführten numerischen Simulationen unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer thermischen Ausgangsbedingungen. Das Temperaturdelta der zweiten Modellrechnungen „Szenario 2050“ gegenüber der Ist-Situation beträgt +1,7 K, was im betrachteten Zeitraum 2021-2050 einem ***starken Klimawandel*** entspricht (Tab. 9).

Tab. 9: Projizierte Zunahme der mittleren Temperatur in den Sommermonaten (J/J/A) in verschiedenen Perioden gegenüber 1971-2000 für die Stadt Bielefeld

	2021-2050 (kurzfristige Zukunft)			**2041-2070** (mittelfristige Zukunft)			**2071-2100** (langfristige Zukunft)		
Szenario	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
15. PZ	0,7 K	1,0 K	1,3 K	0,9 K	1,2 K	1,4 K	0,9 K	1,1 K	1,4 K
Median	0,7 K	1,2 K	1,5 K	1,0 K	1,6 K	2,1 K	1,4 K	1,9 K	2,5 K
85. PZ	0,8 K	1,2 K	1,7 K	1,6 K	2,0 K	2,6 K	2,7 K	3,3 K	4,2 K

Datenbasis: EuroCordex Ensemble (vgl. Kap. 2.1); rot markiert ist der Antrieb für das gewählte „Szenario 2050“

3.2.3.4 AUFBEREITUNG DER MODELLEINGANGSDATEN

Die möglichst exakte Abbildung der Nutzungsstruktur ist für die Klimamodellierung von zentraler Bedeutung: Nutzungsbedingte Veränderungen des örtlichen Windfeldes und des Wärmehaushaltes sind die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Ausbildung eines gegenüber dem Umland veränderten Stadtklimas (siehe Kapitel 3.2.3). Zahlreiche der vielen stadtklimatologisch relevanten Parameter lassen sich daher über die Strukturhöhe, die Bebauungsdichte und den Grad der Oberflächenversiegelung einer Fläche abschätzen. Die Ausprägung dieser Einflussgrößen ist nutzungsabhängig und nimmt bei gleichen Nutzungstypen ähnliche Werte an. Somit ermöglicht die Analyse der Nutzungen im Untersuchungsgebiet eine Abgrenzung von Gebieten ähnlicher stadtstruktureller Ausstattung und damit einhergehender stadtklimatischer Charakteristika. Für die Einordnung dieser Einflussgrößen wurden im vorliegenden Gutachten Nutzungsklassen definiert, die eine unter klimatisch-lufthygienischen Gesichtspunkten sinnvolle Differenzierung der Oberflächenstruktur erlauben (s. Mosimann et al. 1999). Dabei wurde ein vereinfachter 14-klassiger Nutzungsschlüssel verwendet, dessen Abgrenzung eine Zuweisung des Versiegelungsgrades und der Strukturhöhe auf Basis der in den Eingangs- und Literaturdaten vorkommenden Nutzungsklassifizierungen erlaubt (Abb. 18).

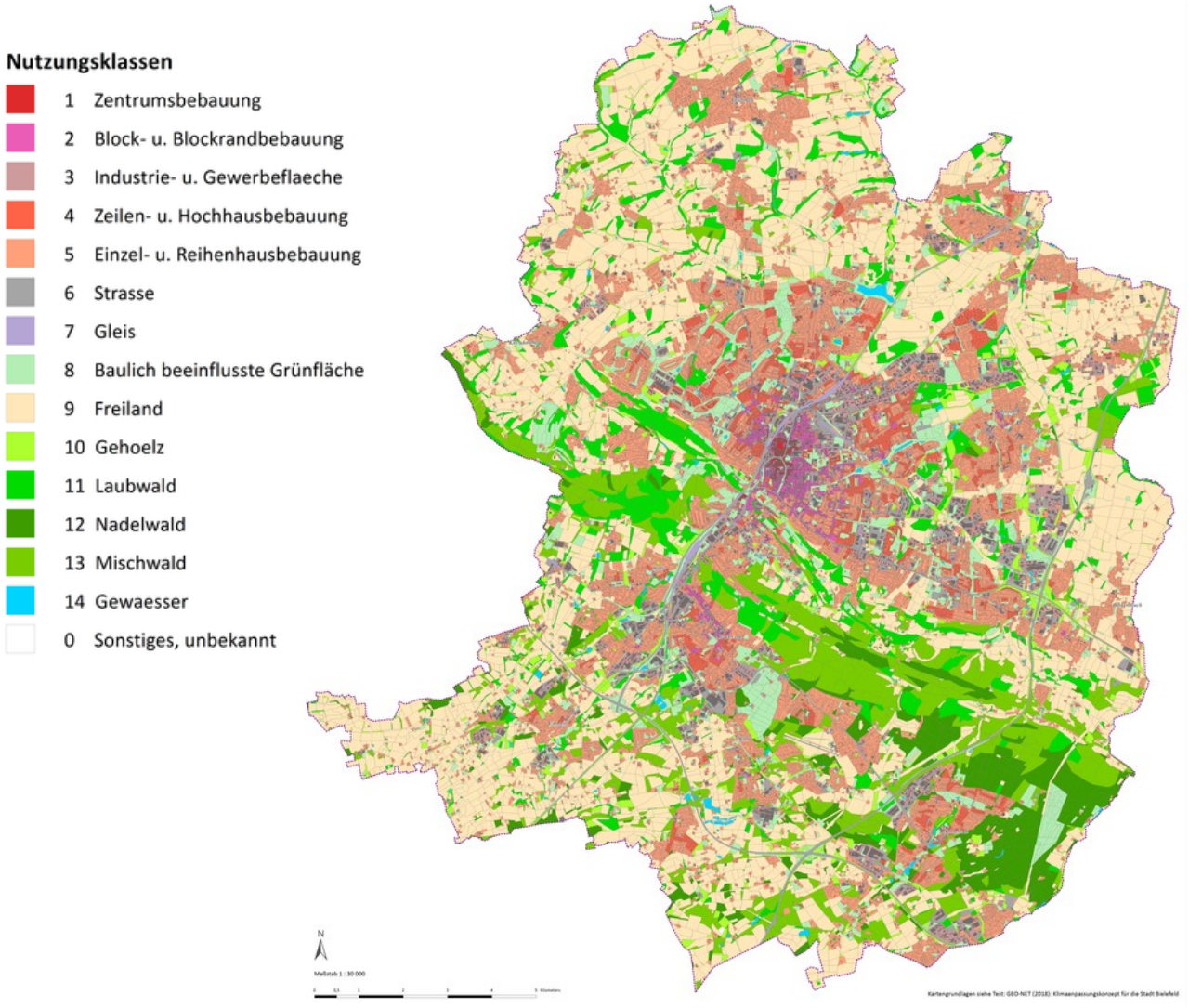


Abb. 18: Landnutzungsklassifizierung für die numerische Modellierung des Stadtklimas (Ist-Situation)

Tab. 10: Mittlere Parameter der Nutzungskategorien im Untersuchungsgebiet

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad (%)	Mittlere Strukturhöhe (m)
1	Zentrumsbebauung	Kerngebietsnutzung, gekennzeichnet durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad.	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute Siedlungsfläche. Geprägt durch vier- bis sechsgeschossige Mehrfamilienhäuser mit mehr oder weniger stark versiegelten Innenhofbereichen.	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbefläche	Sehr hoch versiegelte und stark überbaute Flächen, meist gewerblich genutzt. Ähnlich hoher Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung, meist aber geringeres Bauvolumen.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Zeilenbebauung, halboffene Blockrandbebauung, Hochhäuser. Typisch ist der durch unbebaute Abstandsflächen bedingte relativ hohe Freiflächenanteil.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Flächen mit relativ geringem Überbauungsgrad im Übergang zwischen relativ dichter Reihenhausbebauung und baulich geprägter Grünfläche.	41	5,0
6	Straße	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0,0
7	Gleis	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	0,5
8	Baulich beeinflusste Grünfläche	Vegetationsgeprägte Flächen mit einem erhöhten Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen) und/oder Bebauung. Hierzu zählen z. B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze.	25	5,0
9	Freiland, Grünfläche	Vornehmlich landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Wiesen, Weiden und Äcker. Innerstädtisch handelt es sich meist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1,0
10	Gehölz	Gehölzgeprägte Flächen wie städtische Parkareale, Obstbauflächen, Brachen, Straßenbegleitgrün.	5	2,0
11	Laubwald	Waldgeprägte Flächen, vornehmlich sommergrün.	5	12,5
12	Nadelwald	Waldgeprägte Flächen, vornehmlich immergrün.	5	12,5
13	Mischwald	Waldgeprägte Flächen, Mischbestand.	5	12,5
14	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer.	0	0

Wie Tab. 10 verdeutlicht, sind die Nutzungsklassen weniger als Beschreibung einer tatsächlichen Nutzung als vielmehr strukturell zu deuten: So kann beispielsweise ein Schulhauptgebäude als „Industrie- und Gewerbefläche“, seine Nebengebäude als „Einzel- und Reihenhausbebauung“ und der zugehörige Parkplatz als „Straße“ attributiert sein.

Die Daten wurden im ersten Halbjahr 2018 von der Stadt Bielefeld und vom GEOportal.NRW übermittelt. Sie repräsentieren für die Landnutzung den Stand 2018 (ALKIS Nutzungslayer), für die Digitalen Gelände- und Oberflächenmodelle den Stand 2016 (DGM 1, DOM 1). Zusätzlich wurden Digitale Orthofotos, Gebäudemodelle, Daten des Grünkatasters (Baumstandorte, Grünanlagen), Demographiedaten und zahlreiche weitere begleitende Informationen in Betracht gezogen und für den Abgleich der Eingangsdaten verwendet. Die auf diese Weise gebildeten Areale dienen sowohl der Abgrenzung der Nutzungsstrukturen als auch – im Rahmen der späteren Analyse auf Grundlage der Klimafaktoren – als Referenzgeometrie der Flächenbewertung in den Synthesekarten. Die Nutzungsstruktur dieser Referenzgeometrie zeigt die Abb. 18 auf der Vorseite.

Modellrechnungen verwenden rasterhafte Repräsentationen von Eingangsvariablen. Für die Bereitstellung der Modelleingangsdaten muss die Flächengeometrie daher auf Rasterzellen jeweils einheitlicher Nut-

zungsstruktur übertragen werden. Im Zuge des hierbei eingesetzten geostatistischen Verfahrens wurden kleinere Nutzungseinheiten, die aufgrund der Maßstabsbeschränkung in der Flächengeometrie nicht enthalten sind (z. B. Straßenräume, Plätze, kleinere Baumgruppen) den einzelnen Rasterzellen mittels umfangreichem Abgleich auf Basis von Luftbildern (GEOportal.NRW 2014) zugeordnet. Ziel der Eingangsdatenaufbereitung ist es zunächst, aus den flächenhaft vorliegenden Nutzungsinformationen (Abb. 19, 1) punkthaft gerasterte Modelleingangsdaten mit einer Gitterweite von 25 m zu erzeugen (Abb. 19, 2). Aus diesen punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form feldhaft berechneter Klimaparameter (Abb. 19, 3). Qualifizierende Aussagen zur bioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in maßstabsgerechte, klimatisch ähnliche und planungsrelevante Flächeneinheiten erfolgen (Abb. 19, 4). Diese sollten in der Realität nachvollziehbar und administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein (z.B. Ackerflächen, Wiesen, einheitlich bebaute Areale). Diese „Referenzgeometrie“ beruht auf dem ALKIS Nutzungslayer und wird als erster Schritt der Eingangsdatenaufbereitung erzeugt (Abb. 19, 1).

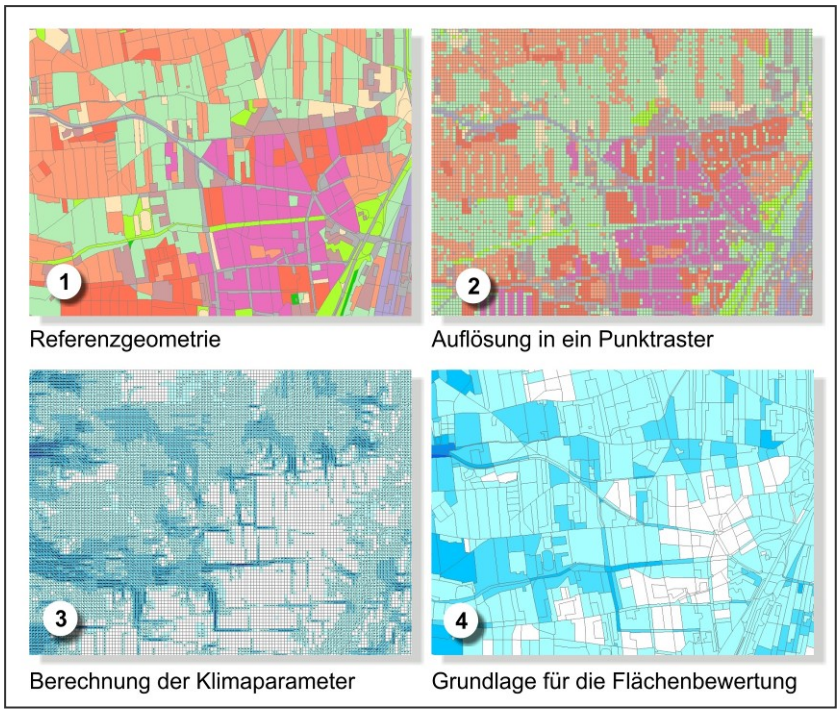


Abb. 19: Schema zur Wertezuordnung zwischen Flächen- und Punktinformation

Zur Übertragung der mittleren klimatischen Bedingungen innerhalb dieser Areale wurden den Referenzflächen die Ausprägung der Klimaparameter zugeordnet (Abb. 19, 4). Dafür wurden die Werte aller Rasterzellen, die von der bestimmten Fläche überdeckt werden, mit Hilfe zonaler Analysen zusammengefasst und statistisch ausgewertet. Auf diese Weise erhält jede Fläche eine umfassende Statistik aller zugehörigen Klimaparameter, die u.a. den Mittelwert der flächenspezifischen Werteausprägungen umfasst.

Aufgrund dieser Vorgehensweise liegen die Ergebnisse der Klimaanalyse in zweifacher Form vor: Zum einen als rasterbasierte Verteilung der Klimaparameter im räumlichen Kontinuum (Kapitel 3.2.4), zum anderen als planungsrelevante und maßstabsgerechte, räumlich in der Realität abgrenzbare Flächeneinheiten (z.B. Klimaanalysekarte in Kapitel 3.2.5). Auf diese Weise bleibt, in Ergänzung zur abstrahierten Darstellung der klimatischen Funktionszusammenhänge (als Flächen- und Beziehungstypen in den Synthesekarten), die flächeninterne Heterogenität der Klimaparameter als Detailinformation jederzeit abrufbar.

Die Zukunftssituation 2050 berücksichtigt nicht nur Werte, die das Pessimum der prognostizierten Klimaerwärmung widerspiegeln, sondern auch städtebauliche Entwicklungen, die ein Maximum siedlungsbedingter Nutzungsintensivierungen repräsentieren. Dies bedeutet eine Umnutzung sämtlicher in Verbindung mit dem Flächennutzungsplan und dem Regionalplan für Gewerbe und Wohnbebauung genannten Reserveflächen (820 ha) (Aufstellung Bauamt, Stand 2018) sowie eine umfangreiche Nachverdichtung des Innenbereichs (460 ha). Nachverdichtungen wurden im Bereich vorhandener Freiflächen (Nutzungsklassen 8 bis 13) berücksichtigt, die nach bestehendem Baurecht künftig bebaut werden können. Die Zuordnung zu den zukünftigen Nutzungsklassen orientiert sich an dem vorhandenen Baurecht. Bei der Aufbereitung der Modelleingangsdaten für dieses bauliche Zukunftsszenario wurden diese Nutzungsänderungen dem Eingangsraster der gegenwärtigen Situation aufgeprägt, indem die Grün- und Freiflächenkategorien durch die entsprechenden Bebauungskategorien ersetzt wurden. Den gewerblichen Reservearealen wurde dabei flächendeckend das Nutzungsattribut 3 („Industrie- und Gewerbefläche“) zugeordnet, das heißt, die auf diesen Flächen real zu schaffenden Parkplatz- und Grünflächenanteile wurden nicht berücksichtigt. Die Wohnreserven wurden zu jeweils 25 Prozent ihrer Fläche der Nutzungsklasse 4 („Zeilen- und Hochhausbebauung“) und zu jeweils 75 Prozent der Nutzungsklasse 5 („Einzel- und Reihenhausbebauung“) zugeordnet. Der Geschosswohnungsbau ist dabei zentral innerhalb der einzelnen Flächen verortet worden. Zur Veranschaulichung des Ausmaßes der städtebaulichen Entwicklung sind in Abb. 20 die für die Zukunftsrechnung in ihrer Nutzung geänderten Flächen in schwarz dargestellt.

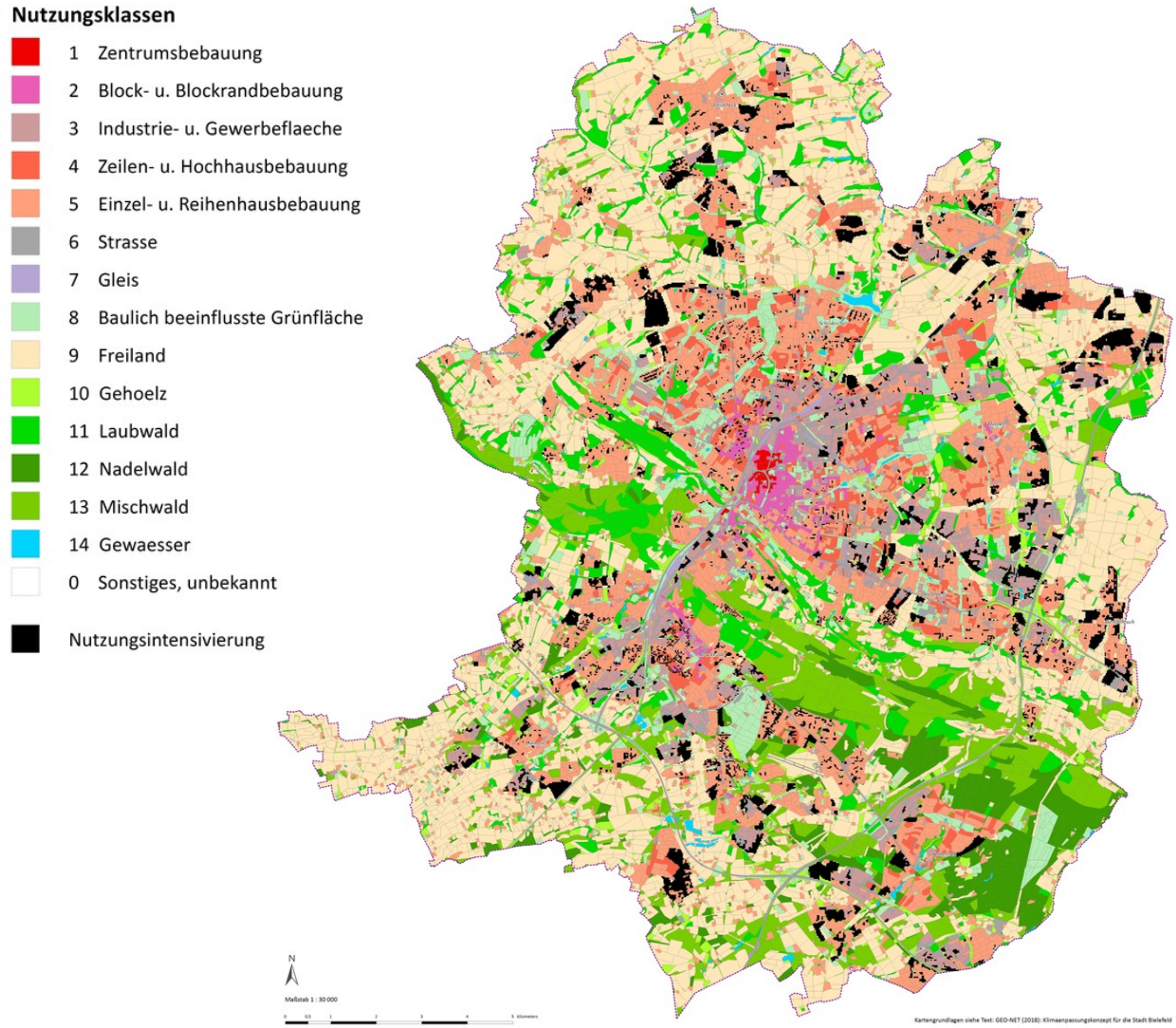


Abb. 20: Modelleingangsdaten: Landnutzungsklassen im Untersuchungsgebiet mit Nutzungsintensivierung (schwarz) für die Modellrechnung Zukunft

3.2.4 ERGEBNISSE DER MODELLRECHNUNGEN

Im Folgenden werden die rasterbasierten Modellergebnisse der Parameter Lufttemperatur, bodennahes Kaltluftströmungsfeld und Kaltluftvolumenstrom (Nachtsituation) sowie Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET; Tagsituation) beschrieben. Sie basieren auf einer horizontalen räumlichen Auflösung von 25 m (pro Rasterzelle ein Wert) und einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetterlage (vgl. Kapitel 3.2.3.3 auf Seite 31). Die Ergebnisse gelten für den Aufenthaltsbereich des Menschen (in 2 m ü. Gr.) und betrachten die Zeitpunkte 04:00 Uhr für die Nachtsituation (maximale Abkühlung) sowie 14:00 Uhr für die Tagsituation (maximale Einstrahlung).

Wie bereits in den Vorkapiteln erläutert, wurden zwei numerische Modellrechnungen durchgeführt, welche die Klimaparameter der Gegenwart und diejenigen einer fiktiven Zukunftssituation repräsentieren (siehe Kapitel 3.2.3.4). Ihre Rahmenbedingungen seien hier noch einmal erwähnt: **Modellrechnung 1 (Gegenwart)** basiert auf der heutigen Stadtstruktur und einer austauscharmen Strahlungswetterlage, wie sie für die aktuellen Klimabedingungen typisch ist (thermisches Worst-Case-Szenario). **Modellrechnung 2 (Szenario 2050)** basiert auf einer angenommenen Stadtstruktur 2050 (maximale städtebauliche Entwicklung mit Reserveflächenumnutzung und Verdichtung,) und einer austauscharmen Strahlungswetterlage unter den Rahmenbedingungen der für diesen Zeitpunkt prognostizierten klimatischen Bedingungen (thermisches und baustrukturelles Worst-Case-Szenario unter dem Einfluss eines, gemäß pessimistischer Annahmen, stark ausgeprägten Klimawandels).

3.2.4.1 BODENNAHES NÄCHTLICHES TEMPERATURFELD

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt und zeigt daher in der Regel einen ausgeprägten Abfall während der Abend- und Nachtstunden. Dieser erreicht kurz vor Sonnenaufgang des nächsten Tages ein Maximum. Das Ausmaß der Abkühlung kann dabei – je nach den meteorologischen Verhältnissen, der Lage des Standorts und den landnutzungsabhängigen physikalischen Boden- und Oberflächeneigenschaften – große Unterschiede aufweisen, so dass sich bereits auf kleinem Raum ein differenziertes Temperaturfeld mit mehr als 7 K Temperaturabweichung einstellen kann.

Besonders auffällig dabei ist das thermische Sonderklima der Siedlungsräume. Die in Städten gegenüber dem Umland modifizierten klimatischen Verhältnisse lassen sich auf einige wesentliche Faktoren zurückführen. Hierzu gehören:

- die erhöhte Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit der Boden- und Oberflächeneigenschaften
- die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche
- die herabgesetzte Verdunstung durch die direkte Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation oder die Vorflut
- die über die vermehrte Emission von Gasen und Aerosolen zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns veränderte Strahlungsbilanz (lokaler Treibhauseffekt)
- die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis mit hoher aerodynamischen Rauigkeit und die damit verbundene Behinderung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland
- die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion

Damit ist das Ausmaß der Temperaturabweichung im Siedlungsbereich vor allem abhängig von der Größe der Stadt und der Dichte der Überbauung.

Doch auch die Luftvolumina über grüngeprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Wärmezustand auf. Die Abkühlungsrate von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (u.a. ihrer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) sowie von eventuell vorhandenen Oberflächenbedeckungen (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt. Das Relief (Exposition, Geländeneigung) und die Lage im Mosaik der Nutzungen und ihrer dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren Einfluss aus.

Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte, insgesamt vermittelnde Tagesgang der Temperatur im Wald beruht zu einem großen Teil auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete sind wichtige Frischluftproduktionsgebiete, wobei hier sauerstoffreiche, staubfreie und wenig belastete Luft entsteht. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts, im Vergleich zu nicht mit Gehölz bestandenen Grünflächen, eher milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

Die Ermittlung des bodennahen Temperaturfeldes ermöglicht es, Bereiche mit potenziellen humanbioklimatischen Belastungen abzugrenzen, Aussagen zum Auftreten thermisch und/oder orographisch induzierter Ausgleichsströmungen zu treffen und die räumliche Ausprägung und Wirksamkeit von Kalt- bzw. Frischluftströmungen abzuschätzen.

Modellergebnisse Gegenwart

Die Abb. 21 auf der Folgeseite stellt einen Ausschnitt des modellierten Lufttemperaturfeldes in einer autochthonen Sommernacht dar. Es weist im Stadtgebiet von Bielefeld eine große Spannbreite um den Mittelwert von 15.1 °C auf und erreicht dabei Werte zwischen knapp 11 °C und 22 °C. Die höchsten Temperaturen innerhalb der Bebauung treten mit bis zu 22 °C in den Kernbereichen der Innenstadt auf und resultieren aus dem großen Bauvolumen und dem hohen Oberflächenversiegelungsgrad im Stadtzentrum.

Die sich an den Innenstadtbereich anschließende und in den Stadtteilzentren auftretende Block- und Blockrandbebauung besitzt mit ca. 20 °C bis 21 °C ebenfalls ein erhöhtes Temperaturniveau. Dies trifft auch für die Gewerbeflächen zu, die unter anderem im Norden des Stadtbezirks Mitte weite Areale charakterisieren. Große Teile des Siedlungsraumes sind durch eine ausgedehnte Einzel- und Reihenhausbebauung geprägt (etwa der Stadtbezirk Schildesche, im Ausschnitt der Abb. 17 links oben). Diese Bebauungsstruktur weist unter den Siedlungsflächen mit durchschnittlich ca. 17 °C das geringste Temperaturniveau auf. Die durch Abstandsflächen geprägte Zeilenbebauung, wie sie flächenhaft in den peripheren Stadtteilen auftreten, liegt mit durchschnittlich 18 °C etwas oberhalb dieser Werte.

Der Einfluss der Kaltluft auf das Temperaturfeld wird beispielhaft im Westen des Bezirks Mitte deutlich. Von den angrenzenden Flächen des Johannisberges strömt kalte Luft in die Bebauung und sorgt am Siedlungsrand für eine Abkühlung der Lufttemperatur um etwa 2 K gegenüber den weiter zurückliegenden Bereichen.

Im Temperaturfeld treten die unbebauten, vegetationsgeprägten Freiflächen mit deutlich geringeren Werten hervor. Auf ihre Rolle als Kaltluft produzierende Flächen wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen.

Die niedrigsten Temperaturen im Untersuchungsgebiet sind mit z.T. weniger als 11 °C über den im Einflussbereich des Teutoburger Waldes gelegenen landwirtschaftlich genutzten Arealen beispielsweise im Stadtbezirk Stieghorst zu verzeichnen, was in ihrer starken langwelligen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt. Ähnlich geringe Werte können auch in Senkenbereichen auftreten, wo sich die Kaltluft aufgrund ihrer, verglichen mit wärmeren Luftmassen, höheren Dichte sammelt. Waldareale besitzen in Abhängigkeit von der Höhenlage ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau von 14 °C bis 16 °C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur. Verglichen mit den weitläufigen Freiräumen des Umlandes weisen die innerstädtischen Grünflächen, abhängig von ihrer Größe, Grünstruktur und der umliegenden Bebauung, ein höheres Wertespektrum auf, welches meist zwischen 16 °C und 18 °C liegt (siehe z.B. Alter Friedhof). Hier wird deutlich, dass diese Flächen in eine insgesamt wärmere Umgebung eingebettet sind und daher die vergleichsweise geringen Temperaturen des Umlandes nicht mehr erreicht werden. Dennoch treten die vegetationsgeprägten Areale im Stadtgebiet Bielefelds deutlich mit vergleichsweise niedrigen Temperaturen hervor.

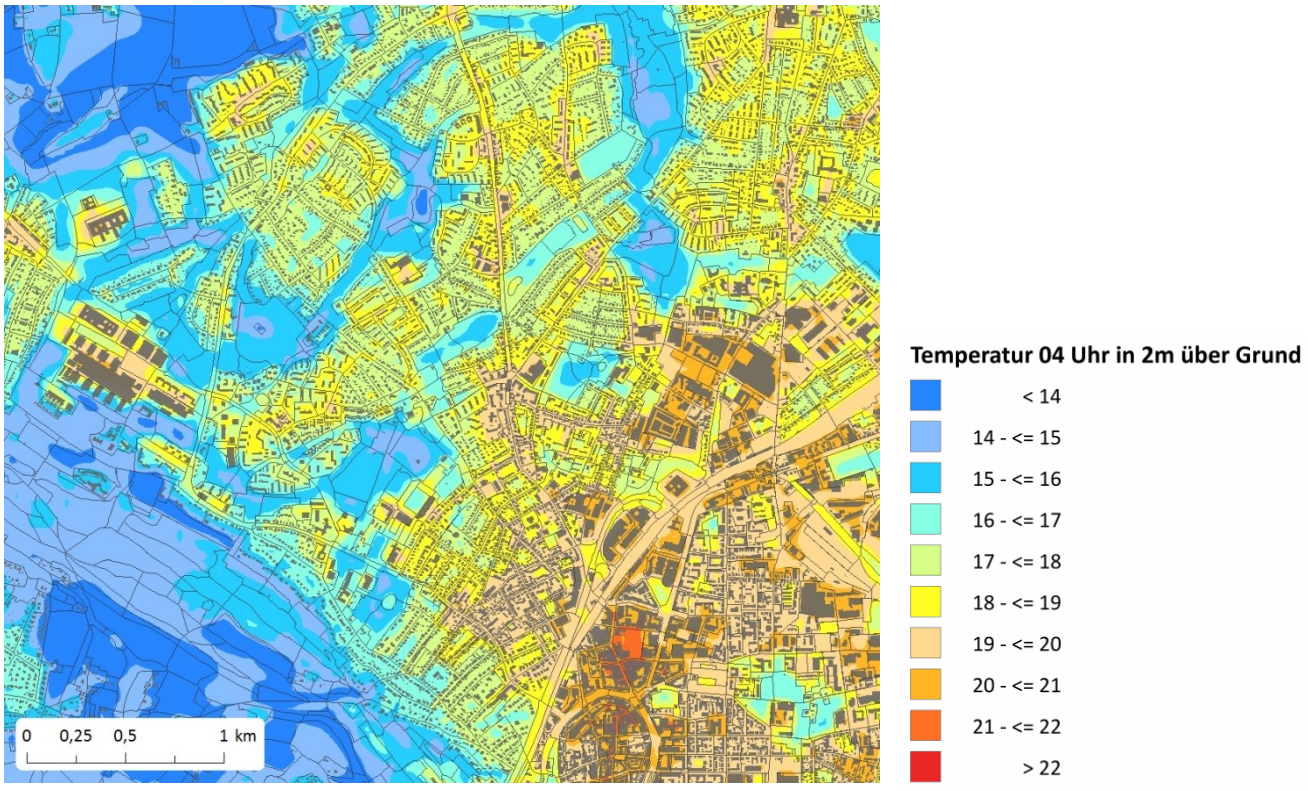


Abb. 21: Beispielhafter Ausschnitt nächtliche Lufttemperatur (Gegenwart 4:00 Uhr, 2 m über Grund in °C)

Modellergebnisse Zukunftsrechnung

Der in die Zukunftsrechnung implementierte stark erhöhte Temperaturantrieb um 1,7 K führt im Szenario 2050 zu einem flächendeckend höheren Temperaturniveau – im Mittel steigt die nächtliche Lufttemperatur im Stadtgebiet um 2,1 K auf 17,3 °C. Etwa ein Viertel dieses Temperaturanstiegs ist nicht auf das eingeführte Temperaturänderungssignal, sondern auf die gleichzeitig modellierte städtebauliche Entwicklung (Reserveflächenumnutzung und Nachverdichtungen) bis zu diesem Planjahr zurückzuführen (s. Kapitel 0).

Der Verlust von relativ kühlen, gering versiegelten Kaltluftentstehungsräumen und ihr Ersatz durch Bereiche mit tendenziell großem Bauvolumen und hoher Oberflächenversiegelung führt einerseits zu flächenhaften und lokal erheblichen Temperaturzunahmen auf den überplanten Flächen selber, und bedingt andererseits eine Zunahme des Temperaturniveaus in angrenzenden Räumen durch den Verlust von potenziell kühleren Ausgleichsströmungen. Ein besonders auffälliges Beispiel findet sich in den Abbildungen links oben, wo die fast 36 Hektar große Reservefläche „Am Poggenpohl“ in Babenhausen angeschnitten ist [**1**]. Direkt südlich fällt eine durch die kleinere Reservefläche „Kipps Heide“ verursachte Erhöhung des nächtlichen Lufttemperaturfeldes auf [**2**]. Beide Areale sind gegenwärtig durch einen landwirtschaftlich bedingten Freiflächencharakter geprägt und in die Modellierung des Zukunftsszenarios als Wohngebiete mit Zeilen- und Hochhausbebauung und Einzel- und Reihenhausbebauung eingegangen.

Die räumliche, nutzungsbedingte Differenzierung des Temperaturfeldes bleibt in Zukunft grundsätzlich erhalten. Die ohnehin vorhandene relative Überwärmung des Siedlungsraums wird – vor dem Hintergrund eines thermisch generell zunehmenden Belastungsniveaus – in Zukunft weiter steigen. Die städtischen Grünflächen heben sich trotz der allgemein gestiegenen Lufttemperaturen auch im zukünftigen städtischen Temperaturfeld als entlastende Oasen hervor. Ihre wichtige Entlastungsfunktion wird angesichts der zunehmenden städtischen Überwärmung weiter ansteigen.

Die Flächen innerhalb des Stadtgebietes, deren Minimaltemperaturen bei authochtonen Wetterlagen nicht mehr unter 20 °C fallen (Tropennächte), weiten sich deutlich aus. Solche meteorologischen Phänomene werden vermehrt auch in relativ locker bebauten Siedlungsräumen auftreten und das humanbioklimatische Belastungspotenzial flächenhaft erheblich verstärken. Auch die in solchen Bereichen gelegenen Grün- und Freiflächen werden demzufolge an Bedeutung gewinnen und eine zunehmende klimatische Entlastungsfunktion einnehmen.

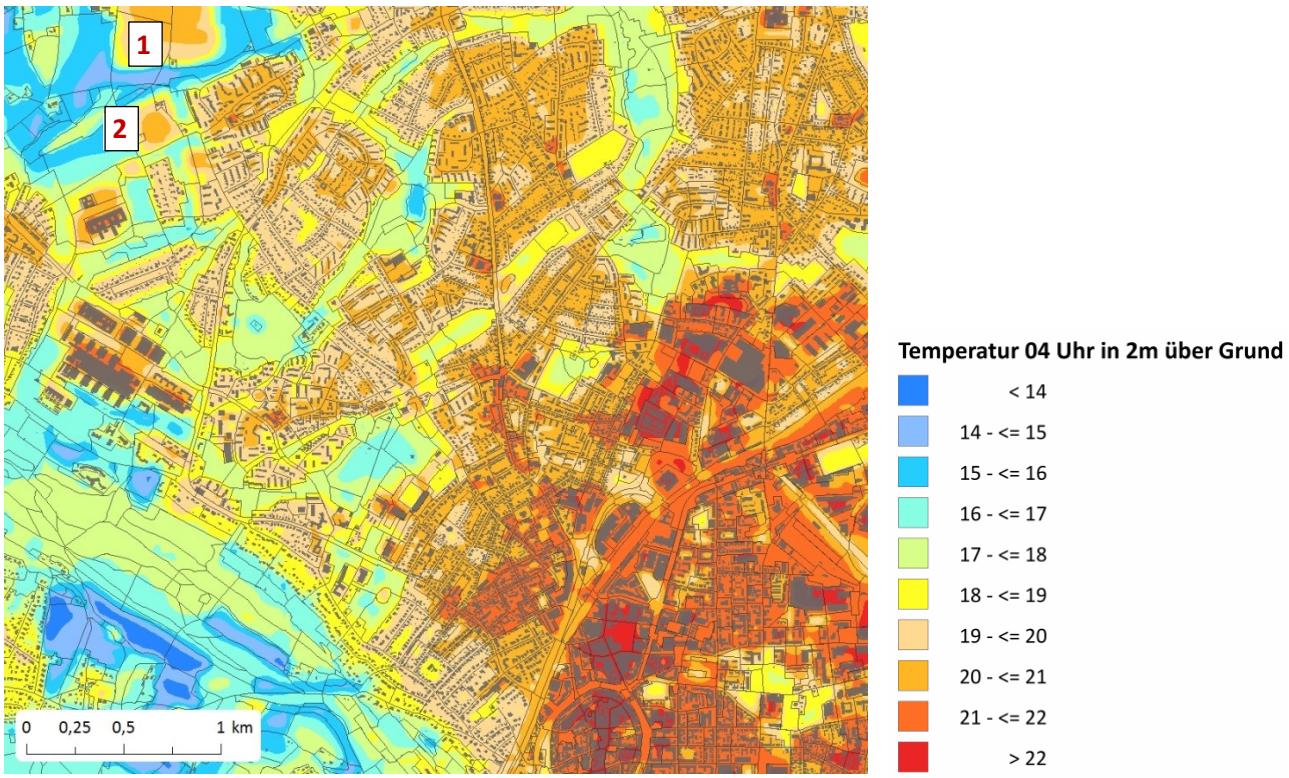


Abb. 22: Beispielhafter Ausschnitt nächtliche Lufttemperatur (Zukunft 4:00 Uhr, 2 m über Grund in °C)

3.2.4.2 HUMANBIOKLIMATISCHE SITUATION AM TAGE

Der humanbioklimatischen Belastungssituation in den Nachtstunden kommt eine besondere Bedeutung zu, weil ein erholsamer Schlaf nur bei ausgewogenen thermischen Bedingungen möglich ist. Doch auch am Tage können bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen starke thermophysiologische Belastungen auftreten (u.a. verringerte Leistungsfähigkeit, Kreislaufprobleme, Hitzschlag, Migräne). Hierfür ist, neben dem generell hohen Temperaturniveau, insbesondere die strahlungsbedingte Aufheizung städtischer Oberflächen in Verbindung mit ihrer erhöhten Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit verantwortlich. Maßnahmen zur Reduktion dieser Aufheizung – also im Allgemeinen zur Verringerung der Oberflächen- und Lufttemperatur durch verstärkte Beschattung und eine Erhöhung der Evapotranspiration – wirken sich häufig auch positiv auf die lokalen nächtlichen Bedingungen aus.

Meteorologische Parameter wirken nicht unabhängig voneinander, sondern in biometeorologischen Wirkungskomplexen auf das Wohlbefinden des Menschen ein. Zur Bewertung werden Indizes verwendet (Kenngrößen), die Aussagen zur Lufttemperatur und Luftfeuchte, zur Windgeschwindigkeit sowie zu kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen kombinieren. Wärmehaushaltsmodelle berechnen den Wärmeaustausch eines Menschen mit seiner Umgebung und können so die Wärmebelastung des Menschen abschätzen. Ein Beispiel für ein solches Modell ist der sog. „Klima-Michel“, bei dem von physiologischen Modell-Kenngrößen ausgegangen wird. In verschiedenen Kontexten genutzte Indizes in diesem Zusammenhang sind zudem der UTCI (Universal Thermal Climate Index), der PMV-Wert (Predicted Mean Vote) und die PET (Physiologisch Äquivalente Temperatur) .

In der vorliegenden Untersuchung wird zur Bewertung der Tagsituation der humanbioklimatische Index PET um 14:00 Uhr herangezogen (***Physiologisch Äquivalente Temperatur*** in °C; vgl. Matzarakis & Mayer 1996). Wie die übrigen humanbiometeorologischen Indizes bezieht sich die PET auf außenklimatische Bedingungen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlungsflüsse) und zeigt eine starke Abhängigkeit von der Strahlungstemperatur (Kuttler 1999). Mit Blick auf die Wärmebelastung ist sie damit vor allem für die Bewertung des Aufenthalts im Freien am Tage sinnvoll einsetzbar. In der Nacht ist hingegen weniger der Aufenthalt im Freien Bewertungsgegenstand, sondern vielmehr die Möglichkeit eines erholsamen Schlafes im Innenraum. Gemäß VDI (2008) ist die „Lufttemperatur der Außenluft die entscheidende Größe“ bei der Beeinflussung des Innenraumklimas wobei näherungsweise ein direkter Zusammenhang zwischen Außen- und Innenraumluft unterstellt werden kann (vgl. S. 31f). Ein vergleichbarer Bewertungsansatz auf Grundlage der nächtlichen PET existiert (noch) nicht. Sie wurde daher lediglich zur Beurteilung der Tagsituation verwendet.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z.B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; Tab. 9; VDI 2004):

Tab. 9: Zuordnung von Schwellenwerten für die PET während der Tagesstunden (nach VDI 2004).

PET	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
4 °C	Sehr kalt	Extreme Kältebelastung
8 °C	Kalt	Starke Kältebelastung
13 °C	Kühl	Mäßige Kältebelastung
18 °C	Leicht kühl	Schwäche Kältebelastung
20 °C	Behaglich	Keine Wärmebelastung
23 °C	Leicht warm	Schwache Wärmebelastung
29 °C	Warm	Mäßige Wärmebelastung
35 °C	Heiß	Starke Wärmebelastung
41 °C	Sehr heiß	Extreme Wärmebelastung

Bei der Interpretation des PET-Feldes aus mesoskaligen Modellrechnungen müssen einige ***Einschränkungen*** beachtet werden: Beispielsweise werden Gebäude und einzelne Bäume aufgrund der Rasterauflösung von 25 m nicht explizit aufgelöst, sondern gehen entsprechend parametrisiert durch die Definition der Nutzungsklassen in die Modellierung ein. Sie werden daher je Rasterzelle lediglich über eine mittlere Rauhigkeit und Hindernishöhe repräsentiert. Da die PET aber ganz wesentlich von der Sonneneinstrahlung (und damit auch vom Schattenwurf) abhängt, sind kleinräumigere Analysen der Wärmebelastung am Tage, beispielsweise für Straßenräume, kaum sinnvoll möglich.

Modellergebnisse Gegenwart

Im Vergleich zur Lufttemperatur weist die PET eine höhere Spannbreite im Untersuchungsgebiet auf. PET-Werte ≤ 26 °C (keine oder schwache Wärmebelastung) sind besonders in Waldbereichen zu finden, auf dem Kartenausschnitt in Abb. 23 z.B. im Stadtwald. Da Bäume einen großen Teil der Strahlung bereits im Kronen- und Stammraum absorbieren, bewirken sie bei starken Einstrahlungsintensitäten eine erhebliche Abkühlung der Oberflächen- und Lufttemperatur. Stadtnahe Wälder können daher als bioklimatische Erholungsräume dienen und am Tage mitunter sogar Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen. Einen kühlenden Effekt weisen auch Gewässerflächen auf, wie die blauen Signaturen am Teich im Bürgerpark oder am Schlosshofgraben zeigen.

Besonders hohe Belastungen weisen Flächen mit einer ungehinderten Einstrahlung auf: Neben Straßen, Plätzen oder Gleisanlagen, bei denen versiegelungsbedingt zusätzlich die Evapotranspiration eingeschränkt ist, können dies auch landwirtschaftliche Nutzflächen sein. Im Gegensatz zur Situation in der Nacht fällt die thermische Belastung in der Zentrumsbebauung weniger stark aus, da die dichte und zumeist hohe Bebauung für eine gewisse Verschattung sorgt.

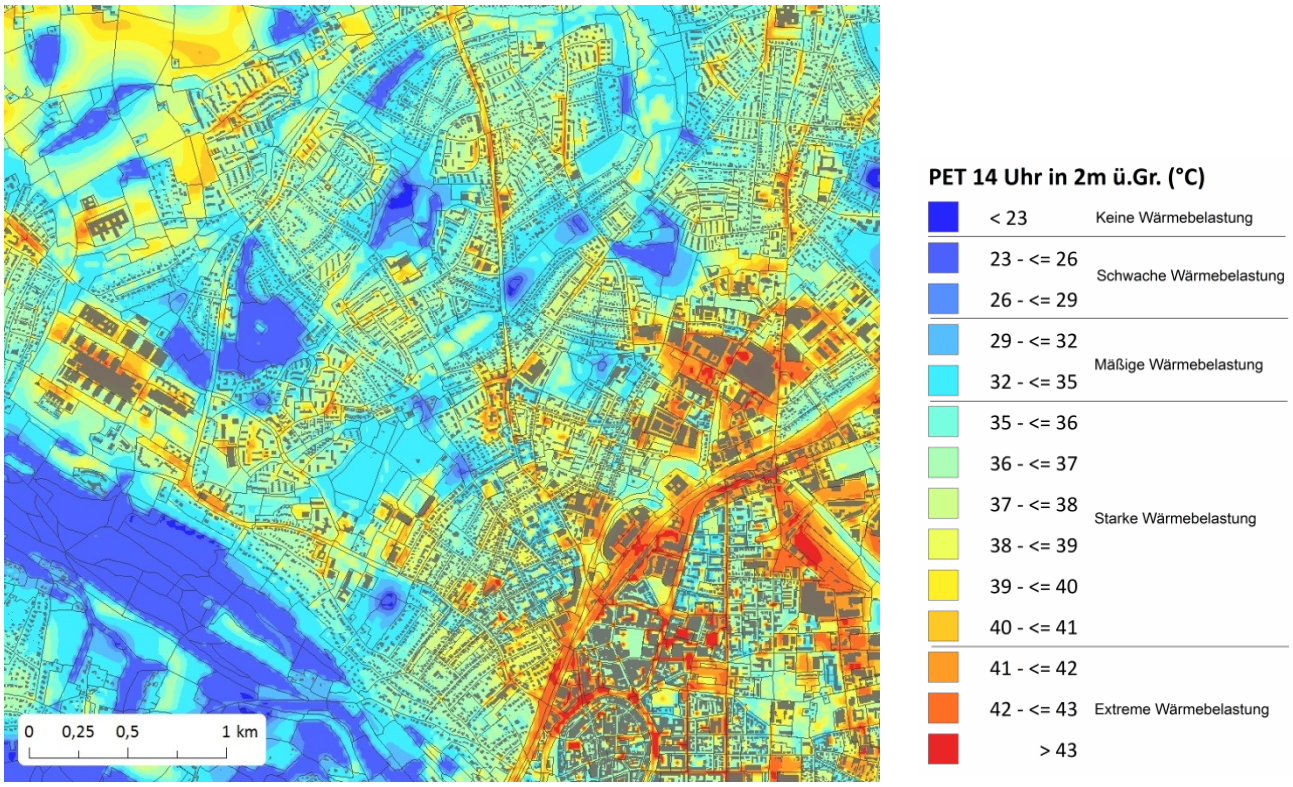


Abb. 23: Beispielhafter Ausschnitt Wärmebelastung am Tage (Gegenwart 14:00 Uhr, PET in °C)

Modellergebnisse Zukunftsrechnung

In Bezug auf die PET ist wie bei der nächtlichen Lufttemperatur zukünftig ein insgesamt höheres Niveau festzustellen, doch fallen die Unterschiede weniger deutlich aus (Abb. 24). Auch am Tage erhöht sich die Lufttemperatur, doch ist diese nur eine Eingangsgröße der PET. Für die Bewertung der Wärmebelastung am Tage ist die Sonneneinstrahlung ein entscheidender Faktor – der sich an autochthonen Tagen jedoch durch den Klimawandel nicht entscheidend ändert (weil die Erderwärmung im Wesentlichen kein Problem vermehrter Einstrahlung sondern verringerter Rückstrahlung ist). So heben sich in Zukunft weiterhin Waldflächen und Gewässer mit einer *schwachen* bis *mäßigen Wärmebelastung* im Kartenbild ab, gleichwohl die Bereiche ≤ 26 °C nahezu wegfallen. Im Siedlungsraum und über Freiflächen sind zukünftig dagegen höhere Belastungen vorzufinden, gerade die Flächen *extremer Wärmebelastung* weiten sich aus.

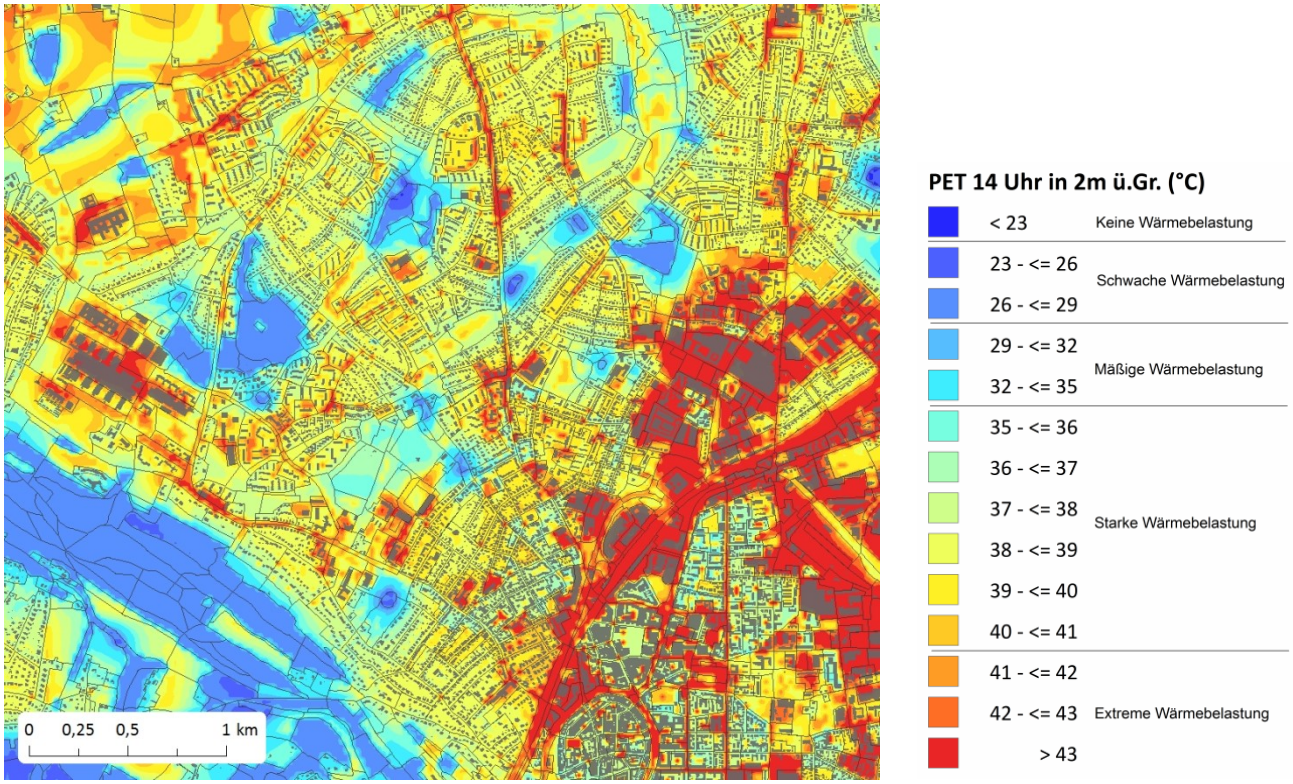


Abb. 24: Beispielhafter Ausschnitt Wärmebelastung am Tage (Zukunft 14:00 Uhr, PET in °C)

3.2.4.3 KALTLUFTPROZESSGESCHEHEN

Die im Kapitel 3.2.3.1 beschriebenen unterschiedlichen nächtlichen Abkühlungsraten der einzelnen Flächen verursachen Temperatur- und Dichteunterschiede, die zu lokalen Ausgleichsströmungen führen. Die auf stadtnahen Flächen entstandene Kaltluft setzt sich aufgrund ihrer höheren Dichte in Richtung der wärmeren Siedlungsräume in Bewegung. Die Ausprägung dieser ***Flurwinde*** wird in erster Linie durch den Temperatur- und damit verbundenen Dichteunterschied bestimmt sowie durch die Rauigkeit des überströmten Geländes beeinflusst. Flurwinde sind eng begrenzte, oftmals nur schwach ausgeprägte Strömungsphänomene, die bereits durch einen schwachen überlagernden Wind überdeckt werden können. Ihre Geschwindigkeit liegt meist unterhalb von 1 $m \cdot s^{-1}$. Kleinräumige Strömungsphänomene, die zwischen einzelnen strukturellen Elementen innerhalb der Stadt auftreten, werden ***Strukturwinde*** genannt.

An geneigten Flächen fließt außerdem abgekühlte und damit schwerere Luft hangabwärts. Die Windgeschwindigkeit dieses kleinräumigen Phänomens wird vornehmlich durch die Hangneigung des Geländes, die Temperaturdifferenz und den Strömungswiderstand der überströmten Flächen bestimmt. Solche orographisch bedingten Kaltluftabflüsse erreichen durchweg höhere Strömungsgeschwindigkeiten als rein thermisch angetriebene Ausgleichsströmungen in ebenem Gelände. ***Hangabwinde*** erreichen maximale Abflussgeschwindigkeiten von etwa 3 $m \cdot s^{-1}$, ihre Mächtigkeit liegt zumeist unterhalb von 10 m (HERGERT 1991). Im Berg- und Bergvorland sind Hangwinde oftmals Teilglieder einer übergeordneten Berg- und Talwind-Zirkulation. Aufgrund ihrer größeren Einzugsgebiete sind nächtliche Bergwinde deutlich stärker ausgeprägt als Hangabwinde und erreichen bei Mächtigkeiten von mehreren Dekametern Strömungsgeschwindigkeiten von über 5 $m \cdot s^{-1}$ (WERNER 1979).

Den hier beschriebenen Phänomenen kommt eine besondere landschaftsplanerische Bedeutung zu: Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauhigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund ist die Durchlüftung der Stadtkörper und ihr Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauschschwachen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren humanbioklimatisch zumeist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Wie auch die anderen Klimaparameter ist das ***Kaltluftprozessgeschehen*** eine Größe, die während der Nachtstunden in ihrer Stärke und Richtung veränderlich ist. Der jeweilige Beitrag beschleunigender und bremsender Faktoren zur Dynamik der Strömung wird unter anderem stark von der bisherigen zeitlichen Entwicklung des Abflusses beeinflusst. So können beispielsweise die Kaltluftströmungen über einer Fläche sich im Laufe der Nacht dadurch ändern, dass die Fläche zunächst in einem Kaltluftabflussgebiet und später in einem Kaltluftsammelgebiet liegt. Letzteres kann als Hindernis auf nachfolgende Luftmassen wirken und von diesen über- oder umströmt werden. Die sich im Verlauf der Nacht einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten hängen im Wesentlichen von der Temperaturdifferenz der Kaltluft gegenüber der Umgebungsluft, der Hangneigung und der Oberflächenrauhigkeit ab – wobei die Kaltluft selber auf all diese Parameter modifizierend einwirken kann.

Gebäude, Mauern, Straßendämme oder Lärmschutzwände wirken als Strömungshindernisse und können luvseitig markante Kaltluftstaus auslösen. Mächtigere Kaltluftschichten, die sich häufig erst im Laufe einer Nacht ausbilden, über- oder umströmen solche Hindernisse. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebautes Gebiet hängt wesentlich von der Bebauungsdichte und -höhe aber auch von der anthropogenen Wärmezufuhr ab. Auch atürliche Hindernisse wie zum Beispiel dichte Baum- oder Strauchbestände wirken bremsend. Ebenso tragen natürliche Wärmequellen wie z.B. Wasseroberflächen zu einer Erwärmung der Kaltluftschicht bei und beeinflussen so die Ausgleichsströmungen.

Die potenzielle Ausgleichsleistung der Kaltluftströmung lässt sich recht umfassend aus zwei miteinander gekoppelten Parametern des Kaltluftprozessgeschehens ableiten:

1. Aus dem Kaltluftvolumenstrom, der das in einer bestimmten Zeiteinheit transportierte Gesamtvolumen an Kaltluft durch eine definierte vertikale Fläche senkrecht zur Strömungsrichtung angibt. Dabei wird das Luftvolumen über die variable absolute Höhe der Kaltluftschicht aufsummiert (integriert), während die horizontale Breite der Fläche stets einem Meter entspricht („Kaltluftvolumenstromdichte“, siehe Abb. 25). Geschwindigkeit und Richtung können innerhalb der Luftsäule veränderlich sein.

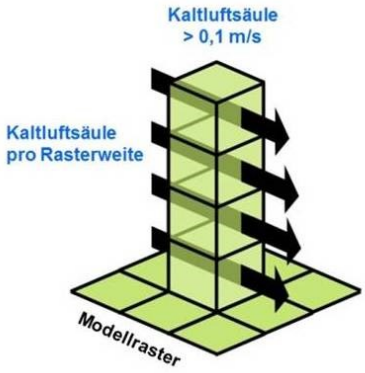


Abb. 25 Prinzipskizze Kaltluftvolumenstrom

2. Aus der ***bodennahen Strömungsgeschwindigkeit***, die aufzeigt, inwieweit die Kaltluft tatsächlich in den Aufenthaltsbereich des Menschen durchgreifen kann und nicht etwa zu wesentlichen Anteilen in höheren Schichten des Überdachniveaus stattfindet. Die bodennahe Strömungsgeschwindigkeit ist nicht nur von der Mächtigkeit der Kaltluftschicht und damit von der tatsächlich transportierten Masse an Kaltluft abhängig, sondern auch von der Windoffenheit der bodennahen Nutzungsstrukturen.

Modellergebnisse Gegenwart

Das Kaltluftprozessgeschehen des Bielefelder Stadtgebietes wird insgesamt stark durch den westöstlich verlaufenden Höhenrücken des Teutoburger Waldes und die von ihm in Richtung Siedlungskörper strömenden Kaltluftmassen geprägt. Der Höhenrücken gliedert das Stadtgebiet in zwei geomorphologische und hydrologische Landschaftsräume, die auch kaltlufthaushaltlich von Bedeutung sind: Im nördlichen Ravensberger Hügelland treten reliefbedingt recht stark ausgeprägte Kaltluftströmungen auf. Diese transportieren zwar nicht die enormen Volumina der Hangabwinde im Bereich des Teutoburger Waldes, erreichen aber – etwa in den Tälern der kleineren Fließgewässer – durchaus überdurchschnittlich hohe Werte. Im Südteil der Stadt hingegen, in den flacheren Landschaften des Ostmünsterlandes und der Senne, wird die Kaltluftdynamik vornehmlich durch nutzungsbedingte Temperaturunterschiede gesteuert und ist infolgedessen eher durch niedrigere Volumenströme geprägt.

Die Abb. 26 und Abb. 27 zeigen für den bereits bekannten Beispielausschnitt im Raum Mitte/Schildesche das bodennahe Strömungsfeld und das Feld der Kaltluftvolumenstromdichte, die sich während einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetternacht um 4:00 Uhr morgens autochthon herausgebildet haben. Die momentane bodennahe Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeillänge in Form von Vektoren dargestellt, wobei die Pfeile für eine übersichtlichere Darstellung in niedriger Auflösung abgebildet werden. Die unterlegten Farben stellen die Windgeschwindigkeit und die Kaltluftvolumenstromdichte flächenhaft dar. Abgebildet sind alle Rasterzellen, für die unter Berücksichtigung der gebietstypischen Ausprägung eine potenzielle klimaökologische Wirksamkeit angenommen werden kann.

Die für das 2-m-Niveau wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Untersuchungsraums reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von 3,0 $m \cdot s^{-1}$ über den größeren landwirtschaftlich genutzten Freiräumen mit stärkerem Reliefeinfluss (beispielsweise im hier nicht abgebildeten Raum Ubbedissen oder am Gipsbach in Stieghorst). Überdurchschnittlich hohe Werte von mehr als 1,0 $m \cdot s^{-1}$ treten im Stadtgebiet auch außerhalb des Mittelgebirgseinflusses dort auf, wo die Strömung orographisch beeinflusst ist, was insbesondere in den Tälern der kleineren Fließgewässer im Norden der Fall ist. Ein ins Auge fallendes Beispiel hierfür ist das Strömungssystem, welches sich an der Grenze der Stadtbezirke Jöllenbeck und Schildesche im Bereich des Moorbachtales ausgebildet hat (siehe Karte „Kaltluftvolumenstrom“). Ähnlich hohe Geschwindigkeiten treten sonst nur in Bereichen auf, in denen die Strömung kanalisiert und damit beschleunigt wird.

Die Abb. 27 verdeutlicht die räumliche Ausprägung des Kaltluftstroms über Grünflächen und in Siedlungsräumen anhand des Beispielausschnittes: Aus den südwestlich vorgelagerten Höhenlagen um Stecklenbrink, Ochsen- und Johannisberg strömt Kaltluft über die locker bebauten Areale an der Wertherstraße und die zugehörigen Freiflächen, Kleingärten und Sportanlagen zwischen Universität und Bielefelder Pass. Zentral ist eine der markanten, nordöstlich gerichteten Leitbahnen in diesem Bereich zu erkennen: Sie führt Kaltluft über den Bürgerpark und vorbei an der als Strömungshindernis wirkenden Bebauung im Bereich der Schulen und der Schüco-Arena bis in den Stadtteil Sudbrack hinein [1]. Im Lee von Rudolf-Oetker-Halle und Max-Planck-Gymnasium werden die Luftmassen zum Teil abgeriegelt, zum Teil in einem zentralen Durchtrittsbereich kanalisiert und dadurch beschleunigt. Von der westlich liegenden Kleingartenanlage „Alte Schmiede“ und den benachbarten Grünflächen wird in funktionaler Kopplung zusätzlich Kaltluft in die verbleibende Strömung eingebracht und im Verlauf des Wickenkampes in Richtung Meierteichpark transportiert.

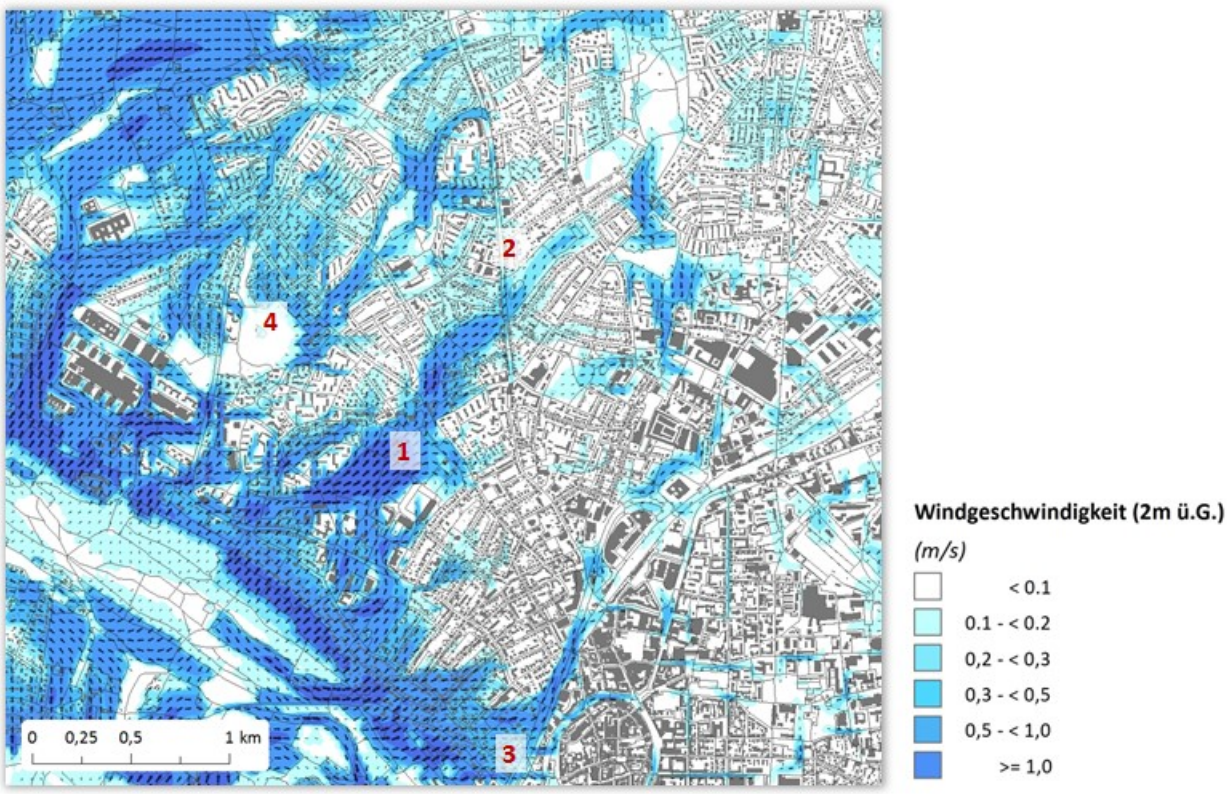


Abb. 26: Beispielhafter Ausschnitt bodennahes Strömungsfeld (Gegenwart 4:00 Uhr, 2 m über Grund in $m \cdot s^{-1}$, Aggregierte Windrichtung in 50m-Abstand)

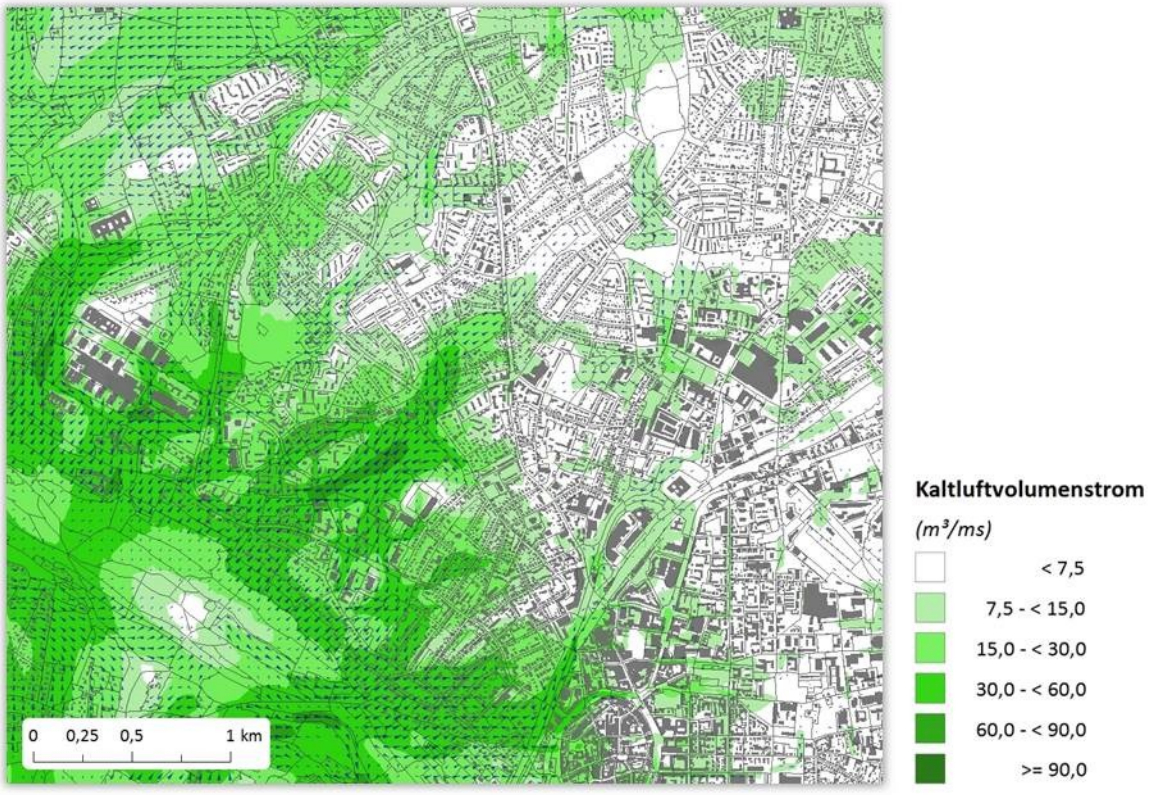


Abb. 27: Beispielhafter Ausschnitt Kaltluftvolumenstromdichte (Gegenwart 4:00 Uhr, in m³/ms, Windrichtung bodennah, in 50m-Abstand aggregiert

Das Einströmen von Luftmassen über die Jöllenbecker Straße [2] oder auch den Ostwestfalendamm [3] in die Wohn- und Gewerbebebauung veranschaulicht den Widerspruch zwischen der humanbioklimatischen Ausgleichsfunktion der transportierten Luftmassen und den über ihren potenziell erhöhten Luftschadstoffgehalt möglichen lufthygienischen Zusatzbelastungen.

Im Umfeld der weiter westlich gelegenen Voltmannstraße wird die Gunstwirkung einer gering überbauten und grüngeprägten Oberflächenstruktur auf die Durchlüftung des Siedlungskörpers deutlich [4]. Je nach Dichte der Bebauung und Intensität der Strömungsdynamik kann die Eindringtiefe der Kaltluft in solchen Siedlungsräumen – bei zunehmender Verzögerung und Erwärmung – mehr als 800 m betragen.

In Gebieten mit ***Zeilenbebauung***, beispielsweise westlich der Jakob-Kaiser-Straße oder an der Graf-von-Stauffenberg-Straße, ist die Reichweite der Kaltluft hingegen stark von der Stellung der Baukörper zur vorherrschenden Strömungsrichtung abhängig. In Längsstellung können über die Abstandsflächen ähnlich große Eindringtiefen wie bei der Einzel- und Reihenhausbebauung erreicht werden, während in Querstellung die Strömung unter Umständen vollständig abgeriegelt wird. Aufgrund der umgebenden Grünflächen tritt keine übermäßige Erwärmung der Strömungen auf.

In Siedlungsräume, die von ***Blockrandbebauung*** dominiert werden, kann die Kaltluft häufig nur über Straßenräume und Bebauungslücken vordringen. Die Eindringtiefe ist hier generell entsprechend gering, die Erwärmungsrate der Kaltluft hoch. Ähnliches gilt für die Stadt- und Stadtteilzentren sowie Gewerbegebiete.

Die im Umfeld des Grabelandes des „Wickenkamp-Gartens“ gelegenen Flächen (bei [1]) heben zwei der zahlreichen ***bioklimatischen Funktionen von Kleingartenanlagen*** hervor: Sie können einerseits als hindernisarme Leitbahnen für die Ausgleichsströmungen zwischen vorgelagerten Frei- und Siedlungsräumen wirken, produzieren selbst aber ebenfalls Kaltluft, die dazu beiträgt, die Strömungssysteme in ihrer Intensität und thermischen Charakteristik zu erhalten. Die gleichzeitige Funktion als Kaltluftentstehungsgebiet kann die Effektivität einer Leitbahn entscheidend erhöhen.

Vergleicht man das bodennahe Strömungsfeld der Abb. 26 mit dem Feld der Kaltluftvolumenstromdichte in der Abb. 27 direkt darunter, fällt auf, dass die Luftmassen häufig größere Flächen überströmen, als bodennah durchgreifen können. Das Kaltluftprozessgeschehen findet also zu einem gewissen Teil oberflächenfern („abgehoben“) statt und der Luftaustausch im unteren Bodenniveau bleibt unvollständig oder stagniert. In städtischen Siedlungsbereichen mit mehrstöckigen Wohnungen ist damit aber nicht unbedingt ein vollständiger Verlust der humanbioklimatischen Gunstwirkung verbunden, weil die nächtlichen Aufenthaltsbereiche des Menschen nicht selten deutlich oberhalb des Bodens liegen und die thermophysiologischen Belastungen dort durch Lüftung verringert werden können.

Modellergebnisse Zukunft

Kaltluft ist keine absolute Größe, sondern definiert sich über ihre thermische Relation zu benachbarten Luftmassen. Ob ein Luftpaket von beispielsweise 15 °C als Kaltluft bezeichnet werden kann, hängt davon ob, ob es in einem Temperaturumfeld von 10 °C oder aber in einem solchen mit 20 °C eingebettet ist. Aufgrund der zukünftig nahezu gleichbleibenden relativen Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Nutzungsformen, sollte das Kaltluftprozessgeschehen der in Abb. 28 und Abb. 29 dargestellten Zukunftsperiode bis 2050 im Wesentlichen demjenigen der gegenwärtigen Situation entsprechen. Dies trifft auch weitgehend zu, wenn man die grundlegenden Strömungssysteme der Abbildungen vergleicht. Bei näherem Hinsehen fällt allerdings auf, dass sowohl die bodennahen Strömungsgeschwindigkeiten als auch die transportierten Kaltluftvolumina insgesamt abgenommen haben.

Dort, wo bis zum Prognosehorizont Nutzungsintensivierungen vorgesehen sind, geht die flächeninterne Kaltluftproduktion verloren oder stark zurück. Darüber hinaus behindern die geplanten Siedlungskörper die Überströmung der Kaltluft aus dem Umfeld in die angrenzenden Areale. Daher ist nahezu die Gesamtheit der etwa zehnprozentigen Volumenstromabnahme im prognostizierten Kaltlufthaushalt auf die angesetzte städtebauliche Entwicklung zurückzuführen (Reserveflächenbebauung und Nachverdichtung). Besonders auffällige Effekte treten auch hier wieder in den Abbildungen links oben auf, wo die (bereits in Kapitel 3.2.4.1 erwähnten) Reserveflächen „Am Poggenpohl“ [**1**] und „Kipps Heide“ [**2**] deutliche Störungen im Kaltluftströmungsfeld verursachen. Beide Areale sind gegenwärtig durch einen landwirtschaftlich bedingten Freiflächencharakter geprägt und in die Modellierung des Zukunftsszenarios als Wohngebiete mit Einzel- und Reihenhaus unterschiedlicher Bebauungsdichte eingegangen.

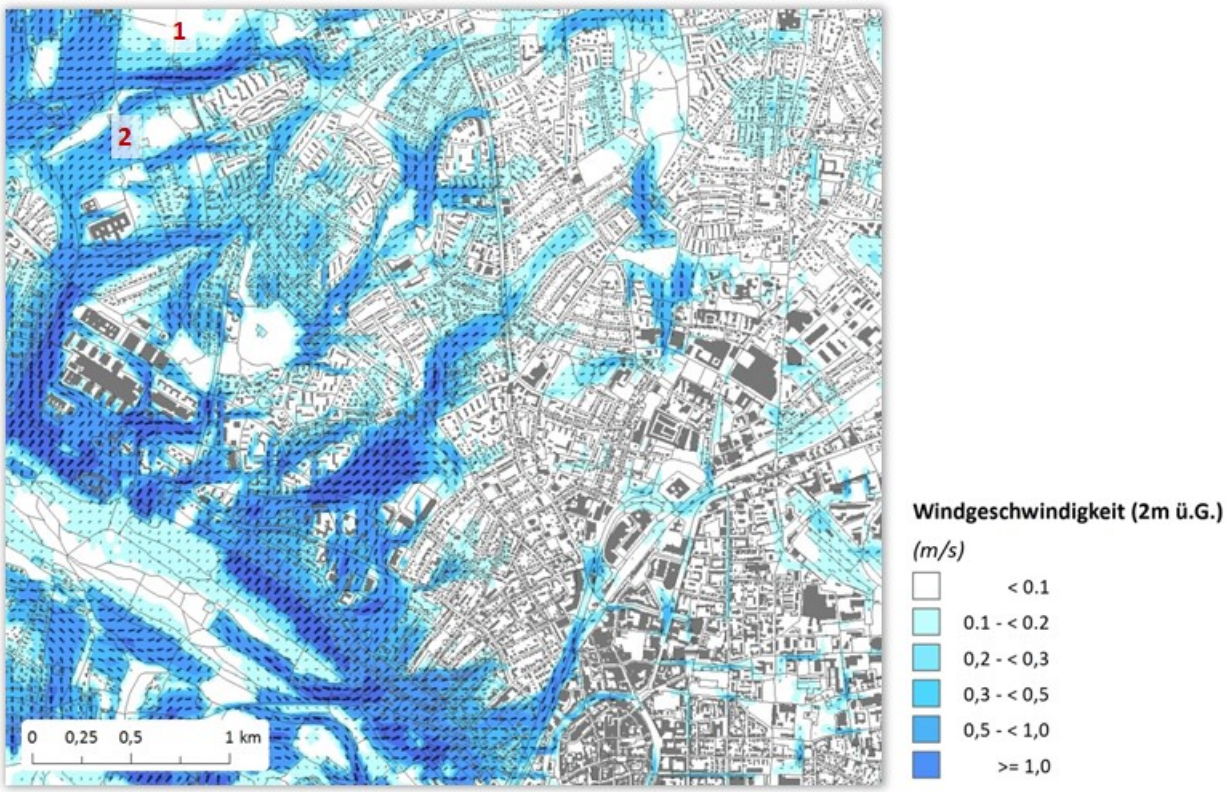


Abb. 28: Beispielhafter Ausschnitt bodennahes Strömungsfeld (Zukunft 4:00 Uhr, 2 m über Grund in $m \cdot s^{-1}$, Aggregierte Windrichtung in 50 m-Abstand

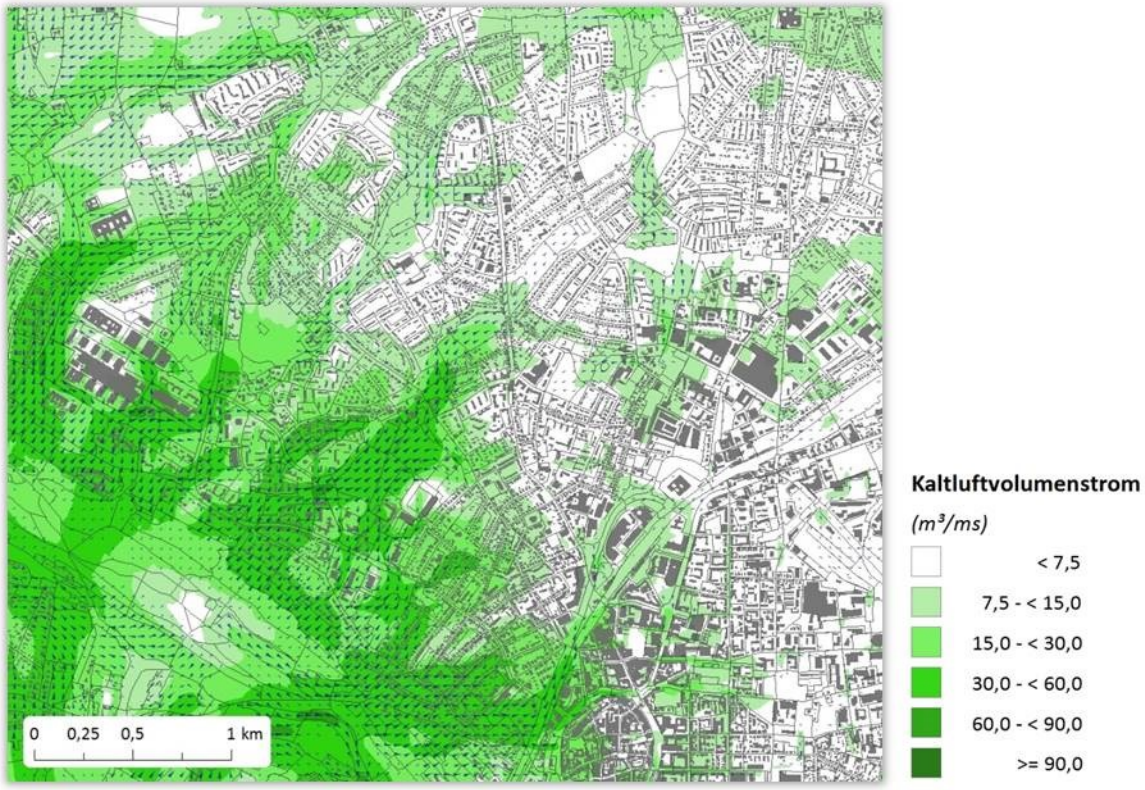


Abb. 29: Beispielhafter Ausschnitt Kaltluftvolumenstromdichte (Zukunft 4:00 Uhr, in m^3/ms, Windrichtung bodennah, in 50 m-Abstand aggregiert

3.2.5 SYNTHETISCHE KLIMAANALYSEKARTEN

Klimaanalysekarten sind als vereinfachende Synthese der komplexen Struktur-, Beziehungs- und Funktionsgeflechte der einzelnen zuvor diskutierten Parameter aufzufassen (VDI 2015). Ausgangspunkt der Verknüpfung der miteinander im Zusammenhang stehenden Teilaspekte ist die Gliederung des Untersuchungsraumes in humanbioklimatisch belastete Siedlungsräume einerseits (***Wirkungsraum***) und Kaltluft produzierende, unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen andererseits (***Ausgleichsräume***). Sofern diese Räume nicht unmittelbar aneinander grenzen und die Luftaustauschprozesse stark genug ausgeprägt sind, können linear ausgerichtete, gering überbaute Grünflächen (***Luftleitbahnen***) beide miteinander verbinden. Aus der Abgrenzung von Gunst- und Ungunsträumen sowie der verbindenden Strukturen ergibt sich somit ein komplexes Bild vom Prozesssystem der Luftaustauschbedingungen des ***Ausgleichsraum-Wirkungsraum-Gefüges*** im Stadtgebiet Bielefelds. Die Klimaanalysekarte bildet dabei den planungsrelevanten Ist-Zustand der Klimasituation ab. Die abgegrenzten klimatischen Funktionsräume sollen dazu beitragen:

- die Grünflächen und Freiräume entsprechend ihres Kaltluftliefervermögens zu qualifizieren,
- die Wirkungsräume hinsichtlich ihres Belastungspotenzials zu charakterisieren,
- sowie die regional und lokal bedeutsamen Luftaustauschbeziehungen zu lokalisieren und ihrer bioklimatischen Bedeutung zu bewerten.

Um Aussagen über Funktionszusammenhänge treffen zu können, müssen unterschiedliche Flächeneinheiten von Grünarealen einerseits und bebauten Bereichen andererseits in ihren klimatischen Merkmalen untereinander abgrenzbar sein. Aus den punkthaften Repräsentationen der Eingangsvariablen ergeben sich die in gleicher Weise aufgelösten Modellergebnisse in Form feldhaft berechneter Klimaparameter. Qualifizierende Aussagen zur humanbioklimatischen Bedeutung bestimmter Areale können sich allerdings nicht auf einzelne Rasterzellen beziehen. Hierfür muss eine Zonierung des Untersuchungsraumes in klimatisch ähnliche Flächeneinheiten erfolgen. Diese sollten in der Realität nachvollziehbar und administrativ oder nutzungstypisch abgrenzbar sein (näheres siehe Kap. 3.2.3).

Die zusammenfassende, zunächst rein deskriptive Darstellung der nächtlichen Überwärmung des Siedlungsraums, des Kaltluftprozessgeschehens über Grün- und Freiflächen sowie der Wirkungszusammenhänge zwischen diesen Ausgleichs- und Belastungsräumen dient in einem späteren Schritt als Grundlage für die eigentliche Bewertung der klimatischen Gegebenheiten: Die Ableitung von Bewertungs- und Planungshinweiskarten enthalten eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange.

Klimaanalysekarte Gegenwart

Der Wärmeinseleffekt der Siedlungs- und Gewerbeflächen: Die nächtliche Überwärmung des Stadtkörpers wird über die Temperaturabweichung gegenüber den mittleren Grünflächenbedingungen ausgewiesen. Die Werte veranschaulichen den bau- und versiegelungsbedingten Einfluss auf das Temperaturfeld (ohne allerdings explizit von anderen Einflussfaktoren wie dem Gelände oder dem Waldanteil zu abstrahieren). Über diese Größe kann daher die Ausprägung der städtischen „Wärmeinsel“ verdeutlicht werden, ein Begriff der das thermische Sonderklima der Siedlungsräume beschreibt, das sich aufgrund der in Kapitel 3.2.3.1 beschriebenen physikalischen Zusammenhänge im Laufe der Nacht herausbildet. Die modellierte mittlere Lufttemperatur aller Grünflächen im Bielefelder Stadtgebiet beträgt unter den angenommenen Bedingungen 14,2°C. Der hier betrachtete Wärmeinseleffekt ergibt sich als Abweichung von diesem Bezugswert.

Stellt man dem pauschalen Grünflächenmittelwert die mittlere Situation der gesamten Siedlungs- und Gewerbeflächen im Stadtgebiet gegenüber so ergibt sich bei einer mittleren nächtliche Lufttemperatur von 16.9°C eine Differenz von 2,7 K. Bei Betrachtung der Flächenanteile zeigt sich, dass nahezu alle bebauten Flächen eine zumindest leichte Überwärmungstendenz aufweisen. Einige Siedlungsflächen (etwa zwei Prozent) kühlen sich in sommerlichen Strahlungsnächten hingegen stärker ab als eine „mittlere Grünfläche“, so dass in ihnen die Lufttemperaturen unter Werte von 14,2 °C fallen können. Hierbei handelt es sich zumeist um vereinzelt liegende Grundstücke, Gehöfte oder Kleinstsiedlungen. Gut 20 Prozent der Siedlungsfläche besitzt eine lediglich geringe Überwärmungstendenz bis 2 K. Diese Räume sind zumeist durch eine relativ geringe bauliche Dichte und eine moderate Flächenversiegelung gekennzeichnet, wie sie typischerweise in Gebieten mit Einzel- und Reihenhausbebauung auftritt. Die in Kapitel 3.2.4.1 beschriebenen, für das thermische Sonderklima der Städte verantwortlichen Parameter sind hier nur lokal oder in reduziertem Ausmaß ausgebildet, was zu einer – gegenüber dicht bebauten Räumen – geringeren nächtlichen Überwärmung führt. Solche Siedlungsareale weisen zumeist günstige bis sehr günstige bioklimatische Bedingungen auf. Flächen, die im Einwirkbereich von Kaltluftströmungen liegen, erfahren zusätzlich (oder davon unabhängig) eine durchlüftungsbedingte Entlastung durch die Abfuhr oder Abkühlung wärmerer Luftmassen.

Im Gegensatz dazu sind insbesondere in den Stadt- und Stadteilzentren alle Faktoren, die eine städtische Überwärmung gegenüber dem Umland begünstigen, voll ausgeprägt. Aufgrund ihres hohen Bauvolumens und ihrer freiflächenfernen Lage sind sie außerdem für ausgleichende Kaltluftströmungen kaum zugänglich. Mit ihrer roten Flächensignatur, die besonders starke Überwärmungstendenzen gegenüber dem Umland kennzeichnet, können entsprechende Siedlungsräume in der Karte leicht lokalisiert werden. Auch größere Gewerbe- und Industrieareale treten mit recht hohen Nachttemperaturen hervor, da sie oftmals eine ähnlich verdichtete Bebauungsstruktur und ähnlich hohe Versiegelungsgrade wie die Innenstadtbereiche aufweisen. Gebiete, in denen block- und zeilenartige Bauweisen vorherrschen, ordnen sich in ihren Eigenschaften zwischen den Bebauungsextremen ein und weisen, je nach Lage im Mosaik der Siedlungsstrukturen variable Bedingungen in mittleren Überwärmungstendenzen auf.

Die Signatur des Wärmeinseleffektes in der Klimaanalysekarte ist somit Ausdruck der stadttypischen raumstrukturellen Form der Verdichtung mit ihrem in Richtung Zentrum zunehmenden Bebauungs- und Versiegelungsausmaß, sowie der abnehmenden Erreichbarkeit und Zugänglichkeit für nächtliche Ausgleichsströmungen. Die Tabellen auf Seite 60 bilanzieren die Siedlungsräume des Stadtgebietes entsprechend ihres Überwärmungsniveaus.

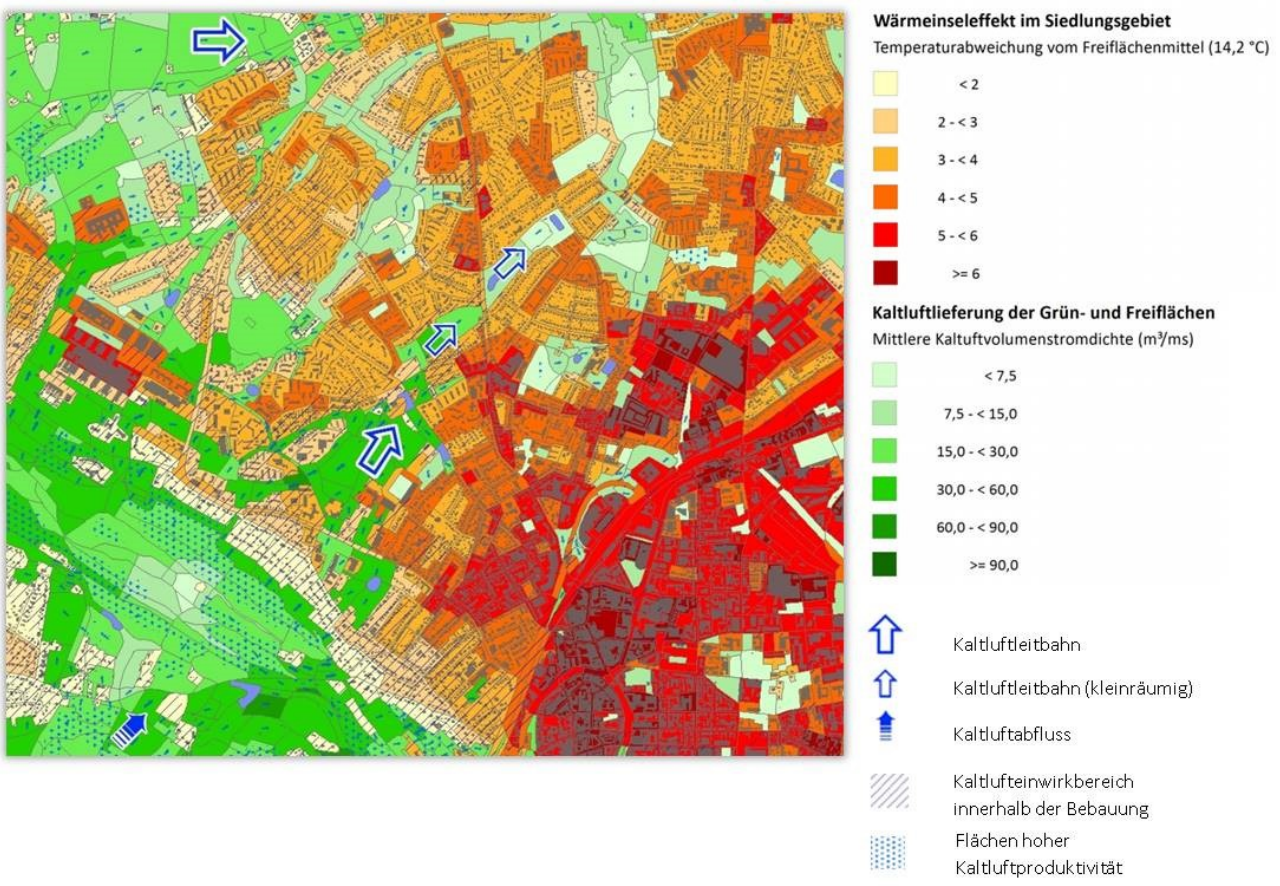


Abb. 30: Beispielhafter Ausschnitt Klimaanalysekarte (Gegenwart 4:00 Uhr, vollständiges Stadtgebiet und gesamte Legende im Kartenanhang

***Kaltlufteinwirkbereiche**:* Siedlungsräume lassen sich in ausreichend durchlüftete Areale und damit meist klimatisch günstige Siedlungsstrukturen sowie klimatische Belastungsbereiche untergliedern. Der Kaltlufteinwirkbereich kennzeichnet das bodennahe Ausströmen der Kaltluft aus den Grünflächen in die angrenzende Bebauung während einer autochthonen Sommernacht. Damit geht einher, dass die im Einwirkbereich befindliche Bebauung in der Nacht vergleichsweise günstigere Verhältnisse aufweist. Als Kaltlufteinwirkbereich sind Siedlungs- und Gewerbeflächen innerhalb des Stadtgebiets gekennzeichnet, die von einer klimaökologisch relevanten Strömung mit einer Geschwindigkeit von mindestens 0,2 $m \cdot s^{-1}$ durchströmt werden. Dabei erfolgt die Darstellung rastergenau auf Ebene der Modellergebnisse, d.h. ggf. werden nur Teile einer Blockfläche als Kaltlufteinwirkbereich ausgewiesen.

Wie bereits in den Vorkapiteln erläutert, hängt die Reichweite von Kaltluft in bebautes Gebiet im Wesentlichen von der Siedlungsgröße, der Bebauungsdichte, der anthropogenen Wärmefreisetzung sowie von der Menge der einströmenden Kaltluft ab. Die Eindringtiefe ist daher bei Kaltluftabflüssen mit Bezug zu großräumigen Kaltluftentstehungsflächen oder Hangbereichen des Teutoburger Waldes am intensivsten. In den peripheren, vergleichsweise gering überbauten Ortsteilen erfolgt häufig sogar ein vollständiges Durchströmen des Siedlungsraumes ohne Abkoppelung vom lokalen Windfeld (z.B. in Buschkamp oder Hoberge-Uerentrup). Die Eindringtiefe der Kaltluft beträgt abhängig von der Bebauungsstruktur üblicherweise zwischen 100 m und etwa 1 500 m. Insgesamt befinden sich am Ende der Sommernacht etwa 42 Prozent des Stadtgebiets im Wirkungsbereich von Flurwinden und lokalen Kaltluftabflüssen.

Kaltluftprozessgeschehen über Grün- und Freiflächen: Vegetationsgeprägte Freiflächen mit einer nennenswerten Kaltluftproduktion stellen klima- und immissionsökologische Ausgleichsräume dar und können über Hang- und Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern. Da die Einstufung des Kaltluftliefervermögens – als Maß für den Zustrom von Kaltluft aus den benachbarten Flächen – auf dem Kaltluftvolumenstrom beruht, reproduziert sich die feldhafte Ausprägung dieses Parameters (siehe Kapitel 3.2.4.3) im Mosaik der Freiräume. Dabei werden vor allem die orographisch beeinflussten Flächen im Einflussbereich des Teutoburger Waldes als Zonen einer überdurchschnittlich hohen Kaltluftlieferung mit dunkelgrünen Flächenfarben sichtbar. Dies ist auf die intensiven, z. T. flächenhaften Kaltluftabflüsse zurückzuführen, die mit entsprechend hohen Volumenströmen einhergehen.

In den Bewertungskarten (Kap. 3.2.6) wird sich zeigen, dass auch die Ausgleichsleistungen von Flächen mit einer weniger hohen Kaltluftlieferung häufig noch klimaökologisch relevant sind, was insbesondere Grünflächen in stadtnahen Bereichen betrifft. Diese Areale können als „grüne Trittsteine“ das Eindringen von Kaltluft in die Bebauung unterstützen und damit den jeweiligen klimatischen Einwirkbereich vergrößern. Die zahlreichen siedlungsnahen Grünflächen der Stadt weisen insgesamt einen mäßigen Kaltluftvolumenstrom auf. Aufgrund ihrer Größe und ihrer Lage als verbindendes Element zwischen außerstädtischen und innerstädtischen Bereichen sind sie ein wesentlicher Bestandteil des Bielefelder Grünsystems. Sie können erstens als hindernisarme Leitbahnen für die Ausgleichströmungen zwischen vorgelagerten Frei- und Siedlungsräumen wirken und zweitens selbst zusätzlich Kaltluft produzieren, die dazu beiträgt, die Strömungssysteme in ihrer Intensität und thermischen Charakteristik zu erhalten. Die gleichzeitige Funktion als Kaltluftentstehungsgebiet kann die Effektivität einer Leitbahn entscheidend erhöhen.

Kleinere städtische Parkareale, Friedhöfe und Brachen sind aufgrund ihrer isolierten Lage in der Bebauung häufig durch eine niedrige Kaltluftlieferung charakterisiert. Wegen ihrer geringen Größe bilden sie zudem selten eine eigene Kaltluftströmung aus. SCHERER (2007) beziffert die Flächenmindestgröße zur Ausbildung nächtlicher Strukturwinde mit etwa einem Hektar. Aus kaltlufthaushaltlicher Sicht ist diesen Flächen somit eine untergeordnete Ausgleichsleistung für umliegende Siedlungsgebiete zuzusprechen. Dennoch können sie insbesondere tagsüber von humanbioklimatisch hoher Bedeutung sein da sie bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen wichtige Funktionen als bioklimatische Erholungsräume (Komfortinseln) erfüllen. Diese Eigenschaft wird in den Bewertungskarten noch näher ausgeführt.

Nicht immer ist eine intensive Kaltluftproduktivität mit einem hohen Volumenstrom verbunden. Um den Kaltlufthaushalt der Freiräume dahingehend in der Karte differenzieren zu können, werden Flächen mit einer besonders hohen Kaltluftproduktionsrate in einer separat überlagernden Signatur ausgewiesen (siehe Beispiel rechts). Somit führen unterschiedliche Struktureigenschaften der Grünflächen zu einem Mosaik aus Flächen unterschiedlicher Kaltluftdynamik. Die einzelnen (Teil-) Areale innerhalb eines Kaltlufteinzugsgebietes besitzen in ihrer Summenwirkung eine Entlastungsfunktion für benachbarte und weiter entfernte Siedlungsräume. Die Tabellen auf Seite 61 bilanzieren die Freiräume und Grünflächen des Stadtgebietes entsprechend ihres Kaltluftliefervermögens.

Kaltluftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete (Ausgleichsräume) und Belastungsbereiche (Wirkungsräume) miteinander und sind somit elementarer Bestandteil des Luftaustausches. Die Ausweisung der Leitbahnbereiche orientiert sich am autochthonen Strömungsfeld der FITNAH-Simulation. Als geeignete Oberflächenstrukturen innerhalb von Siedlungsräumen, die ein Eindringen von Kaltluft in die Bebauung erleichtern, dienen sowohl gering bebaute vegetationsgeprägte Freiflächen, Kleingärten und Friedhöfe als auch Gleisareale, Wasserflächen und breite Straßenräume. Da Leitbahnen selbst ebenfalls Kaltluft produzieren können, lassen sich Freiflächen, von denen Kaltluft direkt in die Bebauung strömt, nicht immer trennscharf abgrenzen von Leitbahnen, die als mehr oder weniger reine „Transportwege“ fungieren. Kaltluftleitbahnen sind vorwiegend thermisch induzierte und auf das Siedlungsgebiet ausgerichtete linienhafte Strukturen, die Flurwinde in das Stadtgebiet hineintragen. Zusätzlich werden die thermisch induzierten Winde durch das Relief im Bielefelder Stadtgebiet verstärkt: So befinden sich viele Leitbahnen in Talbereichen und sind durch besonders hohe Kaltluftvolumenströme gekennzeichnet. Im Gegensatz zu den Kaltluftleitbahnen, die in ihrer Breite auf wenige 100 m begrenzt sind, treten ***Kaltluftabflüsse*** flächenhaft über unbebauten Hangbereichen auf. Daneben gibt es viele Bereiche, die zwar nicht als übergeordnete Kaltluftleitbahn ausgewiesen wurden, in denen die Flurwinde lokal dennoch eine wichtige Durchlüftungsfunktion erfüllen (siehe Strömungsfeld in Kapitel 3.2.4.3).

Im Kartenausschnitt auf Seite 49 ist die wichtige Leitbahn zwischen Bürgerpark und Sportplatz Sudbrack mit ihrer hohen Kaltluftlieferung für die anliegenden Siedlungsräume zu sehen. Sie führt Kaltluft über den Bürgerpark und vorbei an der als Strömungshindernis wirkenden Bebauung im Bereich der Schulen und der Schüco-Arena bis in den Stadtteil Sudbrack hinein. Im Lee von Rudolf-Oetker-Halle und Max-Planck-Gymnasium werden die Luftmassen zum Teil abgeriegelt, zum Teil in einem zentralen Durchtrittsbereich kanalisiert und dadurch beschleunigt. Von der westlich liegenden Kleingartenanlage „Alte Schmiede“ und den benachbarten Grünflächen wird in funktionaler Kopplung zusätzlich Kaltluft in die verbleibende Strömung eingebracht und im Verlauf des Wickenkampes in Richtung Meierteichpark transportiert. Im Norden ist außerdem die Kaltluftleitbahn entlang des Babenhauser Bachs angeschnitten.

Für das Stadtgebiet Bielefelds spielen flächenhafte Kaltluftabflüsse aufgrund der größeren Reliefunterschiede eine wichtige Rolle. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt diese sich, dem Gefälle folgend, hangabwärts in Bewegung. Durch diese „Beschleunigung“ weisen Kaltluftabflüsse meist höhere Strömungsgeschwindigkeiten auf als Flurwinde, die sich aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen kühlen Freiflächen und überwärmter Bebauung einstellen. Flächenhafte Kaltluftabflüsse treten vor allem in den südlichen, im Einflussbereich des Teutoburger Waldes liegenden Teilen der Stadt auf.

Klimaanalysekarte Zukunft

Die Klimaanalysekarte der Zukunftsrechnung ähnelt auf den ersten Blick sehr stark der auf den Vorseiten besprochenen für die Gegenwart gültigen Karte. Dies hat mehrere Gründe: Durch den klimawandelbedingten Temperaturanstieg sind alle Flächen mehr oder weniger gleichermaßen betroffen. Daher bleiben die Differenzen in der Lufttemperatur über den unterschiedlichen Nutzungen auch bei insgesamt steigenden Werten relativ konstant. Es sind diese Abweichungen der Lufttemperatur, die zu lokalen Ausgleichsströmungen führen, nicht aber deren Absolutwerte, so dass das Kaltluftprozessgeschehen weitgehend erhalten bleibt. Da die nächtliche Überwärmung des Stadtkörpers gegenüber dem unbebauten Umfeld anhand der Temperaturabweichung gegenüber dem jeweiligem mittleren Grünflächenbedingungen ausgewiesen wird, ähneln sich auch die Siedlungsräume der beiden Zeitschnitte: Die nächtlichen Temperaturen innerhalb der Siedlungsräume sind zwar im Vergleich mit der gegenwärtigen Situation um durchschnittlich 2,2 K angestiegen, da aber auch die Mitteltemperatur der Grünflächen um 1,9 K zugenommen hat, bewegen sich die Differenzen, über die das Ausmaß der städtischen „Wärmeinsel“ deutlich wird, auf einem ähnlichen Niveau.

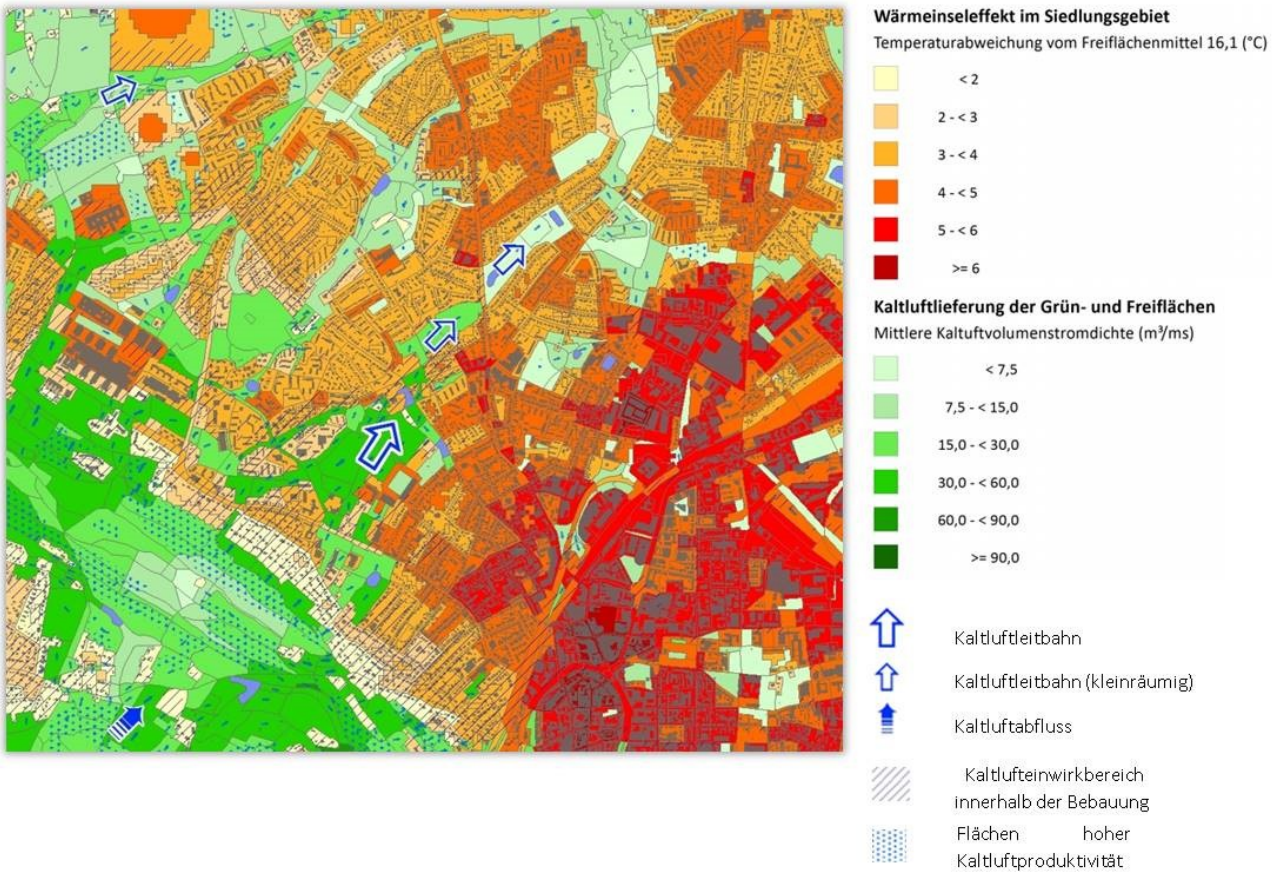


Abb. 31: Beispielhafter Ausschnitt Klimaanalysekarte (Zukunft 4:00 Uhr, vollständiges Stadtgebiet und gesamte Legende im Kartenanhang)

Dies wird besonders bei Betrachtung der mittleren Absoluttemperaturen verständlich: In den zweiten Spalten der Tab. 11 und der Tab. 12 sind diese Werte für die jeweiligen Kategorien aufgeführt. Zusätzlich soll ein konkretes Beispiel den Zusammenhang noch einmal illustrieren: Der an der Stapenhorststraße zwischen Humboldt- und Weststraße gelegene Baublock, der in Abb. 32 jeweils mit einer [1] gekennzeichnet ist, weist bei autochthonen Wetterlagen die unten aufgeführten nächtlichen Werteausprägungen auf. Aus

ihnen folgt: Auf dieser Fläche tritt die über die Temperaturabweichung zum Freiflächenmittel dargestellte Ausprägung der städtischen „Wärmeinsel“ vermindert in Erscheinung, weil das Freiflächenmittel um 1,9 K angestiegen ist, das Mittel des Baublocks aber nur um 1,6 K. Der Fläche ist somit trotz deutlicher Zunahme der Lufttemperatur in der Zukunftskarte eine weniger intensivrote Flächenfarbe zugeordnet.

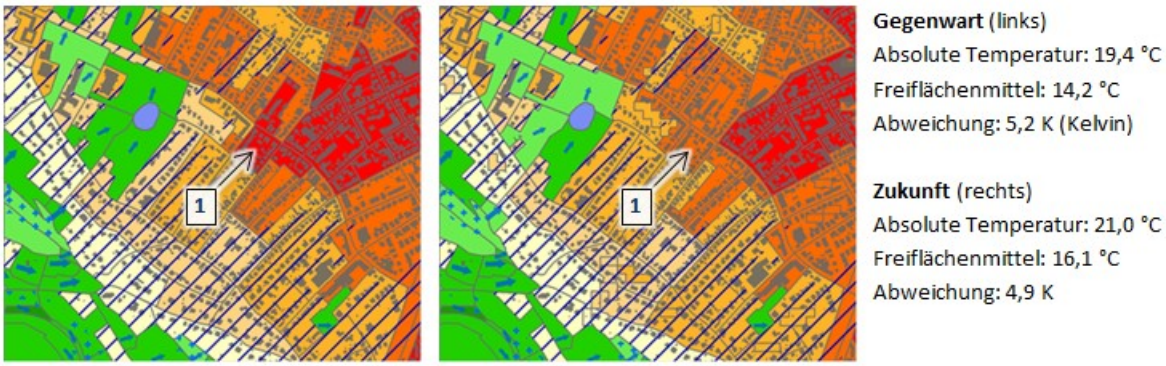
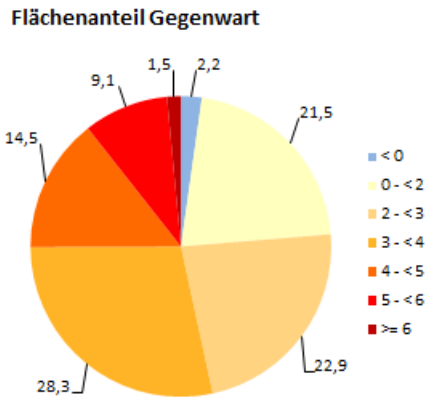


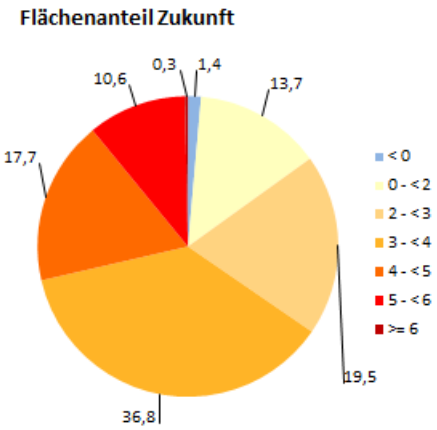
Abb. 32: Ausschnitt Klimaanalysekarte (Gegenwart und Zukunft 4:00 Uhr, näheres siehe Text)

Tab. 11: Bilanz Siedlungs- und Gewerberaum (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage

Überwärmung [K]	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
unter 0	13,5	0,49	191	2,2
0 bis < 2	15,2	0,33	1825	21,5
2 bis < 3	16,7	0,27	1946	22,9
3 bis < 4	17,7	0,16	2408	28,3
4 bis < 5	18,7	0,10	1229	14,5
5 bis < 6	19,6	0,05	776	9,1
über 6	20,4	0,02	126	1,5
2,7 K	16,9	0,24	8 500	100

Überwärmung [K]	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
unter 0	15,4	0,50	133	1,4
0 bis < 2	17,2	0,33	1295	13,7
2 bis < 3	18,6	0,28	1847	19,5
3 bis < 4	19,6	0,16	3484	36,8
4 bis < 5	20,5	0,08	1676	17,7
5 bis < 6	21,5	0,04	1004	10,6
über 6	22,3	0,01	31	0,3
3,0 K	19,1	0,20	9 470	100

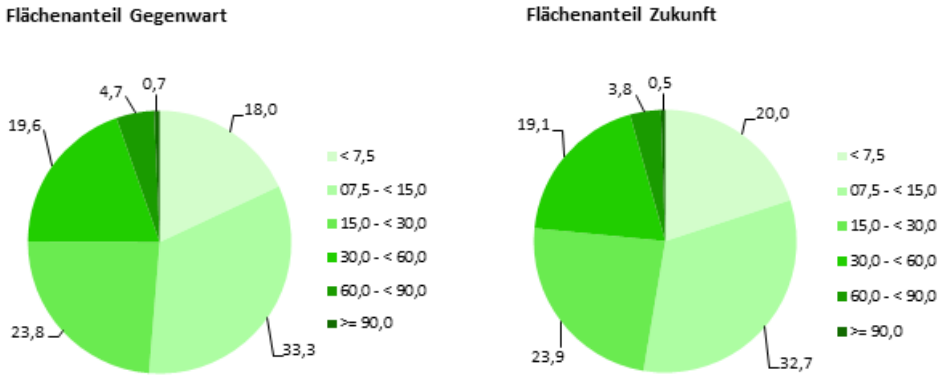




Tab. 12: Bilanz Grün- und Freiflächen (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage

Kaltluftvolumenstrom [m³/ms]	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
unter 7,5	14,7	0,18	3107	18,0
07,5 - < 15,0	14,5	0,33	5739	33,3
15,0 - < 30,0	14,2	0,45	4100	23,8
30,0 - < 60,0	14,3	0,61	3380	19,6
60,0 - < 90,0	13,9	0,94	804	4,7
über 90,0	13,9	1,30	115	0,7
22,4 m³/ms	14,2	0,42	17 246	100

Kaltluftvolumenstrom [m³/ms]	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
unter 7,5	16,9	0,17	3247	20,0
07,5 - < 15,0	16,6	0,31	5320	32,7
15,0 - < 30,0	16,2	0,42	3890	23,9
30,0 - < 60,0	16,3	0,58	3107	19,1
60,0 - < 90,0	15,5	0,91	615	3,8
über 90,0	15,3	1,26	89	0,5
21,1 m³/ms	16,1	0,38	16268	100



3.2.6 BEWERTUNGS- UND HINWEISKARTEN

3.2.6.1 BEWERTUNGSKARTEN

Für die qualitative Bewertung von Klimafaktoren bedarf es eines begründeten, nachvollziehbaren Wertmaßstabes. Dieser kann mit Hilfe des aktuellen Standes der gutachterlichen Technik aus normativen Regelungen (Gesetzen, Verordnungen) und lokalpolitischen Beschlüssen abgeleitet werden. Da für die thermische Belastung der Stadtbevölkerung – anders als z.B. für die Luftreinhaltung – keine gesetzlichen Grenzwerte festgelegt sind und keine politischen Beschlüsse darüber existieren, welches thermische Niveau angestrebt werden soll, basieren die vorliegenden Bewertungskarten auf den bewertungsmethodischen Hinweisen der VDI-Richtlinie zur Umweltmeteorologie. Dort wird u.a. als Stand der Technik definiert, für die Beurteilung von Belastungen und Funktionen das lokal auftretende Wertespektrum zugrunde zu legen und die Abweichung eines Klimaparameters von den mittleren Verhältnissen im Untersuchungsraum als Bewertungsmaßstab heranzuziehen.

Um eine solche Einordnung vornehmen zu können, werden die Parameter standardisiert. Hierfür wird das arithmetische Gebietsmittel des Parameters zunächst gleich Null gesetzt. Anschließend werden die Originalmaßeinheiten der um dieses Gebietsmittel streuenden Werte in Vielfache der Standardabweichung umgerechnet. In Anlehnung an diese Werte ergeben sich zur Einstufung der thermischen Belastungssituation in der Nacht für die bewohnten Siedlungsräume fünf Bewertungskategorien von einer „sehr günstigen Situation“ bis zu einer „sehr ungünstigen Situation“. Wertgebend sind letztlich die in Kap. 3.2.4 beschriebenen, für das thermische Sonderklima der Städte verantwortlichen Parameter. Die Bewertungen beziehen sich vorrangig auf die Luftaustauschprozesse während windschwacher Strahlungswetterlagen zwischen dem engeren Stadtgebiet (= Wirkungsraum) und den Freiräumen im Umland (= Ausgleichsraum). Die Freiräume können für die klimatisch belasteten Areale eine relevante Ausgleichsleistung erbringen. Die Bewertung der Belastungen am Tage im Wirkraum beruht im Wesentlichen auf der Auswertung des humanbioklimatischen Indexes PET um 14:00 Uhr sowie der Funktionen, Erreichbarkeiten und Zugänglichkeiten der Grün-/Freiflächen.

Die Bewertungskarten stellen eine erste integrierende Bewertung der Modellergebnisse im Hinblick auf planungsrelevante Belange dar. Aus ihnen lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Humanbioklimas ableiten und in einer Planungshinweiskarte (Kapitel 1.1.1.1) zusammenfassen. Dem Leitgedanken dieser Bemühungen entsprechen die Ziele zur Sicherung, Entwicklung und Wiederherstellung klima- und immissionsökologisch wichtiger Oberflächenstrukturen. Die Karte der klimaökologischen Bewertungen soll dazu dienen, Funktions- und Nutzungskonflikte mit konkurrierenden Planungen (Wohngebietsausweisungen, Gewerbeansiedlungen, Verkehrsplanungen) frühzeitig zu erkennen und die Aspekte Klima und Lufthygiene in den Abwägungsprozess einzubeziehen.

Die bereits bei den Auswertungen der Einzelparameter und der Klimaanalysekarte verwendeten zwei numerischen Modellrechnungen wurden auch für die Bewertungskarten verwendet (siehe Kapitel 3.2.3) .

Aus den Modellergebnissen wurden je Modellrechnung zwei Bewertungskarten für das gesamte Bielefelder Stadtgebiet erstellt. In den insgesamt vier Karten wurde jede Teilfläche hinsichtlich ihrer thermischen Belastung bzw. ihrer klimaökologischen Bedeutung sowohl am Tage und in der Nacht und sowohl für die heutige Situation als auch für die betrachtete Zukunftssituation bewertet.

Es bleibt bei allen Aussagen zu berücksichtigen, dass das Beurteilungsschema auf einem weitgehend automatisierten Algorithmus beruht, der darauf zielt, eine effizient erstellte Einschätzung aller relevanten Flächen und ihrer Bedeutung zu liefern. Die Betrachtungsebene ist auf einen Maßstabsbereich unterhalb von etwa 1:10.000 ausgerichtet. Für eine umfassendere Beurteilung der Grünflächen sollte daher immer auch die zugrundeliegenden Einzelparameter zu Rate gezogen werden.

3.2.6.1.1 BEWERTUNGSKARTEN NACHT

Die Bewertungen der Nachtsituation beziehen sich vorrangig auf die Luftaustauschprozesse, die sich während windschwacher Strahlungswetterlagen zwischen dem engeren Stadtgebiet (= Wirkungsraum) und den Freiräumen im Umland (= Ausgleichsraum) ergeben und für die klimatisch belasteten Areale eine relevante Ausgleichsleistung erbringen können. Die stadttypische raumstrukturelle Form der Verdichtung mit ihrem in Richtung Zentrum zunehmenden Bebauungs- und Versiegelungsausmaß erfordert eine abgestufte Betrachtung der planungsrelevanten Klimaphänomene. Die thermische Belastungssituation wird in der Bewertungskarte für die Nacht zur wichtigen Grundlage für die Beurteilung des Ausgleichspotenzials angrenzender Grünflächen. Im Umfeld von humanbioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen gelegenen Grünflächen kommt dabei grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Sie sind geeignet, in ihrem unmittelbaren Nahbereich oder durch den Transport von kühleren Luftmassen über rauhigkeitsarme Strukturen in den überwärmten Siedlungskörper hinein ausgleichend auf das nächtliche Sonderklima zu wirken. Baulich geprägte Flächen ohne Bewohner, das heißt Gewerbeflächen ohne nächtlichen Aufenthalt, wurden ausgegraut.

In der Bewertung des Wirkraums werden die in Kapitel 3.2.6.1 erläuterten Zusammenhänge noch einmal anhand des bereits bekannten Ausschnitts konkret verdeutlicht (Abb. 33): Im Stadtteil Mitte (rechts unten im Bild) sind alle Faktoren, die eine städtische Überwärmung gegenüber dem Umland begünstigen, voll ausgeprägt: Die versiegelten Böden und die städtischen Baukörper absorbieren tagsüber große Energiemengen in Form von Wärme, die sie nachts verlangsamt wieder abgegeben. Da das Niederschlagswasser direkt in die Kanalisation oder das Fließgewässer geleitet wird und die Transpirationswirkung der wenigen Pflanzen gering ist, kann die Verdunstung in solchen Siedlungsräumen kaum kühlende Wirkung ausüben. Der Stadtkörper wirkt mit seiner hohen aerodynamischen Rauhigkeit zudem als starkes Strömungshindernis und behindert damit die Durchlüftung und den Luftaustausch mit dem Umland.

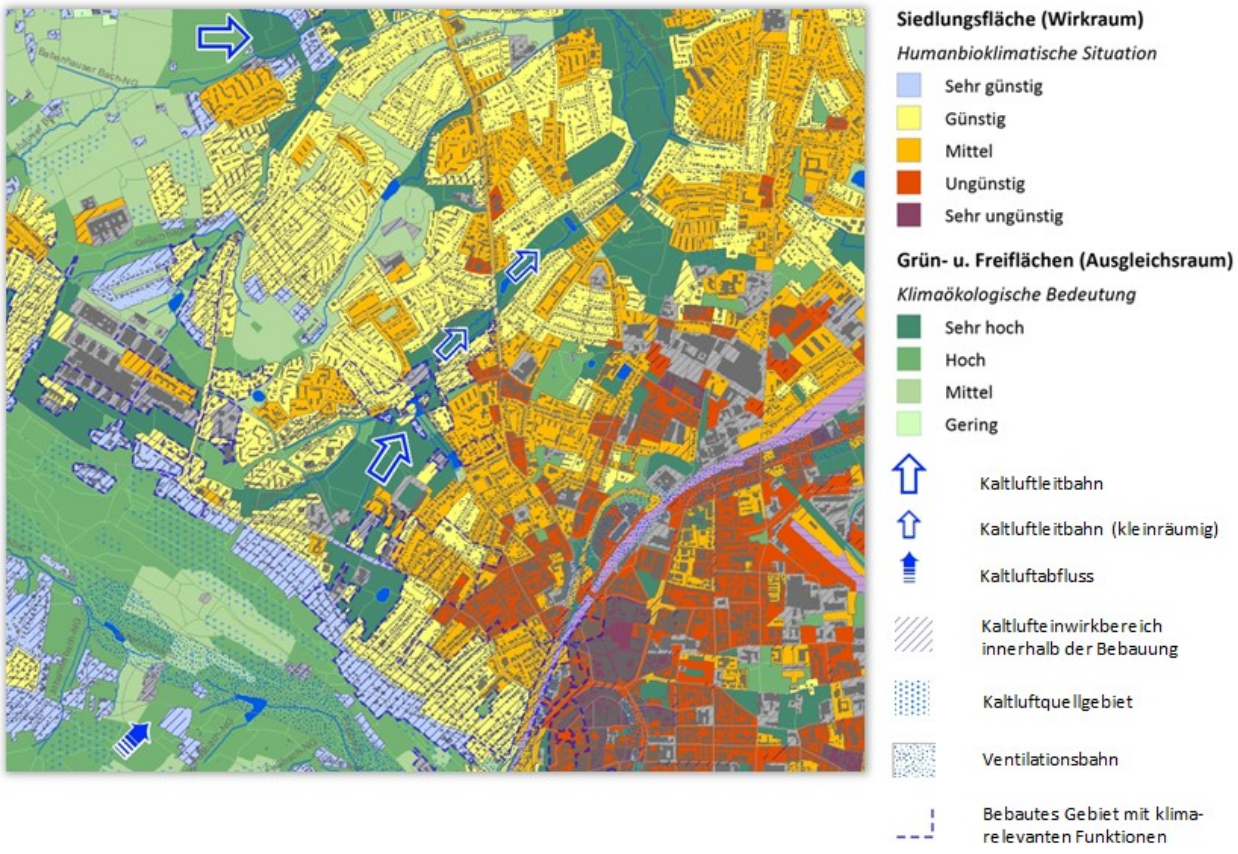


Abb. 33: Beispielhafter Ausschnitt aus der Bewertungskarte Nacht (Gegenwart, Nacht, 4:00 Uhr)

Die durch Block- und Blockrandbebauung geprägten Flächen im Stadtteil Mitte sind daher weiträumig als humanbioklimatisch ungünstig eingestuft worden, die Zentrumsbebauung der Innenstadt – obwohl sie mit ihrer Nähe zum Stadtwald nicht als „grünflächenfern“ bezeichnet werden kann – mancherorts sogar als „sehr ungünstig“. Die Modellergebnisse haben zwar für die am Bielefelder Pass gelegenen Innenstadtflächen z.T. recht hohe Kaltluftvolumenströme ergeben (vgl. Kapitel 3.2.4.3), doch können diese hier nicht bodennah durchgreifen und daher auch keine wesentliche Abfuhr thermisch belasteter Luftmassen bewirken.

Gemäß der stadttypischen raumstrukturellen Form der Verdichtung mit ihrem in Richtung Peripherie abnehmenden Bebauungs- und Versiegelungsausmaß sowie der zunehmenden Erreichbarkeit und Zugänglichkeit für nächtliche Ausgleichsströmungen sind in Richtung der Stadtbezirke Schildesche und Gadderbaum (im Bild Richtung links oben) zunehmend günstige humanbioklimatische Bedingungen ermittelt worden. Die Gunst- oder Ungunstwirkung unterschiedlicher Bebauungstypen auf die Eindringtiefe von Kaltluft ist im Kapitel zum Kaltluftprozessgeschehen (S. 46) bereits ausführlich behandelt worden. Es sei hier noch einmal auf den wichtigen Zusammenhang hingewiesen, dass mit abnehmenden Bauvolumen und zunehmender Grünausstattung interne Prozesse bei der Steuerung des Wärmehaushaltes an Bedeutung gewinnen und die nächtliche Abkühlung nur noch sekundär durch zufließende Kaltluft induziert wird.

Die Tabellen auf Seite 68 bilanzieren die Siedlungsräume des Stadtgebietes entsprechend ihrer humanbioklimatischen Bedingungen.

Abb. 34 stellt das Verknüpfungsmodell zur Ermittlung der klimaökologischen Bedeutsamkeit der Grün- und Freiflächen für den nächtlichen Ausgleich thermischer Belastungssituationen in den Siedlungsräumen dar. Für den Beispielausschnitt ergeben sich die in Abb. 33 dargestellten Einstufungen. Auffällig ist auch hier wieder die wichtige Leitbahn zwischen Bürgerpark und Sportplatz Sudbrack mit ihrer hohen Kaltluftlieferung für die anliegenden Siedlungsräume. Sie führt Kaltluft über den Bürgerpark und vorbei an der als Strömungshindernis wirkenden Bebauung im Bereich der Schulen und der Schüco-Arena bis in den Stadtteil Sudbrack hinein (näheres siehe S. 46 f.). Eine besondere Bedeutung erlangen Grünflächen immer dann, wenn sie in ihrem unmittelbaren Nahbereich oder durch den Transport von kühleren Luftmassen über rauhigkeitsarme Strukturen in stark überwärmte „Sanierungsräume“ hinein ausgleichend auf das nächtliche Sonderklima wirken können.

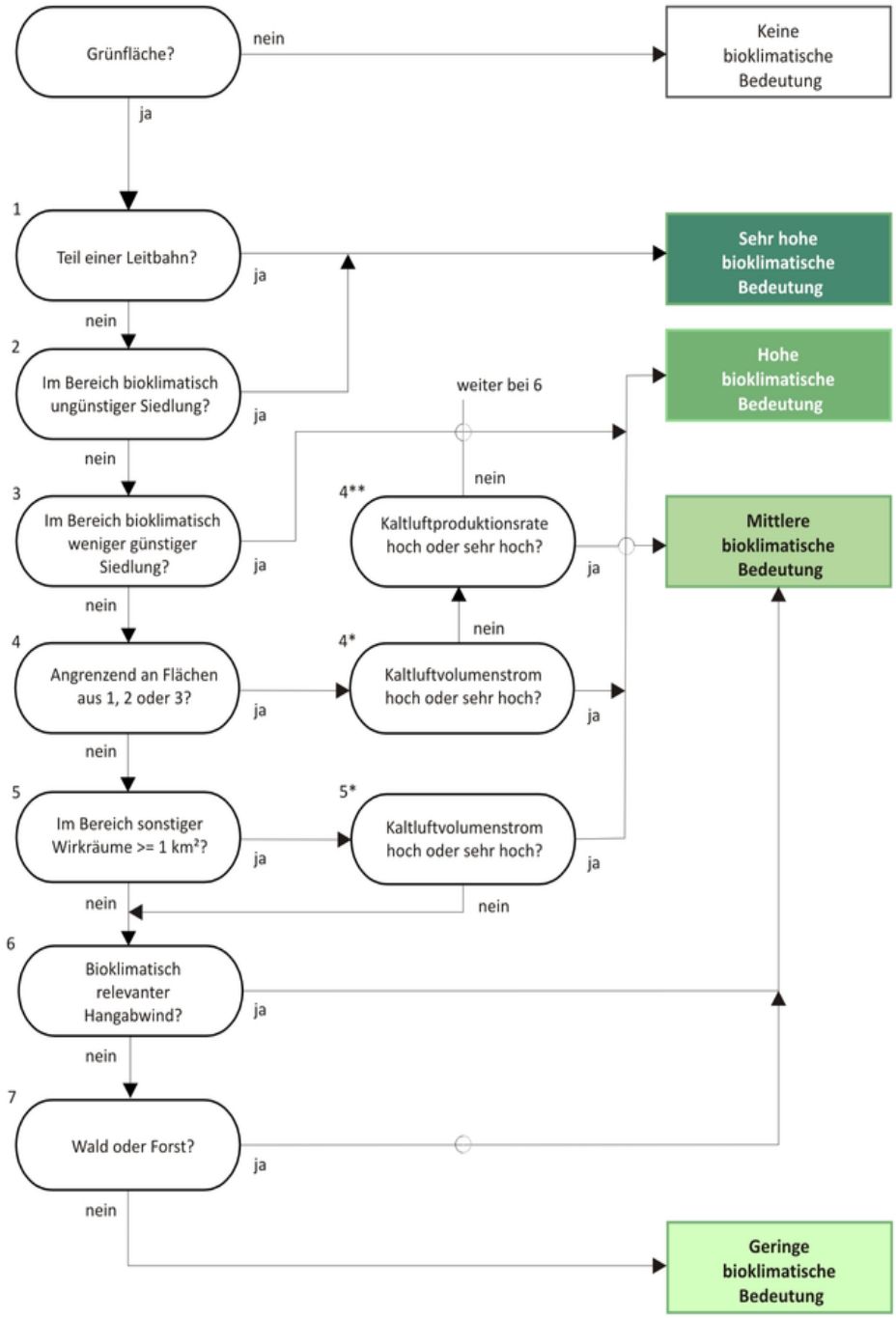


Abb. 34: Vereinfachtes Bewertungsmodell zur Ermittlung der humanbioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen in den Bewertungskarten Nacht

Anders als die Klimaanalysekarte unterscheidet sich die „Bewertungskarte Nacht“ für das Szenario 2050 stark von der für die Gegenwart gültigen Karte (Abb. 35). Die austauscharme Strahlungswetterlage unter den Rahmenbedingungen einer maximalen städtebaulichen Entwicklung und der für diesen Zeitpunkt prognostizierten stark ausgeprägten Klimaerwärmung führt zu einem deutlichen Anstieg der Nachttemperaturen. Dadurch werden große Teile des zuvor mit günstigen humanbioklimatischen Bedingungen hervortretenden Siedlungsraumes zunehmend thermischen Belastungen ausgesetzt. Lediglich Wohnbereiche im Einfluss von Kaltluftabflüssen oder kleine Siedlungen mit aufgelockerter Bebauungsstruktur weisen auch unter diesen Rahmenbedingungen noch günstige klimatische Eigenschaften auf. Mit der enormen Zunahme thermischer Belastungen in den Stadtteilen, steigt auch die Wichtigkeit nahezu aller verbliebenen Grün- und Freiflächen erheblich an. Ein bilanzierender Vergleich der beiden Szenarien wird in den Tab. 13 und Tab. 14 gegeben.

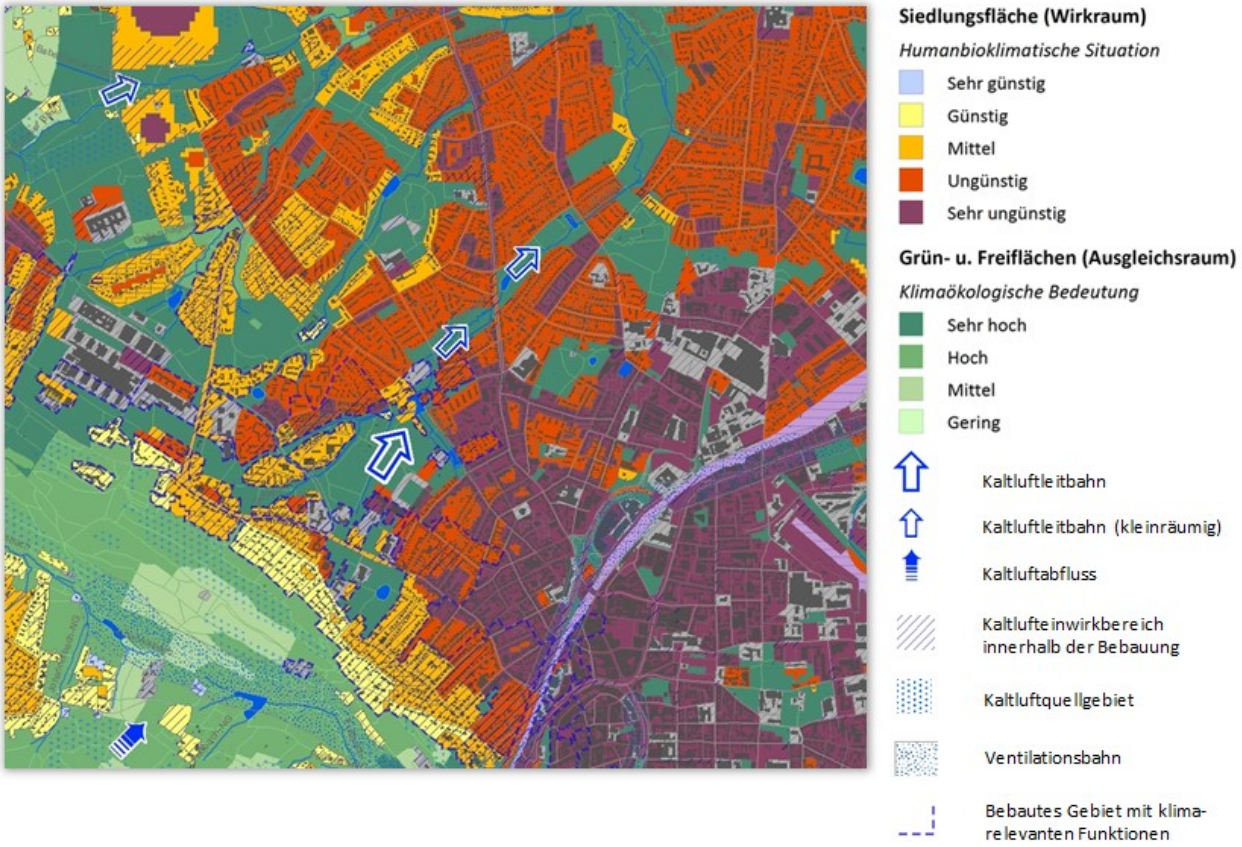


Abb. 35: Beispielhafter Ausschnitt Bewertungskarte (Zukunft, Nacht, 4:00 Uhr)

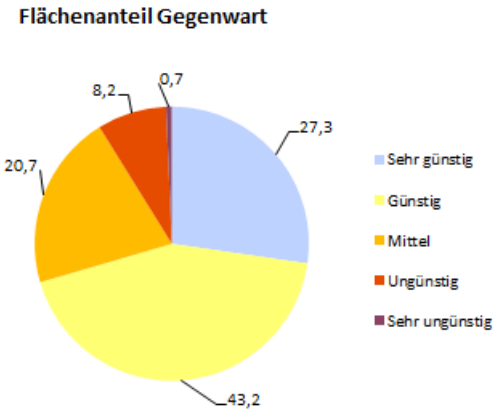
Tab. 13: Bewertungsbilanz Siedlungs- und Gewerberaum (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage

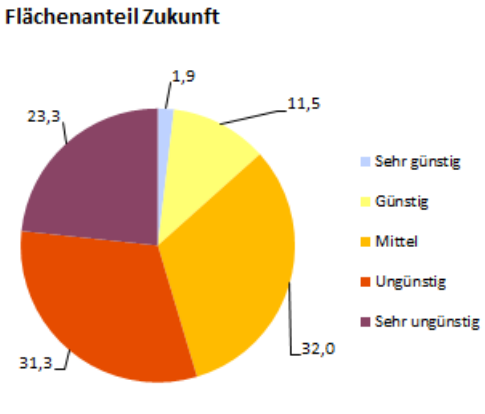
Humanbioklimatische Situation	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Kaltluftvolumenstrom ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Kaltluftproduktionsrate ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
Sehr günstig	15,1	0,37	26,09	7,71	2321	27,3
Günstig	17,2	0,23	19,04	5,19	3669	43,2
Mittel	18,4	0,12	13,25	4,37	1759	20,7
Ungünstig	19,8	0,05	9,38	3,54	695	8,2
Sehr ungünstig	20,6	0,02	6,21	3,24	57	0,7

Gesamt: 8 500 ha

Humanbioklimatische Situation	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Kaltluftvolumenstrom ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Kaltluftproduktionsrate ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
Sehr günstig	15,6	0,49	30,74	9,97	179	1,9
Günstig	17,2	0,33	24,54	7,53	1089	11,5
Mittel	18,8	0,26	23,16	5,40	3031	32,0
Ungünstig	19,8	0,13	13,03	4,35	2964	31,3
Sehr ungünstig	21,0	0,06	10,21	3,74	2208	23,3

Gesamt: 9 471 ha

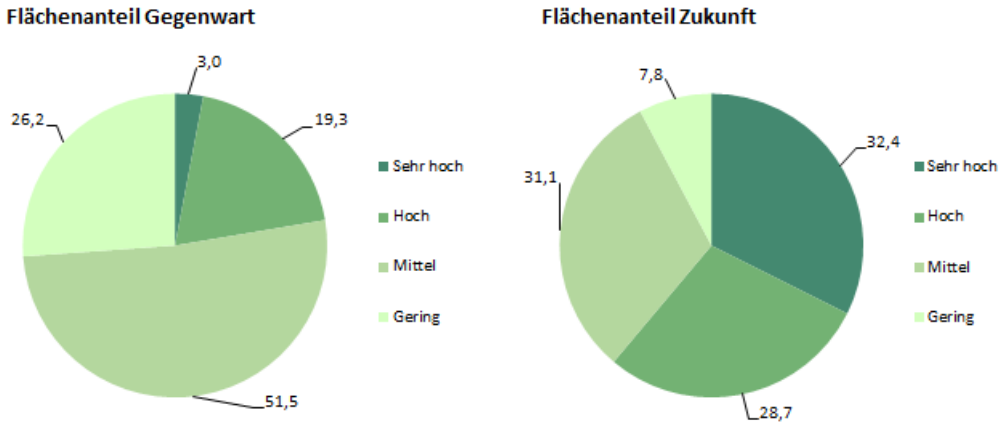




Tab. 14: Bewertungsbilanz Grün- und Freiflächen (Gegenwart oben, Zukunft unten) im Stadtgebiet (25 860 ha) mit durchschnittlicher Ausprägung der nächtlichen Klimaparameter bei autochthoner Wetterlage

Humanbioklimatische Situation	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Kaltluftvolumenstrom ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Kaltluftproduktionsrate ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
Sehr hoch	15,8	0,51	26,75	9,16	515	3,0
Hoch	14,8	0,61	41,39	10,92	3336	19,3
Mittel	14,5	0,31	16,06	11,92	8885	51,5
Gering	13,7	0,47	17,52	13,23	4510	26,2
					Gesamt: 17 246 ha	

Humanbioklimatische Situation	Temperatur (°C)	Windgeschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)	Kaltluftvolumenstrom ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Kaltluftproduktionsrate ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	Fläche (ha)	Fläche [%]
Sehr hoch	17,2	0,34	17,57	10,51	5270	32,4
Hoch	16,1	0,51	34,41	11,96	4675	28,7
Mittel	15,9	0,28	12,78	13,37	5059	31,1
Gering	15,6	0,51	21,81	12,74	1265	7,8
					Gesamt: 16 268 ha	



3.2.6.1.2 BEWERTUNGSKARTEN TAG

Analog zu allen übrigen Synthesekarten gliedern auch die Bewertungskarten für die Tagsituation das Bielefelder Stadtgebiet in einen Ausgleichs- und einen Wirkraum. Die Flächenkulissen entsprechen dabei grundsätzlich denen der Bewertungskarten Nacht.

Demnach wird der Wirkraum für Hitzebelastungen am Tage aus allen Flächen gebildet, die von der Stadtbevölkerung zum temporären oder dauerhaften Aufenthalt, zum Wohnen oder zum Arbeiten genutzt werden. Dieses trifft auf sämtliche Flächen des Siedlungsraumes zu, so dass - anders als in der Bewertungskarte Nacht – keine unbewohnten Flächen ausgegraut dargestellt werden. Klassische Wohnquartiere stehen daher genauso im Fokus, wie der öffentliche Straßenraum oder Gewerbegebiete. Analog zur Nachtsituation erfolgte die Bewertung in enger Anlehnung an die in den VDI Richtlinien definierten relativen Bewertungsmaßstäben. Der wertgebende Parameter ist die PET um 14:00 (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Es wurde analog zu den Bewertungskarten der Nachtsituation eine 5-stufige Skala zwischen sehr günstig bis sehr ungünstig gewählt. Mit Blick auf die gesamtstädtischen Ergebnisse lassen sich zwei zentrale Botschaften formulieren.

Zum einen existieren – analog zur Nachtsituation – bereits heute Flächen im Wirkraum, in denen eine (vergleichsweise) sehr ungünstige thermische Situation („Hitzestress“) herrscht. Mit 4,6 % ist der Flächenanteil dieser Klasse zudem um das sechs- bis siebenfache größer als in der Nachtsituation. Es handelt sich ausnahmslos um Flächen im innerstädtischen Straßenraum sowie um größere Gewerbekomplexe. Beiden Strukturtypen ist gemein, dass sie (je nach Lage im Stadtgebiet und individueller Ausprägung) sowohl weitgehend unverschattet sind. Dadurch empfangen sie ungehinderte Einstrahlung direkt aus der Stadtatmosphäre . Zudem sind sie zusätzlich diffuser Strahlung von horizontal- und vertikal versiegelten Flächen ausgesetzt. Damit handelt es sich nur z.T. um dieselben Flächen (insbesondere Gewerbe/Industrie), die in der Bewertungskarte Nacht in die Klasse sehr ungünstig fallen (hier insbesondere noch: Zentrumsbebauung). Dies unterstreicht die Relevanz der Unterscheidung zwischen der Tag- und der Nachtsituation.

Zum anderen macht ein Quervergleich zwischen den beiden Bewertungskarten für die Ist-Situation und dem Szenario 2050 deutlich, dass unter den gewählten Randbedingungen zukünftig mit einer nicht unerheblichen Ausbreitung der Flächen mit einer ungünstigen oder sehr ungünstigen thermischen Situation gerechnet werden muss. Während in der Ist-Situation noch rd. 13 % des Wirkraums diesen beiden Klassen zugeordnet ist, entfallen im Szenario 2050 fast ein Drittel aller Flächen auf die beiden Klassen. Hier macht sich das klimawandelbedingt insgesamt höhere Temperaturniveau deutlich bemerkbar. Die Zunahmen am oberen Ende der Bewertungsskala manifestieren sich insbesondere in Form von zusätzlichen Straßenräumen und Gewerbegebieten in der entsprechenden Bewertungsklasse. Aber auch andere Strukturtypen (Zeilenbebauungen, Blockränder) werden zukünftig in der Klasse sehr ungünstig vertreten sein. Allerdings wird es auch in Zukunft noch auf rd. einem Viertel aller Wirkraumflächen ein sehr günstiges bis günstiges Humanbioklima geben. Hier dominieren insbesondere gut durchgrünte und verschattete Einzel- und Reihenhausbebauungen in Stadtrandlage.

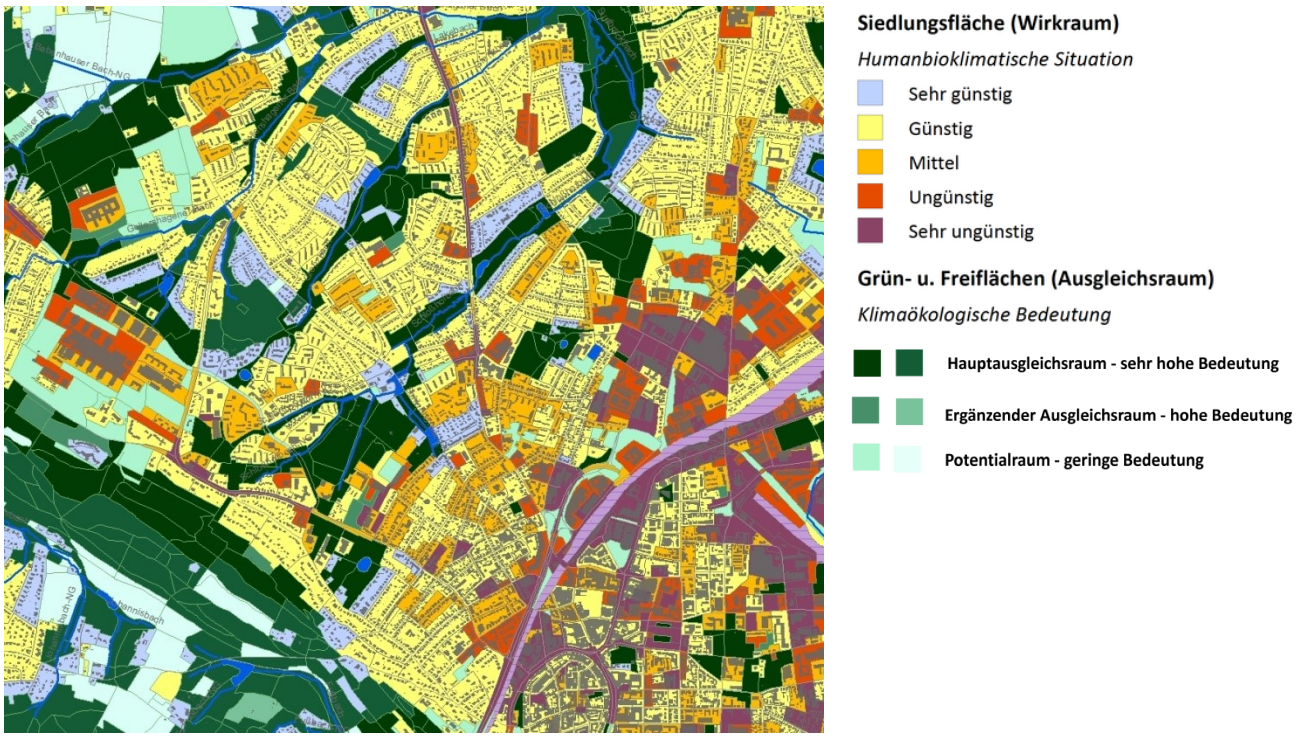


Abb. 36: Beispielhafter Ausschnitt Bewertungskarte Tag mit vereinfachter Legende (Ist-Situation)

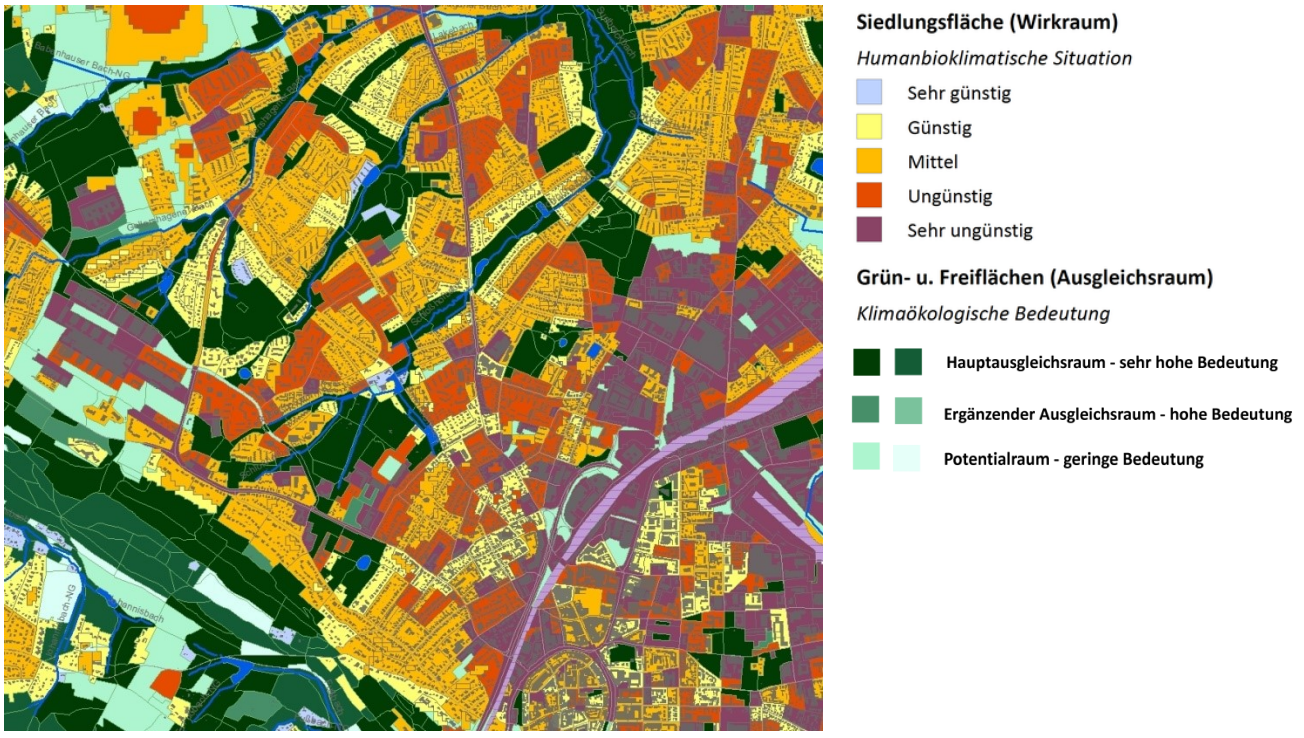


Abb. 37: Beispielhafter Ausschnitt Bewertungskarte Tag mit vereinfachter Legende (Szenario 2050)

Den Ausgleichsraum für Hitzebelastungen am Tage bilden sämtliche Grün- und Freiflächen des Stadtgebietes. Anders als in der Nachtsituation bildet am Tage nicht das Kaltluftprozessgeschehen sondern die thermische Aufenthaltsqualität in Verbindung mit ihrer Erreichbarkeit und (freien) Zugänglichkeit den Ausgangspunkt für die Bewertung der klimaökologischen Bedeutung. Im Fokus steht also die Fläche selbst und weniger ihre unmittelbare Benifitwirkung für die angrenzenden Quartiere.

Die Bewertungskarten Tag unterscheiden dabei drei Hauptkategorien:

- Hauptausgleichsraum mit sehr hoher klimaökologischer Bedeutung
- Ergänzenden Ausgleichsraum mit hoher klimaökologischer Bedeutung
- Potentialraum mit (gegenwärtig) geringer klimaökologischer Bedeutung

Jede Hauptkategorie ist darüber hinaus in je zwei Unterkategorien untergliedert. Diese teilen die jeweiligen Flächen zusätzlich nach ihrer fußläufigen Erreichbarkeit als ungünstig oder sehr ungünstig bewerteten Wirkraumflächen ein. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Grünfläche in der Nähe von belasteten Siedlungsräumen noch einmal höherwertiger ist, als eher belastungsperiphere Flächen (Abb. 38).

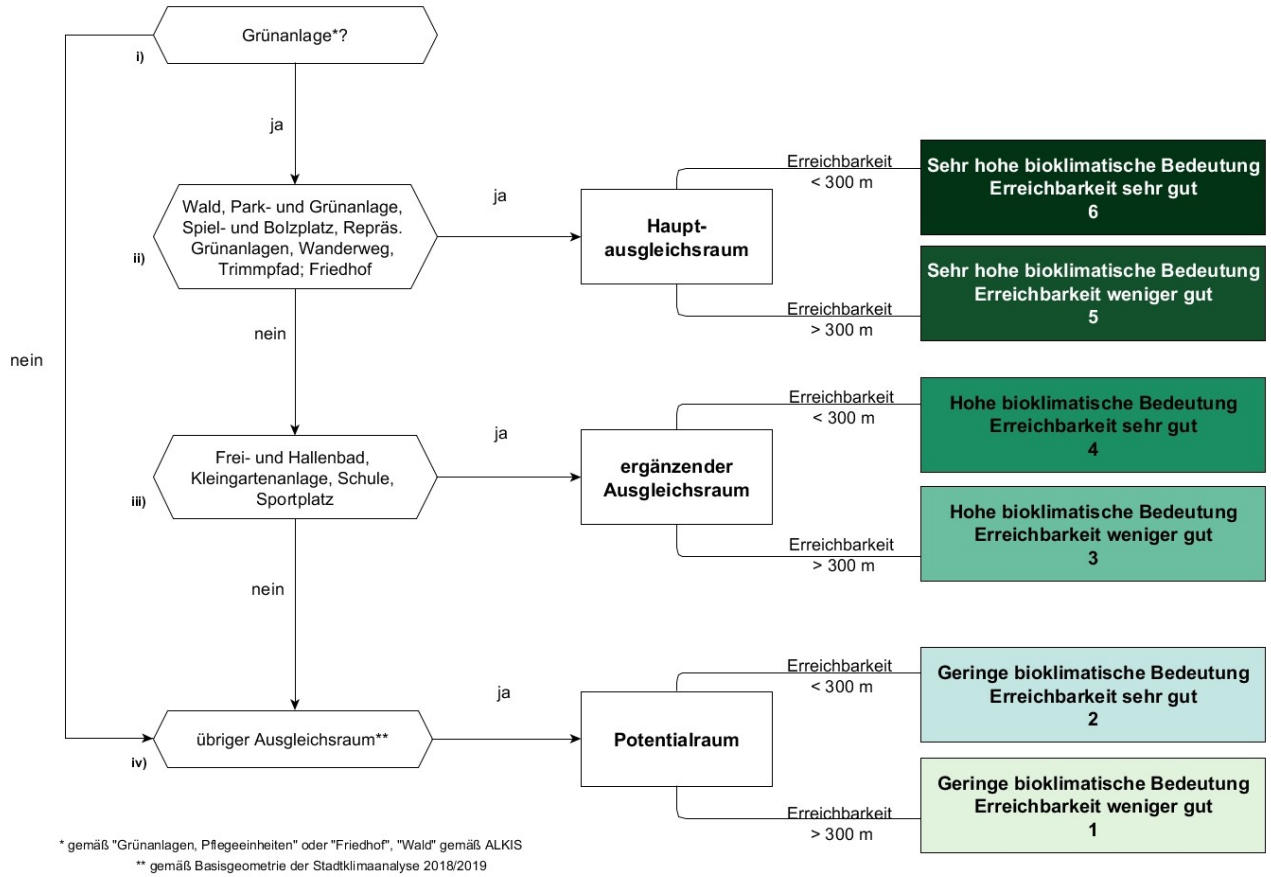


Abb. 38: Vereinfachtes Bewertungsmodell zur Ermittlung der humanbioklimatischen Bedeutung der Grün- und Freiflächen in den Bewertungskarten Tag

Den ***Hauptausgleichsraum*** bilden innerstädtische oder stadtnahe, frei zugängliche Grünflächen mit größtenteils hohem thermischem Aufenthaltskomfort auch während Hitzeperioden. Sie können kostenfrei von der gesamten Stadtbevölkerung für die Hitzeentlastung am Tage aufgesucht werden. Hierunter fallen insbesondere Wälder (vor allem der Teutoburger Wald) und öffentliche Parkanlagen (u.a. Bürgerpark, Nordpark, Brackweder Stadtpark). Diese Kriterien erfüllen > 40 % aller Grün-/Freiflächen in Bielefeld.

Der ***ergänzende Ausgleichsraum*** unterscheidet sich vom Hauptausgleichsraum insbesondere durch seine – zumindest für weite Teile der Stadtbevölkerung – eingeschränkte Zugänglich- bzw. Nutzbarkeit. Flächen wie Schrebergärten, Schwimmbäder, oder auch Sportanlagen bieten in aller Regel ähnlich gute thermische Aufenthaltsqualitäten wie öffentliche Parkareale. Allerdings muss für Ihre Nutzung unmittelbar bezahlt werden oder es bestehen andere Zugangsbeschränkungen (z.B. eine Vereinszugehörigkeit). In Bielefeld kommt dieser Hauptkategorie zwar mit nur ca. 1 % eine untergeordnete Bedeutung zu. Im Falle einer Hitzeperiode kann die (zeitlich begrenzte) Öffnung dieser Flächen für jedermann dennoch eine wirkungsvolle Maßnahme darstellen.

Im ***Potentialraum*** sind alle Freiflächen subsummiert, die bisher keine primäre Funktion als Ausgleichsraum für die Hitzebelastung am Tage aufweisen. Mit > 50 % bildet diese Hauptkategorie die Bewertungsklasse mit dem größten Flächenanteil. Hierunter fallen insbesondere landwirtschaftliche Nutzflächen. Aber auch innerstädtische Flächen wie Straßenbegleitgrün, Abstandsgrün oder urbane Brachflächen gehören dieser Kategorie an. Insbesondere diese Flächen können als Suchraum für einen weiteren Ausbau des dezentralen Angebotes an thermischen Erholungsflächen (sog. Pocket parks) herangezogen werden.

Da die Bewertung primär auf der Funktion der Flächen beruht und sich diese in den zwischen der Ist-Situation und dem Szenario 2050 nicht verändert, finden Klassenübergänge ausschließlich innerhalb der Hauptkategorien statt. Gleichwohl ist in den Kartenausschnitten (Abb. 36 und Abb. 37) - analog zur Nachtsituation – sichtbar, dass viele Grünflächen innerhalb der Hauptkategorien um eine Bewertungsstufe steigen. Dies liegt darin begründet, dass es aufgrund der deutlich höheren Anzahl von Belastungsschwerpunkten im Siedlungsraum im Szenario 2050 auch eine deutlich vergrößerte Flächenkulisse an Grünflächen gibt, die in fußläufiger Nähe zu diesen Flächen liegen. Für den Hauptausgleichsraum ergibt sich hierdurch beispielsweise ein Anstieg des Anteils derjenigen Flächen, die in 5 Gehminuten aus einem Belastungsschwerpunkt zu erreichen sind. von rund einem Drittel in der Ist-Situation auf über 60 % im Szenario 2050.

3.2.6.2 SOZIO-DEMOGRAPHISCHE SENSITIVITÄT

Die Haupteinflussfaktoren auf die Verletzlichkeit der Bielefelder Stadtbevölkerung gegenüber dem in den Bewertungskarten dargestellten Ausmaß des Stadtklimawandels sind die Exposition und die Sensitivität. Insbesondere für stadt-, umwelt-, gesundheits- und sozialplanerische Fragestellungen ist daher essentiell, neben räumlich hochaufgelöstem Wissen um die thermische Situation (=Exposition) auch sozio-demographische Raummuster und gesundheitliche Daten zu berücksichtigen.

Es existiert ein wissenschaftlich belegter Zusammenhang zwischen thermischem Stress und der Morbidität bzw. Mortalität sowie der Leistungsfähigkeit und dem Wohlbefinden einer Stadtbevölkerung.

Als besonders verletzlich gelten allgemein Säuglinge & Kleinkinder (< 3 J.) und ältere Menschen (> 64 J.), im Weiteren als Hauptrisikogruppen in diesem Konzept betrachtet.

Zudem sind auch Menschen unabhängig vom Alter betroffen:

- pflegebedürftige Menschen,
- Menschen mit bekannten Störungen der Hitzeanpassung (z.B. Hitzenesselsucht, übermäßiges Schwitzen usw.),
- Menschen mit Vorerkrankungen (wie Diabetes mellitus (336 Fälle wurden 2016 in der Altersgruppe 4 bis unter 65 Jahre mit Wohnsitz in Bielefeld stationär versorgt), Herz- und Kreislauferkrankungen (wegen Ischämischen Herzerkrankungen (I20-25 ICD 10), einer Untergruppe der Krankheiten, wurden 2016 929 Fälle unter 65 Jahren stationär versorgt) und Demenz oder anderen neurologischen Störungen,
- Adipositas (15,2% der Bevölkerung > 18 Jahre gab 2017 an adipös zu sein (rd. 39.730 Personen);
- Niereninsuffizienz (wenige Fälle unter 65 J. stationär),
- pneumologischen Erkrankungen (z.B. COPD 247 Fälle 2016 stationär unter 65 J.),
- Menschen mit hohem Alkoholkonsum (stationär 1.748 Fälle 2016 unter 65 J.),
- Menschen mit fieberhaften Erkrankungen sowie
- Menschen, die bestimmte Medikamente einnehmen (z.T. überschneidend mit vorgenannten Gruppen).

In anderen Städten ist ein Zusammenhang zwischen Hitzestress und Mortalität hergestellt worden.[5] In Bielefeld ist die Sterblichkeit insgesamt während der Hitzephase 2018 höher als im Vorjahreszeitraum gewesen, insbesondere bei den älteren Menschen ab 80 Jahren. Zufällige Schwankungen können bei derzeitigen Stand der Auswertung nicht ausgeschlossen werden.

Neben dem Alter und der gesundheitlichen Lage stellt die soziale Lage einen weiteren wesentlichen Proxyindikator für die Resilienz der Stadtbevölkerung gegenüber thermischem Stress dar. Grundsätzlich

[5] Epidemiologisches Bulletin Nr. 23, 2019, RKI.

kann davon ausgegangen werden, dass je besser die soziale Lage ist, desto besser fällt auch der allgemeine Gesundheitszustand aus und desto eher können die Möglichkeiten zur aktiven Hitzeanpassung genutzt werden.

Auch soziale Infrastrukturen weisen eine Sensitivität gegenüber dem Stadtklimawandel auf.

Für die räumlichen Planungen bedarf es Auswertungen auf Basis hochaufgelöster Informationen. Für gesundheitliche Informationen liegen diese Daten nicht vor. In diesem Konzept werden folgende räumlich hochaufgelöste Informationen zugrunde gelegt:

- Bevölkerungsdichte und -anzahl
- Dichte und Anzahl von stadtklimasensiblen Bevölkerungsgruppen (Hauptrisikogruppen)
- demographischer Wandel
- soziale Lage
- stadtklima-/hitzesensibler Infrastruktur.

Daten zur gesundheitlichen Lage und zum gesundheitlichen Verhalten liegen räumlich differenziert nicht vor.

In Bielefeld gehören fast 76.000 Menschen einer der Hauptrisikogruppen an, was rd. 22,5% der Gesamtbevölkerung entspricht (Stand: Ende 2017). Die absolut betrachtet meisten älteren Menschen und Kleinkinder haben ihren Wohnsitz im Bezirk Mitte, gefolgt von Heepen, Schildesche und BrackwedeBrackwede. Tendenziell wohnt ein Großteil der Risikogruppe also auch dort, wo die stärksten thermischen Belastungen auftreten. Die vergleichsweise kleinste aggregierte Risikogruppengröße wird in Gadderbaum, Dornberg und Senne erreicht. Grundsätzlich gilt in Bielefeld also, dass je mehr Einwohner ein Stadtbezirk hat, desto größer fällt auch die Risikogruppe in absoluten Zahlen aus. Dabei überwiegt – je nach Stadtbezirk - die Risikogruppe der älteren und hochaltrigen Risikogruppe diejenige der Kleinkinder entsprechend dem demografischen Wandel um etwa den Faktor 5-8 (Abb. 39).

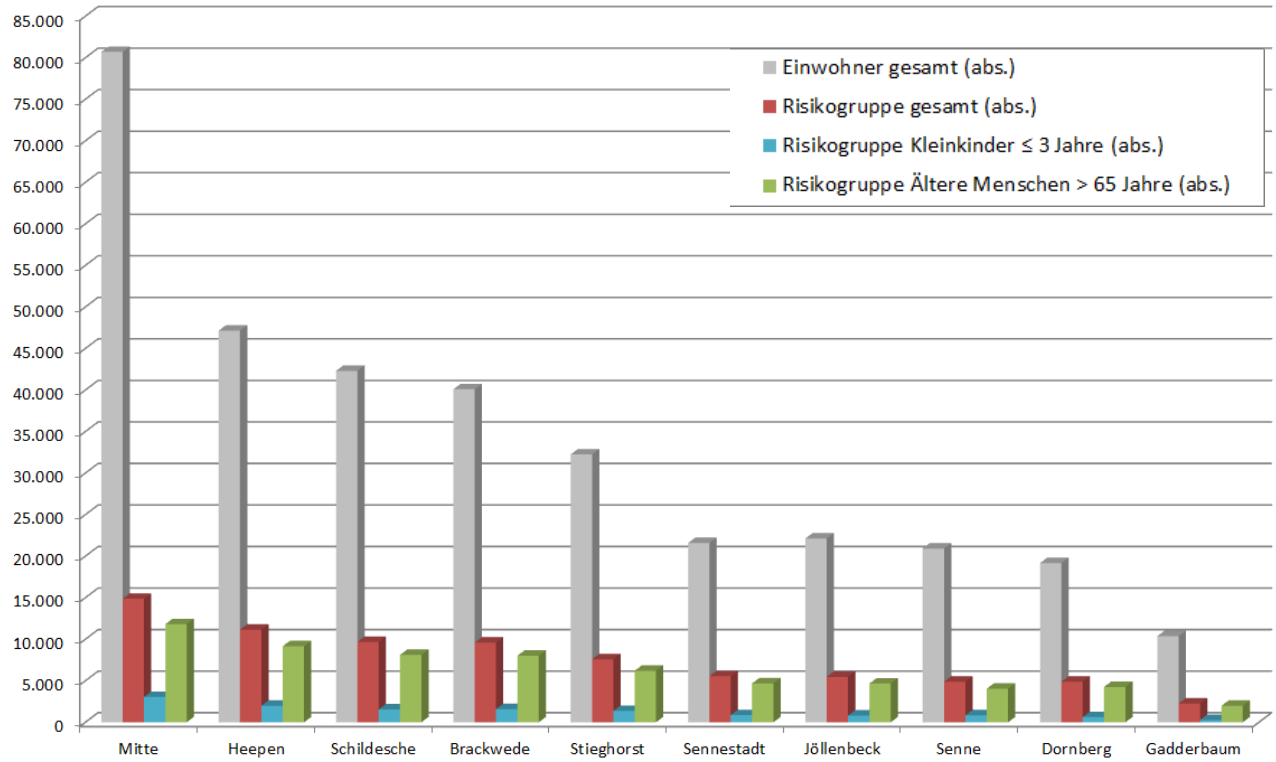


Abb. 39: Absolute Anteile der Risikogruppen gegenüber thermischer Belastung an der Gesamtbevölkerung nach Stadtbezirk

Innerhalb der Stadtbezirke ist die räumliche Verteilung der Bevölkerungsdichte und der Risikogruppen heterogen. So existieren in jedem Bezirk sowohl Teilflächen, in den mehr als 50 % der BewohnerInnen einer der Risikogruppe angehören als auch solche, in denen keine Kleinkinder oder ältere Menschen ihren Wohnsitz gemeldet haben. Auffällig ist, dass im Bezirk Mitte zwar die größte Bevölkerungsdichte herrscht, absolut gesehen die meisten Kleinkinder und ältere Menschen wohnen, der relative Anteil der beiden Risikogruppen an der gesamten Bezirksbevölkerung aber nur bei rd. 18 % liegt und damit den geringsten Wert innerhalb der Bezirke aufweist (Abb. 40).

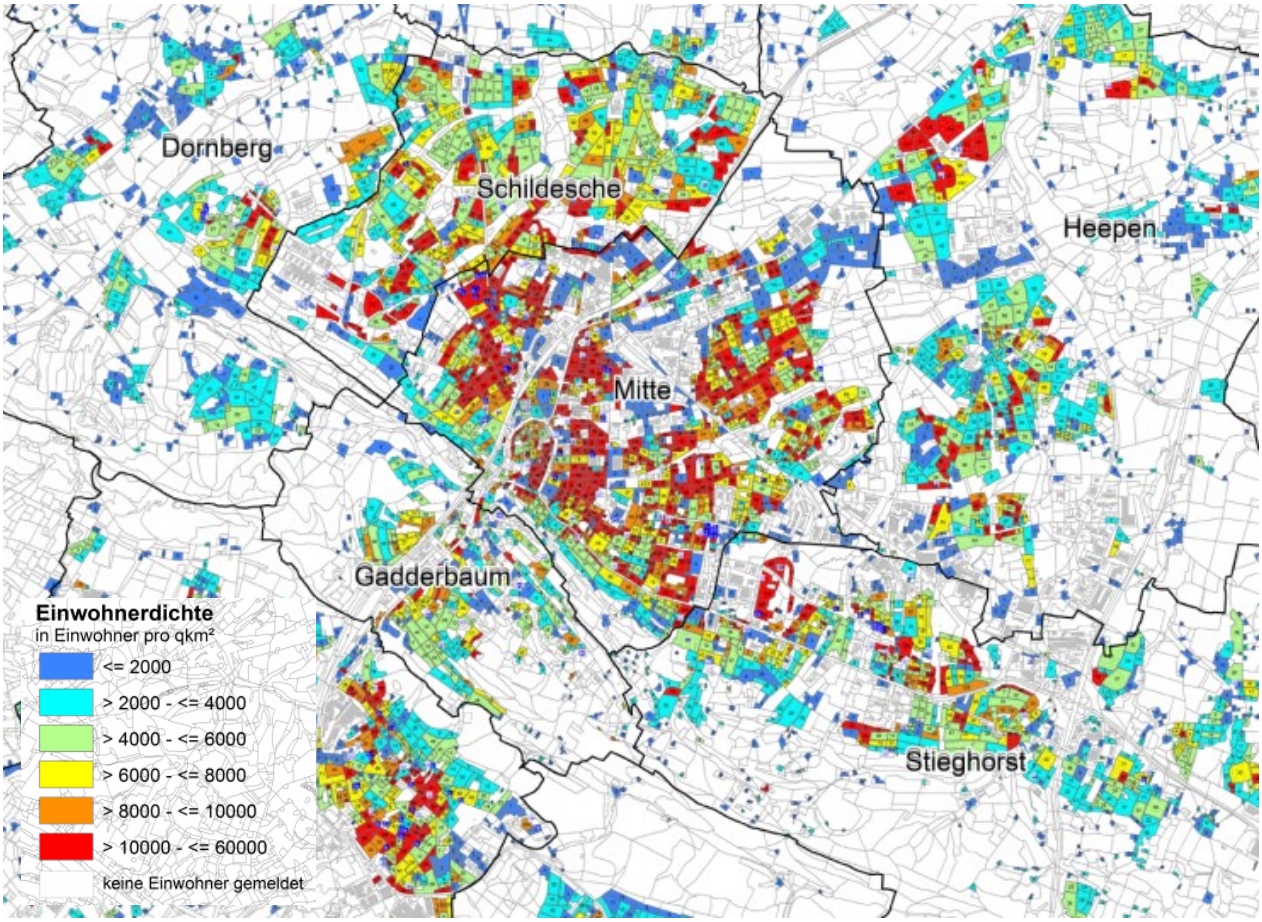


Abb. 40: Kleinräumige Verteilung der Bevölkerungsdichte im kernstädtischen Bereich Bielefelds

Auf der Grundlage des „Demographieberichtes 2016“ (Stadt Bielefeld, Amt für Demographie und Statistik) lässt sich die Entwicklung der skizzierten Phänomene bis zum Jahr 2045 auf Stadtbezirksebene einschätzen. Gemäß der mittleren (= wahrscheinlichsten) Variante ist zu erwarten, dass die Stadt Bielefeld bis dahin um fast 7.000 Einwohnende wachsen wird. Mit Blick auf die Verletzlichkeit gegenüber thermischen Stress ist von entscheidender Bedeutung, dass die Größe der Hauptrisikogruppen um etwa das 2,5-fache dieses Wertes, nämlich um fast 19.000 Menschen, steigen wird. Diese Entwicklung ist ausschließlich auf den demographischen Wandel, also die wachsende Gruppe der > 65-jährigen zurückzuführen, die im Szenario in allen Stadtbezirken – also selbst in denen mit einer negativen Bevölkerungsentwicklung (z.B. Heepen und Jöllenbeck) - deutlich zunimmt. Demgegenüber nimmt im Szenario die Anzahl der Kleinkinder in allen Stadtbezirken moderat ab. Insgesamt ist für das Jahr 2045 mit einer Steigerung des Anteils der Risikogruppe um rd. 5 % auf dann 27,5 % zu rechnen, wodurch sich die Verletzlichkeit der Stadtbevölkerung gegenüber thermischen Stress weiter erhöhen wird (Abb. 41).

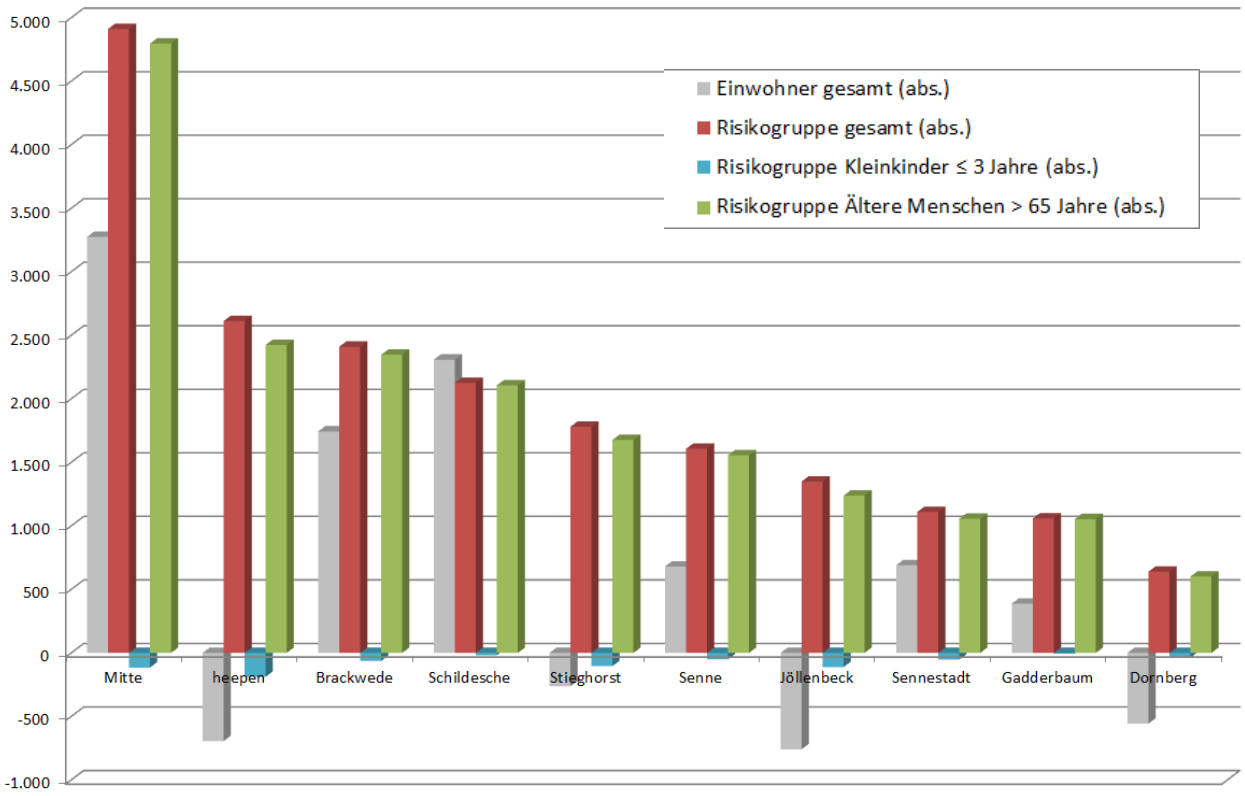


Abb. 41: Absolute Änderung der Gesamtbevölkerung und der Risikogruppen gegenüber thermischer Belastung nach Stadtbezirk gemäß „mittlerer Variante" des Demographieberichtes 2016 für das Jahr 2045

Hinsichtlich der sozialen Lage sind für die Planung in erster Linie die „Hot-Spots der sozialen Lage" relevant. Diese befinden sich in den Stadtbezirken Mitte, Heepen, Gadderbaum und Stieghorst (Abb. 42). Diese werden repräsentiert durch die Indikatoren der sozialen Lage für die Stadt Bielefeld. Die wesentlichen Indikatoren sind (Stadt Bielefeld 2019):

- Grundsicherung im Alter (Anteil der Beziehenden von Grundsicherung im Alter an der Bevölkerung 65 Jahre und älter ab 8,9%)
- Mindestsicherungsquote (**Stand 31.12.2017 ab 21,3%)**
- SGB II Quote 0 – 14 Jahre **(SGB II-Bezug von Kinder unter 15 Jahren zum 31.12.2017 ab 34,4%**).

Als Hot Spots werden diejenigen Bereiche bezeichnet, in denen mindestens zwei der oben genannten Kriterien in den Statistischen Bezirken vorliegen.

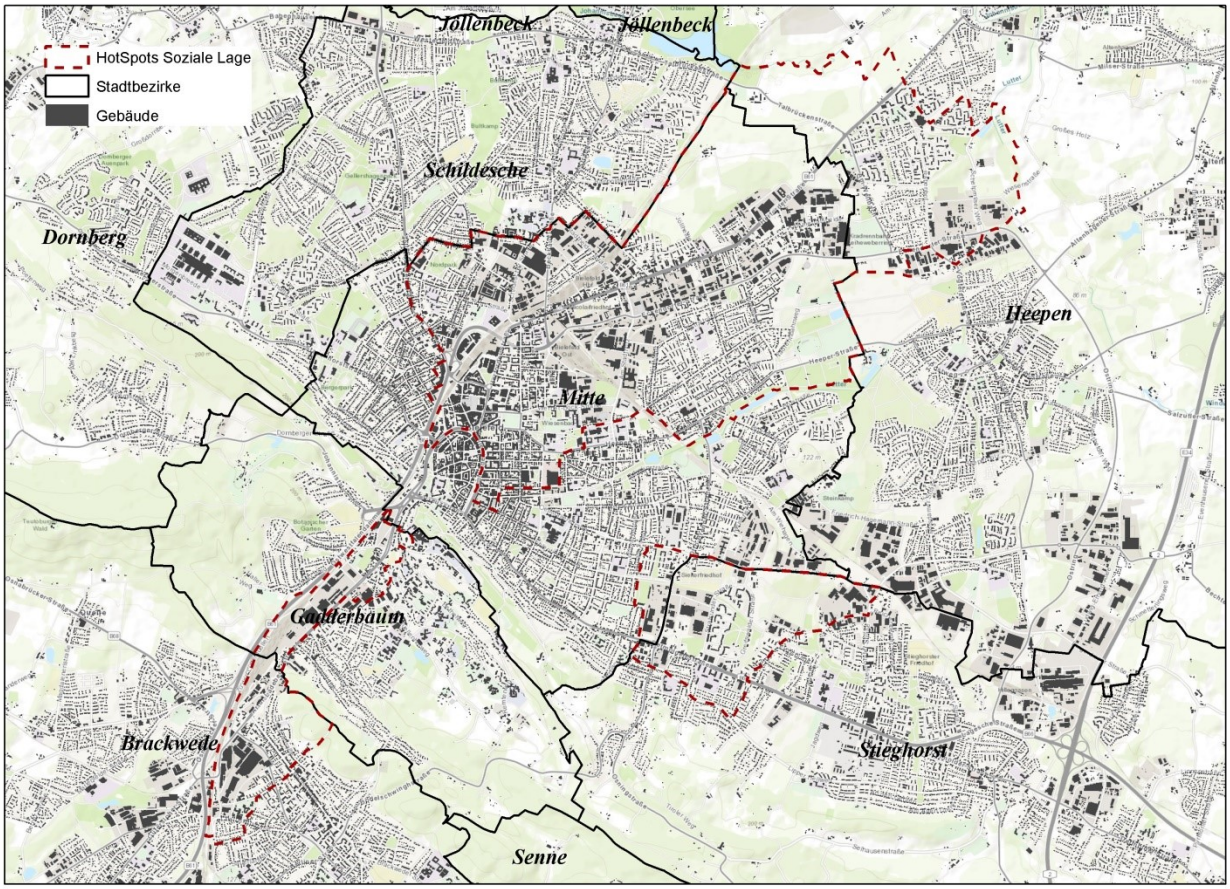


Abb. 42: Hot-Spots der sozialen Lage in Bielefeld

Zu den stadtklima-/hitzesensiblen Infrastrukturen im Kontext der vorliegenden Stadtklimaanalyse gehören in Bielefeld insbesondere Krankenhäuser, Kindertagesstätten und Seniorenwohnheime. Gegenwärtig existieren rd. 400 solcher Gebäudenutzungen, wobei die Kindertagesstätten mit >50 % den größten Anteil aufweisen. Über die Planungshinweiskarte können Einzeleinrichtungen identifiziert werden, für die die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen geprüft werden sollte (vgl. Kap. 1.1.1.1).

3.2.6.3 PLANUNGSHINWEISKARTE STADTKLIMA

In der Planungshinweiskarte (PHK) sind sämtliche Informationen der vorherigen (Zwischen-)Produkte zu planungsrelevanten Wertaussagen verdichtet worden. Die PHK stellt somit das zentrale Produkt der Stadtklimaanalyse dar und ist als vorrangiges Arbeitsinstrument für die Stadtverwaltung konzipiert. Sie soll für jeden Abwägungsprozess der Ausgangspunkt zur Einordnung planungsrelevanter stadtklimatischer Fragestellungen sein. Analog zu den Bewertungskarten teilt die PHK das Bielefelder Stadtgebiet in einen Wirk- und einen Ausgleichsraum mit kleinräumig abgegrenzten Teilflächen. Die Geometrien der Ist-Situation und des Szenarios 2050 sind ineinander geschnitten worden, um flächeneindeutige Aussagen zu ermöglichen. Insgesamt existieren 18.512 Teilflächen, wobei rd. 53 % dem Ausgleichsraum und ca. 47 % dem Wirkraum zuzuordnen sind.

Im Ausgleichsraum stellt die 5-stufige Bewertung der klimaökologischen Schutzbedürftigkeit das zentrale Kartenthema dar. Die entsprechenden Bewertungsstufen können Abb. 43 entnommen werden.

Abb. 43: Bewertungsstufen des PHK-Ausgleichsraumthemas „klimaökologischer Schutzbedürftigkeit“

Um die entsprechenden Einstufungen flächenindividuell vornehmen zu können, wurden zunächst die Wertaussagen der Bewertungskarten (vgl. Kap. 3.2.5.1) zur Tag- und Nachtsituation szenarienweise aggregiert. Die verwendete Verrechnungsvorschrift kann Abb. 44 entnommen werden. Die Aggregation folgt der Logik, dass die jeweils höhere Wertstufe die summarische Bewertung bedingt. Zum Beispiel wird einer Frei-/Grünfläche, die für das nächtliche Kaltluftprozessgeschehen eine sehr hohe Bedeutung, aber für die Hitzeerholung am Tage nur eine geringe Bedeutung im Potentialraum hat (z.B. eine stadtnahe landwirtschaftliche Fläche mit hoher Kaltluftproduktion, aber ohne Aufenthaltsqualität) in der Gesamtbewertung eine sehr hohe Bedeutung zugewiesen.

Ausgleichsraum		Bewertung Nacht			
		1	2	3	4
Bewertung Tag	1	1	2	3	4
	2	2	2	3	4
	3	3	3	3	4
	4	3	3	3	4
	5	4	4	4	4
	6	4	4	4	4

1 = geringe klimaökol. Bedeutung; 2 = mittlere klimaökol. Bedeutung; 3 = hohe klimaökol. Bedeutung; 4 = sehr hohe klimaökologische Bedeutung;

Abb. 44: Verrechnungsvorschriften zur Verknüpfung der Bewertung von thermischer Tag- und Nachtsituation für den Ausgleichsraum).

In einem nächsten Schritt wurden auf der Basis dieser Gesamtbewertungen die 5 Wertstufen abgeleitet. Die konkreten Zuweisungsalgorithmen je Bewertungsstufe können Tab. 16 entnommen werden.

Tab. 15: Zuweisungsalgorithmen für die Bewertung des Schutzbedarfs des Ausgleichsraums in der PHK

Bewertungsklasse	**Zuweisungsalgorithmus**
Schutzbedarf 1. Priorität	*Grün-/Freiflächen mit einer sehr hohen Gesamtbewertung der klimaökologischen Bedeutung in der Ist-Situation*
Schutzbedarf 2. Priorität	*Grün-/Freiflächen, mit einer sehr hohen Gesamtbewertung der klimaökologischen Bedeutung im Szenario 2050, die nicht in der 1. Priorität enthalten sind*
Schutzbedarf 3. Priorität	*Grün-/Freiflächen mit einer hohen Gesamtbewertung der klimaökologischen Bedeutung in der Ist-Situation, die nicht in einer höheren Priorität enthalten sind*
Schutzbedarf 4. Priorität	*Grün-/Freiflächen, mit einer hohen Gesamtbewertung der klimaökologischen Bedeutung im Szenario 2050, die nicht in einer höheren Priorität enthalten sind*
kein vorrangiger Schutzbedarf	*Grün-/Freiflächen mit einer geringen bis mittleren Gesamtbewertung in der Ist-Situation und im Szenario 2050*

Im Ergebnis ergibt sich für mehr als fast die Hälfte (ca. 45 %) aller Flächen des Ausgleichsraums ein Schutzbedarf der 1. Priorität und für lediglich rund ein Viertel kein vorrangiger Schutzbedarf. Dies deutet bereits die mögliche Konfliktträchtigkeit zwischen einer etwaigen Stadtentwicklung auf Flächen mit Schutzbedarf und dem insgesamt guten Bielefelder Stadtklima hin. Allerdings ist nur für einige Einzelvorhaben eine Umsetzung aus stadtklimatischer Sicht nicht empfehlenswert, während sich bei den meisten Vorhaben durch optimierende Maßnahmen die Klimafunktionen der Grün- und Freiflächen erhalten lassen (vgl. „Hinweise zu zukünftigen baulichen Entwicklung“ weiter unten). Die entsprechenden Maßnahmen(sets) können Kap. 4.1 entnommen werden.

Abb. 45: Hohe Dichte an Flächen mit klimaökologischem Schutzbedarf der 1. Priorität im Bereich des Teutoburger Waldes und des Schloßhofbaches (links) und weitgehend ohne klimaökologischem Schutzbedarf im Bielefelder Nordwesten (rechts) Legenden siehe Abb. 36 auf Seite 71

Die in der PHK dargestellten Themen zum Kaltluftprozessgeschehen sind nachrichtlich aus der Bewertungskarte Nacht der Ist-Situation übernommen worden (Abb. 46). Details sind in Kapitel 3.2.6.1 beschrieben.

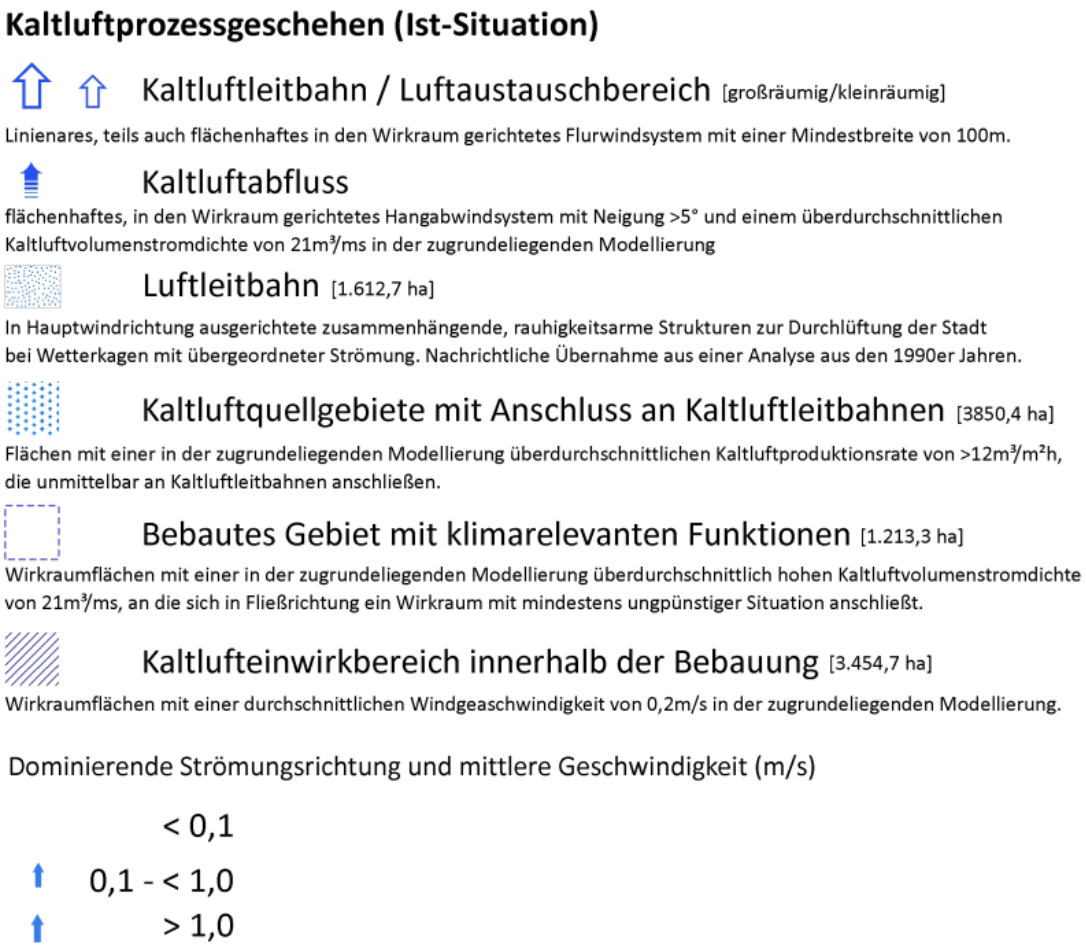


Abb. 46: Inhalte des PHK-Ausgleichsraumthemas „Kaltluftprozessgeschehen“

Für den Wirkraum existieren insgesamt drei zentrale räumlich differenzierte Kartenthemen:

- Informationen zur Wohnbevölkerung und zur sozialen Lage
- Klimaökologischer Sanierungsbedarf des Siedlungsbestandes
- Hinweise zur zukünftigen baulichen Entwicklung

Die drei Informationsebenen der sozio-demographischen Kartenthemen abstrahieren zunächst gänzlich von stadtklimatischen Gegebenheiten (Abb. 47). Sie sind primär dem Kontext der Umweltgerechtigkeit zuzuordnen. Dabei geht es vor allem um die unterschiedliche Umweltbelastung verschiedener sozialer und demographischer Gruppen und der Orte, an denen sie leben. Das stadtplanerische Paradigma zielt insbesondere darauf, das gleichzeitige Auftreten von Sozial- und Umweltbelastungen zu minimieren. Um diesen neuen Aspekt in der Stadtplanung für den Teilbereich Stadtklima/Hitze zu unterstützen, beinhaltet die Planungshinweiskarte ausgewählte, nachrichtlich von der Stadtverwaltung übernommene, Informationen. Das Wissen um „Flächen ohne Wohnbevölkerung“ ist in mehrfacher Hinsicht für die räumliche Priorisierung von „klimaökologischen Sanierungsgebieten“ wichtig (siehe unten). Zum einen beeinflusst sie die summarische Bewertung der Tag- und Nachtsituation im Siedlungsraum. Denn in Quartieren ohne Wohnbevölkerung –

aber mit Aufenthaltsbevölkerung - ist die Tagsituation als relevanter einzustufen als die Nachtsituation. Darüber hinaus sind Flächen mit Wohnbevölkerung bei der Priorisierung von Sanierungsgebieten – und damit bei der Durchführung von Maßnahmen – Flächen ohne Wohnbevölkerung vorzuziehen. Dieses gilt insbesondere dann, wenn sie in einem „Hot-Spot der sozialen Lage“ liegen (siehe Kapitel 3.2.6.2). In diesem Zusammenhang bietet die absolute Anzahl der Einwohner der stadtklimatisch sensiblen Wohnbevölkerung eine wichtige Zusatzinformation. Sie ist zwar im weiteren Prozess nicht in die Bewertung der Sanierungsgebiete eingeflossen, kann im Einzelfall aber für die gezielte Auswahl von Maßnahmen herangezogen werden.

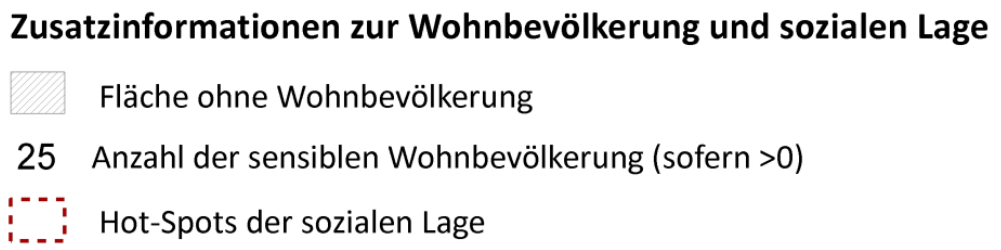


Abb. 47: Informationenebene PHK-Wirkraumthema „Anzahl Einwohner der sensiblen Wohnbevölkerung (sofern > 0)“

Die 6-stufige Bewertung des klimaökologischen Sanierungsbedarfs des Siedlungsbestands (inkl. größerer Straßenräume und Plätze) stellt das zweite zentrale Kartenthema des Wirkraums dar. Die entsprechenden Bewertungsstufen können Abb. 48 entnommen werden.

Abb. 48: Bewertungsstufen des PHK-Wirkraumthemas „klimaökologischer Sanierungsbedarf“

Um die entsprechenden Einstufungen flächenindividuell vornehmen zu können, wurden zunächst die Wertaussagen der Bewertungskarten (vgl. Kap. 3.2.5.1) zur Tag- und Nachtsituation szenarienweise aggregiert. Die verwendete Verrechnungsvorschrift kann Abb. 49 entnommen werden. Dabei wird zwischen dem bewohnten und dem unbewohnten Wirkraum unterschieden. Während in den Wohnquartieren die Nachtsituation aufgrund Ihrer Bedeutung für einen erholsamen Schlaf bewertungsdominierend ist, ist für die nicht bewohnten Siedlungsräume (vor allem reine Gewerbe- oder Industriegebiete) die Belastungssituation am Tage die relevantere der beiden Kenngrößen (siehe Kapitel 3.2.6.1.1 und Kapitel 3.2.6.1.2). So führt beispielsweise eine Kombination aus einer ungünstigen Situation in der Nacht und einer mittleren Situation am Tage im bewohnten Wirkraum zu einer Gesamtbewertung von „sehr ungünstig“, während sie im unbewohnten Wirkraum zu einer „ungünstigen“ Gesamteinschätzung führt.

bewohnter Wirkraum		Bewertung Nacht				
		1	2	3	4	5
Bewertung Tag	1	1	2	3	3	4
	2	1	2	3	4	4
	3	2	2	3	4	5
	4	3	3	4	4	5
	5	3	3	4	5	5

unbewohnter Wirkraum		Bewertung Nacht				
		1	2	3	4	5
Bewertung Tag	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	2	3	3
	3	3	3	3	4	4
	4	4	4	4	4	5
	5	4	4	5	5	5

1 = sehr günstig; 2 = günstig; 3 = mittel; 4 = ungünstig; 5 = sehr ungünstig

Abb. 49: Verrechnungsvorschriften zur Verknüpfung der Bewertung von thermischer Tag- und Nachtsituation für den bewohnten (links) sowie unbewohnten Wirkraum (rechts).

In einem nächsten Schritt wurden diese Gesamtbewertungen mit weiteren stadtklimatischen und vor allem sozio-demographischen Parametern verschnitten. Hierzu zählten insbesondere der Kaltlufteinwirkbereich, die Einwohnerdichte, die Einwohnerzahl sowie die soziale Lage je Teilfläche. Die konkreten Zuweisungsalgorithmen je Bewertungsstufe können Tab. 16 entnommen werden.

Tab. 16: Zuweisungsalgorithmen für die Einstufung des klimaökologischen Sanierungsbedarfs im Wirkraum

Bewertungsklasse	**Zuweisungsalgorithmus**
Sanierungsbedarf 1. Priorität	*Wohn- und Gewerbeflächen:* Gesamtbewertung thermische Belastung ungünstig oder sehr ungünstig in der Ist-Situation und <25% von Kaltluft durchflossen und >10.000 Einwohner je km² bei mindestens 50 Einwohnern oder Hot-Spot soziale Lage mit > 6.000 Einwohner je km² *Straßenraum:* Gesamtbewertung Tag/Nacht ungünstig oder sehr ungünstig in der Ist-Situation
Sanierungsbedarf 2. Priorität	*Wohn- und Gewerbeflächen:* nicht in höherer Priorität enthalten und Gesamtbewertung thermische Belastung ungünstig oder sehr ungünstig im Szenario 2050 und <25% von Kaltluft durchflossen und >10.000 Einwohner je km² *Straßenraum:* nicht in höherer Priorität enthalten und Gesamtbewertung Tag/Nacht ungünstig oder sehr ungünstig im Szenario 2050
Sanierungsbedarf 3. Priorität	*Wohn- und Gewerbeflächen:* nicht in höherer Priorität enthalten und Gesamtbewertung thermische Belastung ungünstig oder sehr ungünstig in der Ist-Situation und <25% von Kaltluft durchflossen *Straßenraum:* -
Sanierungsbedarf 4. Priorität	*Wohn- und Gewerbeflächen:* nicht in höherer Priorität enthalten und Gesamtbewertung thermische Belastung sehr ungünstig im Szenario 2050 und <25% von Kaltluft durchflossen *Straßenraum:* -
Sanierungsbedarf 5. Priorität	*Wohn- und Gewerbeflächen:* nicht in höherer Priorität enthalten und Gesamtbewertung thermische Belastung ungünstig im Szenario 2050 und <25% von Kaltluft durchflossen *Straßenraum:* -
kein Sanierungsbedarf	*Wohn- und Gewerbeflächen sowie Straßenräume: sowohl Ist-Situation als auch Szenario 2050 sehr günstige, günstige oder mittlere Gesamtbewertung* thermische Belastung

Im Ergebnis ergibt sich für mehr als die Hälfte (ca. 52 %) aller Flächen des Wirkraums keinerlei stadtklimatischer Sanierungsbedarf. Dies spiegelt die grundsätzlich gute stadtklimatische Situation in Bielefeld wider. Andererseits sind ca. 15 % aller Wirkraumflächen der 1. oder 2. Sanierungspriorität zugeordnet worden, so dass gezielter Handlungsbedarf besteht (Abb. 50). Die entsprechenden Maßnahmen(sets) können Kap. 4.1 entnommen werden.

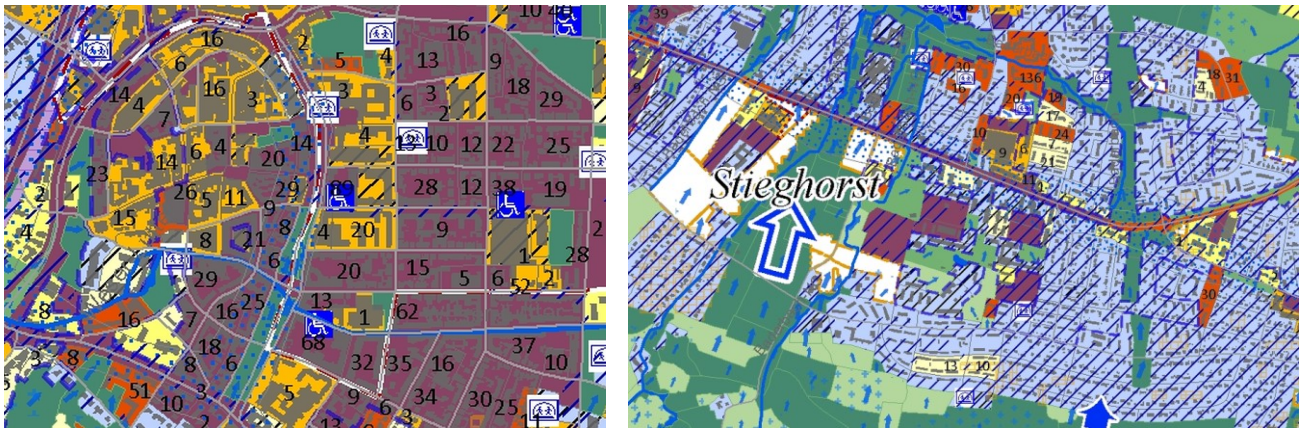


Abb. 50: Hohe Dichte an Flächen mit stadtklimatischem Sanierungsbedarf der 1. Priorität im Bielefelder Stadtzentrum (links) und weitgehend ohne Sanierungsbedarf entlang der Hänge des Teutoburger Waldes im Bielefelder Osten (rechts). Legenden siehe Abb. 36 auf Seite 71

Neben dem Sanierungsbedarf stellt die 3-stufige Bewertung der für die Zukunft geplanten/möglichen Stadtentwicklungsvorhaben den zweiten großen Themenkomplex dar. Die entsprechenden Bewertungsstufen können Abb. 51 entnommen werden.

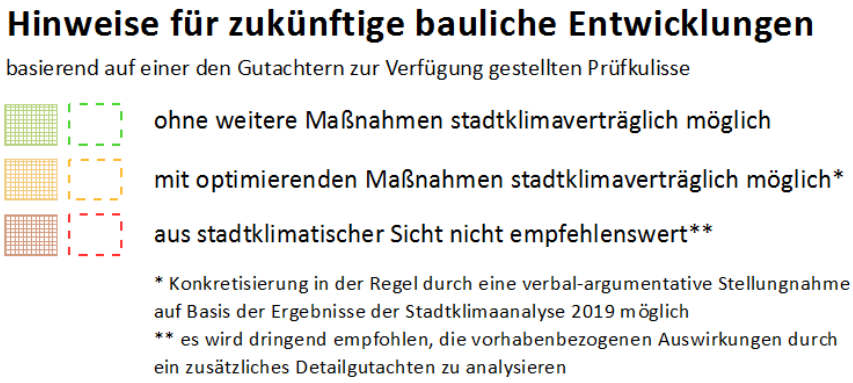


Abb. 51: Bewertungsstufen des PHK-Wirkraumthemas „Hinweise für zukünftige bauliche Entwicklungen“

Bauliche Entwicklungen im Wirkraum (vor allem Innenentwicklungsvorhaben) sind aufgrund ihrer Kleinteiligkeit als überlagerte Schraffur dargestellt. Größere Entwicklungsvorhaben im Ausgleichsraum (i.d.R. durch Aufstellung eines Bebauungsplanes) werden als weiße Flächen dargestellt. Auch das Bewertungsverfahren der beiden Entwicklungstypen unterscheidet sich. So ist die Bewertung der stadtklimatischen Verträglichkeit der Innenentwicklungsvorhaben sehr eng an die Lage des jeweils zugeordneten Quartiers in den stadtklimatischen Sanierungsgebieten gekoppelt. Das heißt, dass Nachverdichtungen vor allem dort nicht emp-

fehlenswert oder nur mit optimierenden Maßnahmen verträglich möglich sind, wo bereits heute eine angespannte stadtklimatische Situation besteht oder diese im Szenario 2050 zu erwarten ist (Tab. 17).

Tab. 17: Zuweisungsalgorithmen für die Einstufung der Stadtklimaverträglichkeit von Entwicklungsvorhaben im Wirkraum

Bewertungsklasse	**Zuweisungsalgorithmus**
Entwicklung ohne weitere Maßnahmen stadtklimatisch verträglich möglich	Lage außerhalb der Sanierungspriorität 1-5 und kein Gebiet mit relevanten Klimafunktionen im Ist-Zustand
Entwicklung mit optimierenden Maßnahmen stadtklimatisch verträglich möglich	Lage innerhalb der Sanierungspriorität 3-5. Priorität oder Lage außerhalb der Sanierungspriorität 1-5, aber mit relevanten Klimafunktionen in der Ist-Situation
Entwicklung aus stadtklimatischer Sicht nicht empfehlenswert	Lage innerhalb der Sanierungspriorität 1 oder 2

Die Bewertung der Entwicklungsvorhaben im (heutigen) Ausgleichsraum fällt notwendigerweise komplexer aus als diejenige für Flächen im Wirkraum. Dies liegt insbesondere daran begründet, dass diese Flächen in der Ist-Situation zwar zum Ausgleichsraum gehören, in das Szenario 2050 aber bereits als bebaut eingegangen sind. Folglich müssen hier sowohl die Qualität der bereitgestellten Klimafunktionen (für die Ist-Situation) als auch das zu erwartende thermische Belastungsniveau (für die Zukunft) in die Bewertung eingebunden werden. Dabei gilt, dass ein Entwicklungsvorhaben vor allem dann als nicht empfehlenswert einzustufen ist, wenn es zum einen relevante Klimafunktionen der bisherigen Freiflächen bedroht und zum anderen zusätzlich noch einen neuen Belastungsschwerpunkt im (neu) bebauten Bereich erzeugt.

Bewertungsklasse	**Zuweisungsalgorithmus**
Entwicklung ohne weitere Maßnahmen stadtklimaverträglich möglich	kombinierte Tag/Nachtbewertung der klimaökologischen Bedeutung für den Ist-Zustand (=Ausgleichsraum) gering oder mittel und kombinierte Tag/Nachtbewertung der thermischen Situation im Szenario 2050 (=Wirkraum) sehr günstig, günstig oder mittel
Entwicklung mit optimierenden Maßnahmen stadtklimaverträglich möglich	kombinierte Tag/Nachtbewertung der klimaökologischen Bedeutung für den Ist-Zustand (=Ausgleichsraum) gering oder mittel und kombinierte Tag/Nachtbewertung der thermischen Situation im Szenario 2050 (=Wirkraum) ungünstig oder sehr ungünstig kombinierte Tag/Nachtbewertung der klimaökologischen Bedeutung für den Ist-Zustand (=Ausgleichsraum) hoch und kombinierte Tag/Nachtbewertung der thermischen Situation im Szenario 2050 (=Wirkraum) sehr günstig, günstig, mittel, ungünstig oder sehr ungünstig kombinierte Tag/Nachtbewertung der klimaökologischen Bedeutung für den Ist-Zustand (=Ausgleichsraum) sehr hoch und kombinierte Tag/Nachtbewertung der thermischen Situation im Szenario 2050 (=Wirkraum) sehr günstig, günstig oder mittel
Entwicklung aus stadtklimatischer Sicht nicht empfehlenswert	kombinierte Tag/Nachtbewertung der klimaökologischen Bedeutung für den Ist-Zustand (=Ausgleichsraum) sehr hoch und kombinierte Tag/Nachtbewertung der thermischen Situation im Szenario 2050 (=Wirkraum) ungünstig oder sehr ungünstig

Insgesamt wurden 1.738 potentielle Rasterflächen im Wirkraum und 939 im Ausgleichsraum nach diesem einheitlichen Schema bewertet. In beiden Kategorien fällt die deutliche Mehrheit der Prüfkulisse (jeweils fast ¾ aller Flächen) in die mittlere Klasse „Entwicklung mit optimierenden Maßnahmen stadtklimaverträglich möglich“. Addiert man die eher unkritischen Vorhaben aus der Klasse „ohne weitere Maßnahmen…“ hinzu, können in Bielefeld 85-99 % aller geprüften Vorhaben – unter Berücksichtigung bestimmter Maßnahmen - stadtklimaverträglich realisiert werden (Abb. 52).

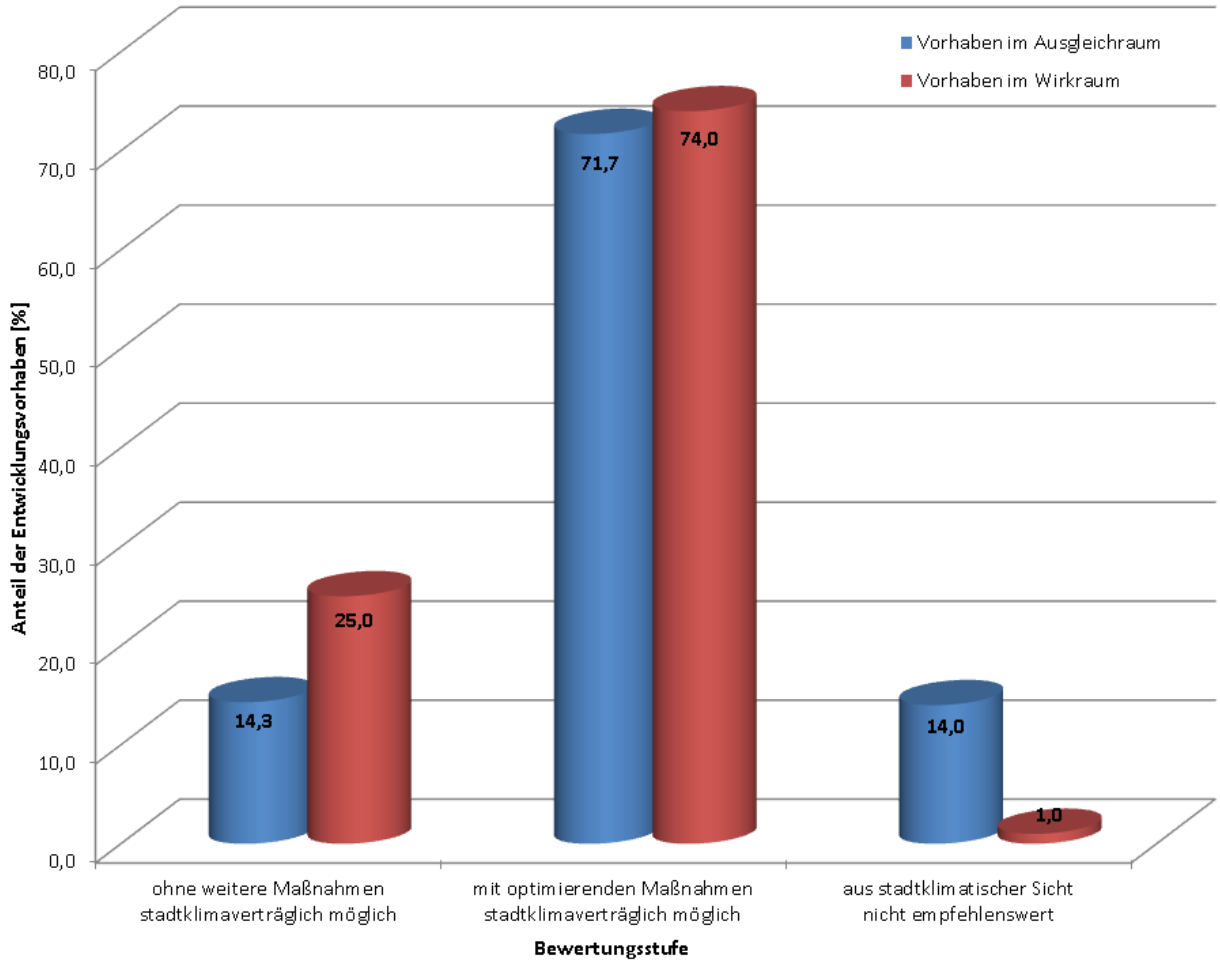


Abb. 52: Prozentuale Anteile der geprüften baulichen Entwicklungsvorhaben im Ausgleichs- und im Wirkungsraum in den gewählten Bewertungsklassen

Dieser hohe Wert zeigt, dass (nachhaltige) Stadtentwicklung und der Erhalt eines gesunden Stadtklimas sich in Bielefeld keineswegs ausschließen. Vielmehr können beide Ziele parallel verfolgt und realisiert werden. Nichtsdestotrotz existieren auch 131 geprüfte Vorhaben im Ausgleichsraum und 13 im Wirkraum, die aus fachlicher Sicht als nicht empfehlenswert einzustufen sind. Insbesondere für diese Flächen sollte dem Stadtklima in den Abwägungsprozessen eine besondere Bedeutung beigemessen bzw. die Stadtentwicklung auf andere Flächen verlagert werden. Mit der Planungshinweiskarte Stadtklima liegt nun eine Grundlage vor, die Belange der Klimaanpassung qualifiziert in verschiedenen Planungsprozessen zu berücksichtigen.

Für alle vorgenommenen Einstufungen gilt, dass es sich um eine Vor-/Ersteinschätzung handelt. Die zugrunde liegenden Modellergebnisse basieren ausschließlich auf einem vorgegebenen Strukturtyp (Einzelhaus, Zeilenbebauung, Gewerbe u.a.). Detailinformationen konnten aufgrund der Vielzahl der Vorhaben nicht berücksichtigt werden bzw. waren zum Zeitpunkt der Datenaufbereitung auch noch nicht bekannt. Folglich ersetzt die Einstufung nicht vollumfänglich eine eingehendere Einzelfallprüfung im konkreten Planungsprozess.

3.2.6.4 DAS DIGITALE STADTKLIMAMANAGEMENTSYSTEM

Das Stadtklimamanagementsystem ist die digitale Version der Stadtklimaanalyse. Es beinhaltet sämtliche Produkte inkl. deren (Meta)Daten und steht der Verwaltung in Form von gelayouteten GIS-Projekten (esri ArcGIS 9.x und höher) zur Verfügung. Die Dateistruktur ist in Abb. 53 dargestellt.

Rasterdaten	17.05.2019 14:40	Dateiordner	
Vektordaten	17.05.2019 14:18	Dateiordner	
Bielefeld_Bewertungskarte_IST_Situation_Nacht.mxd	17.05.2019 13:54	ESRI ArcMap Doc...	1.090 KB
Bielefeld_Bewertungskarte_IST_Situation_Tag.mxd	17.05.2019 14:05	ESRI ArcMap Doc...	870 KB
Bielefeld_Bewertungskarte_Szenario2050_Nacht.mxd	17.05.2019 14:01	ESRI ArcMap Doc...	881 KB
Bielefeld_Bewertungskarte_Szenario2050_Tag.mxd	17.05.2019 14:08	ESRI ArcMap Doc...	715 KB
Bielefeld_BodennahesTemperaturfeld_IST_Situation.mxd	17.05.2019 13:08	ESRI ArcMap Doc...	521 KB
Bielefeld_BodennahesTemperaturfeld_Szenario2050.mxd	17.05.2019 13:10	ESRI ArcMap Doc...	520 KB
Bielefeld_GefühlteTemperatur_IST_Situation.mxd	17.05.2019 12:10	ESRI ArcMap Doc...	542 KB
Bielefeld_GefühlteTemperatur_Szenario2050.mxd	17.05.2019 12:07	ESRI ArcMap Doc...	623 KB
Bielefeld_Kaltluftproduktion_IST_Situation.mxd	17.05.2019 12:08	ESRI ArcMap Doc...	536 KB
Bielefeld_Kaltluftproduktion_Szenario2050.mxd	17.05.2019 12:08	ESRI ArcMap Doc...	534 KB
Bielefeld_Kaltluftvolumenstrom_IST_Situation.mxd	17.05.2019 12:09	ESRI ArcMap Doc...	539 KB
Bielefeld_Kaltluftvolumenstrom_Szenario2050.mxd	17.05.2019 12:09	ESRI ArcMap Doc...	639 KB
Bielefeld_Klimaanalysekarte_IST_Situation.mxd	17.05.2019 13:28	ESRI ArcMap Doc...	844 KB
Bielefeld_Klimaanalysekarte_Szenario2050.mxd	17.05.2019 13:42	ESRI ArcMap Doc...	846 KB
Bielefeld_Planungshinweiskarte_Gesamt.mxd	17.05.2019 14:20	ESRI ArcMap Doc...	1.381 KB

Abb. 53: Dateistruktur des digitalen Stadtklimamanagementsystems

Das Stadtklimamanagementsystem bietet gegenüber den reinen Kartendarstellungen (als Plot, PDF oder Bilddatei) einige Vorteile:

- Die komplexen flächenbezogenen Informationen können über einige Mausklicks direkt abgerufen werden
- Die Informationen können mit weiteren Daten (z.B. neuen Entwicklungsvorhaben) überlagert und über Geodatenverarbeitungsprozesse miteinander verknüpft werden
- Einige Informationen können bei Verfügbarkeit von Aktualisierungen direkt ersetzt werden (z.B. sozio-demographischen Daten)

Kernelelement des Stadtklimamanagementsystems ist die digitale Planungshinweiskarte. Deren flächenhafte Darstellungen basieren auf einem sog „Super-Shape“, in dem alle relevanten Informationen zu jeder der über 18.000 Teilflächen enthalten sind. Insgesamt umfasst das Super-shape mehr als 50 Einzelinformationen zu den Kategorien Eingangsdaten für die Modellrechnungen (u.a. Nutzung, Versiegelungsgrade, Strukturhöhe), Ergebnisse der Modellrechnungen (u.a. Wind- und Temperaturdaten), Bewertungsstufen aus den Bewertungskarten und der Planungshinweiskarte und sonstige (insbesondere sozio-ökonomische) Sachdaten (Abb. 54).

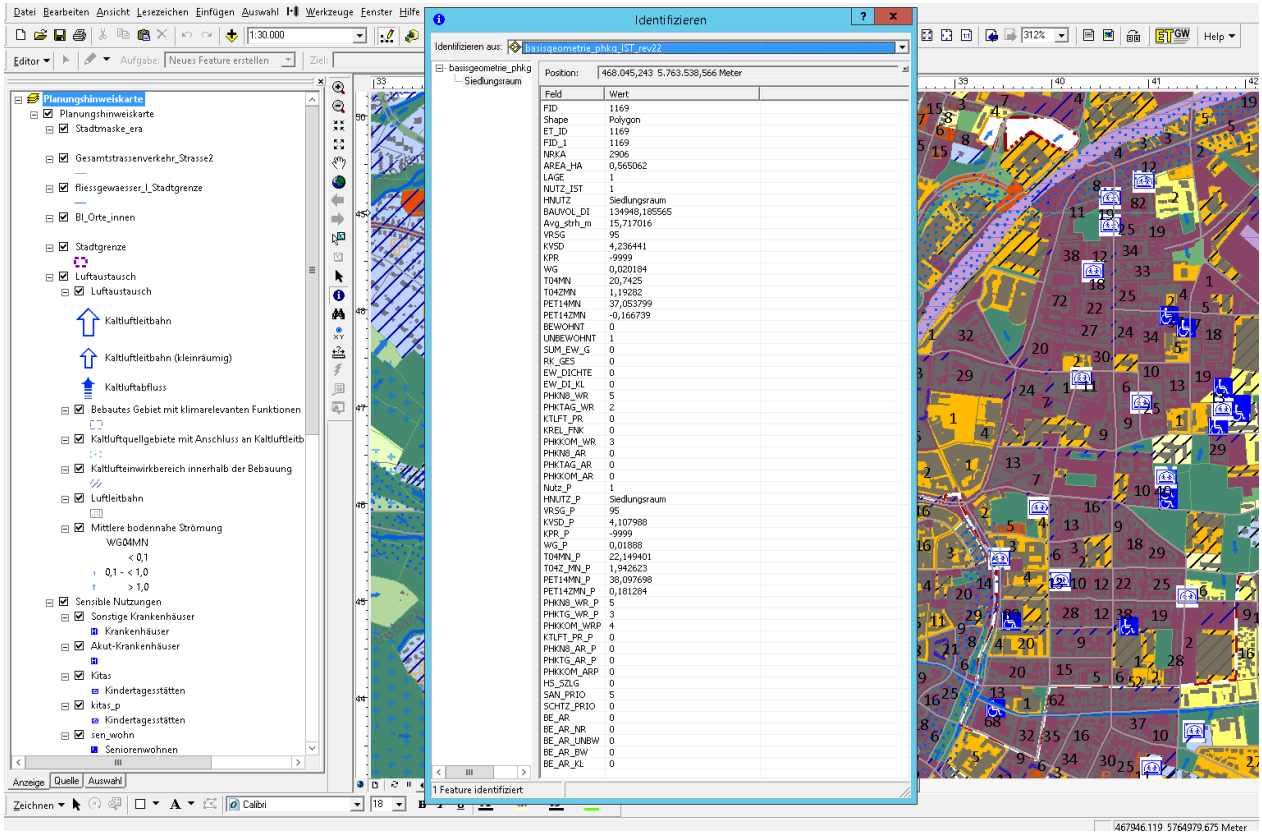


Abb. 54: Screenshot aus der digitalen Planungshinweiskarte innerhalb des Stadtklimamanagementsystems mit Auszug aus dem „Super Shape“

3.3 BETROFFENHEIT DURCH STARKREGENEREIGNISSE

3.3.1 AUFBEREITUNG DER GRUNDLAGENDATEN

In die Erstellung eines digitalen Oberflächenmodells (DOM) der Stadt Bielefeld, das die Basis der numerischen Modellierung und damit der Starkregengefahrenkarte ist (s. Kapitel 3.3.3), fließen eine große Zahl digitaler Daten aus verschiedenen Quellen ein, die nachfolgend beschrieben sind.

3.3.1.1 TOPOGRAPHIE IM STADTGEBIET

Die Topographie des Bielefelder Stadtgebietes wird geprägt durch für eine Großstadt vergleichsweise deutliche Höhenunterschiede. Hauptsächlich bedingt sind diese Höhenunterschiede durch den quer durch das Stadtgebiet verlaufenden Höhenrücken des Teutoburger Waldes, der das Stadtgebiet in zwei Teile gliedert, die zu unterschiedlichen Landschaften gehören. Der nördliche Teil Bielefelds wird zum Ravensberger Hügelland gerechnet und weist entsprechend größere Höhenunterschiede aus, der südliche Teil dagegen ist Teil der flachen Westfälischen Bucht.

Insbesondere stellt der Teutoburger Wald die Wasserscheide zwischen Weser und Ems dar. Der höchste Punkt im Stadtgebiet liegt mit 320 m NHN auf der Bergkuppe „Auf dem Polle“ in Lämershagen, der niedrigste an der Aa an der Grenze nach Herford mit 71 m NHN.

Den wichtigsten Datensatz bildet das digitale Geländemodell (DGM) des Stadtgebietes. Die diesem Modell zu Grunde liegenden Daten werden durch eine lasergestützte Höhenmessung (Laseraltimetrie) von einem Flugzeug aus erfasst. Durchgeführt werden solche Überfliegungen regelmäßig durch das Land NRW, die Höhendaten werden bei Geobasis.NRW (BR Köln) vorgehalten.

Aus den Höhendaten lässt sich mit einem geographischen Informationssystem (GIS) ein DGM errechnen (Abb. 55). Das DGM stellt ein gleichmäßiges Raster der Gitterweite 1 m dar. Um dieses dann den realen Verhältnissen in Bezug auf die Abflussbedingungen von Niederschlagswasser bei Starkregen so stark wie möglich anzunähern, sind eine Reihe von Erweiterungen und Nachbearbeitungen durchgeführt worden.

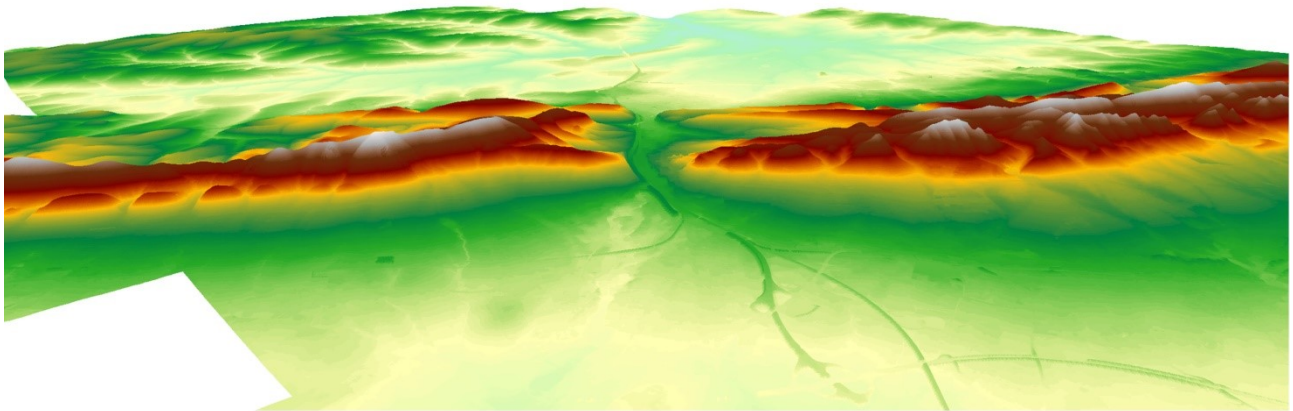


Abb. 55: DGM (Blickrichtung Nordost)

3.3.1.2 GEBÄUDE UND NUTZUNGEN IM STADTGEBIET

Dem DGM wurde eine aktuelle Ausspielung des Gebäudebestandes aus dem automatisierten Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) zur Darstellung der Gebäude hinzugefügt. Dabei wurden bestimmte Gebäudeteile, die in Bezug auf den Abfluss des Niederschlagswassers relevant sein können, berücksichtigt. Hofdurchfahrten, Arkaden oder überbaute Straßen, die von Niederschlagsabflüssen durchströmt werden können, wurden beispielsweise nicht in das DOM übernommen (Abb. 56).

Abb. 56: Innenstadt von Bielefeld, östlich des Hauptbahnhofs. Grau: undurchströmbare Gebäudeteile, rot: Gebäudeteile, die nicht in das DOM übernommen wurden, da sie keine Fließhindernisse darstellen

Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit breitet sich Niederschlagswasser auf der Oberfläche unterschiedlich schnell aus. Für die auf der Starkregengefahrenkarte letztlich erscheinenden maximalen Wasserstände hat dies, im Zusammenwirken mit der Topographie, möglicherweise einen deutlichen Einfluss. Um die unterschiedlichen Oberflächenarten, die in Bielefeld vorkommen im Modell abzubilden, wird die Flächennutzung, die im ALKIS hinterlegt ist, herangezogen. Nach einem empirischen Verfahren werden btimmten Nutzungsklassen Oberflächenrauheiten zugeordnet (Abb. 57). Dadurch fließt das Wasser im Modell beispielsweise auf Straßen und Plätzen schneller als auf landwirtschaftlichen Nutzflächen.

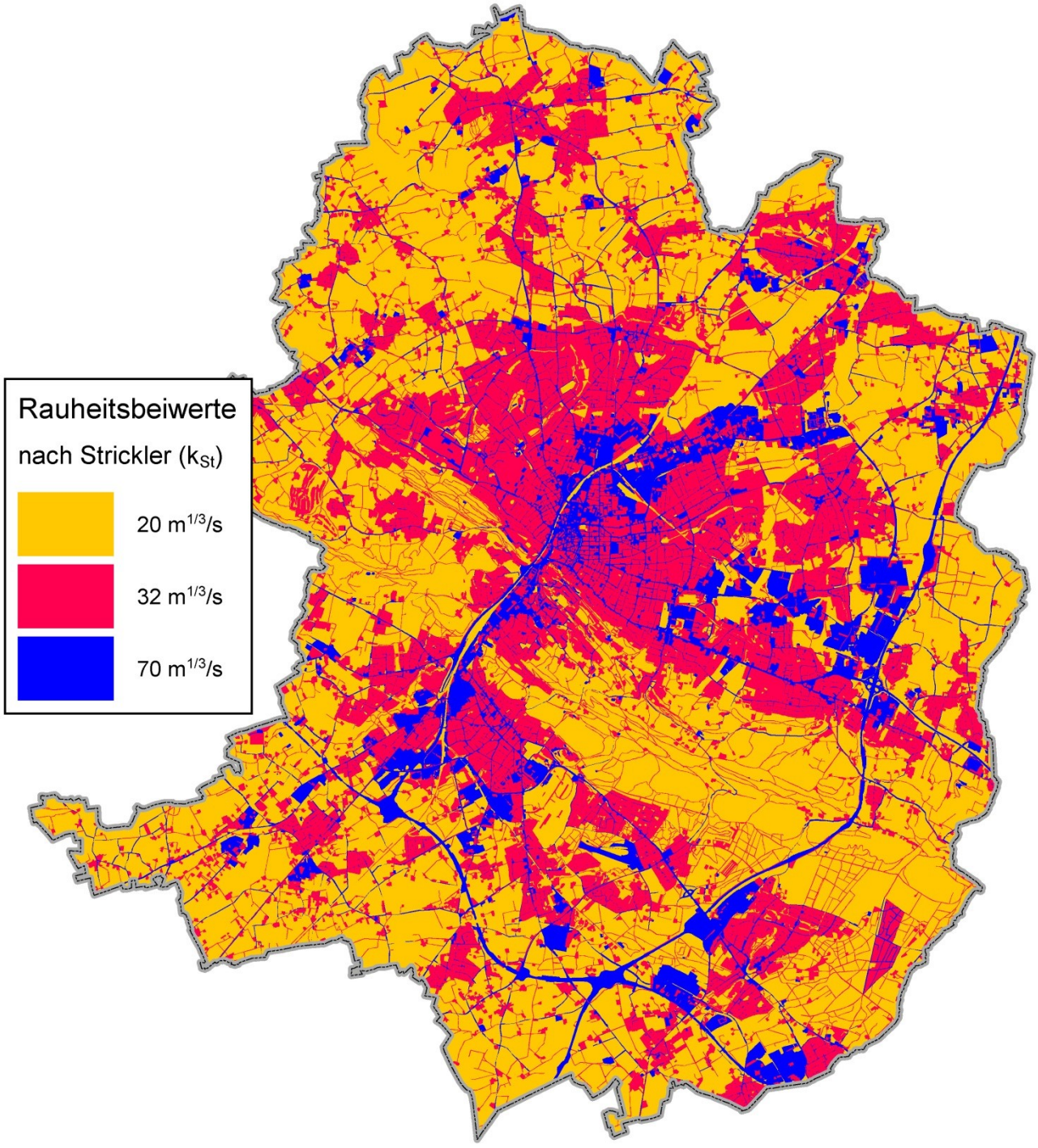


Abb. 57: Oberflächenrauheiten auf der Basis von ALKIS-Nutzungsklassen

3.3.1.3 GEWÄSSERNETZ UND VERROHRUNGEN

Die natürliche Entwässerung Bielefelds durch das Gewässernetz wird großräumig durch die klare topographische Trennung des Gebietes durch den Teutoburger Wald sowie die weiteren morphologischen Gegebenheiten im Stadtgebiet vorgegeben. Die südlich des Teutoburger Waldes gelegenen Stadtteile werden dabei durch die auf Bielefelder Stadtgebiet entspringende Ems-Lutter und deren Nebenbäche entwässert. Die nördlich des Teutoburger Waldes gelegenen Stadtteile werden durch die im Bereich des Bielefelder Passes beginnende Weser-Lutter und vor allem dem am Teutoburger Wald in Hoberge entspringenden Johannisbach (Oberlauf der Aa) entwässert.

Dieses Gewässernetz stellt auch die Hauptfließwege dar, entlang derer bei Starkregen das Niederschlagswasser abfließt. Diese Fließwege verlaufen jedoch in der Realität nicht immer an der Geländeoberfläche, sondern unterirdisch durch die in Bielefeld zahlreichen verrohrten Gewässerabschnitte und sind damit gewissermaßen Teil des Kanalnetzes. Auch „schlafende Gewässer“, die nur bei extremem Regen Wasser führen, sind in der Analyse zu betrachten. Eine realitätsnahe Modellierung des Oberflächenabflusses erfordert eine Integration der Verrohrungen in das Modell. Aufstauungen oberhalb der Verrohrungen und Überflutungen unterhalb werden somit besser abgebildet. (Abb. 59). Aus diesem Grund wurden aus der Kanalnetzdatenbank des Umweltbetriebes Bielefeld sowie aus Daten des Umweltamtes Bielefelds alle verfügbaren Daten zu verrohrten Gewässerabschnitten übernommen und dem Modell hinzugefügt. Insgesamt wurden 1.780 verrohrte Gewässerabschnitte eingearbeitet (Abb. 60).

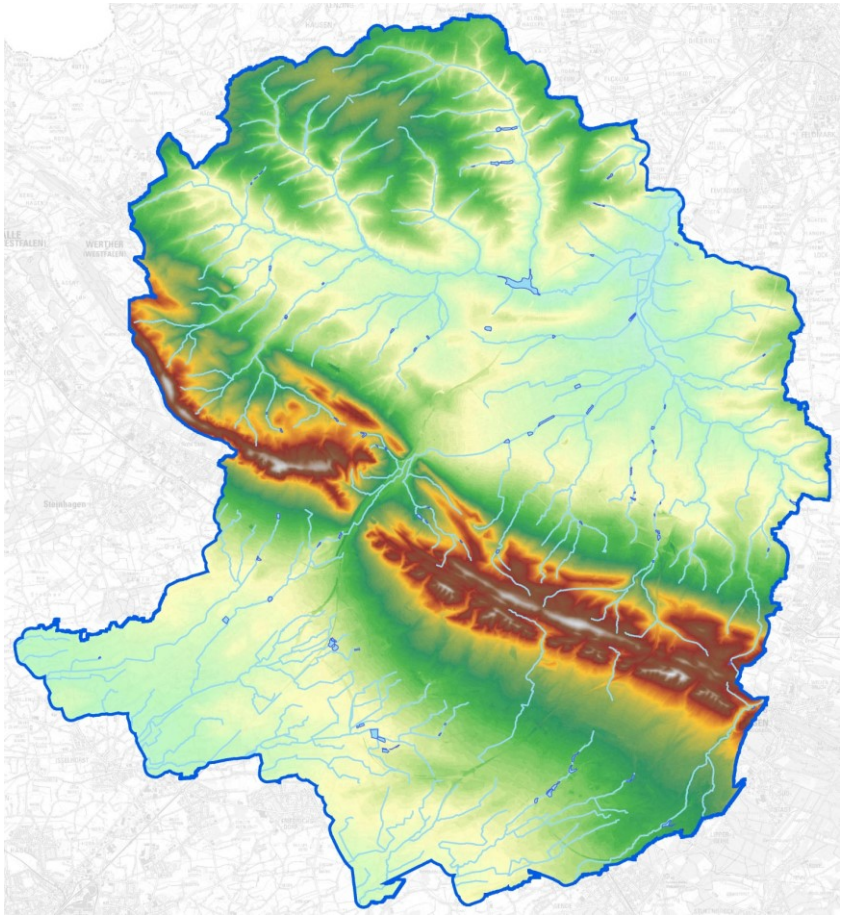


Abb. 58: Das natürliche Gewässernetz Bielefelds

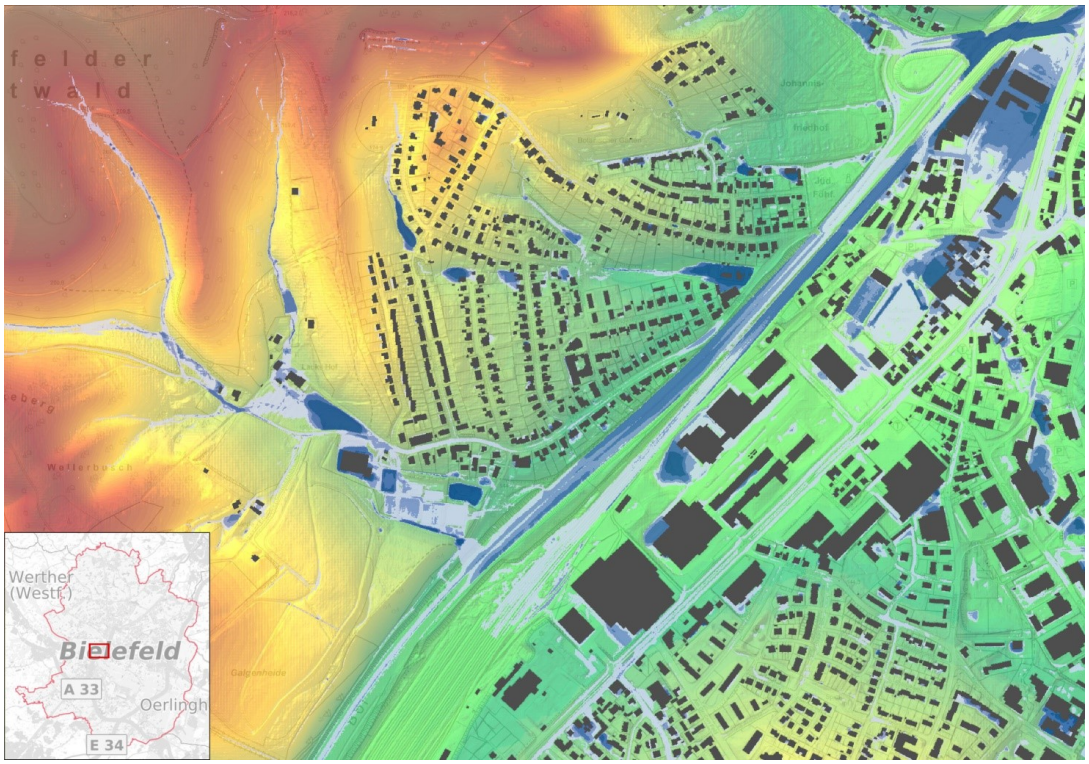


Abb. 59: Unrealistische Aufstauungen, die sich durch nicht im Modell eingearbeitete Gewässerverrohrungen einstellen würden

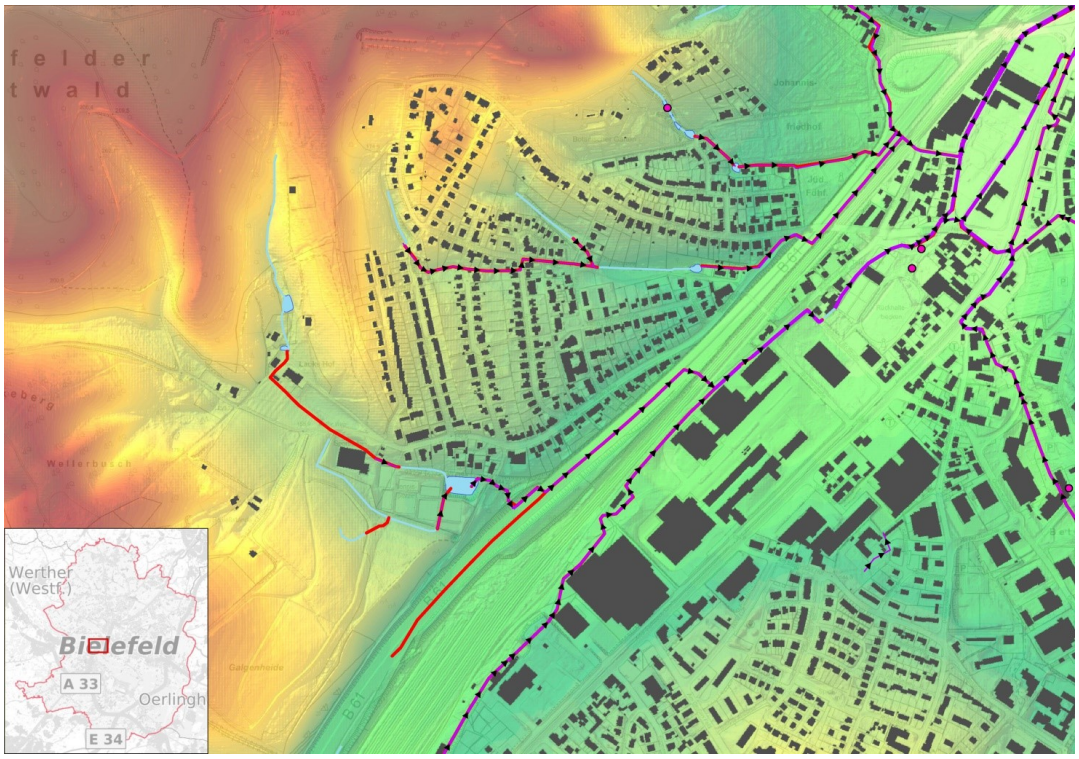


Abb. 60: Darstellung der entsprechenden verrohrten Gewässerabschnitte

3.3.1.4 DURCHLÄSSE IM GELÄNDEMODELL

Neben Gewässerverrohrungen, mit denen die Durchleitung von Niederschlagswasser durch eine Verrohrung simuliert wird, ist es an vielen Stellen des Oberflächenmodells notwendig, Durchlässe einzuarbeiten, durch die Wasser dann oberirdisch – der Realität entsprechend – fließen kann. Dies ist häufig an Bahn- oder Straßendämmen der Fall, unter denen Straßen oder Gehwege geführt werden. Diese sind in vielen Fällen nicht in den DGM-Daten des Landes enthalten. Für das DOM Bielefelds wurden 179 Durchlässe berücksichtigt.

Abb. 61: Durchlässe in einem Bahndamm (rote Linien)

3.3.2 METHODIK ZUR MODELLIERUNG DES OBERFLÄCHENABFLUSSES UND ERMITTLUNG DER FLIESSWEGE

Die topographische Analyse stellt nur Fließwege dar, die sich aus der Geländeform ergeben und dient einer ersten Orientierung. Mit der Modellierung wird auf Grundlage des DOM Bielefeld (s. Abschnitt 3.2.1) errechnet, welche niederschlagsabhängigen Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten resultieren können (s. Abschnitt 3.2.2.1 und 3.2.2.2) und wie sich das Wasser an der Oberfläche ausbreitet (HSB, 2017). Das Kanalnetz wird bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

3.3.2.1 2D-SIMULATION DES OBERFLÄCHENABFLUSSES

Für die Berechnung der Oberflächenabflüsse wurde das Programm FLOW$^+$ eingesetzt. Diese Software kann Wasserstandsänderungen und Wassermassenabflüsse auf der Oberfläche in Abhängigkeit von einer Niederschlagsbelastung abbilden.

FLOW$^+$ simuliert die hydrodynamischen Abflussverhältnisse auf der Oberfläche in zwei Dimensionen. Grundlage bilden die zweidimensionalen Flachwassergleichungen (auch Saint-Venant-Gleichungen genannt). Diese bestehen aus der Massenerhaltungsgleichung und den Impulserhaltungsgleichungen in beiden Raumrichtungen. Durch numerische Lösungen dieser Gleichungen werden die Strömungen und die jeweiligen Wasserstände auf der Geländeoberfläche rechnerisch ermittelt (s. Abb. 62).

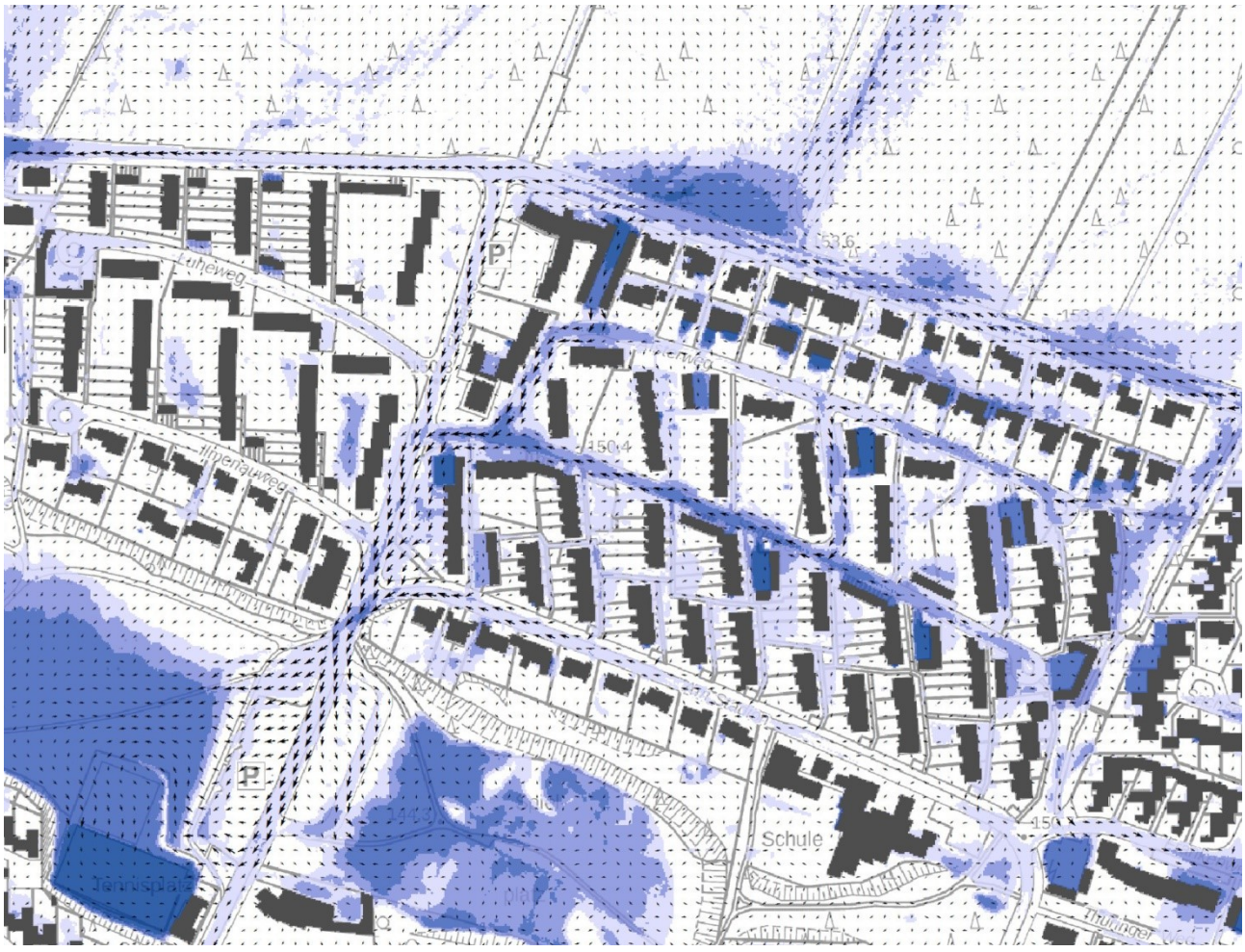


Abb. 62: Beispielhafter Ausschnitt der Starkregengefahrenkarte für Bielefeld,: maximale Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten als Ergebnisse der 2D-Simulation

Bei der Modellberechnung mit FLOW$^+$ ist die Abflusskapazität des vorhandenen Kanalnetzes nicht berücksichtigt. Die Berechnungsergebnisse stellen folglich einerseits einen theoretischen Maximalabfluss auf der Oberfläche dar, andererseits können in Teilgebieten aber auch die Oberflächenabflüsse sowie die Wasserstände auf dem Gelände unterschätzt werden, wenn z. B. durch überlastete Kanalabschnitte zusätzliche Wasservolumina aus anderen Einzugsgebieten an die Oberfläche austreten. Dieses Szenario ist insbesondere bei Senken mit geringem oberirdischem Einzugsgebiet relevant.

Die Lösungen der Flachwassergleichungen in der 2D-Simulation werden schrittweise für aufeinanderfolgende Zeitschritte berechnet. Zentral ist hier das sog. Courant-Kriterium, das einen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser bewegt, und der Auflösung des DOM-Gitters herstellt. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Wassers, etwa durch stärker ausgeprägte Morphologie des Oberflächenmodells, durch höhere Niederschlagsintensität bei gegebener Gitterweite oder umgekehrt durch abnehmende DOM-Gitterweite (höhere Auflösung) bei gegebener Geschwindigkeit muss der Zeitschritt verringert werden, um das Courant-Kriterium zu erfüllen.

Es werden drei Lastfälle für Starkregen als statistisch ermittelte Modellregen erstellt. Zwei dieser Regen sind sogenannte Eulerregen mit einem normierten Aufbau der zugrundeliegenden 5-Minuten-Summenwerte. Diesen liegt die Niederschlagsstatistik des KOSTRA-Atlas (KOSTRA = Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung) des Deutschen Wetterdienstes (1950 bis 2010) zugrunde. Die Eulerregen werden jeweils in der Dauerstufe 60 Minuten für die Wiederkehrzeiten 30 und 100 Jahre errechnet. Die Niederschlagshöhen ergeben sich zu 39,3 mm (T = 30a) und 47,8 mm (T = 100a) (Abb. 63).

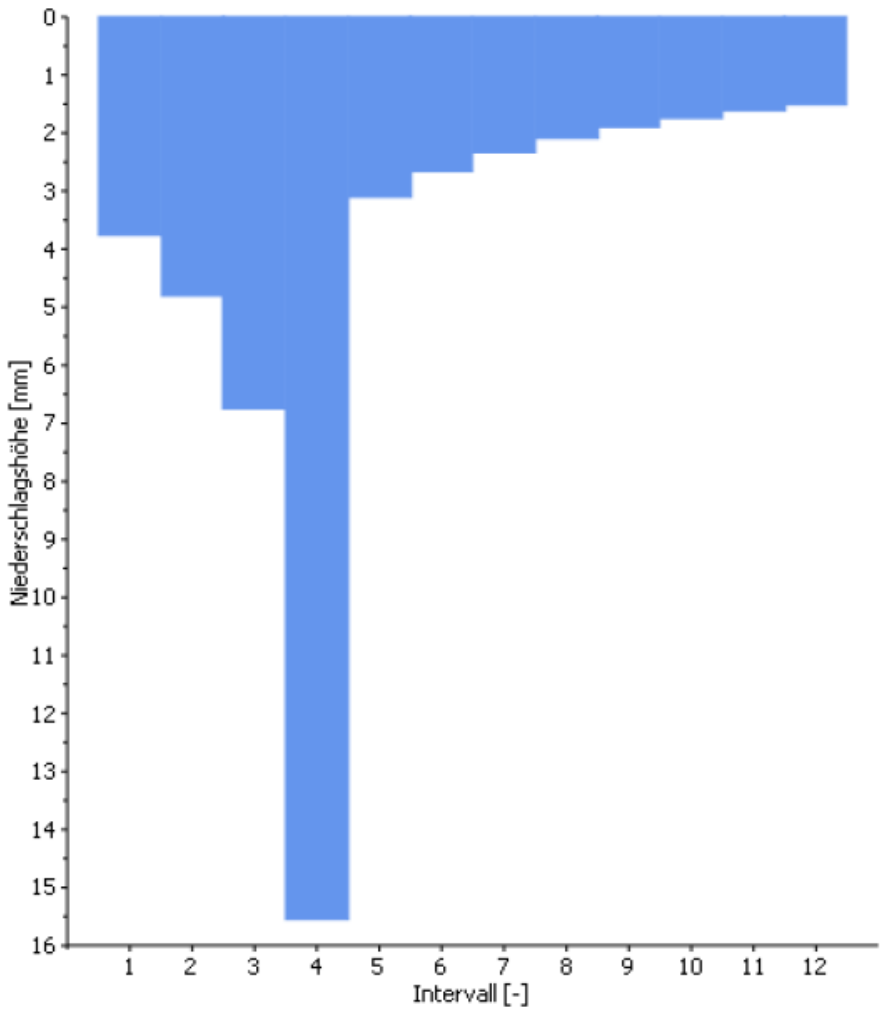


Abb. 63: Niederschlagsverteilung eines 100-jährlichen Starkregens gemäß KOSTRA-DWD 2010R

Die Bezugsstatistik, denen die Daten KOSTRA-DWD 2010R (Zeitraum 1951 - 2010) zu Grunde liegen, lassen lediglich Einstufungen von Wiederkehrzeiten bis 100 Jahren zu. Um Niederschlagsereignisse, deren Niederschlagshöhen oberhalb dieser statistischen Wiederkehrzeit liegen, hinsichtlich ihrer Stärke einstufen und zu Ereignissen diesseits der 100-jährlichen Wiederkehrzeit in Bezug setzen zu können, wurde ein Starkregenindex (SRI) mit einer Skala, die von 1 bis 12 reicht, entwickelt (Schmitt et al., 2018) (Abb. 64). Auf dieser Skala sind Starkregenereignisse hinsichtlich ihrer Wiederkehrzeit gemäß KOSTRA-DWD mit den Werten von 1 bis 7 eingruppiert, Ereignisse mit noch höheren Niederschlagshöhen werden die Werte 8 bis 12 zugewiesen. Diese hohen Indexwerte stellen hinsichtlich ihrer Niederschlagshöhe Vielfache des 100-jährlichen Niederschlags dar.

Starkregenindex SRI [-]	1	1	2	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kategorie	Starkregen				intensiver Starkregen				außergewöhnlicher Starkregen		extremer Starkregen				
Wiederkehrzeit T_n [a]	1	2	3	5	10	20	25	30	50	100	> 100				

Abb. 64: Starkregenindices (obere Reihe) sowie dazugehörige Kategorisierungen (mittlere Reihe) und Wiederkehrzeiten (untere Reihe) von Starkregen gemäß dem Starkregenindexkonzept SRI12 nach Schmitt et al. (2018)

In der „Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement“ (11/2018) wird empfohlen, neben einem „seltenen“ und einem „außergewöhnlichen“ Ereignis, die sich aus vorliegenden Statistiken (hier KOSTRA-DWD 2010R) ergeben, auch ein „extremes“ Ereignis zu simulieren. Dabei wird ein Modellregen von 60 Minuten Dauer und einer Niederschlagshöhe von 90 mm vorgeschlagen (Blockregen = gleichmäßige Regenintensität über das Gesamtereignis). Dieser Vorschlag wird für die Erstellung der Starkregengefahrenkarte für Bielefeld aufgegriffen. Der dritte Modellregen, der den 2D-Simulationen zugrunde liegt, ist daher ein 60-minütiger Starkregen mit der Niederschlagshöhe von 90 mm.

3.3.2.2 TOPOGRAPHISCHE ANALYSE

Anhand des DOM ist es möglich, die theoretischen Fließwege, die sich auf der Oberfläche des Geländes vom höchsten zum niedrigsten Punkt ausbreiten, rechnerisch zu ermitteln (D8-Algorithmus). Dabei gibt es keine ununterbrochene Verbindung zwischen diesen beiden Punkten des Oberflächenmodells, sondern eine Vielzahl „abflussloser Senken“ auf dem Weg bergab. Die Einzugsgebiete, auch Wirkungsräume, der Senken werden durch „Wasserscheiden“ begrenzt. Diese drei Elemente (Fließwege, Senken und Wasserscheiden) sind die Ergebnisse der topographischen Analyse (Abb. 65).

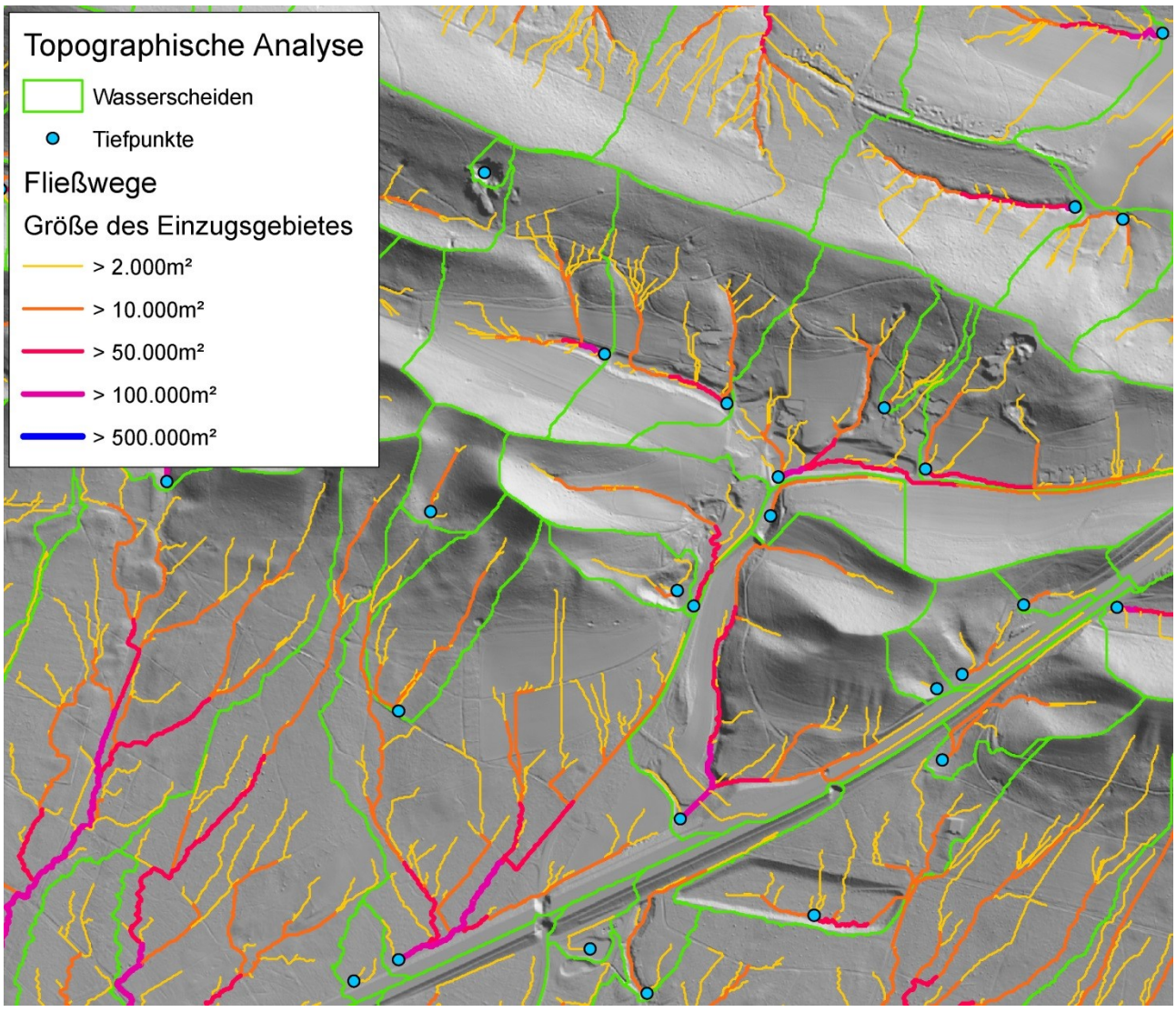


Abb. 65: Ergebnis-Elemente der topographischen Analyse: Fließwege, Wasserscheiden und Tiefpunkte (Ausschnitt zeigt den nördlichen Teil des Stadtbezirks Sennestadt, oben: Teutoburger Wald, unten: Verlauf der BAB 2)

Mit dem DGM wurde zudem das hydrologische Einzugsgebiet abgegrenzt und so ermittelt, aus welchen angrenzenden Kommunen Wasser in der Oberflächensimulation in das Bielefelder Stadtgebiet fließen kann (Abb. 66).

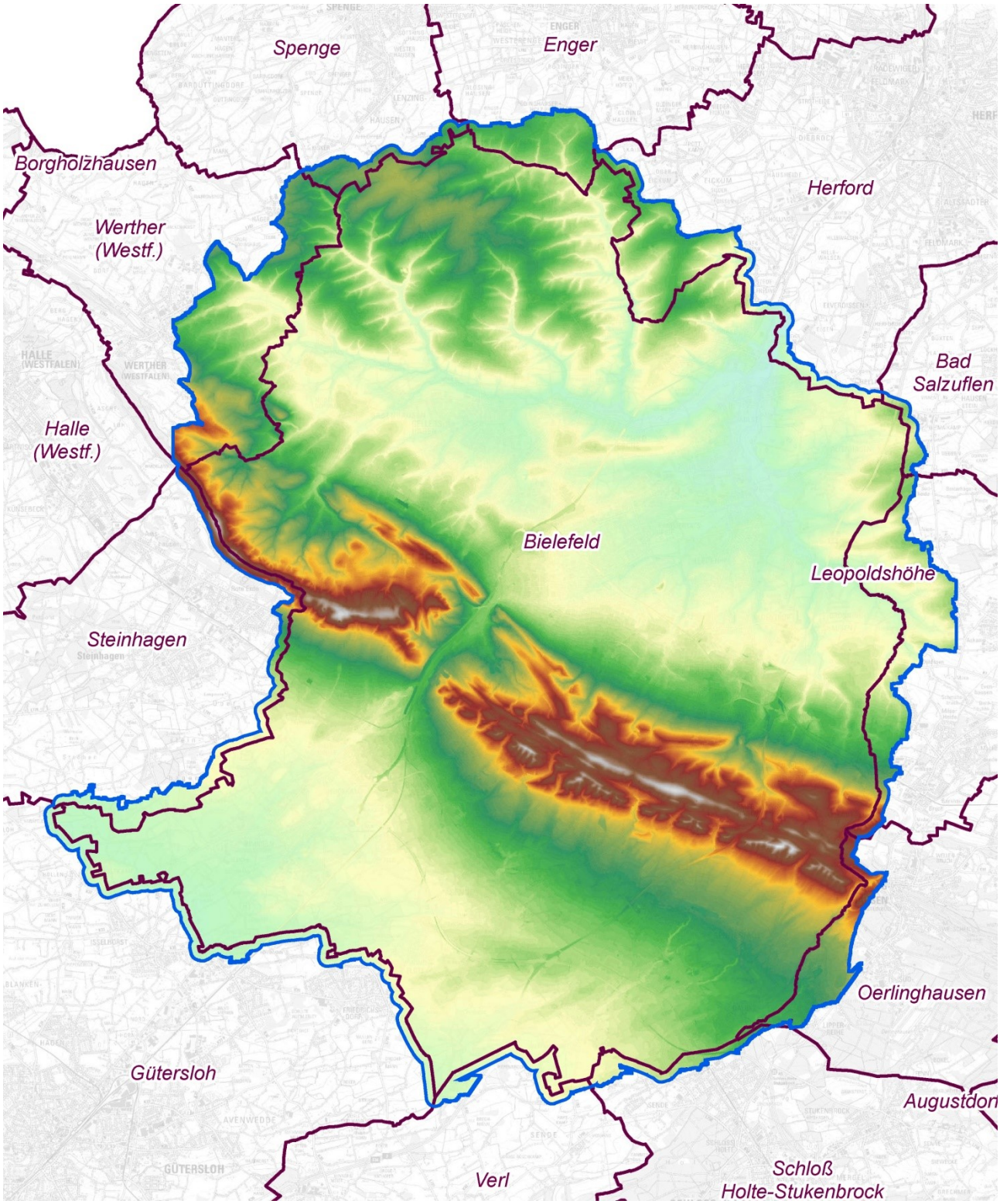


Abb. 66: Simulationsgebiet = hydrologisches Einzugsgebiet

3.3.3 STARKREGENGEFAHRENKARTE BIELEFELD

Das zentrale Ergebnis und Werkzeug der räumlichen Betroffenheitsanalyse in Bezug auf Starkregen ist die Starkregengefahrenkarte. Diese Karte stellt Überflutungsschwerpunkte dar, die sich bei der Simulation eines Starkregens ergeben.

Es wurden insgesamt drei verschiedene Starkregen simuliert, die sich in ihrer Niederschlagshöhe, aber auch in ihren zeitlichen Verläufen, unterscheiden. In Tabelle Tab. 18 sind die wichtigsten Daten zu den simulierten Starkregen und den sich ergebenden Abflüssen im Simulationsmodell zusammen gestellt.

Tab. 18: Simulationsparameter der drei simulierten Starkregen-Szenarios

	min	mm	m³	
Euler Typ II, T=30 a	60	39,3	11.878.499	
Euler Typ II, T=100 a	60	47,8	14.455.002	
Blockregen	60	90,0	27.216.530	

Da das Volumen des im Modell hinzugefügten Niederschlagswassers nicht durch Versickerung, Verdunstung oder andere Prozesse vermindert wird, wird das Wasser, das zunächst gleichmäßig auf die Oberfläche trifft, bedingt durch Geländegefälle und der jeweils angetroffenen Rauheit über die Dauer der Simulationszeit auf der Geländeoberfläche verteilt. Für die sich ausbildenden maximalen Wasserstände ist dabei neben der Niederschlagsmenge auch der zeitliche Verlauf, also die Niederschlagsintensitäten in den unterschiedlichen Abschnitten des simulierten Niederschlagsereignisses wichtig.

Bei den Eulerregen kommt es während des vierten von insgesamt zwölf 5-Minuten-Intervallen zu maximalen Niederschlagsintensitäten von 12,7 mm / 5 min beim 30-jährlichen Starkregen, bzw. 15,6 mm / 5 min beim 100-jährlichen Starkregen. Hierbei kommt es innerhalb dieses Intervalls zu vergleichsweise hohen Abflüssen an der Oberfläche, die lokal zu höheren Wasserständen führen können, als wenn die gleiche Wassermenge über einen längeren Zeitraum auf der Oberfläche zum Abfluss kommt.

Beim Blockregen kommt dagegen zwar insgesamt mehr Wasser zum Abfluss, es treten aber während des Ereignisses nicht so extreme Intensitäten auf wie beim Eulerregen. Dieses Szenario simuliert ein Niederschlagsgeschehen mit konstanten hohen Intensitäten (7,5 mm / 5 min) über den gesamten 60-Minuten-Zeitraum.

Die Ergebnisse der drei Simulationen zeigen, im Rahmen der Randbedingungen des Modells, Überflutungen an, die sich im Stadtgebiet von Bielefeld bei Niederschlagsbelastungen durch drei Starkregen verschiedener Stärke einstellen würden.

Das Wissen um die räumliche Betroffenheit ist dabei nur der erste Schritt, um Maßnahmen zur Vorsorge, bzw. zur Schadensbegrenzung zu planen. Eine zentrale Rolle bei der Erarbeitung einer gesamtstädtischen Konzeption spielt dabei die Frage der Zuständigkeit für solche Maßnahmen. Das technische Regelwerk, das die Bemessung des Kanalnetzes sowie weiterer technischer Einrichtungen der Entwässerung, wie Rückhaltebecken und andere, vorsieht, ist für „gewöhnliche“ Starkregen bis zu einer etwa 5-jährlichen Wiederkehr-

zeit, ausgelegt. Für solche Ereignisse muss der Kanalnetzbetreiber dafür Sorge tragen, dass es nicht zu Überstau von Niederschlagswasser kommt.

Bei Ereignissen mit noch höherer Intensität („intensive Starkregen“) liegt dann der Schwerpunkt auf einer möglichst schadensfreien Ableitung des Wassers, das vom Kanalnetz nicht mehr abgeleitet werden kann, bzw. dieses gar nicht mehr erreicht. Hier beginnt ein Übergangsbereich, ab dem die kommunalen Akteure (Feuerwehr, Katastrophenschutz, Anwohner) eine gemeinschaftliche Verantwortung übernehmen müssen.

„Außergewöhnliche Starkregen“ ab einer Wiederkehrzeit von 50 Jahren stellen dann vollends Phänomene dar, bei denen die Schadensbegrenzung im Sinne des Katastrophenschutzes im Mittelpunkt steht.

In Abb. 67 sind diese Zusammenhänge schematisch zusammenfassend dargestellt.

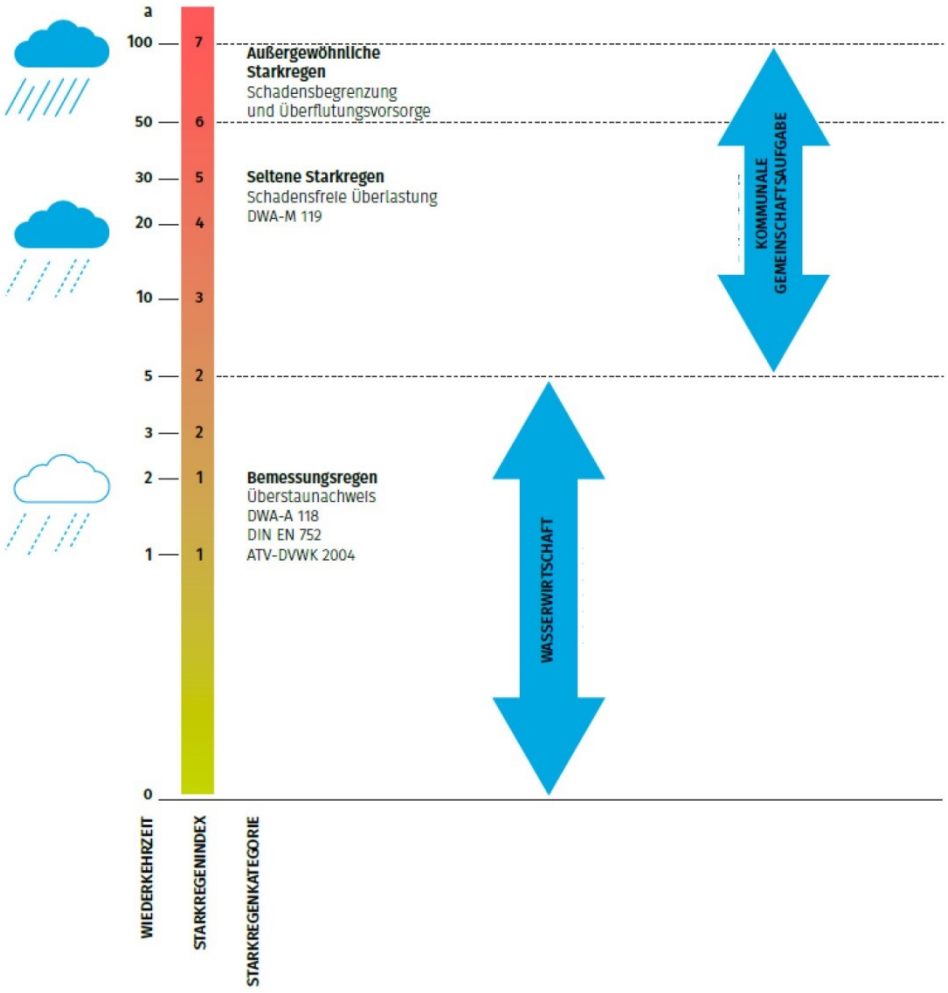


Abb. 67: Nachweise gemäß entsprechender Regelwerke und Zuständigkeiten in Bezug auf Starkregenereignisse unterschiedlicher Stärke (SAMUWA 2016)

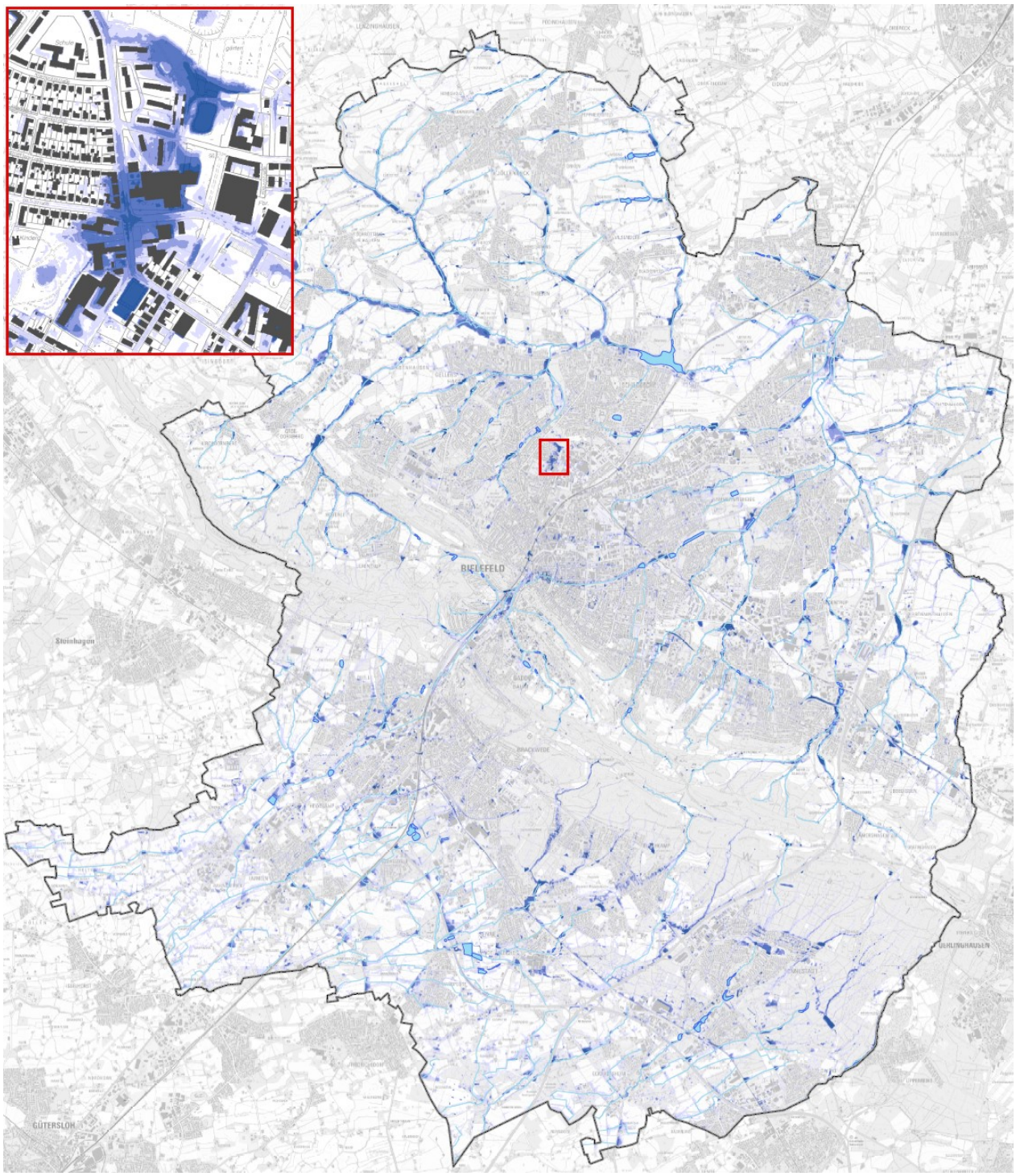


Abb. 68: Übersichtsplan der Starkregengefahrenkarte für den 100-jährlichen Niederschlag. Die Überflutungsflächen sind vom Gewässernetz Bielefelds überlagert.

Nach DWA-M 119 stellen „urbane Gefahrenkarten“ definitionsgemäß Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten dar. Daher wurden bei der Simulation der Starkregen als Ausgabeparamter neben den maximalen Wasserständen auch die maximalen Fließgeschwindigkeiten erzeugt. Die Art der Darstellung ist dabei aus Gründen der Lesbarkeit einer solchen Kartendarstellung in starkem Maße vom gewählten Maßstab abhängig, da es sich nicht um flächenhafte Darstellungen wie bei Überflutungsflächen handelt, sondern um ein Vektorfeld, bei dem je nach Maßstab der Darstellung über eine verschieden große Fläche Durchschnittswerte ermittelt werden (Beispiel in Abb. 69).

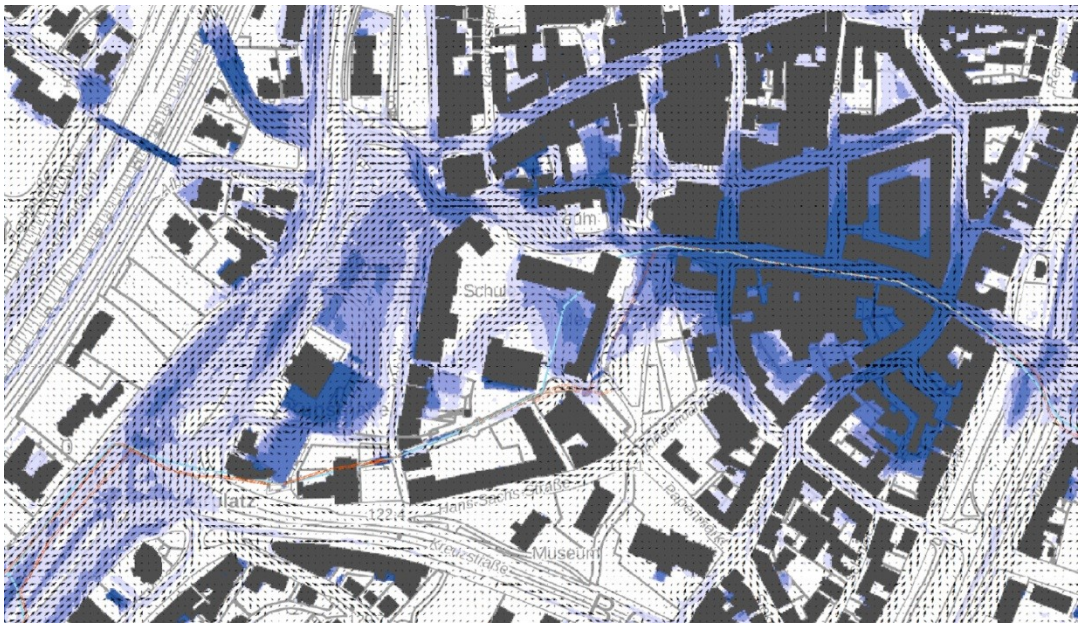


Abb. 69: Beispielhafte Abbildung der Überflutungen bei einem 100-jährlichen Starkregen, die Fließpfeile zeigen jeweils einen gemittelten Wert der Fließrichtung für einen 5 x 5 Meter großen Bereich an (die relative Größe der Pfeile zeigt die maximale Fließgeschwindigkeit an).

Bei der Verteilung der Überflutungen ist das auffälligste Phänomen, dass die Verläufe aller wesentlichen durch das Stadtgebiet verlaufenden natürlichen Gewässer entlang ihrer Achsen sowie auch die entlang dieser Achsen angeordneten Teiche und Seen durch Überflutungen mit teilweise deutlichen maximalen Wasserständen nachgezeichnet werden.

Bei der Simulation kommt dadurch den Gewässerdurchlässen, bzw. den verrohrten Abschnitten der Gewässer eine Schlüsselstellung zu. An diesen Stellen kommt es teilweise zu deutlichen Aufstauungen, wobei in diesen Bereichen auch angrenzende Flächen überflutet werden können. Wie im Einzelnen die Parameter der am DOM vorgenommenen Anpassungen, insbesondere die Fließquerschnitte und die Gefälle der Durchlässe bzw. Verrohrungen angesetzt werden, stellt neben der angesetzten Niederschlagsbelastung die wichtigste Einflussgröße bei der Modellierung dar.

Die zentrale Aussage der Starkregengefahrenkarte ist die Angabe der zu erwartenden maximalen Wasserstände an einem Ort. Neben den Wasserständen können aber auch die Strömungsgeschwindigkeiten für die Gefährdung von Personen und Infrastruktur und möglicherweise auch für eindringendes Wasser in Gebäude von entscheidender Bedeutung sein. Neben den maximalen Wasserständen werden bei den Simulationen auch Fließrichtungen und -geschwindigkeiten ermittelt. Diese bilden einen Bestandteil der übergebenen Ergebnisdaten.

3.3.4 RISIKOKARTE

3.3.4.1 INTENTION DER RISIKOANALYSE

In der Risikoanalyse werden die Erkenntnisse zur Gefährdung (durch Überflutung im Starkregenfall) mit den Erkenntnissen zum Schadenspotential, insbesondere an sensibler Infrastruktur, miteinander verknüpft. Das Vorgehen entspricht dem Merkblatt DWA-M 119 (11/2016). Im Ergebnis werden dadurch das Auftreten und die Verortung von Überflutungsrisiken bei Starkregen erkennbar.

Dies soll der Sensibilisierung der Akteure, hier v. a. den Trägern der öffentlichen und kritischen Infrastruktur, dienen und einen ersten Schritt hin zu einer objektbezogenen Risikobewertung darstellen. Eine objektbezogene Darstellung eines konkreten Risikos kann hierdurch noch nicht erfolgen, da detaillierte Daten zum Schadenspotential der betroffenen Gebäude oder Liegenschaften nicht in diese Analyse eingehen können bzw. nicht vorhanden sind. Hierzu ist in nachfolgenden Schritten die Auswertung der rechnerisch ermittelten maximalen Wasserstände spezifisch für jedes betroffene Objekt durchzuführen (Jeskulke et al. 2018).

3.3.4.2 METHODIK DER RISIKOANALYSE

In der im Projekt durchgeführten Risikoanalyse sollte eine differenzierte räumliche Darstellung des Risikos von Überflutungsschäden in Bielefeld erarbeitet werden. Hierbei lag der Schwerpunkt auf sensiblen kommunalen bzw. kritischen Infrastruktureinrichtungen, dazu zählen insbesondere zentrale Einrichtungen von Versorgungsnetzen (Gas, Fernwärme, Elektrizität und Wasser) sowie öffentliche Einrichtungen wie Krankenhäuser, KiTas und Schulen. Mit diesen Daten sollten im Zusammenhang mit den Ergebnissen der 2D-Oberflächenabflusssimulation Risikokartendarstellungen erzeugt werden. Die Datengrundlage der Überflutungsgefährdung waren dabei die maximalen Überflutungstiefen im höchsten der drei simulierten Lastfälle (h_N = 90 mm). Diese Tiefen werden auf der Risikokarte so dargestellt wie auf der entsprechenden Starkregengefahrenkarte.

Die in die Risikoanalyse eingeflossenen Daten wurden in einer Geodatenbank zusammengetragen, um sie mit den Überflutungsflächen überlagern zu können. Im Folgenden werden die verwendeten Grundlagendaten beschrieben.

3.3.4.3 SENSIBLE INFRASTRUKTUREINRICHTUNGEN

Sensible Infrastruktureinrichtungen wurden folgenden Datenquellen entnommen:

- Daten der Stadtwerke
- Daten der Stadt Bielefeld
- Datenbank der Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwS-Anlagen)

Daten zu Einrichtungen der Stadtwerke Bielefeld wurden in mehreren Datenübergaben in Form von Excel-Tabellen und AutoCAD-Daten bereitgestellt. Hierbei wurden zu den Themenfeldern Gas (Druckregelanlagen, Messschränke, u.a.), Elektrizität (Umspannwerke, Netzstationen, Sonderabnehmerstationen, u.a.), Fernwärme (Standorte der Erzeuger, Netzmessstelle, Druckerhöhungsstation, u.a.) und Wasser (Wasserwerke, Wasserdruckanlagen, Wasserbehälter, u.a.) Koordinaten sowie Parameter übergeben. Diese Einrich-

tungen wurden in einer mit dem Auftraggeber abgestimmten Weise zu Klassen zusammengefasst und mit geeigneten Icons versehen (s. Tab. 19).

Verschiedene Ämter der Stadtverwaltung Bielefelds haben Punktdaten (Shape-Format) zu verschiedenen Klassen sensibler Infrastruktureinrichtungen zur Verfügung gestellt. Diese Einrichtungen wurden in einer mit dem Auftraggeber abgestimmten Weise zu Klassen zusammengefasst und mit geeigneten Icons versehen (s. Tab. 19).

In der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) werden Anlagen klassifiziert, die mit einer potentiellen Gefährdung von Oberflächengewässern einhergehen. Diese Daten werden im Umweltamt (Abschnitt 360.34) erfasst und in der Datenbank „Anlagen- und Indirekteinleiterkataster (AUIK)“ vorgehalten. Wegen der sehr hohen Zahl von Anlagen (16.590 Punktdaten insgesamt) werden diese Anlagen für die Darstellung in der Risikokarte nach ihrer Wassergefährdungsklasse gefiltert. Lediglich die Wassergefährdungsklassen „deutlich wassergefährdend“ und „stark wassergefährdend“ werden in der Risikokarte dargestellt.

Tab. 19: Sensible Infrastruktureinrichtungen und deren Darstellung in der Risikokarte

Thema	Quelle	Anzahl	Symbol	Anmerkung
Elektrizität	Stadtwerke	1.633		
Fernwärme	Stadtwerke	47		
Gas	Stadtwerke	245		
Wasser	Stadtwerke	96		
Baudenkmale	Bauamt (600.72)& Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	716		
Feuerwehr-Standorte	Feuerwehramt (370.1) & Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	32		
KiTas	Jugendamt (510.12) & Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	249		privat & städtisch
Krankenhäuser	Feuerwehramt (370.1) & Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	7		inkl. Akut-Krankenhäuser
Rettungswachen	Feuerwehramt (370.1) & Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	8		
Schulen	Amt für Schule (400.22) & Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	118		
Senioren-, Pflege-, Altenheime, Betreutes Wohnen	Bauamt (600.6) & Amt für Geoinformation und Kataster (620.12)	133		
AwS-Anlagen	Umweltamt Stadt Bielefeld, 360.33	11.770		deutlich wassergefährdend
AwS-Anlagen	Umweltamt Stadt Bielefeld, 360.33	1.615		stark wassergefährdend

3.3.4.4 DIFFERENZIERTE DARSTELLUNG DER GEBÄUDE

Gebäude, die einen Bezug zu sensibler Infrastruktur haben oder im Besitz der Stadt Bielefeld sind, wurden in der Risikokarte farblich hervorgehoben, um u.a. auch die Eigenverantwortlichkeit und Handlungsmöglichkeiten für die Stadt als Eigentümer abzubilden. Dazu wurden einerseits die Punktdaten der verschiedenen Themen der sensiblen Infrastruktur mit den Gebäuden verschnitten (entsprechende Gebäude auf der Risikokarte rot eingefärbt), andererseits wurden die Gebäude, die Bestandteil des digitalen Oberflächenmodells sind, mit dem aktuellen Gebäudebestand der Stadt Bielefeld (Datenstand Februar 2019) überlagert (entsprechende Gebäude auf der Risikokarte orange eingefärbt) (Abb. 70).

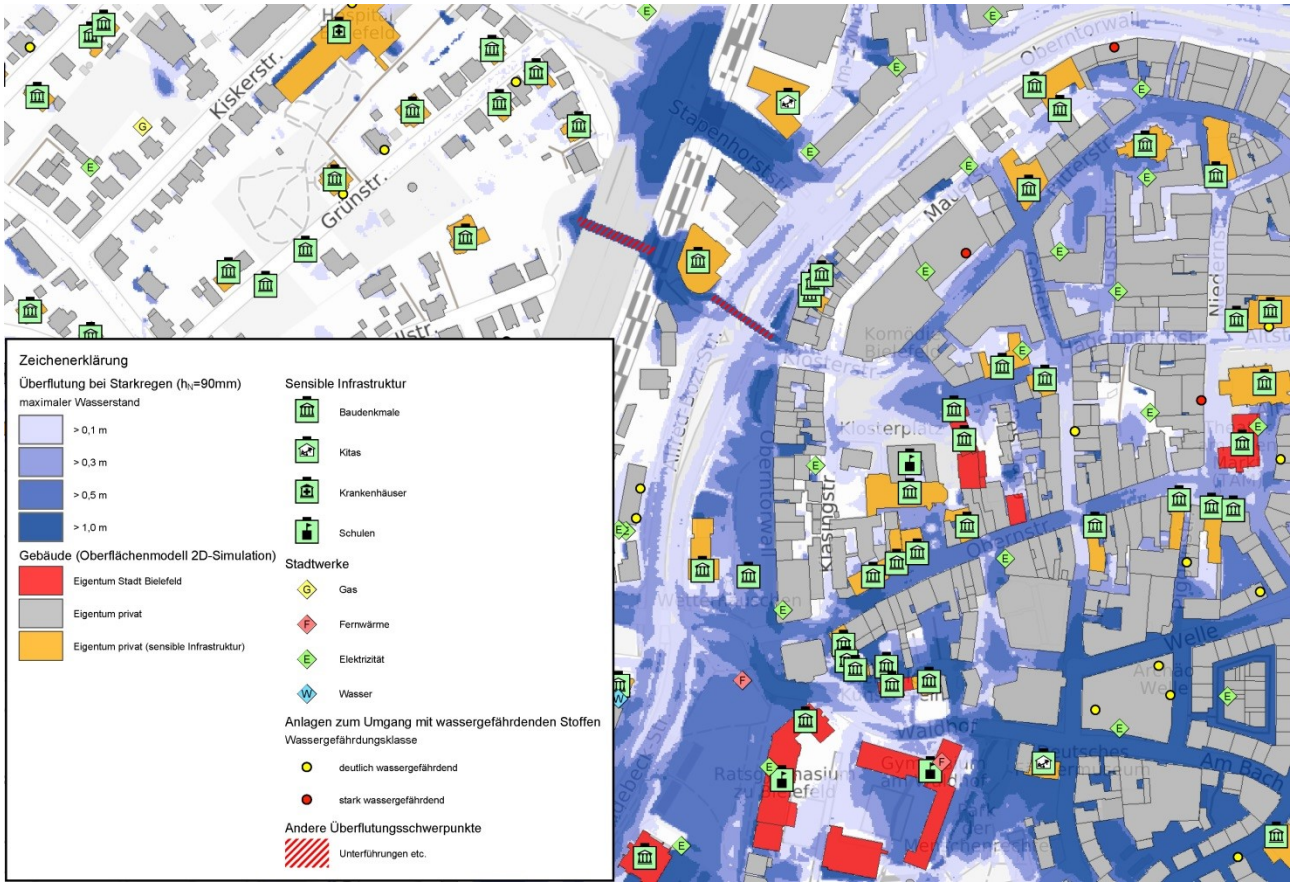


Abb. 70: Beispielhafter Ausschnitt aus der Risikokarte Starkregen, Gebäude mit sensibler Infrastruktur in rot, Gebäude der Stadt Bielefeld in orange, übrige Gebäude in grau, zu Grunde liegendes Szenario hN=90mm, Icons s. Tabelle 1, Kartenmaßstab 1:2.000.

3.3.5 PLANUNGSHINWEISKARTE STARKREGENVORSORGE UND WASSERSENSIBLE STADTENTWICKLUNG

3.3.5.1 INTENTION DER PLANUNGSHINWEISKARTE

Die Planungshinweiskarte „Starkregenvorsorge und wassersensible Stadtentwicklung“ verortet die Maßnahmen des Maßnahmenkatalogs (s. Kapitel 4.1) zur Starkregenvorsorge und wassersensiblen Stadtentwicklung im Stadtgebiet. Ausgehend von einer räumlichen Analyse des Stadtgebietes werden Potentialräume dargestellt, in denen die spezifischen Maßnahmen besonders geeignet bzw. weniger geeignet sind. Dabei werden die Einzelmaßnahmen zu im jeweiligen Potentialraum besonders relevanten Maßnahmengruppen gebündelt.

Damit wird das Konzept einer „Aufmerksamkeitskarte“ verfolgt, anhand derer Synergien mit anderen planerischen oder städtebaulichen Maßnahmen mit jenen der Klimaanpassung aufgezeigt werden. Die Karte stellt ein Instrument zur Sensibilisierung der verschiedenen Akteure dar, mit dem der Prozess einer Verstetigung und fachübergreifenden Planungsarbeit in Sinne der Klimaanpassung unterstützt werden soll. Dargestellt sind Potenzialräume, also abgrenzbare räumliche Einheiten, für die potentielle Maßnahmen zur Starkregenvorsorge im Sinne einer thematischen Vorauswahl adressiert werden und im in einem frühen Stadium der Maßnahmenplanung vorrangig zu prüfen sind. Die Planungshinweiskarte gibt Anstöße, ersetzt aber nicht konkrete Maßnahmenplanungen am jeweiligen Objekt, mit denen die Machbarkeit und Ausgestaltung der Maßnahmen bestimmt werden.

Neben der reinen Starkregenvorsorge im Sinne einer Gefahrenabwehr soll die Planungshinweiskarte auch auf Möglichkeiten der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung als wichtigen Baustein der wassersensiblen Stadtentwicklung hinweisen (Schwammstadtprinzip). Hier sollen im Zusammenwirken von Stadtentwässerung, Stadtplanung, Verkehrsflächen- und Freiraumplanung Möglichkeiten zur ortsnahen Versickerung auf Flächen, in Mulden, über Rigolen, Baumrigolen und andere Maßnahmen räumlich priorisiert werden. Auf eher kleinräumiger Ebene wird auf Potentialräume für multifunktionale Flächennutzungen oder Notabflusswege hingewiesen.

Die stadtgebietsweite Planungshinweiskarte ermöglicht also eine thematische Filterung anhand von übergeordneten räumlichen Randbedingungen, die jeweils bestimmte Maßnahmen für bestimmte Potentialräume nahelegen. Wie eine Maßnahme dann in eine konkrete Planung übertragen wird, hängt in starkem Maße aber von den technischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten des jeweiligen Objektes ab.

3.3.5.2 METHODIK DER PLANUNGSHINWEISKARTE

Für die Planungshinweiskarte Starkregenvorsorge wurden Daten aus verschiedenen Quellen (Starkregengefahrenkarte, Bodenkarte, topographische Analyse, Gewässernetz, Planungshinweiskarte Stadtklima) analysiert und überlagert. Zur Ableitung der Potentialräume aus diesen Daten wurden verschiedene räumliche Analysen und Verschneidungen im GIS durchgeführt.

Die bei der Erstellung der Karte verwendeten Eingangsdaten werden im Folgenden beschrieben.

3.3.5.3 EINGANGSPARAMETER

Zu den Eingangsparametern der Planungshinweiskarte zählen:

- Überflutungstiefe bei extremem Starkregen (h_N = 90 mm) (Starkregengefahrenkarte)
- Versickerungseignung (Bodenkarte des Geologischen Dienstes NRW)
- Potentielle Notwasserwege (Fließwege / Gewässer)
- Flächen mit Sanierungsbedarf (1. bis 4. Priorität) aus der Planungshinweiskarte Stadtklima

Das Ergebnisraster des Starkregen-Szenarios h_N = 90 mm (Starkregengefahrenkarte Plan 3, s. Kapitel 3.3.3) wurde zur besseren Übersichtlichkeit in einer vereinfachten Darstellung in die Planungshinweiskarte übernommen. Die Wasserstände werden ohne Abstufungen ab 0,10 m maximaler Wasserstand dargestellt.

Die Einstufung zur Versickerungseignung von Böden basiert auf der Bodenkarte BK50 des Landesbetriebs Geologischer Dienst NRW bzw. dem Parameter „Versickerungseignung“. Böden, die gemäß dieser Bewertung Wasserleitfähigkeiten von über $1 \cdot 10^{-5}$ m/s ohne bzw. mit schwacher Staunässe aufweisen sowie Böden, die Wasserleitfähigkeiten zwischen $5 \cdot 10^{-6}$ m/s und $1 \cdot 10^{-5}$ m/s ohne Staunässe aufweisen, werden für die Zwecke der Planungshinweiskarte als prinzipiell geeignet zur Versickerung gekennzeichnet. Die Einstufung dient lediglich der Voreinschätzung und Bedarf bei konkreter Planung der Erarbeitung eines hydrogeologischen Gutachtens.

Die Flächen, die auf der Karte potentielle großräumige Notabflusswege kennzeichnen, basieren auf einer Verschneidung von Fließwegen aus der topographischen Analyse des digitalen Oberflächenmodells und Fließgewässern von Bielefeld (Datenquelle Umweltamt Bielefeld, 2017). Bei den Fließakkumulationswegen wird dabei zunächst eine Filterung vorgenommen, bei der nur Linienabschnitte in die Auswertung einbezogen werden, die eine Einzugsgebietsgröße von mindestens 5 ha haben. Die Linienelemente dieser Fließwege werden mit einem 50 m breiten Puffer zu Flächen umgewandelt. Ebenso werden alle Fließgewässer durch Pufferung (50 m Abstand) zu Flächen umgewandelt. Diese beiden sich ergebenden Flächen (Fließwege-Puffer und Fließgewässer-Puffer) werden zu einem neuen Thema zusammengeführt. Im Ergebnis erhält man die die Gewässerverläufe umhüllenden Flächen einschließlich der angrenzenden, zum Gewässer geneigten Geländeabschnitte. In diesen Gebieten ist eine oberflächliche großräumige Ableitungsmöglichkeit von Niederschlagswasser zum nahegelegenen Gewässer aufgrund der räumlichen Nähe und/oder des Gefälles zum Gewässer anzunehmen. Dagegen ist auf der Objektebene kleinräumig zu prüfen, inwieweit kleinräumige Eingriffe in die Oberflächenform zu einer Lenkung des abfließenden Niederschlagswassers führen können. Grundsätzlich ist Maßnahme M22 (Notwasserwege) aber unabhängig von der räumlichen Ausdehnung einer alternativen Wasserführung über die Oberfläche. Für entsprechende Planungen muss immer das mögliche Zusammenwirken und Ineinandergreifen von oberflächlicher Ableitung in Rinnen und Versickerung (z.B. Versickerungseignung des Bodens und mögliche Flächenversiegelung) sowie Retention (z.B. in Mulden) betrachtet werden.

Die Gebiete der kleinräumigen Notabflusswege (blaue Flächen auf Planungshinweiskarte Starkregenvorsorge) entsprechen den von Überflutungen bei Starkregen betroffenen Bereichen, wie sie durch die Starkregensimulation definiert werden. Hier können Maßnahmen gemäß Maßnahme M22 besonders effektiv sein. Die Bereiche der "großräumigen" Notwasserwege (grüne Schraffur auf Planungshinweiskarte Starkregenvorsorge) sollen den Blick über die reinen Überflutungsflächen hinaus weiten auf Gebiete, von denen aus

eine Zuleitung von Niederschlagswasser im Starkregenfall zum nächstgelegenen Gewässer hin möglich ist, die Grundlagen hierfür werden vom digitalen Geländemodell vorgegeben. Diese Pufferflächen sollen den Blick darauf lenken, dass sich eine Vorflut in der Nähe befindet und in Planungen einbezogen werden kann. Es sind hierfür keine anderen Maßnahmen als die unter M22 erläuterten in Betracht zu ziehen.

Zwischen den Maßnahmen zur Starkregenvorsorge und wassersensiblen Stadtentwicklung einerseits und den Maßnahmen zur Hitzevorsorge wie sie die Planungshinweiskarte Stadtklima zeigt andererseits bestehen in vielen Fällen Synergien. Um diese hervorzuheben, wurden die Flächen mit hohen Sanierungsbedarfen (1. bis 4. Priorität) aus der Planungshinweiskarte Stadtklima als Thema in die Planungshinweiskarte Starkregen eingebettet. Dies soll bei der Maßnahmenpriorisierung den Blick darauf lenken, dass Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung („Schwammstadt“) dort eine besonders hohe Wirkung entfalten können, wo Hitzeprobleme bestehen. So entsteht die kühlende Wirkung von Vegetation nur dort, wo dieser auch ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Wasserflächen tragen zur Kühlung von Wohnquartieren oder Plätzen umso stärker bei, je höher die thermische Belastung dort ist.

3.3.6 MAßNAHMEN

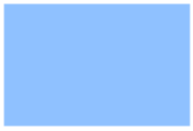
Die räumliche Verortung bestimmter Maßnahmen basiert auf der Abhängigkeit von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten. Versickerungsmaßnahmen etwa sind von der Untergrundbeschaffenheit abhängig. Objektschutzmaßnahmen sind insbesondere in Überflutungsschwerpunkten zu berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung sind in Bielefeld die Freihaltung bzw. Schaffung von Notwasserwegen und die Beseitigung von Abflusshindernissen, die sich wiederum an den Überflutungsschwerpunkten und Hauptfließwegen orientieren.

Bei Maßnahmen zur Prüfung der Optimierung des Kanalnetzes ist u. a. zu berücksichtigen, dass diese sich zwar an den Überflutungsschwerpunkten orientieren, jedoch nicht zwangsläufig an diesen Stellen zu verorten sind. So kann es im Starkregenfall etwa zu Überflutungen kommen, deren Ursache ein Rückstau weiter unterhalb im Kanalnetz ist. Zudem orientieren sich Maßnahmen im Kanalnetz an den aktuellen Bemessungsvorgaben der DIN EN 752 bzw. deren nationalen Umsetzungen.

Bestimmte Maßnahmen wie Blue Roofs und Gründächer sind dagegen stadtgebietsweit grundsätzlich in Betracht zu ziehen. Eine räumliche Eingrenzung bzw. Ausweisung von Potentialflächen ist ohne weitere Kenntnisse der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich. Allerdings können sich Synergien mit anderen Maßnahmen zur Hitzevorsorge ergeben (z.B. Pflanzung von Bäumen, Fassadenbegrünung). Hierzu ist eine Betrachtung beider Planungshinweiskarten im Zusammenhang nötig (s.o.).

In Tab. 20 sind die in der Planungshinweiskarte dargestellten Maßnahmengruppen den Einzelmaßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog gegenübergestellt. Die sich möglicherweise ergebenden Synergien beim Einsatz von Maßnahmen zur Starkregenvorsorge mit solchen zur Hitzevorsorge sind bei Flächen mit hohem klimatischen Sanierungsbedarf, also Flächen mit einer ungünstigen bis sehr ungünstigen thermischen Situation, naturgemäß höher. Die Flächen mit hohen Sanierungsbedarfen sind hinsichtlich der Maßnahmen besonders zu berücksichtigen.

Tab. 20: Darstellung von Maßnahmengruppen auf der Planungshinweiskarte und dazugehörige Einzelmaßnahmen des Maßnahmenkatalogs

Maßnahmengruppe	**Symbol**	**Einzelmaßnahme (Maßnahmenkatalog)**
Wasserhaushalt und Versickerung		Entsiegelung von Flächen (M1)
		Innenhofbegrünung (M6)
		Flächenversickerung (M16)
		Wasserdurchlässige Beläge (M17)
		Muldenversickerung (M18)
		Rigolenversickerung (M19)
		Baumrigolen (M20)
		Multifunktionale Retentionsflächen (mit Versickerung) (M21)
Wasserhaushalt, Versickerung und Rückhaltung (prinzipiell stadtgebietsweit, vorzugsweise bei vorhandener Synergie mit Hitzevorsorge-Maßnahmen)	Konkreter Raumbezug ergibt sich durch Synergien mit Maßnahmen zur Hitzevorsorge	Entsiegelung von Flächen (M1)
		Beschattung durch Bäume (M2)
		Dachbegrünung (M5)
		Innenhofbegrünung (M6)
		Wasserdurchlässige Beläge (M17)
		Baumrigolen (M20)
		Retentionsgründächer (M23)
		Blue Roofs (M24)
Starkregenvorsorge und Objektschutz		Multifunktionale Retentionsflächen (M21)
		Notabflusswege (kleinräumig) (M22)
		Objektschutz (M26)
		Unterirdische Füllkörper (M25)
		Anlassbezogene Prüfung und Optimierung Kanalnetz (M27)
Oberflächenabfluss und Retention		Notabflusswege (großräumig) (M22)
		Entschärfung von Abflusshindernissen (M28)
		Schaffung von Retentionsräumen (M29)
		Entschärfung von Abflusshindernissen (Gewässerverrohrung) (M28)

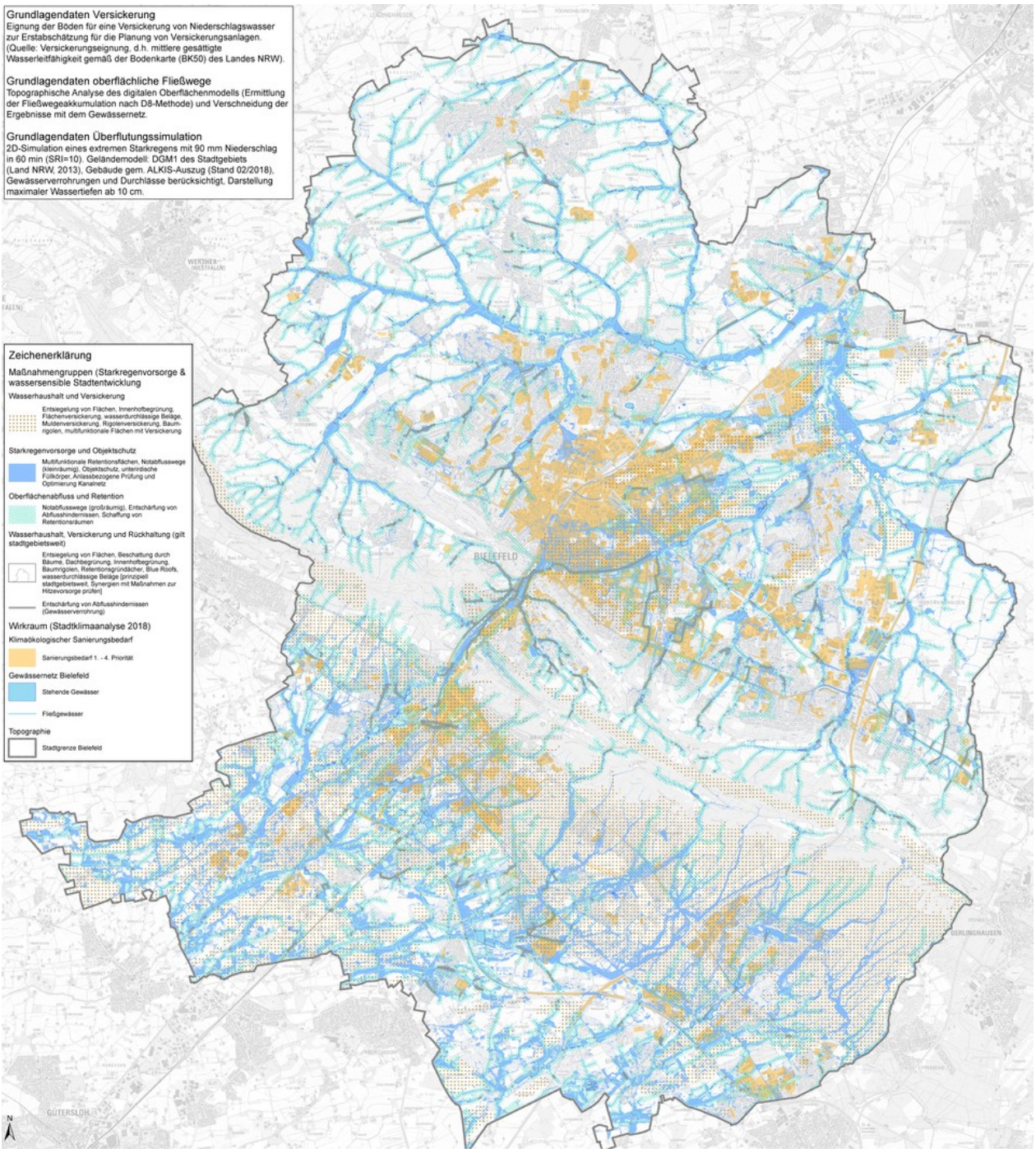


Abb. 71: Planungshinweiskarte Starkregenvorsorge und wassersensible Stadtentwicklung

4. Gesamtstrategie zur Klimaanpassung

4.1 GESAMTSTÄDTISCHER MAßNAHMENKATALOG

Unter Berücksichtigung der lokalen Betroffenheiten gegenüber Hitze und Starkregen benennt das Klimaanpassungskonzept Maßnahmen für die betrachteten Handlungsfelder Städtebau, Maßnahmen an Gebäuden, Grüngestaltung/Straßengrün und Siedlungswasserwirtschaft. Die Maßnahmen zielen darauf ab, Gesundheitsrisiken und –gefahren für Personen und Objekte abzuwenden und dabei den Energiebedarf möglichst gering zu halten. Es handelt sich dabei um einen nicht abschließenden Katalog von Möglichkeiten, mit denen Klimaanpassung im Rahmen der Stadt-, Freiraum- und Gebäudegestaltung künftig umzusetzen ist. Welche Maßnahmen in welchem Umfang und in welcher Kombination am konkreten Ort sinnvoll sind, muss anhand der standort- und projektspezifischen Gegebenheiten entschieden werden. Die folgenden Aspekte müssen im jeweiligen Einzelfall in die Entscheidung u.a. einfließen:

- klimatische Belastung vor Ort
- lokale Gefährdungssituation gegenüber Starkregen
- Empfindlichkeit der Flächen gegenüber Nutzungsintensivierungen
- Entwicklungsmöglichkeiten am Standort
- Aspekte der Stadtgestaltung oder des Denkmalschutzes
- Abwägung der Kosten (Herstellung und Betrieb) und des Nutzens
- technische und rechtliche Umsetzbarkeit

Wertvoll sind vor allem sog. „No-Regret-Maßnahmen“, die – auch über ihre Effekte für die Klimaanpassung hinaus – einen zusätzlichen Qualitätsgewinn für die Stadt bedeuten. So können bspw. Begrünungsmaßnahmen die Biodiversität fördern, als Luftschadstoffsenke dienen, Wohlfühlräume schaffen oder allgemein das Bielefelder Stadtbild aufwerten.

Die Maßnahmen werden auf den folgenden Seiten in Steckbriefen erläutert[6]. Diese geben, neben einer Beschreibung der Maßnahme, zunächst an, welche Akteure bzw. Aufgabenträger voraussichtlich die Federführung für die konkrete Planung und Umsetzung der Maßnahmen besitzen und wer zusätzlich beteiligt werden muss. Die Steckbriefe enthalten zudem auch (nicht abschließende) Einschätzungen zu möglichen Finanzierungsquellen. Außerdem wird aufgezeigt, welche Synergien mit anderen Maßnahmen oder sonstigen Aktivitäten der Stadt Bielefeld durch die Umsetzung der jeweiligen Maßnahme ergeben. Ausgehend von den gutachterlichen Erfahrungen sowie Erkenntnissen aus Praxis und Wissenschaft, werden die Maßnahmen dahingehend bewertet (qualitative Skala von sehr gering bis sehr hoch), ob sie einen Beitrag zur Kühlung, zum Rückhalt von Starkregen, zur Förderung des natürlichen Wasserhaushaltes und zur Aufenthaltsqualität am Standort leisten können . Durch diese Bewertung wird eine allgemeine Vergleichbarkeit

[6] **Hinweis:** Die technischen Voraussetzungen und die Realisierung nach den a. a. R. d. T. (allgemein anerkannten Regeln der Technik) sowie die Einhaltung der rechtlichen Voraussetzungen und Genehmigungserfordernisse für die Umsetzung der Maßnahmen werden in den Steckbriefen nicht abgebildet. Diese sind generell erforderlich und einzuhalten!

der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit gewährleistet. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass es sich hierbei – ebenso wie bei der Einschätzung der Kosten – nur um eine vom Einzelfall unabhängige Orientierungshilfe handelt. Zudem ist immer zwischen einer Umsetzung im Bestand und einer Neuplanung zu unterscheiden.

Folgende Maßnahmen werden aus gutachterlicher Sicht empfohlen und als Steckbriefe konkretisiert:

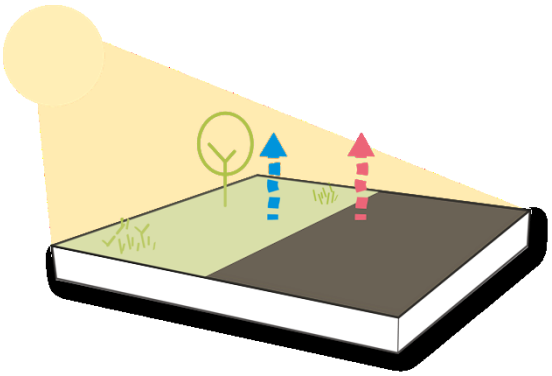
Maßnahme M1	Entsiegelung von Flächen	Maßnahme M16	Flächenversickerung
Maßnahme M2	Begrünung mit Bäumen	Maßnahme M17	Verwendung wasserdurchlässiger Beläge
Maßnahme M3	Beschattung durch (mobile) konstruktive Elemente	Maßnahme M18	Muldenversickerung
Maßnahme M4	Fassadenbegrünung	Maßnahme M19	Rigolenversickerung
Maßnahme M5	Dachbegrünung	Maßnahme M20	Herstellung von Baumrigolen
Maßnahme M6	Innenhofbegrünung	Maßnahme M21	Anlage multifunktionaler Retentionsflächen
Maßnahme M7	Anlage offener Wasserflächen	Maßnahme M22	Sicherung und Herstellung von Notabflusswegen
Maßnahme M8	Erhöhung des Rückstrahlvermögens	Maßnahme M23	Herstellung von Retentionsgründächern
Maßnahme M9	Anlage von Wasserspielen und Zerstäubern	Maßnahme M24	Herstellung von Blue Roofs
Maßnahme M10	Anlage von Pocket Parks	Maßnahme M25	Herstellung von unterirdischen Füllkörpern
Maßnahme M11	Optimierung der Gebäudeausrichtung und Bebauungsdichte	Maßnahme M26	Objektschutz
Maßnahme M12	Schutz und Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevanten Flächen	Maßnahme M27	Anlassbezogene Prüfung und Optimierung des Kanalnetzes
Maßnahme M13	Optimierung städtischer Grünflächen	Maßnahme M28	Entschärfung von Abflusshindernissen
Maßnahme M14	Rückbau und Reduzierung der Bebauungsdichte	Maßnahme M29	Schaffung von Retentionsräumen
Maßnahme M15	Hitzeangepasste Gebäudeplanung		

Legende

Maßnahme M1

Entsiegelung von Flächen

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Durch den Austausch von komplett versiegelten Flächen durch teil- oder unversiegelte Oberflächenmaterialien (z.B. Rasengittersteine, Fugenpflaster, Sickerpflaster) kann das Bielefelder Stadtklima lokal verbessert werden. Die wasserdurchlässigen Flächen erwärmen sich in der Regel weniger als dichte Befestigungen. Dadurch kann die Hitzebelastung bei kleinflächiger Entsiegelung kleinräumig bodennah, bei großflächiger Entsiegelung im Stadtraum nachweislich reduziert werden kann. Werden die Flächen begrünt, steigt durch die Verdunstungsprozesse außerdem die Luftfeuchtigkeit, wodurch sich das Mikroklima zusätzlich verbessert. Grundsätzlich gilt: je größer die entsiegelten Flächen, desto umfangreicher ist die vertikale Kühlungswirkung.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Verkehrswegebau | Stadtplanung, Umweltplanung, Leitungsträger

Wechselwirkungen

Eine Entsiegelung von Flächen zur Verbesserung des Lokalklimas bietet zahlreiche Synergien mit den Zielen des Bodenschutzes und der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Der Oberflächenabfluss in den Kanal wird reduziert, der Bodenwasserhaushalt verbessert und die Grundwasserneubildung gefördert. Zudem können durch eine Entsiegelung und Begrünung von Flächen neue Lebensräume für die städtische Flora und Fauna geschaffen werden. Da Pflanzen ein höheres Rückstrahlvermögen als dunkle Asphalt- oder Pflasterflächen aufweisen, bewirkt eine Entsiegelung nicht zuletzt auch häufig eine Erhöhung der Albedo (*siehe Maßnahme M8*). Konfliktpotenziale können bei der Entsiegelung mit Blick auf die Barrierefreiheit sowie auf die Erreichbarkeit der entsprechenden Flächen mit Kraftfahrzeugen bestehen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt, Städtebauförderung

Planungshinweise

Bei Entsiegelungen sind generell die Belange des Boden- und Grundwasserschutzes zu beachten. Einschränkungen ergeben sich bei Abflüssen von stark befahrenen Straßen oder Metalldächern sowie auf Grundstücken mit Altlasten. Es ist grundsätzlich immer zu beachten, dass sowohl der Unterbau als auch der Untergrund eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen (≥ 3x 10^{-5}m/s bzw. ≥ 5x 10^{-5} m/s). Auf Verkehrsflächen ist darüber hinaus die Tragfähigkeit zu beachten. Durchlässige Asphaltschichten eignen sich in der Regel nicht für die höheren Straßenbauklassen (Besonders geeignet sind sie für die Belastungsklasse 0,3 nach RStO).

Bewertung

Kühlung	■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■ ■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■
Kosten	■ ■

Maßnahme M2

Beschattung durch Bäume

Referenzbild (Quelle: pixabay)

Beschreibung

Entlang der wichtigen Bewegungs- und Aufenthaltsräume in Bielefeld kann die Sonneneinstrahlung durch die Pflanzung von Bäumen und Baumalleen reduziert und somit die thermische Belastung an heißen Tagen verringert sowie die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum verbessert werden. Beschattete Wege, Straßen, Gebäudefassaden und Plätze speichern weniger Wärme als solche, die der Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Unterhalb von Bäumen kann die bodennahe Lufttemperatur in den Mittagsstunden erheblich gesenkt werden. Durch eine großflächige Beschattung kann sogar der nächtliche Wärmeinseleffekt verringert werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Verkehrswegebau | Stadtplanung, Umweltplanung, Leitungsträger

Wechselwirkungen

Neben Ihrem Beitrag zur Kühlung und zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum filtern und speichern Bäume Luftschadstoffe. Sie reduzieren so den Feinstaub, mindern den Treibhauseffekt und verbessern die Luftqualität. Zudem werten Bäume das Stadtbild auf.

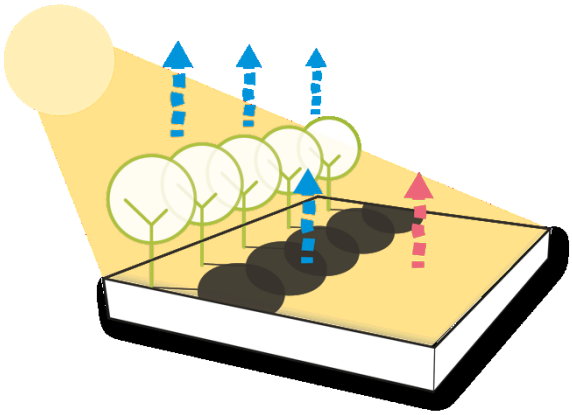
Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt

Planungshinweise

Es sind standortgerechte und möglichst klimaangepasste, robuste Baumarten und -formen auszuwählen, die über eine hohe Trocken- und Hitzestresstoleranz sowie Widerstandsfähigkeit gegenüber starkem Wind/Sturm verfügen, unempfindlich gegenüber Frost und Spätfrost und nicht anfällig für Schädlinge und Krankheiten sind. Außerdem sollten möglichst viele verschiedene Baumarten und -sorten gepflanzt werden, um die Anpassungsfähigkeit des Baumbestandes der Stadt zu erhöhen. Durch eine hohe Baumvielfalt bzw. durch die Vermeidung von Übergewichten einzelner Arten kann eine höhere Sicherheit gegenüber Ausfällen durch Schädlinge, Trockenstress oder Windbruch gewährleistet werden.

Den Baumwurzeln sollte ein möglichst großes Bodenvolumen zur Verfügung stehen. Zudem sollte eine Entsiegelung angestrebt und eine Bodenverdichtung vermieden werden.



Bewertung

Kühlung	■■■■■
Rückhalt von Starkregen	■■■
Natürlicher Wasserhaushalt	■■■■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■■
Kosten	■■■■

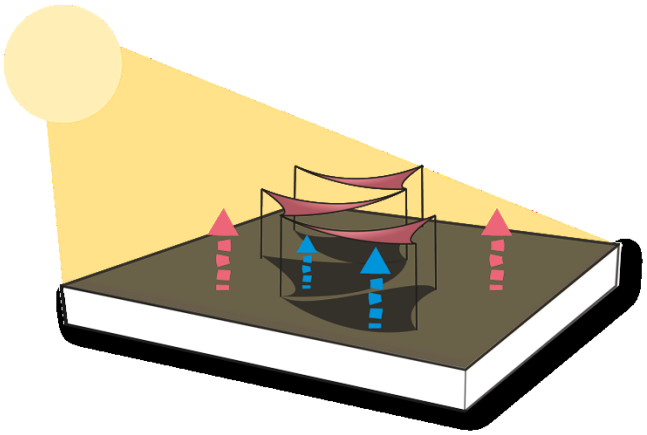
Bei Baumpflanzungen im Straßenraum sind der vertikale und der horizontale Luftaustausch aufrecht zu erhalten. Bei der Auswahl der Baumstandorte sind vorhandene Leitungen und Kanäle zu berücksichtigen.

Es ist denkbar, zur Verbesserung der Standortbedingungen von Bäumen die Bevölkerung miteinzubeziehen. So zum Beispiel können Kampagnen zur Begrünung von Baumscheiben initiiert werden. Während sommerlicher Hitze- und Trockenperioden kann dazu aufgerufen werden, den jeweiligen Straßenbaum vor dem Haus zu bewässern

Maßnahme M3

Beschattung durch (mobile) konstruktive Elemente

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Alternativ zu Bäumen und Pflanzen kann vereinzelt auch durch konstruktive Elemente an Gebäuden (z.B. Markisen) oder freistehend im öffentlichen Raum (z.B. Sonnensegel, Pavillons, Außendächer oder Sonnenschirme) eine Beschattung der Bewegungs- und Aufenthaltsflächen gewährleistet werden. Die Kühlungswirkung in den beschatteten Bereichen ist je nach Materialität und Durchlässigkeit der Elemente ungefähr vergleichbar mit Maßnahme M2 (Beschattung durch Bäume). Allerdings fallen die Effekte der Verdunstungskühlung bei dieser Maßnahme weg.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Verkehrswegebau | Stadtplanung, Privateigentümer, Einzelhandel

Wechselwirkungen

Durch die Einrichtung von Beschattungselementen im öffentlichen Raum kann unter Umständen zeitgleich die städtebauliche Gestaltung und dadurch die Aufenthaltsqualität verbessert werden. Konfliktpotenziale können in Einzelfällen in denkmalpflegerischen Bedenken bestehen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt, Sponsoring, (Einzelhandel, Gastronomie)

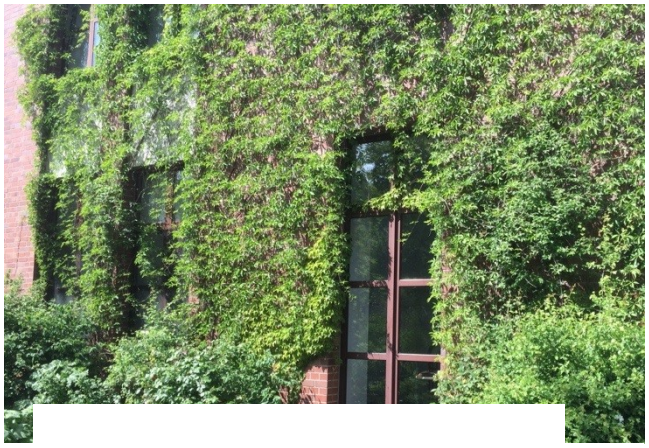
Planungshinweise

Die Anforderungen des Denkmalschutzes und eventuelle Gestaltungssatzungen sind bei der Material- und Standortwahl für Beschattungselemente zu berücksichtigen.

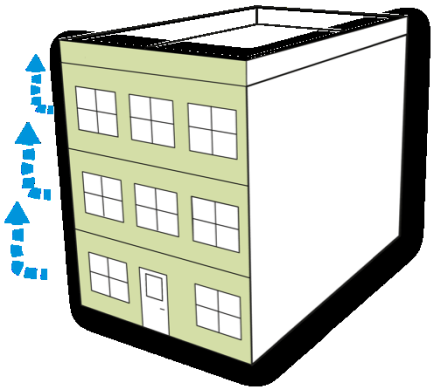
Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■

Maßnahme M4
Fassadenbegrünung



Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Durch eine planmäßige Begrünung geeigneter oder speziell vorgerichteter Fassaden mit Pflanzen kann ein Beitrag zur Reduzierung der Wärmeeinstrahlung und zur Verdunstungskühlung im Stadtraum geleistet we rden. Der Schattenwurf der Vegetation und die Luftschicht zwischen der Hauswand und der Bepflanzung verringern die Wärmeaufnahme des Gebäudes. Dadurch kann der thermische Komfort sowohl im Gebäudeinneren als auch z.T. in den angrenzenden Freiräumen verbessert werden. Durch die verminderte Aufheizung der Gebäudehülle und durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen erreichen Fassadenbegrünungen (insb. an West- und Südfassaden) einen spürbaren Kühlungseffekt. Im Straßenraum ist die Kühlungswirkung dagegen nur wenig zu spüren.

Zuständigkeit | Beteiligte

öffentliches Gebäudemanagement | Stadtplanung, Umweltplanung, Privateigentümer, Städtebauförderung

Wechselwirkungen

Je nach Art des Gebäudes können durch die Begrünung von Fassaden Kosten für die Kühlung im Sommer und für das Heizen im Winter eingespart werden. Darüber hinaus kann die Bepflanzung die Fassade vor Extremwettereinflüssen wie Starkregen, Hagel oder UV-Strahlung schützen und somit ihre Lebensdauer verlängern.

Über ihre gebäude- und stadtklimatische Wirkung hinaus bietet die Begrünung von Fassaden zahlreiche weitere Vorteile. Bepflanzte Fassaden können Stäube und Luftschadstoffe binden und somit die Luftqualität in der Höhe der Fassade spürbar verbessern. Daneben können sie Schallreflexionen reduzieren. Ferner können Grünfassaden zur Speicherung und Verdunstung von Niederschlagswasser und damit zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung bzw. zur teilweisen Entlastung der Kanalisation beitragen.

Nicht zuletzt werten grüne Fassaden den Stadtraum auf, reduzieren die Angriffsfläche für Graffiti, bieten Schutz gegenüber Unwetter und stellen Lebensräume für die urbane Fauna bereit.

Konfliktpotenziale können bei einer Fassadenbegrünung in Einzelfällen in denkmalpflegerischen Bedenken und

Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■ ■
Kosten	■

Gestaltungsvorschriften (z.B. Gestaltungshandbücher) bestehen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt (bei öffentlichen Gebäuden), Privateigentümer, Förderprogramm, Städtebauförderung

Planungshinweise

Grundlegende Voraussetzungen für eine erfolgreiche Begrünung sind die Bereitstellung ausreichenden Bodenvolumens und ggf. passender Kletterhilfen. Fassadengebundene Begrünungssysteme benötigen grundsätzlich eine permanente und bedarfsgerechte Wasser- und Nährstoffversorgung. Unter Umständen lässt sich auch das Regenwasser von Dachflächen zu Bewässerungszwecken nutzen.

Maßnahme M5
Dachbegrünung

Referenzbild (Quelle: pixabay)

Beschreibung

Durch eine Begrünung der Dächer von bestehenden oder neuen Gebäuden und (Tief-)Garagen/Carportanlagen kann das Lokalklima im Bielefelder Stadtgebiet verbessert werden. Je nach Bepflanzung und Schichtdicke wird zwischen Intensiv- und Extensivbegrünung unterschieden. Besonders bei einer intensiven Begrünung wird die Aufheizung der Dachhülle verringert und die Luft durch Verdunstung gekühlt. Gleichzeitig isolieren Gründächer, wodurch sie eine kühlende Funktion bei Hitze erfüllen und eine wärmedämmende Wirkung im Winter haben. Die Kühlungswirkung beschränkt sich dabei auf das Innenraumklima in den Dachgeschossen sowie auf die Luftmassen oberhalb des Daches. Intensive Gründächer, die begangen werden können bilden somit eine thermische Komfortzone. Allerdings wirkt sich eine einzelne Dachbegrünung nicht auf das Mikroklima der Umgebung aus. Nur durch die Begrünung vieler Dächer kann ein signifikanter Kühlungseffekt auf Block- und Stadtteilebene erzielt werden. Auch die Bewässerung des Gründaches hat einen entscheidenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Maßnahme: bei einer Austrocknung der Vegetation bleiben die Kühlungseffekte aus.

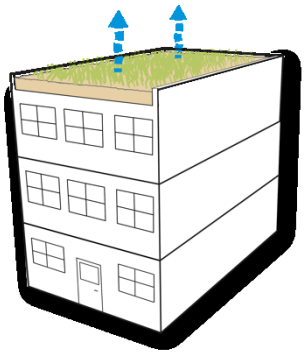
Zuständigkeit | Beteiligte

öffentliches Gebäudemanagement | Stadtplanung, Stadtentwässerung, Umweltplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Dachbegrünungen sind neben ihrer kühlenden und wärmedämmenden Funktion mit vielen weiteren Synergieeffekten verbunden. So tragen sie auch zur Stabilisierung des Wasserhaushaltes bei. Je nach Stärke des Gründaches, kann Regenwasser zurückgehalten werden. Durch den Einsatz von Retentionsgründächern (siehe Maßnahme M23) kann dabei das Speichervolumen noch erhöht werden. Da die Vegetation und das Bodensubstrat Wasser speichern und durch Oberflächenverdunstung auch wieder abgeben, fällt bei Häusern mit begrünten Dächern weniger Abwasser an. Vor einer Versickerung des Regenwassers und einer zeitverzögerten Ableitung in den Kanal sollte immer eine möglichst hohe Verdunstung angestrebt werden. Entscheidend hierfür ist die Dicke des Bodens bzw. der Substratschicht (min. 6 cm).

Grüne Dächer bieten auch Lebensraum für die urbane Flora und Fauna und liefern somit einen Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität. Insgesamt tragen Dachbegrünungen zur gestalterischen Aufwertung bei. Intensiv begrünte Dächer bieten u.U. einen unmittelbaren Erholungsraum. Zudem schützt die Begrünung die Dachhaut, trägt zur Filterung von Luftschadstoffen bei. Nicht zuletzt ist die Kühlwirkung einer Dachbegrünung auch für Solarnutzung von Vorteil.



Bewertung

Kühlung	■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■
Kosten	■ ■ ■ ■

Finanzierungsquellen

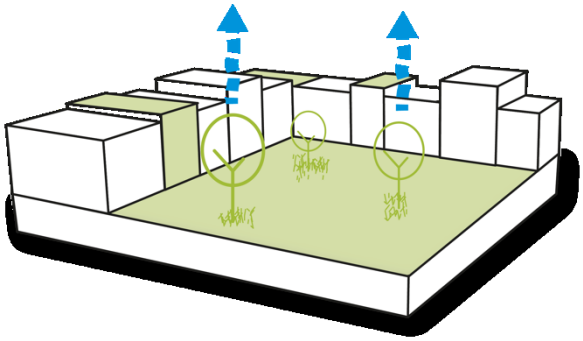
kommunaler Haushalt (bei öffentlichen Gebäuden), Privateigentümer, Förderprogramm

Planungshinweise

Nicht alle Dächer eignen sich für eine Begrünung. Am besten geeignet sind Flachdächer oder leicht geneigte Dächer. Bei der Abwägung einer Begrünung spielt ferner die Frage der statischen Belastbarkeit des Daches eine entscheidende Rolle. Dabei sind ausreichende Sicherheitsreserven für Schneelasten und das Begehen der Dächer zu berücksichtigen.

Maßnahme M6
Innenhofbegrünung

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

In zahlreichen Innenhöfen in Bielefeld bietet sich die Möglichkeit, in Verbindung mit einer Entsiegelung von Flächen (siehe Maßnahme M1), durch eine Begrünung sowie durch die gezielte Beschattung sonnenexponierter Freiräume und Gebäudehüllen mit Bäumen, Fassadengrün oder bautechnischen Maßnahmen das Mikroklima innerhalb des Baublockes zu verbessern. Maßnahmen zur Beschattung der Freiräume im Hofinnern erzeugen besonders am Tag eine hohe Wirkung während eine Begrünung von versiegelten Flächen und die Beschattung von Gebäudefassaden vor allem nachts die thermische Situation im Gebäudeinneren verbessert. Die Wirksamkeit einer Innenhofbegrünung ist stark abhängig vom Umfang sowie von der Art bzw. der Kombination unterschiedlicher Maßnahmen (siehe z.B. Maßnahme M1 bis M4).

Zuständigkeit | Beteiligte

öffentliches Gebäudemanagement | Stadtplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Bei der aus Sicht des Klimaschutzes wünschenswerten Nachverdichtung größerer Innenhöfe sollte immer das Ziel einer „doppelten Innenentwicklung“ verfolgt werden, bei dem neben der Schaffung neuer Gebäude auch eine Erhöhung des Grünvolumens durch flankierende Maßnahmen angestrebt werden sollte.

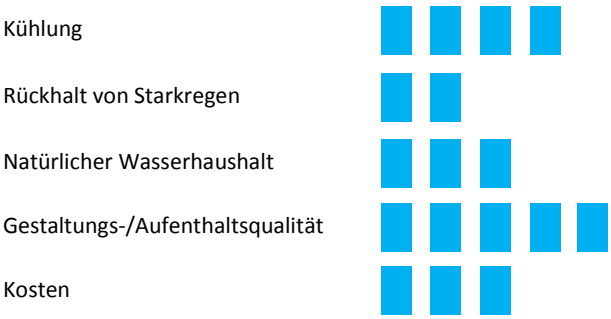
Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt (bei öffentlichen Liegenschaften), Privateigentümer, Förderprogramm zur Hofbegrünung

Planungshinweise

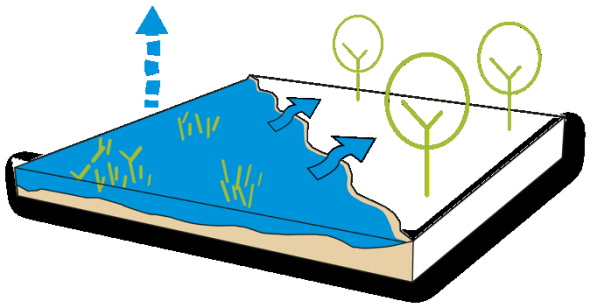
Bei der Beschattung sonnenexponierter Gebäudeseiten sind (großkronige) Laubbäume zu bevorzugen, so dass Strahlungsverluste im Winter verhindert und somit Heizkosten reduziert werden. Für eine Blockinnenhoffläche ist ein höchstmöglicher Entsiegelungsgrad anzustreben.

Bewertung



Maßnahme M7
Offene Wasserflächen

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Durch die Schaffung offener Wasserflächen (z.B. Teiche, Becken, Brunnen, Rinnen) kann in hitzeanfälligen Stadtgebieten durch Verdunstung ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig die Luftfeuchtigkeit erhöht werden. Offene Wasserflächen können insbesondere am Tag die thermische Situation durch die Verdunstungskühlung verbessern. Die kühlende Wirkung ist umso stärker, je größer die Wasseroberfläche ist. Bei längeren Hitzeperioden kann sich die kühlende Wirkung in der Nacht unter Umständen umkehren, indem die Wasserflächen wärmer werden als die sie umgebenden Luftmassen. Jedoch wiegt die positive Kühlungswirkung durch die Verdunstungsprozesse in der Regel die Nachteile einer eventuellen Schwüle auf.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Wasserwirtschaft | Stadtplanung, Stadtentwässerung, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Durch die Verdunstung unterliegen künstliche Wasserflächen Schwankungen des Wasserstandes. Dadurch bieten die Flächen je nach Volumen zusätzliche Potenziale zur Sammlung des Niederschlagswassers von Dachflächen oder Straßen, z.B. als Notretentionsflächen bei Starkregenereignissen. Diese Funktion kann unter Umständen durch zusätzlichen unterirdischen Speicherraum (siehe Maßnahme M25) erweitert werden.

Die Verdunstungswirkung kann durch den Einsatz schwimmender und mit Gewässerrandpflanzen besetzter Vegetationsinseln vergrößert werden.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt, Städtebauförderung

Planungshinweise

Um Überflutungen der Wasserflächen bei Extremregen zu vermeiden, sollten Notüberlaufe in angrenzende Oberflächengewässer und Retentionsflächen vorgesehen werden.

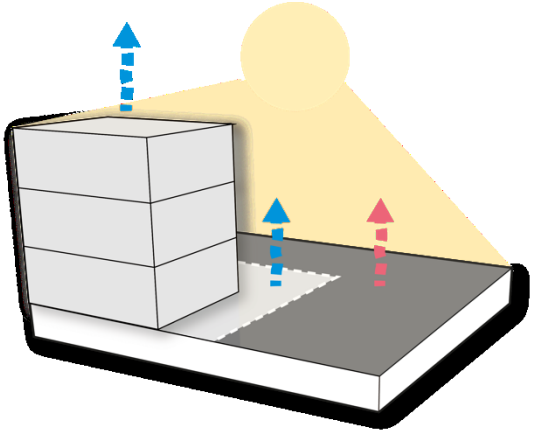
Bewertung

Kühlung	■■
Rückhalt von Starkregen	■■
Natürlicher Wasserhaushalt	■■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■■■■
Kosten	■■■■

Maßnahme M8

Erhöhung des Rückstrahlvermögens

Referenzbild (Quelle: cdn.watcofloors.com)



Beschreibung

Im Sinne der Klimaanpassung empfiehlt es sich, im Bielefelder Stadtgebiet eine möglichst hohe Albedo (Rückstrahlvermögen von Oberflächen) anzustreben, da diese aus thermischer Perspektive einen erheblichen Einfluss auf die Kühlung hat. Eine Erhöhung der Rückstrahlung kann durch die Verwendung möglichst heller Materialien bei der Straßenraumgestaltung und durch einen hellen Anstrich exponierter (insbesondere südausgerichteten) Fassaden und Dachflächen erreicht werden.

Je höher das Rückstrahlvermögen der Oberflächen ist, desto mehr wird die einfallende Sonnenstrahlung von den Oberflächen reflektiert und desto geringer fällt die Erwärmung der Fläche und der sie umgebenden Luft aus. Die Erhöhung der Albedo beim Neubau oder im Rahmen der Instandhaltung oder Sanierung von Straßen, Plätzen und Gebäuden gilt als einer der effektivsten Wege, die Lufttemperatur zu senken. Durch den Einsatz hellerer Oberflächen kann die Temperatur im Umfeld erheblich gesenkt werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Verkehrswegebau, öffentl. Gebäudemanagement | Stadtgrün, Stadtplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Auch Maßnahmen zur Entsiegelung sowie zur Begrünung von Oberflächen (Straßen, Fassaden, Dächer) können zu einer Erhöhung der Albedo führen, da Pflanzen meist ein höheres Rückstrahlvermögen als versiegelte Flächen aufweisen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt (bei öffentlichen Flächen/Gebäuden), Städtebauförderung, Privateigentümer

Planungshinweise

Die Anforderungen des Denkmalschutzes bzw. lokaler Gestaltungsvorschriften sind bei der Veränderung der Oberflächenfarben zu berücksichtigen.

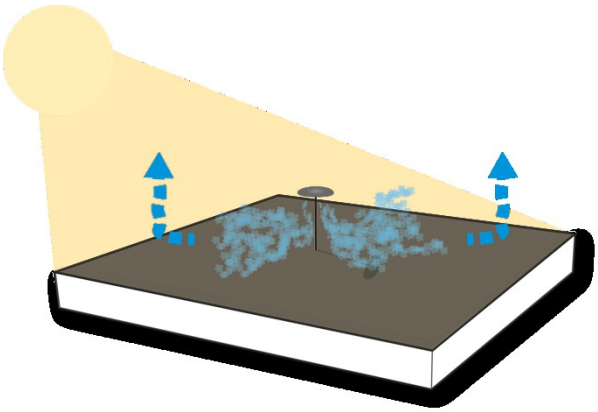
Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■

Maßnahme M9

Wasserspiele und Zerstäuber

Referenzbild (Quelle: a401.idata.over-blog.com)



Beschreibung

Durch die Einrichtung innerstädtischer Befeuchtungsanlagen wie Springbrunnen, Wasserspiele, Wasserspielplätze oder Wasserzerstäuber, unter denen man auch in normaler Kleidung laufen kann, kann die aufgeheizte Luft bei Hitze gekühlt werden. Bewegtes Wasser in Brunnen oder Zerstäubern trägt in größerem Maße zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen, da die verdunstungsfähige Oberfläche bei der Bewegung vergrößert wird. Lokal lassen sich dadurch spürbare Abkühlungsraten erreichen. Genauere Untersuchungen darüber sind jedoch kaum vorhanden, so dass die Maßnahmen in ihrer Wirkung bislang nicht quantifizierbar sind, sondern sich nur am konkreten Projekt bewerten lassen. Eine weitere abkühlende Wirkung kommt durch die direkte Berührung mit dem Wasser zustande.

Zuständigkeit | Beteiligte

öffentliches Gebäudemanagement, Stadtgrün | Verkehrswegebau, (Einzelhandel, Gastronomie)

Wechselwirkungen

Durch die Einrichtung von Wasserelementen im öffentlichen Raum kann zeitgleich die städtebauliche Gestaltung und dadurch die Aufenthaltsqualität verbessert werden. Die Verdunstungswirkung kann durch den Einsatz schwimmender und mit Gewässerrandpflanzen besetzter Vegetationsinseln vergrößert werden.

Finanzierungsquellen

Die Einrichtungs- und Folgekosten der Brunnen etc. können unter Umständen durch Spenden, Patenschaften und/oder Sponsoring finanziert werden.

Planungshinweise

Solche Anlagen kommen insbesondere in stark hitzebelasteten und intensiv genutzten Aufenthaltsbereichen in Frage.

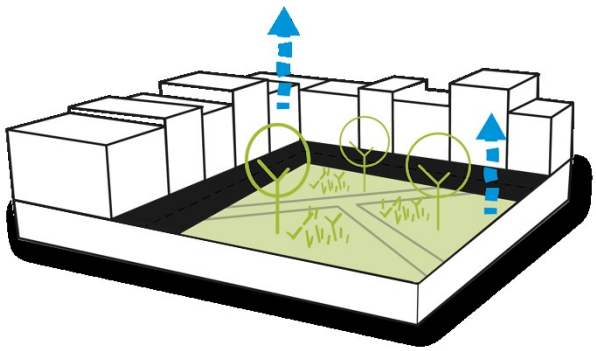
Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	
Natürlicher Wasserhaushalt	■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■ ■ ■

Maßnahme M10

Schaffung von Pocket Parks

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

In Stadtquartieren, die über wenig oder keine öffentlich zugänglichen Grünflächen verfügen, können Pocket Parks wohnungsnahe Erholungs- und Aufenthaltsflächen darstellen, in denen den Menschen die Gelegenheit zur Abkühlung in Hitzeperioden gegeben wird. Pocket Parks sind kleine öffentliche Grünflächen im innerstädtischen Raum. Sie werden vornehmlich auf ungenutzten oder brachliegenden Flächen oder in Baulücken errichtet. Ihre Ausstattung reicht von einfachen Pflanzenbeeten und Bänken unter Bäumen bis hin zu Gartenkunst mit hochwertiger Gestaltung. Ist auf der Fläche eine hohe Mikroklimavielfalt mit Pflanzen, Freiflächen und Wasserflächen vorhanden, bieten sie an heißen Sommertagen eine lokale Kühlinsel zum Abbau des thermischen Stresses.

Ein dichtes Netz aus Pocket Parks stellt die Nutzbarkeit durch alle jederzeit sicher. Sind die Pocket Parks so verteilt, dass sie zu der Vernetzung größerer Grünflächen beitragen, kann ihre bioklimatische Wirkung verstärkt werden. Die Pocket Parks dienen in erster Linie der klimatischen Verbesserung vor Ort.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün | Stadtplanung, öffentliches Gebäudemanagement, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Neben der positiven Wirkung auf das Mikroklima, kann ein dichtes Netz aus Pocket Parks, als Ergänzung des Bielefelder Grünflächen-Systems, der Biotop-Vernetzung dienen. Somit würden sich positive Effekte für den Arten- und Naturschutz ergeben. Durch einen erhöhten Regenwasserrückhalt und eine verbesserte Verdunstung wirken sich Pocket Parks günstig auf den natürlichen Wasserhaushalt aus und dienen der Starkregenvorsorge.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt, Städtebauförderung, sonstige Fördermittel

Planungshinweise

Ein Schutz bestehender Vernetzungen sowie die Neuvernetzung von Frei- und Grünflächen sind überall dort angeraten, wo relevante Mengen an Kaltluft produziert werden. Ein

Bewertung

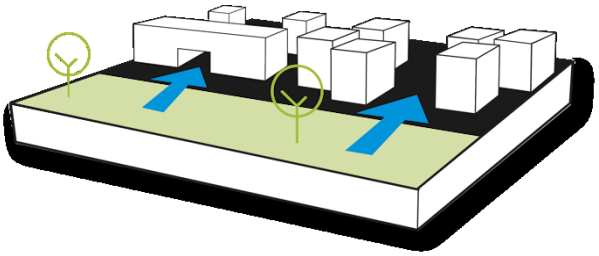
Kühlung	■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■ ■

besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Verknüpfung einzelner grüner Oasen im innerstädtischen Bereich gelegt werden. Entsprechende Festsetzungen können im Bebauungsplan Landschaftsplan erfolgen.

Maßnahme M11

Optimierung der Gebäudeausrichtung und der Bebauungsdichte

Referenzbild (Quelle: planquadrat.com)



Beschreibung

Über eine optimale Ausrichtung der Gebäude oder über die Öffnung von Gebäudefassaden können vorhandene Kaltluftströme effektiv genutzt werden, sodass ein Quartier, aber auch die umliegende Bebauung von den Kaltluftabflüssen profitieren kann.

In Bereichen ohne relevante nächtliche Kaltluftströme sind Gebäude und Gebäudefassaden dergestalt anzuordnen bzw. zu öffnen, dass die Durchlüftung durch den vorherrschenden übergeordneten Wind gewährleistet ist.

Über die gewählte Bebauungsdichte lässt sich zudem der Grad der Beschattung, aber auch der Anteil an Grünflächen im Plangebiet steuern.

Um eine optimale Versorgung eines Quartiers und der umliegenden Bebauung zu gewährleisten, sollten die Gebäude parallel zur Fließrichtung der Kaltluft angeordnet sein und die maximale Gebäudehöhe so gewählt werden, dass die Kaltluftströmung nicht ausgebremst wird. Außerdem sollten ausreichend vegetationsbestimmte Freiflächen zwischen ihnen erhalten bleiben. Des Weiteren kann über die gewählte Bebauungsdichte auch der Grad der gegenseitigen Beschattung der Gebäude gesteuert werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtplanung | Stadtgrün

Wechselwirkungen

Diese Maßnahmen können zusätzlich dem Natur- und Artenschutz dienen. Außerdem kann über die gewählte Bebauungsdichte auch der Grad der gegenseitigen Verschattung der Gebäude gesteuert werden. Hier ist allerdings zu beachten, dass der sommerliche thermische Komfort nicht das einzige Kriterium ist, das die Entscheidung für die Konfiguration von neuen Quartieren bestimmt. So kann eine Optimierung der sommerlichen Verschattung beispielweise zu einem erhöhten Heizenergiebedarf oder Lichtmangel im Winter führen. Einzelfallbetrachtungen sind daher auch bei dieser Maßnahme unumgänglich.

Finanzierungsquellen

-

Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■
Kosten	■

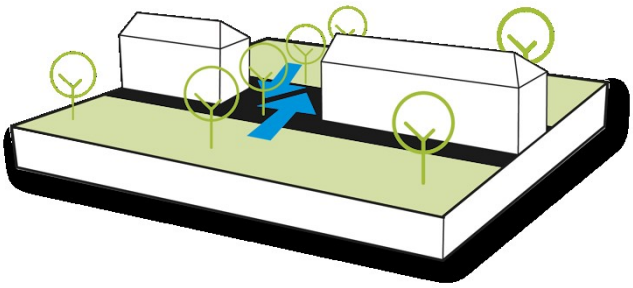
Die Maßnahme eignet sich vor allem für diejenigen Flächen des Siedlungsraumes, die in einer Durchlüftungsbahn liegen. Da die Festsetzung von Baufeldern, Geschoß- und Grundflächenzahlen in den Bebauungsplänen erfolgt, stellen die städtebauliche Rahmenplanung und die verbindliche Bauleitplanung das zentrale Instrument zur Umsetzung dieser wichtigen Maßnahme dar.

Planungshinweise

Maßnahme M12

Schutz und Vernetzung von für den Kaltlufthaushalt relevanten Flächen

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Vor allem in den thermisch belasteten und mit Grünflächen unterversorgten Wohngebieten ist eine Verbesserung der Vernetzung und die Erhöhung der Zugänglichkeit von Wald- und Grünflächen anzustreben, um eine bessere Kaltluftversorgung in der Nacht sowie eine gute und einfache Erreichbarkeit von klimatischen Entlastungsräumen tagsüber zu gewährleisten. Dies kann zum einen durch die Anlage neuer Grünflächen erfolgen. Zum Teil kann aber auch schon eine verbesserte verkehrliche Anbindung der Quartiere an größere und kleine Parkanlagen ausreichend sein. Hierzu gehören vor allem die Beseitigung oder Erleichterung der Querbarkeit von baulichen oder natürlichen Barrieren (Fließgewässer, Gleise oder stark befahrene Straßen). Durch die proaktive Vernetzung von zuvor unzusammenhängenden Grünflächen mithilfe von grünen Trittsteinen können neue großräumige und lokale Leitbahnen geschaffen und damit das übergeordnete und kleinräumige Luftaustauschsystem ausgebaut werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtplanung | Stadtgrün, Verkehrswegebau, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Neben der stadtklimatischen Wirkung wird das Erholungsangebot für vom Hitzestress am Tag Betroffene ausgebaut. Hier besteht eine enge Verknüpfung zu der Schaffung von Pocket Parks und großflächigen Park- und Grünanlagen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt, Fördermittel

Planungshinweise

Zu berücksichtigen ist die Barrierefreiheit von Erholungsflächen, so dass sich auch bewegungseingeschränkte Personen Zutritt zu diesen verschaffen können. Die Öffnung zugangsbeschränkter Grün- und Freiflächen ermöglicht es, zusätzliche Entlastungsflächen für die breite Bevölkerung zu schaffen.

Bei der Erhaltung, Entwicklung und Gestaltung von Durchlüftungsbahnen sind Hindernisse (z.B. bauliche Anlagen, Vegetationsstrukturen). Für die Wirksamkeit der Leitbahnen im innerstädtischen Bereich ist eine Mindestbreite von 30 m erforderlich.

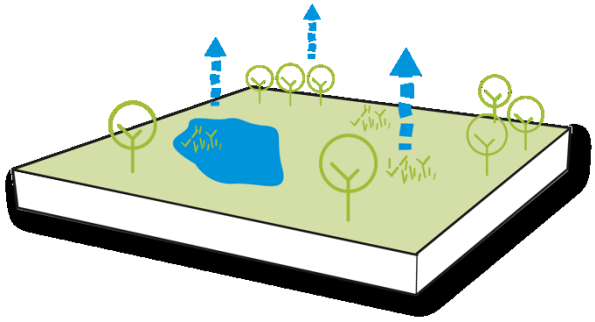
Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■

Maßnahme M13

Mikroklimatische Optimierung von städtischen Grünflächen

Referenzbild (Quelle MUST)



Beschreibung

Damit innerstädtische Grün- und Freiflächen ihr Potenzial an klimaökologischen Dienstleistungen sowohl für die Tag- als auch für die Nachtsituation umfänglich ausschöpfen können, sollten sie möglichst vielfältige Mikro-/Bioklimate bereitstellen. Als Leitbild für die Ausgestaltung eines entsprechend optimierten Parks kann der erweiterte „Savannentyp“ dienen. Er besteht zu einem großen Anteil aus gut mit Wasser versorgten Rasenflächen und kleinen Baum- und Buschgruppen, die mit offenen multifunktionalen Wasserflächen (z.B. Wasserspielplatz und Retentionsraum für Starkregenereignisse, siehe auch Maßnahme M21), beschatteten Wegen und Sitzgelegenheiten angereichert sind.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Stadtplanung | Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Diese Maßnahmen können zusätzlich dem Natur- und Artenschutz dienen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt

Planungshinweise

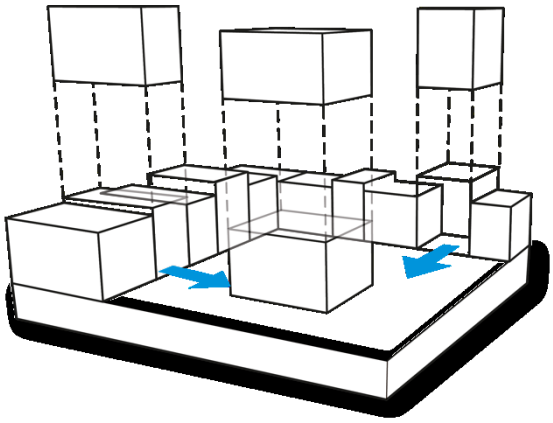
Die Übergangsbereiche zu der angrenzenden Bebauung sollten offen gestaltet sein (siehe Maßnahme M11). Unter der Prämisse einer angemessen großen Fläche von mindestens 1 - 2 ha wird durch diese Konfiguration sichergestellt, dass sowohl die nächtliche Kaltluftproduktion und der -abfluss gewährleistet sind als auch die Aufenthaltsqualität am Tag optimiert ist. Es ist im Einzelfall sicher zu stellen, dass für Grünflächen typische Aktivitäten wie z.B. Ballspiel und Lagern weiterhin möglich sind und die gestalterischen Qualitäten gesichert werden.

Bewertung

Maßnahme M14

Rückbau und Reduzierung der Bebauungsdichte

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Durch den Rückbau von Gebäuden werden die Bebauungsdichte und das Bauvolumen verringert, wodurch wiederum der Wärmeinseleffekt lokal reduziert wird. Auf frei werdenden Flächen können klimatische Entlastungsgebiete entstehen (z.B. Pocket Parks, siehe Maßnahme M10). Die geringere Bebauung führt zur Verbesserung der Durchlüftung. Der erhöhte Vegetationsanteil senkt die umgebende Lufttemperatur und es kommt zur Verringerung des Regenwasserabflusses. Das Wohn- und Arbeitsumfeld gewinnt an Ästhetik und bietet Erholungsmöglichkeiten vor Ort. Es entstehen neue Lebensräume für Tiere und Pflanzen, die im Idealfall mit weiteren vernetzt werden können.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtplanung | Stadtgrün, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Die Freiräumung von Flächen bietet zahlreiche Synergien mit den Zielen des Bodenschutzes und der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Zudem können durch eine Entsiegelung und Begrünung von Flächen neue Lebensräume für die städtische Flora und Fauna geschaffen werden.

Finanzierungsquellen

Städtebaufördermittel (z.B. Stadtumbau)

Planungshinweise

Rückbaumaßnahmen mit anschließender Begrünung sind am konfliktärmsten in Stadtteilen mit Bevölkerungsrückgang zu realisieren. Für Städte wie Bielefeld mit einem flächendeckend hochdynamischen Wachstum beschränkt sich das Potential vor allem auf Blockinnenhöfe (z.B. Garagen oder Lagerhallen) sowie alte Bahnanlagen, perspektivisch ggf. auch Industrie- und Gewerbebrachen. Folglich liegt die Verantwortung für die Umsetzung der Maßnahme eher im privaten Bereich, die Öffentliche Hand kann hier aber unterstützend tätig sein (z.B. im Rahmen des Stadtumbaus).

Bewertung

Kühlung	■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■ ■

Maßnahme M15

Hitzeangepasste Gebäudeplanung

Referenzbild (Quelle: MUST)

Beschreibung

Durch technische und bauliche Maßnahmen (z.B. Dämmung, Beschattungselemente etc.) kann der (Heiz-) Energiebedarf sanierungsbedürftiger Gebäude verringert werden. In Innenräumen, in denen passive Maßnahmen nicht oder nicht ausreichend angewendet werden können, kann die Wärmebelastung durch eine technische Gebäudekühlung reduziert werden.

Auch über eine klimasensible Anordnung der Räume innerhalb eines Gebäudes kann ein Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz geleistet werden. Innerhalb von Wohngebäuden sind Schlafräume, Kinderzimmer und Arbeitszimmer als besonders hitzeschutzbedürftig einzustufen. Sofern möglich sollten sensible Räume nach den Himmelsrichtungen zwischen Norden und Osten (N, NNO, NO, ONO und O) ausgerichtet und damit nicht dauerhaft einer unmittelbaren Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtplanung, öffentliches Gebäudemanagement | Umweltplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Durch Maßnahmen zum Wärmeschutz kann gleichzeitig der Energieverbrauch für die Kühlung geringgehalten und somit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

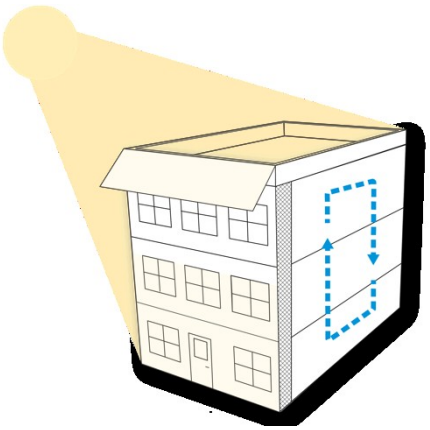
Bei sichtbaren technischen und baulichen Maßnahmen können in Einzelfällen Konflikte mit denkmalpflegerischen oder gestalterischen Vorschriften bestehen.

Finanzierungsquelle

Kommunaler Haushalt, Fördermittel (z.B. Klimaschutz)

Planungshinweise

Es ist vorteilhaft, Verschattungselemente (z.B. Jalousien, Rolläden, Markisen) außen vor den Fenstern anzubringen, um das Auftreffen der Sonnenstrahlung direkt auf das Fensterglas und das Eindringen in die Innenräume möglichst effektiv gering zu halten.

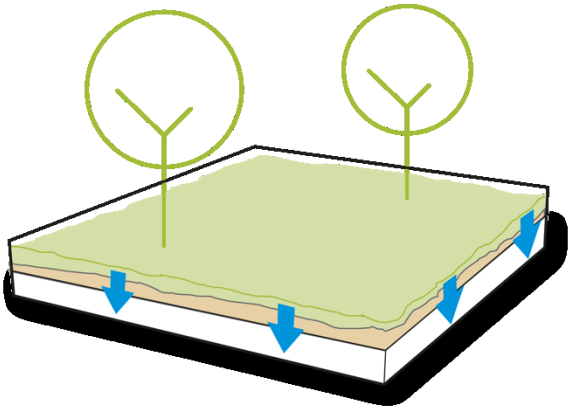


Bewertung

Kühlung	■ ■ ■ ■ ■
Rückhalt von Starkregen	
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■ ■

Maßnahme M16
Flächenversickerung

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Auf Grundstücken mit großen Grün- und Freiflächen bzw. in unbefestigten begrünten Randstreifen versiegelter Hofflächen kann das auf den Dächern oder den privaten Freiflächen anfallende Regenwasser über die belebte Bodenzone (Mutterboden) flächig versickert werden. Die Zuflüsse sind dabei gleichmäßig über die Versickerungsflächen zu verteilen. Nachteil einer Flächenversickerung ist der teilweise sehr große Flächenbedarf. Daher sollte diese Lösung nur bei günstigen Untergrundverhältnissen mit einer hohen Versickerungsfähigkeit hergestellt werden.

Um eine Versickerung von Regenwasser durchführen zu können, muss der Untergrund versickerungsfähig sein. Entscheidend ist jeweils der Kf-Wert eines Bodens, der den Grad der Versickerungsfähigkeit (Wasserdurchlässigkeit) von Böden beschreibt. Je größer der Wert, desto besser die Versickerungsfähigkeit. In der Regel sind Böden mit einem Kf-Wert von 10^{-3} bis 10^{-6} m/s am besten für eine Versickerung geeignet (z.B. Kies mit Sandanteilen, feine oder schluffige Sandböden). Als schlecht versickerungsfähig gilt ein Boden, der einen Kf-Wert von $< 10^{-6}$ m/s aufweist (z.B. tonige Böden). Bei einem Kf-Wert von $> 10^{-3}$ m/s (z.B. Grober Kies oder grober Sand) ist eine Versickerung nicht mehr zulässig, da hierbei die Mindestverweilzeit im Untergrund unterschritten wird und somit die notwendige Reinigung des Regenwassers nicht mehr erfolgen kann.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft, Stadtgrün | Stadtplanung, Umweltplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Eine dezentrale Flächenversickerung kann zur Grundwasserneubildung beitragen. Versickerungsfähige Grünflächen tragen darüber hinaus zur Kaltluftproduktion (Verdunstungskühlung) bei und wirken sich somit positiv auf das Lokalklima aus.

Finanzierungsquellen

Grundstückseigentümer

Planungshinweise

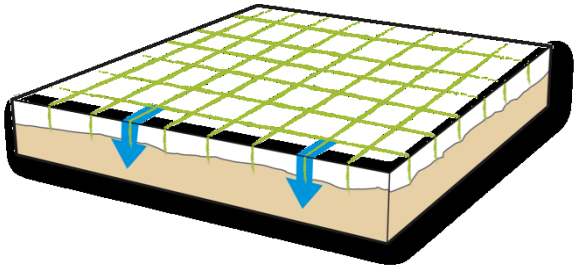
Versickerungsanlagen gehören zu den klassischen Elementen der Niederschlagswasserbeseitigung. Besonders zu beachten sind ausreichende Abstände zur Bebauung, um Vernässungen zu vermeiden. In der Betriebsphase ist eine regelmäßige Pflege der Versickerungsanlage sicherzustellen. Schon in der Planungsphase ist zu prüfen, welche Abflusswege sich bei extremen Niederschlägen und einem Versagen der Anlage ergeben.

Bewertung

Maßnahme M17

Wasserdurchlässige Beläge

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Um einerseits die Versickerung, die Speicherung und die Verdunstung von Regenwasser zu erhöhen und andererseits das Kleinklima (bodennah) zu verbessern, können asphaltierte oder gepflasterte Flächen (Stellplätze, Zufahrten, Terrassen etc.) mit wasserdurchlässigen Belägen befestigt werden. Die Art der Befestigung hängt dabei vorwiegend von der jeweiligen Flächennutzung ab. Entscheidend für die richtige Belagswahl ist die zukünftige Nutzung. Je weniger eine Fläche vom Verkehr befahren wird, desto wasserdurchlässiger kann ihre Oberfläche gestaltet werden. So eignen sich Schotterrasen und Rasengittersteine eher für Bereiche mit geringerer r Verkehrslast und Fugenpflaster und wasserdurchlässiger Asphalt für Bereiche mit höherer Verkehrslast. Die Wirksamkeit ist abhängig von dem Abflussbeiwert der verwendeten Materialien. Generell ist die Wirkung als gering bis mittel einzustufen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Verkehrswegebau, Stadtplanung | Stadtgrün, öffentliches Gebäudemanagement, Umweltplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Die Entsiegelung von Freiflächen bietet Synergien bei der Verbesserung des Stadtklimas. Wasserdurchlässige Flächen erwärmen sich in der Regel weniger als dichte Befestigungen wodurch die Hitzebelastung in der Stadt reduziert wird. Werden die Flächen begrünt, steigt durch die Verdunstungsprozesse außerdem die Luftfeuchtigkeit, und das Mikroklima verbessert sich. Entsiegelungen von Flächen können darüber hinaus als Maßnahme zur Eingriffsminderung im Rahmen der Eingriffsregel angerechnet werden.

Finanzierungsquellen

Kommunaler Haushalt, Privateigentümer, Fördermittel

Planungshinweise

Wasserdurchlässige Beläge sind besonders geeignet für Hofflächen, Terrassen, Parkplätze sowie für Rad-. Geh- und Zufahrtswege. Es ist grundsätzlich immer sicherzustellen, dass sowohl der Unterbau als auch der Untergrund eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen. Einschränkungen ergeben sich in Gebieten, wo die Gefahr besteht, dass es zu Schadstoffeinträgen ins Grundwasser kommt oder

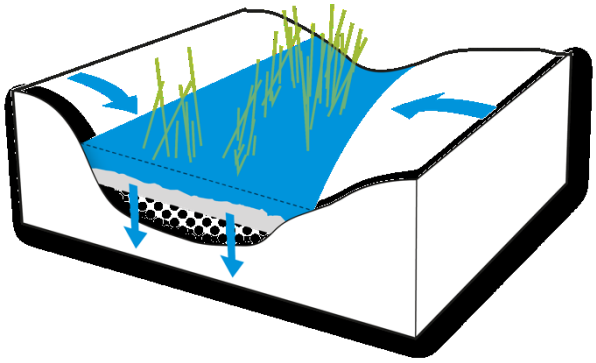
Bewertung

Kühlung	■■
Rückhalt von Starkregen	■■■
Natürlicher Wasserhaushalt	■■■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■■
Kosten	■■■

auf Grundstücken mit Altlasten. Ungeeignet sind außerdem Flächen mit sehr hohem Grundwasserstand, da dort die Wasseraufnahmekapazität in der Regel zu gering ist. Schon in der Planungsphase ist zu prüfen, welche Abflusswege sich bei extremen Niederschlägen und einem Versagen der Anlage ergeben.

Maßnahme M18
Muldenversickerung

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Sofern kein ausreichender Raum für eine flächige Versickerung zur Verfügung steht, kann das Regenwasser von befestigten Flächen mit offenen Zuleitungsrinnen in eine flache, bewachsene Bodenvertiefung (Mulde) geleitet werden, in der es kurzfristig gespeichert und dann über die belebte Bodenzone in den Untergrund versickert wird. Hierbei kann die Versickerungsrate geringer sein als der Regenwasserzufluss. Bei entsprechender Dimensionierung kann die Mulde auch ein zusätzliches Volumen zur Überflutungsvorsorge bei Starkregen umfassen. Vorteile der Muldenversickerung sind die geringen Herstellungskosten, die Wartungsfreundlichkeit und die hohe biologische Reinigungsleistung. Durch verdunstungsfördernde Pflanzen können die Mulden zudem als gärtnerisches Gestaltungselement genutzt werden. Als Nachteil ist der relativ große Flächenbedarf der Anlagen (bis zu 20 % der angeschlossenen Fläche) zu nennen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft | Stadtplanung, Umweltplanung, Verkehrswegebau, öffentliches Gebäudemanagement, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Begrünte Mulden wirken sich aufgrund ihrer Verdunstungsleistung positiv auf den natürlichen Wasserhaushalt und das Mikroklima aus.

Finanzierungsquellen

Kommunaler Haushalt, Privateigentümer

Planungshinweise

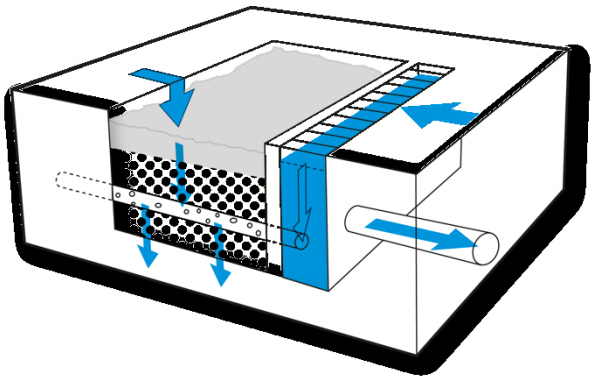
Mulden sollten so bemessen sein, dass sie nur kurzzeitig (ca. 12 Stunden) unter Einstau stehen, da sonst die Gefahr der Verschlickung bzw. Verdichtung der Anlage besteht. Große, lange Mulden sollten bei vorhandenem Geländegefälle durch Bodenschwellen unterbrochen sein. Schon in der Planungsphase ist zu prüfen, welche Abflusswege sich bei extremen Niederschlägen und einem Versagen der Anlage ergeben.

Bewertung

Kühlung	■■
Rückhalt von Starkregen	■■■■
Natürlicher Wasserhaushalt	■■■■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■■
Kosten	■■

Maßnahme M19
Rigolenversickerung

Referenzbild (Quelle: this-magazin.de)



Beschreibung

Im Falle beengter Platzverhältnisse und fehlender Flächen für eine Muldenversickerung kann das Regenwasser der Dachflächen in eine unterirdisch angelegte Rigole aus Kies, Schotter oder Kunststoff geleitet, dort gespeichert und in den Untergrund bei ausreichendem Grundwasserflurabstand versickert werden. Bei der Rigolenversickerung wird das Regenwasser direkt in den Kieskörper eingeleitet (z. B. oberflächlich wie bei einer Muldenversickerung). Die Rigole wird bei schlecht wasserdurchlässigen Böden (Wasserstauer) verwendet, um die darunterliegenden, gut durchlässigen Bodenschichten (Wasserleiter) zu erreichen. Bei der Erstellung der Rigolen ist darauf zu achten, dass das Regenwasser gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt wird.

Der Vorteil einer unterirdischen Rigolenversickerung ist, dass das Grundstück fast uneingeschränkt weiter genutzt werden kann. Es ist aber zu beachten, dass die Fläche oberhalb der Rigole nicht befestigt oder überbaut werden kann. Nachteilig wirkt sich aus, dass die mikroklimatische Kühlwirkung durch Verdunstung des Regenwassers bei einer Rigolenlösung wegfällt. Aus Sicht der Hitzevorsorge sind daher immer eine Flächen- oder Muldenversickerung vorzuziehen. Auch die biologische Reinigungsleistung ist bei einer Rigolenversickerung gering, da die Versickerung nicht über belebte Bodenschichten erfolgt. Weitere Nachteile sind der hohe Arbeitsaufwand, die hohen Kosten und die begrenzte Wartungsmöglichkeit der Anlage. Sollte die Versickerungsfähigkeit der Anlage nachlassen, ist diese nur bedingt wiederherzustellen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtgrün, Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft | Stadtplanung, Umweltplanung, öffentliches Gebäudemanagement, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Auch Rigolen leisten einen positiven Beitrag zur Verdunstungsleistung und wirken sich positiv auf den natürlichen Wasserhaushalt und das Mikroklima aus.

Finanzierungsquellen

Privateigentümer

Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■ ■ ■

Planungshinweise

Rigolenversickerungen bieten sich im innerstädtischen Bereich bei beengten Platzverhältnissen an, wenn Flächen- und Muldenversickerungen nicht möglich sind. Schon in der Planungsphase ist zu prüfen, welche Abflusswege sich bei extremen Niederschlägen und einem Versagen der Anlage ergeben.

Maßnahme M20
Baumrigolen

Referenzbild (Quelle: MUST)

Beschreibung

Vor allem in dicht bebauten bzw. stark versiegelten Bereichen, in denen aufgrund der Vielzahl von Nutzungsansprüchen eine platzsparende Entwässerungslösung gesucht werden muss, können Bäume mit rückhaltefähigen Pflanzgruben (Baumrigolen) eingesetzt werden. Diese verfügen im Gegensatz zur üblichen Pflanzweise von Bäumen über zusätzliche unterirdische Speicherkapazitäten. Das auf den befestigten Verkehrsflächen (z.B. Stellplätze, Straßen) anfallende Niederschlagswasser wird in diese Pflanzgruben geführt und von dort versickert oder gedrosselt an das Kanalnetz geleitet. Die Wirkung von Baumrigolen auf den Wasserhaushalt hängt in starkem Maße von der angeschlossenen Fläche, von der Speicherkapazität und von der Art des Baumes ab. Im Vergleich zu einer Muldenrigole, zeichnen sich Baumrigolen aufgrund der Blattflächen durch eine deutlich höhere Verdunstungsleistung aus.

Zuständigkeit | Beteiligte

Verkehrswegebau, Stadtgrün | Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft, Stadtplanung, Umweltplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

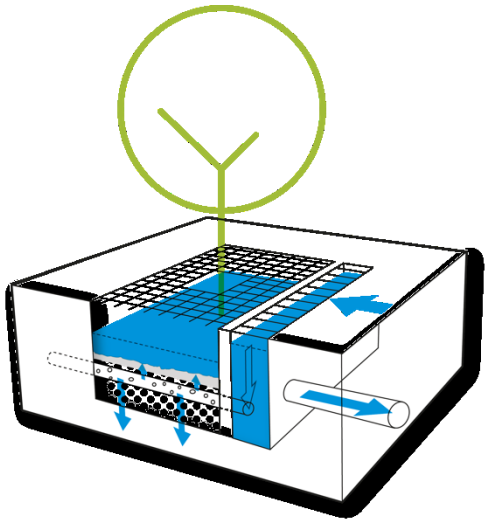
Die Vorteile von Baumrigolen liegen in dem optimierten Wasserhaushalt für den Baum gegenüber einer herkömmlichen Baumgrube. Durch die zusätzliche Speicherfunktion der Baumgrube kann außerdem der zunehmende Trockenstress von Bäumen reduziert werden und das Lokalklima durch die Verdunstungskühlung sowie durch Beschattung deutlich verbessert werden. Konfliktpotenziale bestehen hinsichtlich der Lage von Leitungen im Wurzelraum sowie in der Flächenkonkurrenz mit anderen Elementen des Stadtmobiliars und des lokalen Einzelhandels/Gastronomie. Darüber hinaus sind die Anforderungen des Denkmalschutzes bei der Standortwahl für Bäume zu berücksichtigen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt, Privateigentümer

Planungshinweise

Einschränkungen für den Einsatz von Retentionsbäumen ergeben sich bei hoher stofflicher Belastung. Diese Einschränkungen können behoben werden, indem nur der Abfluss von schwach belasteten Flächen genutzt wird oder der Zufluss eine Vorreinigung passieren muss. Empfehlenswert sind stresstolerante, schwach bis mittel wachsende Baumarten (u. a. Feldahorn, Hainbuche, Baum-Hasel, Esche), die an wechselnde Feuchtigkeitsverhältnisse angepasst sind. Des Weiteren gilt es übermäßige Vernässungen im Wurzelbereich zu vermeiden.



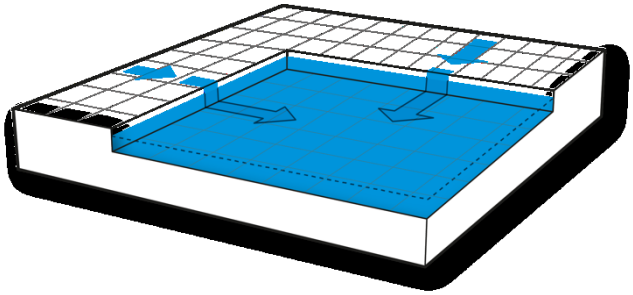
Bewertung

Kühlung	■■■■
Rückhalt von Starkregen	■■■■
Natürlicher Wasserhaushalt	■■■■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■■■■
Kosten	■■

Maßnahme M21

Multifunktionale Retentionsflächen

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Es besteht die Möglichkeit, öffentliche Wege und Plätze in Bielefeld oder Teile davon als temporäre multifunktionale Retentionsflächen einzurichten, um bei außergewöhnlichen Starkregenereignissen eine Überflutung von Gebäuden zu verhindern. Die meiste Zeit erfüllen diese Orte ihren Hauptzweck als Verkehrsfläche oder als Aufenthaltsraum. Im seltenen Fall eines Starkregens übernehmen sie dann kurzzeitig die wasserwirtschaftliche Funktion eines temporären Retentionsbeckens. Überschüssiges Regenwasser aus der Umgebung wird in die abgesenkten Bereiche der Plätze geleitet, temporär zurückgehalten und anschließend versickert, abgepumpt oder gedrosselt in die Kanalisation abgeführt. Durch die Nutzung multifunktionaler Retentionsflächen kann das Schutzniveau gegenüber Überflutungen durch Starkregen lokal erhöht und somit das Schadensrisiko in den angrenzenden Bereichen reduziert werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Verkehrswegebau, Stadtgrün | Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft, öffentliches Gebäudemanagement, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Wenn die Bereiche mit einer wasserdurchlässigen Oberfläche versehen werden, kann zusätzlich ein Beitrag zum Erhalt des natürlichen Wasserkreislaufes geleistet werden, indem die normalen Abflüsse vor Ort versickern und verdunsten. Daneben hätte die Entsiegelung der Fläche positive Auswirkungen auf die Albedo und auf die Verdunstungskühlung.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt

Planungshinweise

Die gezielte Nutzung öffentlicher Freiflächen als Retentionsraum darf nicht zu einer Verschlechterung der Überflutungssituation an anderer Stelle führen. In Abhängigkeit von den potenziellen Nutzungskonflikten vor Ort sollten zudem möglichst kurze Entleerungszeiten (< 24 h) angestrebt werden. Darüber hinaus sind, je nach Nutzungsintensität, bei der Gestaltung die Anforderungen an die Verkehrssicherheit und an die Barrierefreiheit zu berücksichtigen. Dabei sind auch

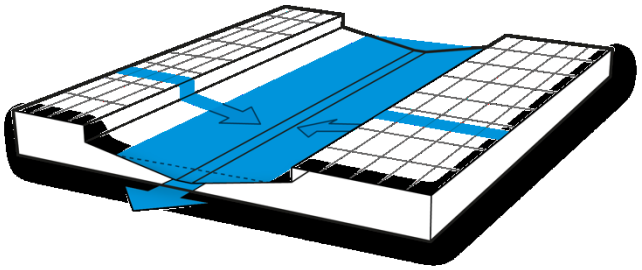
Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■ ■ ■
Kosten	■ ■ ■ ■

Maßnahmen zur aktiven Verkehrslenkung bei Starkregen zu prüfen.

Maßnahme M22
Notabflusswege

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

An geeigneten Stellen im Bielefelder Stadtgebiet kann z.B. ein technischer Ausbau des Straßenraumes bzw. der Fahrbahn als temporärer Abflussweg bei außergewöhnlichen Regenabflüssen in Betracht gezogen werden. Dies kann beispielsweise durch den gezielten Einsatz von Hochborden und/oder durch die Einrichtung eines umgekehrten Dachprofiles mit einer Mittelrinne erreicht werden. Bei einem gewöhnlichen Niederschlagsereignis wird das Regenwasser über die üblichen Ableitungselemente gezielt dem Kanalnetz zugeführt oder dezentral versickert. Dadurch kann eine Reinigung des oft zu Beginn eines Regenereignisses vermuteten stärker verschmutzten Niederschlagswassers („first flush“) gewährleistet werden. Die nachfolgenden, weniger verschmutzten Abflüsse werden in seltenen Fällen über die Straße in Richtung der Oberflächengewässer oder der dafür geeigneten Retentionsflächen geleitet. Notabflusswege können (unter Beachtung der Auswirkung auf Dritte) in erheblichem Maße zur Entlastung bei Kanalüberstau und zur Vermeidung von Überflutungsschäden in Senken und Tiefpunkten beitragen. Der Notabfluss kann über den Straßenkörper selbst oder z.B. über Rinnen, Mulden, Stellplätze oder ähnliche Flächen erfolgen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Verkehrswegebau, Stadtgrün | Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft, Stadtplanung, Umweltplanung

Wechselwirkungen

Wechselwirkungen ergeben sich mit allen Planungen und Nutzungen auf und im Einzugsbereich der Notabflusswege.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt

Planungshinweise

Nicht jede Straße eignet sich für eine gezielte Notentwässerung. Voraussetzung ist zunächst ein durchgängiges und ausreichendes Gefälle von den zu entwässernden Flächen zum Tiefpunkt und ausreichende Retentionsmöglichkeiten am Ziel der Ableitung. Andererseits sollte das Längsgefälle der Straßen nicht so steil sein, dass durch die Fließgeschwindigkeiten Gefahren entstehen können.

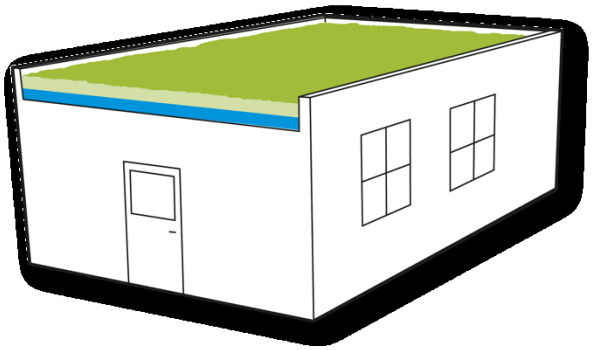
Neben den Fahrbahnflächen können auch Rinnen oder Flutmulden als zusätzliche oder separate Notwasserwege im Bereich von Retentionsflächen zur Ableitung von Starkregenniederschlagswasser dienen.

Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■ ■

Maßnahme M23
Retentionsgründächer

Referenzbild (Quelle: Optigrün)



Beschreibung

Bei öffentlichen Neubauten und bei geeigneten Flachdächern im Bestand können Retentionsgründächer eingesetzt werden. Deren Hauptmerkmal ist es, dass sie gegenüber anderen Lösungen nicht nur eine Dränageschicht umfassen, die anfallendes Wasser aufnimmt, sondern unterhalb des eigentlichen Begrünungsaufbaus zudem über künstliche Stauräume verfügen. Dort kann Niederschlagswasser zurückgehalten und über ein Drosselelement, das im Ablauf verankert ist, langsam in einem definierten Zeitraum (zwischen 24 Stunden und mehreren Tagen) in die Kanalisation abgeleitet werden. Erst bei Überschreiten der maximalen Rückhaltekapazitäten der Füllkörper wird das überschüssige Regenwasser über Notüberläufe in die angrenzenden Freiräume oder Verkehrsflächen geleitet.

Gründächer leisten im Sinne einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung grundsätzlich einen äußerst positiven Beitrag zur Abflussminderung. Allerdings hat die Wasserspeicherung in einem normalen Gründachaufbau ihre Grenzen, da langanhaltende feuchte Bodenverhältnisse zu einer Vegetationsumbildung führen können. Durch den Einsatz von Retentionsgründächern kann die Rückhaltekapazität deutlich erhöht werden.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtplanung, öffentliches Gebäudemanagement | Stadtentwässerung, Umweltplanung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Neben dem Nutzen von Retentionsgründächern für die Abflussminderung ist als weiterer positiver Nebeneffekt ihr Beitrag zur Gebäudekühlung und zur Verbesserung des lokalen Klimas zu erwähnen. Das zwischengespeicherte Niederschlagswasser kann je nach Modell in den Begrünungsbau gezogen und über die Vegetation zur Verdunstungskühlung beitragen. Grüne Dächer kühlen in Hitzeperioden jedoch nur, wenn sie ausreichend mit Wasser versorgt sind – sei es durch Bewässerung oder, indem sie selbst Wasser speichern. Eine Dachbegrünung, die bei Hitze über geeignete Systeme bewässert wird, ist im Sinne der hitzeangepassten Stadt ausgesprochen wirkungsvoll.

Bewertung

Kühlung	■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■ ■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	■
Kosten	■ ■ ■ ■

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt (öffentliche Gebäude), Privateigentümer, Förderprogramme

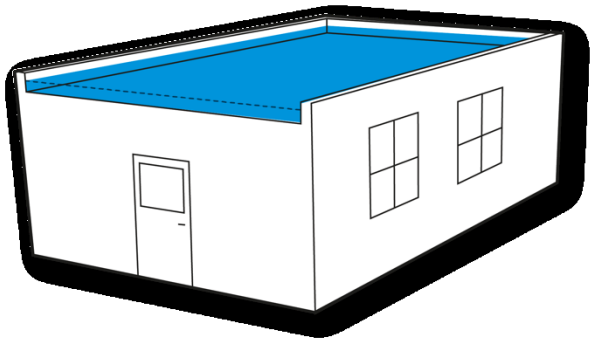
Planungshinweise

Nicht alle Dächer eignen sich für die Errichtung eines Retentionsgründaches. Am besten geeignet sind Flachdächer. Ferner spielt die Frage der statischen Belastbarkeit des Daches eine entscheidende Rolle. Dabei sind ausreichende Sicherheitsreserven für Schneelasten und das Begehen der Dächer zu berücksichtigen.

Maßnahme M24

Retentionsdächer („blue roofs“)

Referenzbild (Quelle: Philadelphia Water Department)



Beschreibung

Auf großen öffentlichen Bauwerken mit Flachdach (und mit entsprechender Baustatik) besteht die Möglichkeit beim Neubau großflächige Rückhaltebecken zu integrieren, welche in der Lage sind, überschüssiges Regenwasser aufzufangen und zu speichern. Solche sogenannte „blue roofs“ dienen im Vergleich zu den Retentionsgründächern (siehe Maßnahme M23) ausschließlich der Rückhaltefunktion und der Drosselung von Niederschlagsspitzen. Das Regenwasser wird hier offen oder in Kiesbetten aufgefangen und zurückgehalten, bevor es im Anschluss an ein Starkregenereignis dann gedrosselt an den Kanal abgegeben wird. Durch den Einsatz von blue roofs kann die Rückhaltekapazität im Gegensatz zu begrünten Retentionsdächern noch weiter erhöht werden. Allerdings kommen bei dieser Variante die Synergien einer Begrünung nicht zum Tragen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtplanung, öffentliches Gebäudemanagement | Stadtentwässerung, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Bei einem hellen Anstrich der Dachfläche kann gleichzeitig eine Reduzierung der Albedowerte zur Erhöhung der Rückstrahleffekte erreicht werden (vgl. Maßnahme M8).

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt (öffentliche Gebäude), Privateigentümer, Förderprogramme

Planungshinweise

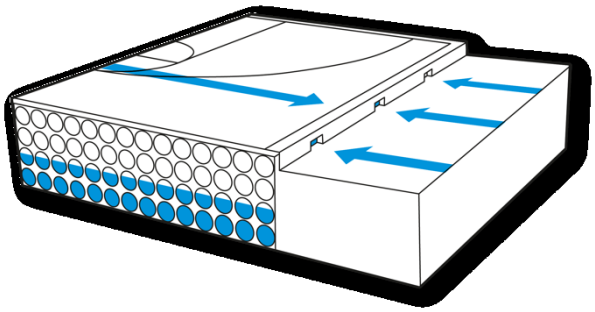
Nicht alle Dächer eignen sich für eine Retention. Am besten geeignet sind Flachdächer. Ferner spielt die Frage der statischen Belastbarkeit des Daches eine entscheidende Rolle. Dabei sind ausreichende Sicherheitsreserven für Schneelasten und das Begehen der Dächer zu berücksichtigen.

Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■

Maßnahme M25
Füllkörperrigolen

Referenzbild (Quelle: bi-media.de)



Beschreibung

Bei beengten Verhältnissen oder Nutzungskonflikten im öffentlichen Raum kann zur Erhöhung des Speichervolumens punktuell auf die Rückhaltung von Regenwasser in unterirdischen Speichersystemen aus Kunststoff zurückgegriffen werden. Diese Füllkörper besitzen in der Regel einen unterirdischen Zulauf und ihr Aufbau ermöglicht eine nahezu freie Nutzung der darüber liegenden Oberfläche. Ihre Entleerung kann vorzugsweise durch Versickerung oder alternativ durch eine gedrosselte Ableitung in den Kanal erfolgen. Füllkörperrigolen haben wegen ihres hohen Porenvolumens im Vergleich zu Kiesrigolen oder Drainagerohren einen sehr geringen Flächenbedarf und weisen ein deutlich höheres Rückhaltevolumen bei geringem Gewicht auf. Auch die hohe Belastbarkeit und die Langlebigkeit sprechen für den Einsatz von Speichermodulen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Verkehrswegebau, Stadtgrün | **Stadtentwässerung**, Privateigentümer

Wechselwirkungen

Konfliktpotenziale können hinsichtlich der Lage von Leitungen oder Baumwurzeln entstehen.

Finanzierungsquellen

kommunaler Haushalt (öffentliche Gebäude), Privateigentümer, Förderprogramme

Planungshinweise

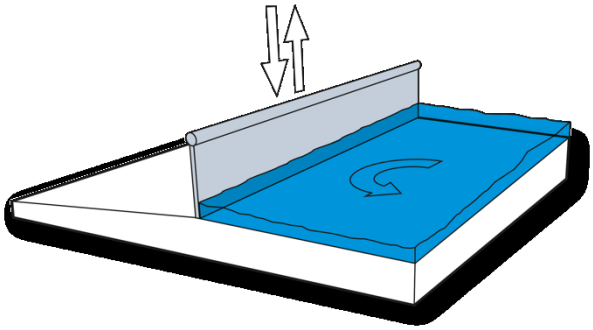
Bei hohen Grundwasserständen oder schlechter Durchlässigkeit des Bodens sind eher niedrige Anlagen zu bevorzugen. Dagegen können bei gut durchlässigen Böden hohe und kompakte Anlagen geplant werden, sodass der darüber zur Verfügung stehende Raum maximal und multifunktional genutzt werden kann.

Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■ ■

Maßnahme M26
Objektschutz

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung
Seltene und außergewöhnliche Regen lassen sich nicht allein durch die Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung beherrschen. Es ist daher nötig, dass öffentliche und private Immobilieneigentümer frühzeitig Maßnahmen ergreifen und Sicherungssysteme einbauen, welche den Schutz des Gebäudes vor Überflutungsschäden bei seltenen und außergewöhnlichen Starkregen zumindest erhöhen.

Ziel ist es, das abfließendes Niederschlagswasser durch abschirmende Maßnahmen von der Gebäudehülle bzw. von den Gebäudeöffnungen fernzuhalten. Bei einer Neuplanung kann dies bereits durch eine entsprechende Standortwahl und eine angepasste Geländegestaltung erreicht werden. Sind diese Möglichkeiten nicht gegeben, kann mithilfe von Bodenschwellen oder Aufkantungen an den Gebäudeöffnungen und -zugängen ein Wassereintritt vermieden werden.

Durch Objektschutzmaßnahmen kann der Schutz von Gebäuden vor Überflutungsschäden bei seltenen und außergewöhnlichen Starkregen deutlich erhöht werden. Eine hundertprozentige Absicherung gegen die Folgen von Starkregen ist jedoch technisch nicht möglich.

Zuständigkeit | Beteiligte
öffentliches Gebäudemanagement, Privateigentümer | Stadtplanung, Stadtentwässerung,

Wechselwirkungen
Bei allen Maßnahmen zur Abschirmung eines Gebäudes muss darauf geachtet werden, dass durch die Barrieren die Gefährdung an anderer Stelle nicht erhöht wird.

Finanzierungsquellen
kommunaler Haushalt (öffentliche Gebäude), Förderprogramme, Privateigentümer,

Planungshinweise
Bei der Standortwahl eines Gebäudes sollten immer die örtlichen Geländeverhältnisse im Hinblick auf den Oberflächenabfluss beachtet werden. Durch eine frühzeitige Analyse der Topographie kann die Gefährdung eines Gebäudes durch abfließendes Oberflächenwasser erkannt werden. Bei der Einschätzung sollten neben dem Baugrundstück auch die

Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■ ■

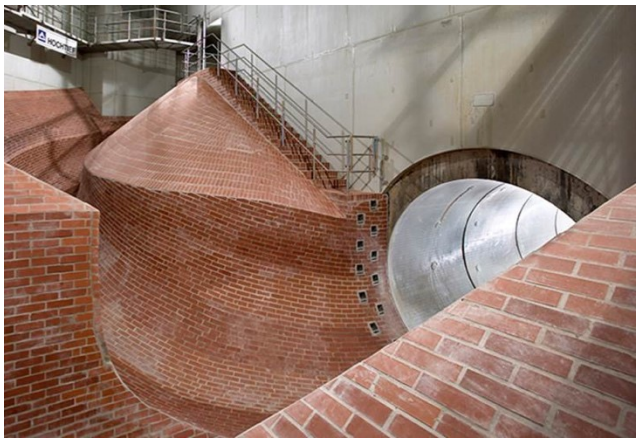
Abflüsse auf den daran angrenzenden Grundstücken und Verkehrsflächen mit berücksichtigt werden.

Grundsätzlich sollten bei der Wahl des Gebäudestandortes Bereiche vermieden werden, an denen sich Regenwasser sammeln kann, z. B. in Mulden oder Senken. Ein zum Gebäude abfallendes Gelände kann das Eindringen von Regenwasser begünstigen. Durch eine entsprechende Standortwahl bzw. durch eine konsequente Terraingestaltung kann ein Zufluss vermieden werden. Die Geländeneigung sollte dabei immer vom Gebäude aus abfallend verlaufen.

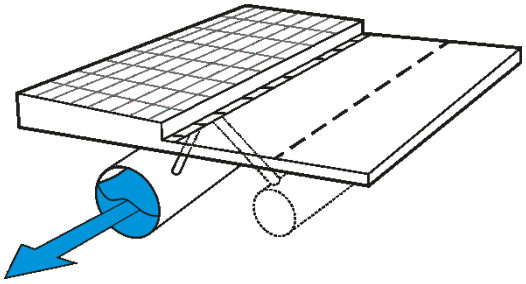
Abschirmende Objektschutzmaßnahmen sollten für den Fall, dass die Höhe der Wassersperren überschritten wird, grundsätzlich mit Abdichtungen am Gebäude kombiniert werden. Auch sollte gleichzeitig immer sichergestellt sein, dass weder aufstauendes Sickerwasser noch rückstauendes Kanalwasser in das Gebäude eindringen kann.

Maßnahme M27

Ausbau und Optimierung Kanalnetz



Referenzbild (Quelle: PECHER)



Beschreibung

Das Kanalnetz bestimmt im urbanen Raum das Abflussgeschehen maßgeblich mit und muss daher ebenfalls an Klimaänderungen angepasst und zukünftig flexibler gestaltet werden. Dies gilt für Trockenperioden ebenso wie für zunehmende stärkere und extreme Niederschläge. Klimaänderungen sind gemäß technischem Regelwerk bei der Planung zu berücksichtigen. Flexibilisierungen können insbesondere durch Stufenausbaupläne, Kombinationen von zentralen und dezentralen Netzelementen und Netzsteuerungen erreicht werden. Werden die Systeme kombiniert, lassen sich die Stärken der beiden Systemansätze nutzen. Voraussetzung dafür ist allerdings eine Auswahl betriebssicherer, leistungsfähiger und überwachbarer Systeme, die einen bedarfsorientierten Betrieb, Systemanpassungen und -optimierungen sowie systematische Erfolgskontrollen ermöglichen. Im Rahmen der Bemessungsgrenzen übernimmt das Entwässerungssystem die Sicherstellung der Hygiene, Abwasser- und Niederschlagswasserableitung und Überflutungsvorsorge. Durch bauliche und betriebliche Maßnahmen muss auf längere Trockenperioden reagiert werden, um Ablagerungen und Geruchsbelästigungen zu vermeiden. Netzanlagen sind gegen Auswirkungen von Starkregen ebenso zu schützen wie die übrige kritische Infrastruktur einer Stadt. Hierzu gehören organisatorische und bauliche Maßnahmen. Lassen sich Retentionsräume und Notabflusswege (s.o.), im innerstädtischen urbanen Raum nicht umsetzen, sind auch die Anordnung oder der Ausbau unterirdischer Ableitungssysteme zur schadlosen Ableitung des Niederschlags zu prüfen.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtentwässerung | Wasserwirtschaft

Wechselwirkungen

Wechselwirkungen bestehen an allen Schnittstellen des Kanalsystems mit der Oberfläche und deren Gestaltung. Hierzu zählen auch Möglichkeiten zur Verkehrslenkung bei Starkregen. Besonderes Augenmerk ist jedoch auf alle Einlauf-, Auslauf- und Überlaufbauwerke, deren Gestaltung und Einbindung in das Umfeld zu legen.

Finanzierungsquellen

Abwassergebühr, Fördermittel

Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■ ■ ■ ■

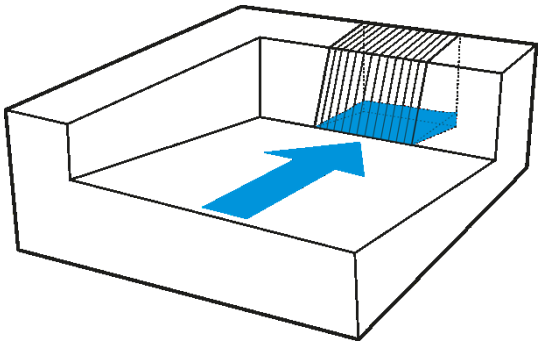
Planungshinweise

Planungshinweise sind in einschlägigen Regelwerken und Forschungsprojekten umfassend beschrieben. Neben dem Ausbau zentraler Ableitungs- und Speichersysteme gehören Netzsteuerungen und die Anordnung von Fremdwasserverschlüssen zu den Maßnahmen. Darüber hinaus sind Abkopplungen von Teilflächen der Mischgebiete, Umwandlung von modifizierten Mischgebieten in Trenngebiete, Stauraumerweiterungen bzw. -aktivierungen denkbar. Ablagerungen bei Trockenwetter kann u. a. durch angepasste Spülpläne und die Anordnung von Spülkaskaden oder Trockenwetterrinnensystemen begegnet werden. Die Flexibilisierung des Kanalsystems kann nur durch eine intelligentere Steuerung und Kombination von zentralen und dezentralen Systemen erreicht werden. Dabei sind schon in der Planungsphase auch die veränderten und zunehmenden Anforderungen an den Kanalbetrieb zu beachten.

Maßnahme M28

Entschärfung von Abflusshindernissen

Referenzbild (Quelle: PECHER)



Beschreibung

Auswertung von durch Starkregen verursachten Schadensereignissen zeigen, dass insbesondere Bereiche rund um hydraulische Engpässe immer wieder zu den Schadensschwerpunkten gehören. Diesen Punkten muss daher auch in Bielefeld eine erhöhte Aufmerksamkeit hinsichtlich baulicher Anpassungen und betrieblicher Überwachung zukommen. Aufgrund der besonderen topographischen Lage Bielefelds entspringen viele kleine Bäche am Teutoburger Wald und fließen mit vielen verrohrten Streckenabschnitten durch das Stadtgebiet. Es gibt viele Rechenbauwerke, die ein Verlegen des nachfolgenden Netzes verhindern sollen, sie sind dabei von besonderer Bedeutung. Zu Abflusshindernissen zählen jedoch die meisten Einlaufbauwerke an der Schnittstelle von offenen und verrohrten Gewässerbereichen, Durchlässe und Düker sowie Einlaufpunkte des Kanalnetzes (Straßeneinläufe, Gullis). Einlaufbauwerke sollten so gestaltet und unterhalten werden, dass die Funktionsfähigkeit auch bei Starkregen erhalten bleibt und ein Versagen dieser Bauwerke die Situation für Ober- und Unterlieger nicht zusätzlich verschärft.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtentwässerung | Wasserwirtschaft, Verkehrswegebau

Wechselwirkungen

Die Anordnung von ausreichenden Einlaufbauwerken im Straßenraum ist insbesondere beim Straßenbau mit zu berücksichtigen.

Finanzierungsquellen

Fördermittel, Gewässerausbauprogramme, kommunaler Haushalt

Planungshinweise

Bei der Ausgestaltung von Einlaufbauwerken von offenen in verrohrte Gewässerbereiche sind dreidimensionale Rechenanlagen vorzusehen und die Querschnitte von Durchlässen zu prüfen. Kritische Anlagen können zusätzlich mit Alarm- und Meldeeinrichtungen versehen werden. Neben punktuellen Einlaufbauwerken (Straßeneinläufen) bieten sich auch Rinnensysteme zur Ableitung an.

Die Reinigung der Anlagen sollte an die Gefahrensituation angepasst werden. Planungshinweise sind in einschlägigen Regelwerken und Forschungsprojekten umfassend beschrieben. Im Rahmen der Planung sollten nicht nur offensichtliche Einlaufbauwerke sorgsam geprüft werden, sondern auch die Lage von Bauwerken und Abflusshindernissen an „schlafenden Gewässern“, die erst bei extremen Niederschlägen Wasser führen.

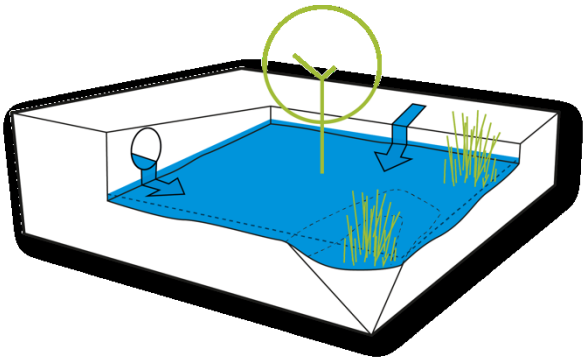
Bewertung

Kühlung	
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■

Maßnahme M29

Schaffung von Retentionsräumen

Referenzbild (Quelle: MUST)



Beschreibung

Insbesondere in Außenbereichen und Hanglagen der Stadt, die weniger bebaut sind, muss versucht werden, das Niederschlagswasser verzögert abzuleiten, um Schäden im innerstädtischen Bereich zu vermeiden. Hierzu ist neben klassischen Rückhalteräumen der Stadtentwässerung (z.B. Rückhaltung im Kanalnetz oder Rückhaltebecken bei Einleitung) auch der kurzzeitige Einstau von Freiflächen bei extremen Starkregen zu prüfen.

Retentionsräume lassen sich auch im Rahmen des Rückbaus von Verrohrungen im Gewässernetz, der Gewässer- und Auenrenaturierung und der Hochwasservorsorge schaffen. Offene Retentionsräume im Außenbereich sind deutlich kosteneffizienter als Maßnahmen im beengten urbanen Raum. In Kombination mit Entflechtungsmaßnahmen ergeben sich auch Synergien zur Aufwertung des Wohnumfelds und der Aufenthaltsqualität.

Zuständigkeit | Beteiligte

Stadtentwässerung, Wasserwirtschaft | Verkehrswegebau, Stadtgrün, Privateigentümer, Landwirtschaft

Wechselwirkungen

Wechselwirkungen und damit auch Synergien ergeben sich mit allen Nutzungen rund um die Retentionsräume. Der Übergang zur Nutzung als multifunktionale Fläche ist dabei fließend.

Finanzierungsquellen

Kommunaler Haushalt, Fördermittel, Gewässerausbauprogramme

Planungshinweise

Technische Bauwerke zur Retention werden als Regenrückhaltebecken und Hochwasserrückhaltebecken ausgeführt. Naturnahe Retentionsbereiche lassen sich insbesondere im Rahmen von Gewässerrenaturierungen und Entflechtungsmaßnahmen schaffen.

Bewertung

Kühlung	■ ■
Rückhalt von Starkregen	■ ■ ■ ■ ■
Natürlicher Wasserhaushalt	■
Gestaltungs-/Aufenthaltsqualität	
Kosten	■ ■ ■ ■ ■

4.2 TRANSFER DES MASSNAHMENKATALOGS - ANPASSUNGSKONZEPTE FÜR ZWEI FOKUSGEBIETE

In den Fokusgebieten wurde der Maßnahmenkatalog auf seine potentielle Umsetzbarkeit in konkreten Planungsvorhaben hin geprüft. Gleichzeitig sollte die Wirksamkeit der Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmensets vor allem für die Hitzevorsorge beispielhaft quantifiziert werden. Da häufig eine funktionale Synergie zwischen blau-grünen Maßnahmen der Starkregen- und der Hitzevorsorge besteht, soll für diese Gebiete – unabhängig von ihrer tatsächlichen Starkregenbetroffenheit – auch untersucht werden, ob und wie sich Veränderungen der Oberfläche auf die Abflussverhältnisse auswirken. Mit der Jöllheide/Teichsheide (Kombination aus B-Plangebiet und etwaiger Stadtsanierung) einschließlich Herforder Straße sowie dem Jahnplatz (Umgestaltung einer Platzsituation in Kombination mit verkehrlichen Maßnahmen) wurden sowohl aktuelle Planvorhaben als auch die zentralen städtebaulichen Herausforderungen in der Stadt Bielefeld adressiert.

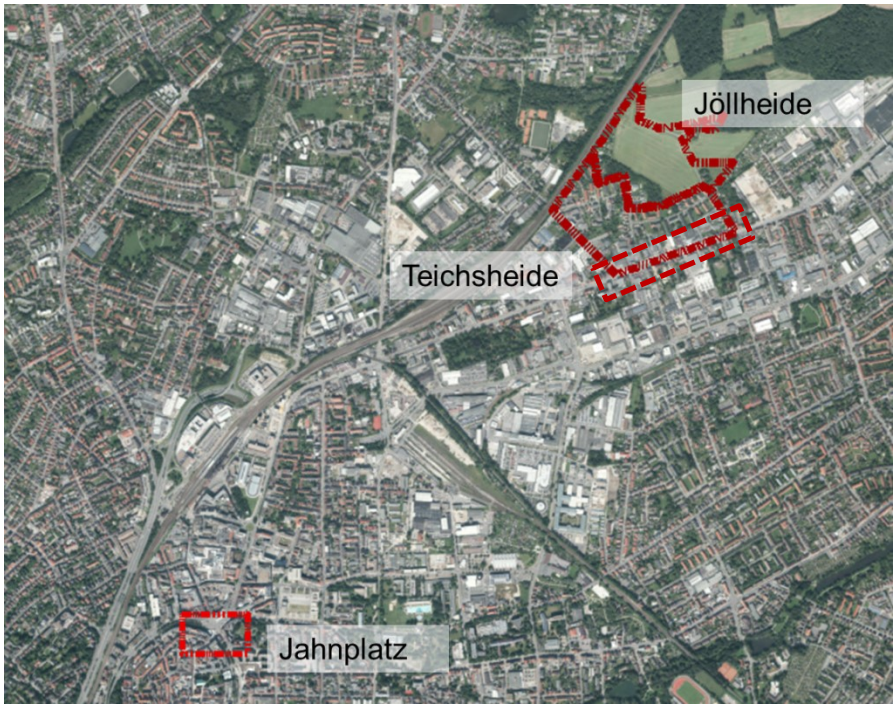


Abb. 72: Die Fokusgebiete Jahnplatz und Jöllheide/Teichsheide

4.2.1 JÖLLHEIDE/TEICHSHEIDE

4.2.1.1 IST-SITUATION UND PLANUNGSVARIANTEN

Das Fokusgebiet besteht aus zwei Teilflächen. Die Jöllheide ist gegenwärtig unbebaut und wird landwirtschaftlich genutzt. Es existiert ein B-Planbeschluss aus dem Jahr 2002. Dieser sieht eine Erschließung und Bebauung der Fläche mit ca. 330 Wohneinheiten in Mehrfamilien-, Reihen-, Doppel- und Einfamilienhäusern vor. Während im Westen eine verdichtetere Bauweise geplant ist, lockert diese nach Nord-Osten als Übergang zum Landschaftsschutzgebiet hin immer mehr auf. Der Gestaltungsplan sieht u.a. die Neupflanzung von Bäumen entlang der Erschließungsstraßen vor. Um eine Vergleichbarkeit mit den beiden Planungsvarianten herzustellen, wurde der umgesetzte B-Plan als Ist-Situation angenommen (Abb. 73).

Abb. 73: Ist-Situation im Fokusgebiet Jöllheide/Teichsheide; links : Realnutzung; rechts: Gestaltungsplan Jöllheide lt. B-Planbeschluss

Im Rahmen eines Workshops mit den betroffenen Fachämtern wurden dem Nutzungs-/Gestaltungsplan des B-Plans zwei zusätzliche Varianten gegenübergestellt. In beiden Varianten wurde das Bauvolumen gegenüber der Ist-Situation (deutlich) erhöht (Variante 1: +12 %; Variante 2: +46 %). Dadurch wurde die bebaute Fläche (-2 % bzw. -14 %) bzw. der Versiegelungsgrad (-4 % bzw. -52 %) nicht unwesentlich reduziert. Gleichzeitig wurde der Grünflächenanteil bzw. das Grünvolumen erhöht (+3 % bzw. +22 %). Insgesamt wurde also die bauliche Dichte (und damit die Anzahl der Wohneinheiten) gegenüber der B-Planvariante bei gleichzeitiger Erhöhung des Grünanteils erhöht. Dabei unterscheidet sich Variante 1 mit vorrangig kleinteiliger Bebauung und privaten Grünflächen vom Nutzungs-/Gestaltungsplan des B-Plans insgesamt deutlicher weniger als die urbanere Variante 2, die durch Geschosswohnungsbau und Gemeinschaftsflächen geprägt ist. Neben den baulich-strukturellen Unterschieden wurden auch die Maßnahmensets variiert. In Variante 1 kamen insbesondere Baumpflanzungen im privaten und öffentlichen Raum sowie Teilentsiegelungen und Gebäude mit hohen Albedowerten („weiße Fassaden“) zum Einsatz. In Variante 2 wurden zusätzlich noch offene Wasserflächen und Dachbegrünungen implementiert (Abb. 75).

Abb. 74: Planungsvarianten für das Fokusteilgebiet Jöllheide (Variante 1 links; Variante 2 rechts)

Beim zweiten Fokusteilgebiet Teichsheide handelt es sich um ein gegenwärtig mischgenutztes Bestandsquartier. Es ist zum einen geprägt durch die 4-spurige Herforder Straße (inkl. Straßenbahnverkehr) im Süden mit seinen angrenzenden, teilweise stark versiegelten (Klein-)Gewerbeflächen. Nördlich schließen sich vor allem 3-4 geschossige Zeilenbauten der 60/70er Jahre mit Abstandsgrün sowie vereinzelt auch Einzel-/Mehrfamilienhäuser an. Es existieren gelegentlich Baulücken. Dieser Charakter wurde in den beiden Planungsvarianten grundsätzlich beibehalten, allerdings durch gezielte Maßnahmen angepasst. Dabei beinhaltet die Variante 2 sämtliche Maßnahmen der Variante 1 plus zusätzliche Optionen. Insgesamt wurde ein breites Spektrum an Maßnahmen implementiert. Dies reicht von punktuellen Nachverdichtungen, über Maßnahmen im öffentlichen Straßen- und Freiraum (Baumpflanzungen, Gewässerrenaturierung, Grüngleise, Albedoerhöhungen, Pergolensysteme) bis hin zu Maßnahmen auf privaten Flächen (Gebäudebegrünungen, Entsiegelungen im Bereich der Gewerbebetriebe).

Abb. 75: Planungsvarianten für das Fokusteilgebiet Teichsheide (Variante 1 links und Variante 2 rechts)

4.2.1.2 WIRKSAMKEIT LOKALER MAßNAHMEN(SETS) ZUR HITZEVORSORGE

Die thermische Belastung in der Ist-Situation und in den beiden Planungsvarianten wurde in einer horizontalen Auflösung von 4 m mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ASMUS_green für einen hochsommerlichen Heißen Tag modelliert. Als Analysegröße wird die „gefühlte Temperatur“ in Form des UTCI - Universal Thermal Climate Index (Universeller thermischer Klimaindex) verwendet. Aus den Ergebnissen lassen sich insbesondere Rückschlüsse für eine Bewertung der beiden Planungsvarianten im Vergleich zur Ist-Situation sowie untereinander ziehen. Aber auch Aussagen zur Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen lassen sich für konkrete Einzelfälle ableiten.

Das zentrale Ergebnis für das Teilgebiet Jöllheide ist, dass durch die Berücksichtigung bestimmter Maßnahmen sowohl bauliche Entwicklung als auch der Erhalt eines gesunden Stadtklimas möglich sind. Konkret ist es sogar so, dass trotz zusätzlicher Wohneinheiten die thermische Gesamtsituation in Variante 1 erhalten und in Variante 2 (- 1,9 °C) sogar verbessert werden konnte. Der Schlüssel liegt dabei primär in der zielgerichteten Ausnutzung der durch „vertikales“ Bauen (Geschosswohnungsbau) gegenüber dem „horizontalem“ Bauen (Einzel-und Reihenhäuser) gewonnenen Fläche. Mit Blick auf die Hitzeanpassung bedeutet dies, den Freiraum möglichst unversiegelt, möglichst grün und möglichst verschattet zu gestalten. Um die Bodenkühlleistung zu unterstützen, sollten dabei immer auch einzelne Offenflächen (Rasen, offener Boden) erhalten bleiben (siehe Variante 2). Ergänzend dazu zeigen auch Maßnahmen auf Gebäudeebene eine relevante Wirkung. Albedoerhöhungen verbessern die Situation im Gebäudenahbereich (sowie im Gebäudein-

neren) in einer ähnlichen Größenordnung wie Fassadenbegrünungen (siehe Ergebnisse zur Teichheide). Dachbegrünungen wirken auf den bodennahen Außenraum insbesondere auf (Neben-)Gebäude mit einer Höhe von <5 m.

Mit Blick auf das Teilgebiet Teichsheide zeigt sich als Ergebnis, dass kleinräumige Maßnahmenkombinationen die stärkste Kühlleistung erzeugen. Die Kombination von Maßnahmen ist also immer effizienter als Einzelmaßnahmen. So lassen sich die gefühlten Temperaturen entlang der Herforder Straße durch eine Kombination aus Grüngleisen, Pergolensystemen, Albedoerhöhungen und Baumpflanzungen großflächig um 2-3 °C im Tagesmittel (analog hierzu: siehe Ergebnisse für den Jahnplatz in Kap. 4.2.2.1.) reduzieren. Diese Werte liegen über den 1,7 °C, die der gesamtstädtischen Analyse als stärkste Erwärmung für das Szenario 2050 zugrunde liegen (vgl. Kap. 3.2). Die Auswirkungen des Klimawandels können also an dieser Stelle durch dieses Maßnahmenset nivelliert und die aktuelle Situation sogar noch verbessert werden. Die alleinige Wirkung der Entsiegelung im Bereich der Gewerbebetriebe – als Beispiel einer isolierten Maßnahme – beträgt dagegen ca. 0,5°C.

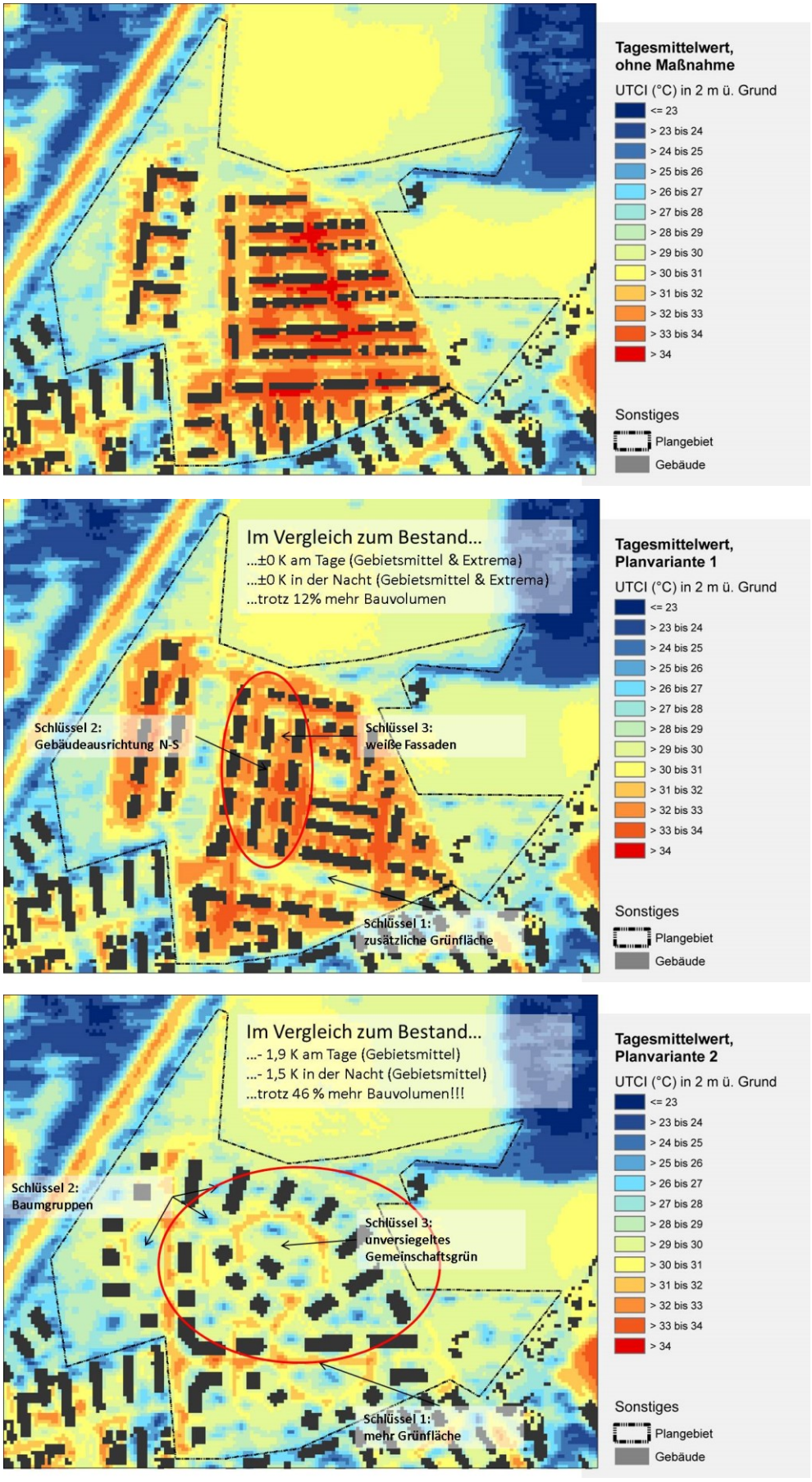
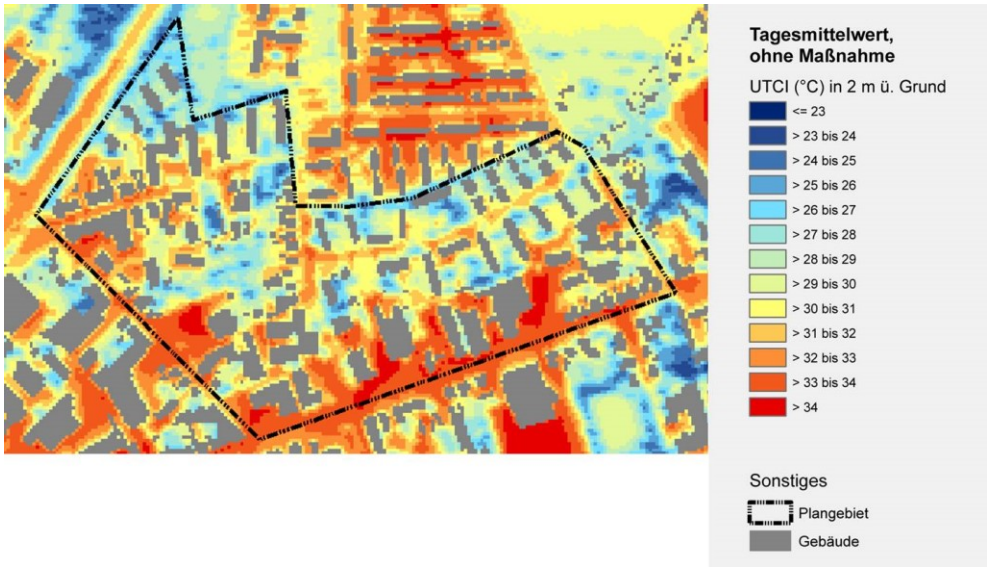
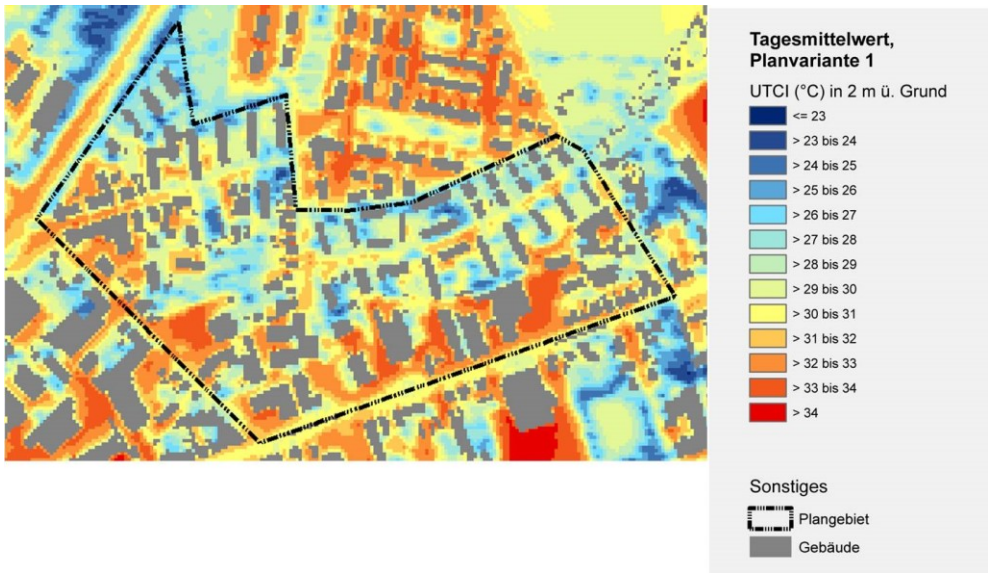


Abb. 76: Modellierungsergebnisse zur thermischen Situation im Ist-Zustand (oben) sowie für Planungsvariante 1 (Mitte) und Planungsvariante 2 (unten) für das Fokusteilgebiet Jöllheide





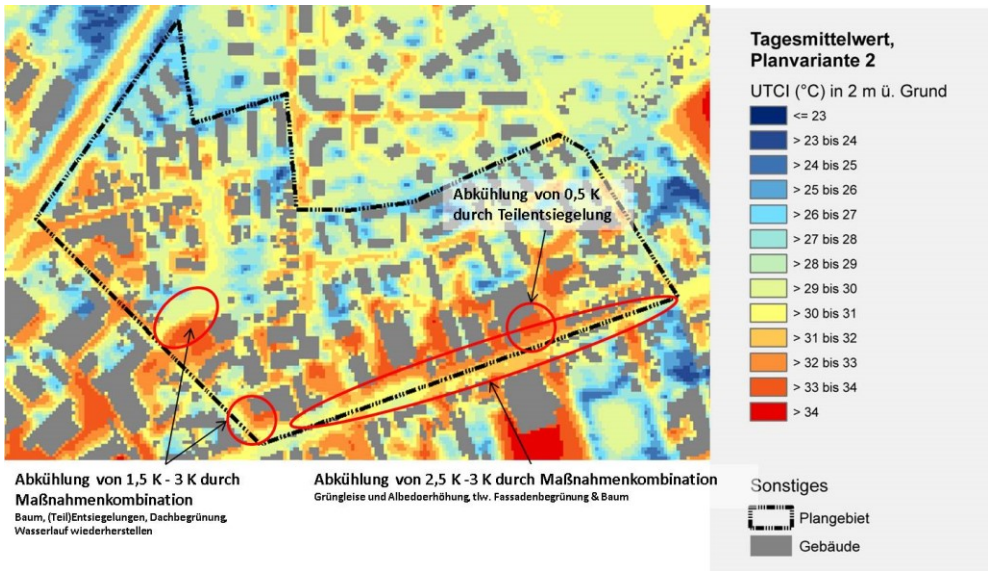


Abb. 77: Modellierungsergebnisse zur thermischen Situation im Ist-Zustand (oben) sowie für Planungsvariante 1 (Mitte) und Planungsvariante 2 (unten) für das Fokusteilgebiet Teichsheide

4.2.1.3 WIRKSAMKEIT LOKALER MAßNAHMEN (SETS) ZUR STARKREGENVORSORGE

Das Gebiet Jöllheide ist unter dem Gesichtspunkt Überflutung bei Starkregen unproblematisch. Das Gebiet hat ein gleichmäßiges Gefälle in nördliche Richtung, die natürliche Ableitung des Oberflächenwassers - erfolgt durch den Aßbach am nördlichen Ende des Gebietes (s. Abb. 78).

Abb. 78: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für das Teilgebiet Jöllheide (zu den Signaturen siehe die Erläuterungen der Planungshinweiskarte)

Gemäß der 4. Begründung zum B-Plan Jöllheide vom 10.10.2002 soll die Niederschlagswasserableitung durch ein Regenwasserkanalnetz erfolgen (s. Abb. 79). Die ehemals geplante Ableitung bzw. Versickerung in einem Mulden-Rigolensystem ist aufgrund des zu geringen Grundwasserflurabstandes nicht möglich.

Abb. 79: Geplantes Trennsystem im Bereich des B-Planes Jöllheide

Es ist dann eine ortsnahe Einleitung des Niederschlagswassers in den Aßbach vorgesehen, wobei der Gebietsabfluss, auf den natürlichen Landabfluss gedrosselt werden muss. Dies ist mit der begrenzten hydraulischen Leistungsfähigkeit des Aßbaches durch ein Regenrückhaltebecken, das für ein 2-jährliches Regenereignis zu bemessen ist zu begründen. Die Vorgaben des BWK-Merkblattes M3 werden durch den Bau des Regenrückhaltebeckens erreicht.

Das Teilgebiet Teichsheide ist in seinem zentralen Bereich von einer Senke gekennzeichnet, die den Verlauf des Wellbachs kennzeichnet, der in diesem Abschnitt unterhalb der Straße Teichsheide verrohrt ist und dann östlich der Einmündung der Teichsheide in die Straße Jöllheide weiter in einem offenen Gerinne verläuft.

Bei einem extremen Starkregen (Simulation hN=90 mm) kommt es zu ausgedehnten Überflutungen vor allem im östlichen Abschnitt der Straße Teichsheide sowie den angrenzenden Grundstücken (s. Abb. 80).

Abb. 80: Ausschnitt aus der Planungshinweiskarte für das Teilgebiet Teichsheide. Der verrohrte Abschnitt des Wellbachs endet am östlichen Rand des Teilgebiets und fließt von dort im offenen Gerinne weiter.

Ein temporärer Rückhalt auf der Oberfläche - dort, wo schadlos möglich - wäre eine technische Lösung. Zudem wäre auch eine Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des betreffenden Gewässerabschnitts zur optimaleren Ableitung zum östlich verlaufenden offenen Gewässer eine Möglichkeit. Diese wurden im Oberflächenmodell auf vereinfachte Weise abgebildet, um sie in ihrer Wirkung abschätzen zu können.

Dazu wird das digitale Oberflächenmodell durch eine flächenhafte Absenkung der Straßenfläche im Bereich Teichsheide sowie durch eine zusätzlich ins Modell eingebrachte Verrohrung unter der Einmündung Teichsheide/Jöllheide, die zu einer verbesserten Ableitung führt, modifiziert.

Der Simulationslauf mit einer um 20 cm abgesenkten Straßenfläche (s. Abb. 82) zeigt gegenüber dem unveränderten Oberflächenmodell (s. Abb. 81) bereits deutlich verringerte Überflutungsflächen im Bereich der Grundstücke bei gleichzeitig höherem Einstau des Wassers auf der Straße. Durch die zusätzliche Verrohrung werden dabei während des 60-minütigen Simulationslaufes ca. 2.400 m³ Wasser geleitet.

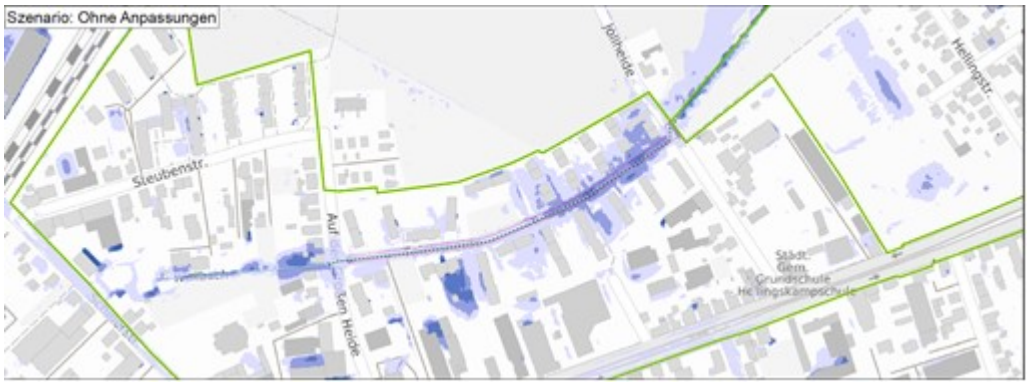


Abb. 81: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich der Straße Teichsheide (Bildmitte), ohne Anpassungen der Oberfläche (Randbedingungen der Simulation wie beim entsprechenden Szenario der Starkregengefahrenkarte)

Abb. 82: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich der Straße Teichsheide (Bildmitte), bei Absenkung der Straßenfläche um 20 cm und Simulation einer zusätzlichen Verrohrung am östlichen Ende der Straße

Der Simulationslauf mit einer um 30 cm abgesenkten Straßenfläche (s. Abb. 83) zeigt weiter verringerte Überflutungsflächen im Bereich der Grundstücke. Durch die zusätzliche Verrohrung werden während dieses 60-minütigen Simulationslaufes ca. 3.100 m³ Wasser geleitet.

Abb. 83: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich der Straße Teichsheide (Bildmitte), bei Absenkung der Straßenfläche um 30 cm und Simulation einer zusätzlichen Verrohrung am östlichen Ende der Straße

Die vergleichenden Simulationen zeigen, dass ohne sonstige Änderungen in den Modellparametern, eine Erhöhung des Retentionsraumes im Bereich der Straße sowie eine Verrohrung unter der Einmündung Jöllheide/Teichsheide bereits deutlich abnehmende Überflutungen zur Folge haben. Die Ableitung des Wassers im weiteren Verlauf des offenen Gerinnes des Wellbachs führt dabei nicht zu stärkeren Ausuferungen des Gewässers.

Alternativen zu diesen Maßnahmen wären beispielsweise eine Erhöhung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des gesamten verrohrten Abschnitts des Wellbachs oder Schaffung von Retentionsräumen im Bereich der angrenzenden Grundstücke. Hierbei wären vorzugsweise unbebaute, tiefliegende Flächen heranzuziehen.

4.2.2 JAHNPLATZ

4.2.2.1 IST-SITUATION UND PLANUNGSVARIANTEN

Der Jahnplatz ist ein zentraler Platz in der Innenstadt Bielefelds im Stadtbezirk Mitte. Er ist wichtigster Knotenpunkt von Stadtbahn (unterirdische Haltestelle für alle vier Linien) und allen die Innenstadt bedienenden Busse sowie Treffpunkt der Nachtbusse. Am Jahnplatz kreuzen sich die Verkehrsstraßen Herforder Straße, Friedrich-Verleger-Straße, Niederwall und Alfred-Bozi-Straße/Oberntorwall (im Uhrzeigersinn). Im Nordwesten beginnt der Einkaufsbereich Bahnhofstraße. Im Südwesten schließt sich die Fußgängerzone der Altstadt an. Den Mittelpunkt des Platzes bilden ein Pavillon, der ein Schnellrestaurant beherbergt sowie die sogenannte „Alcinauhr“. Die angrenzende Bebauung gehört zu den dichtesten Strukturen im Stadtgebiet. Aufgrund dieser Strukturtypologie und seiner zentralen Lage in der Stadt gehört der Jahnplatz gemäß Planungshinweiskarte Stadtklima zu den prioritär zu sanierenden Räumen.

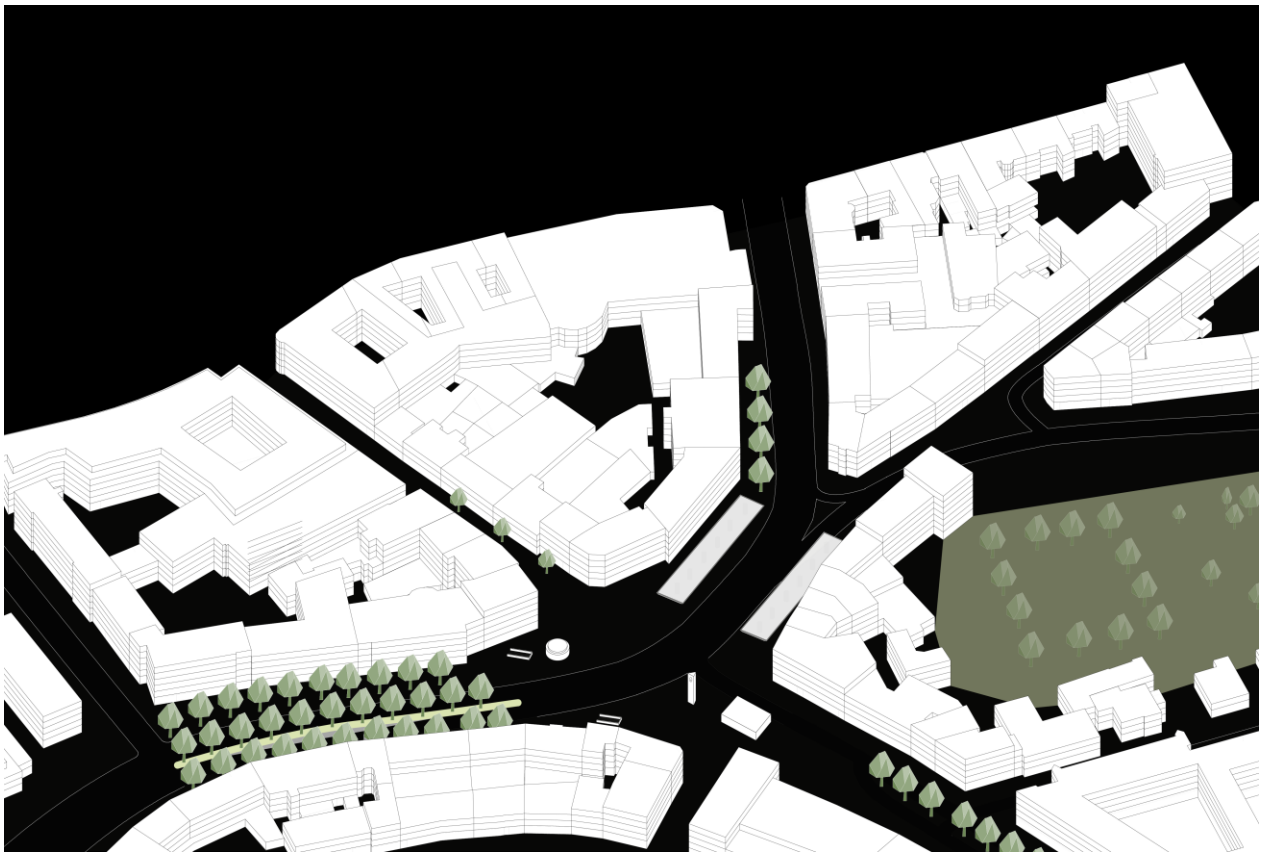


Abb. 84: Ist-Situation im Fokusgebiet Jahnplatz

Für die Umgestaltung des Jahnplatzes existierte zum Zeitpunkt der Analysen ein Vorentwurf eines Planungskonsortiums, der als Planungsvariante 1 zugrunde gelegt werden konnte. Die Variante sieht „den Mensch im Fokus“ der Sanierung und formuliert u.a. die Planungsprämisse eines „klimagerechten Platzes“. Als kleinklimatisch wirksame Maßnahmen sind u.a. zusätzliche Stadtbäume, Hochbeete, Albedoveränderungen und textile Haltestellendächer vorgesehen. Damit folgt der Entwurf in seinen Grundsätzen bereits den Zielen der Klimafolgenanpassung. Dennoch konnten im Rahmen eines Workshops mit den betroffenen Fachämtern weitere Maßnahmenpotentiale ermittelt werden, die in Planungsvariante 2 umgesetzt sind. Unter anderem wurden weitere Baumpflanzungen, grüne Haltstellendächer, Flächenentsiegelungen, Wasserspiele und eine Begrünung der angrenzenden Fassaden vorgesehen.

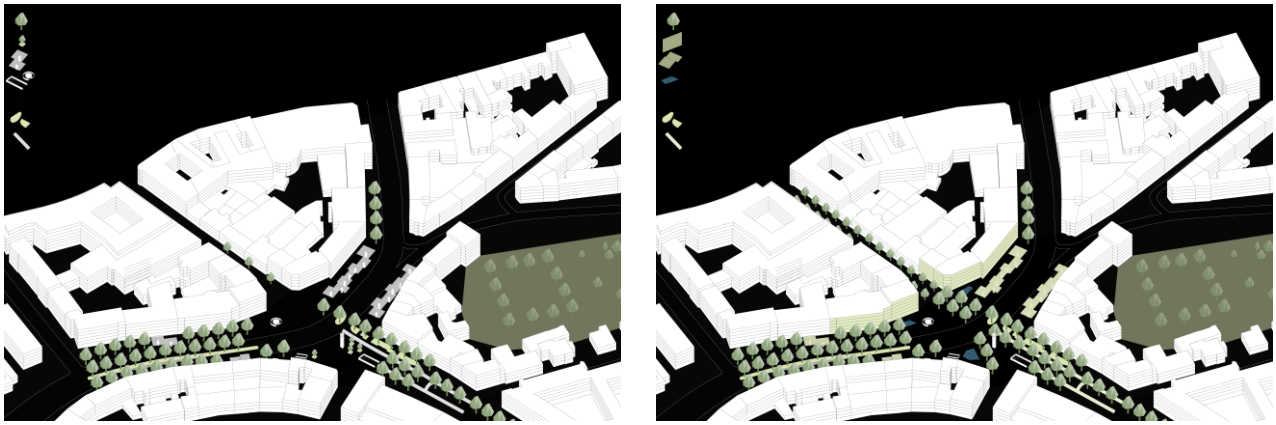


Abb. 85: Planungsvarianten für das Fokusgebiet Jahnplatz

4.2.2.1 WIRKSAMKEIT LOKALER MASSNAHMEN (SETS) ZUR HITZEVORSORGE

Die thermische Belastung in der Ist-Situation und in den beiden Planungsvarianten wurde in einer horizontalen Auflösung von 2 m mit dem mikroskaligen Stadtklimamodell ASMUS_green für einen hochsommerlichen Heißen Tag modelliert. Als Analysegröße wird die „gefühlte Temperatur“ in Form des UTCI - Universal Thermal Climate Index (Universeller thermischer Klimaindex) verwendet. Aus den Ergebnissen lassen sich sowohl Rückschlüsse für eine Bewertung der beiden Planungsvarianten im Vergleich zur Ist-Situation und untereinander als auch auf die Wirksamkeit von Einzelmaßnahmen im Straßenraum ziehen.

Mit Blick auf den Variantenvergleich gilt, dass beide Planungsvarianten gegenüber der Ist-Situation zu einer Verbesserung der thermischen Situation am Tage auf und um den Jahnplatz führen – also genau dann, wenn sich auch vermehrt Menschen am Jahnplatz aufhalten. Die optimierte Variante 2 weist dabei insbesondere im zentralen Übergangsbereich über die Herforder Straße als auch im Warte- und Durchgangsbereich der Haltestellen noch einmal eine stärkere Wirkung auf als Variante 1. Die stärksten Abkühlungen zeigen sich dort, wo sich die Wirkungen verschiedener Maßnahmen überlagern. Dies ist beispielsweise in Variante 2 am nördlichen Ende des Jahnplatzes der Fall, wo ein kleinräumiges Mosaik aus Baumpflanzungen, Wasserbecken, Fassadenbegrünungen und Albedoerhöhungen zu einer Abkühlung im Tagesmittel (Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang) von (gefühlten) 7 °C [UTCI] gegenüber der Ist-Situation führen. Als wirksamste Einzelmaßnahme ist in beiden Varianten die Baumpflanzung zu erkennen, die je nach Ausgangslage eine Abkühlung von bis zu >6 °C [UTCI] bewirkt. Darüber hinaus führen auch alle übrigen in Variante 2 vorgesehenen Maßnahmen zu relevanten Abkühlungen im Bereich von 1-2 °C [UTCI]. Dabei schneiden die grünen Haltestellendächer und die Albedoerhöhung der Variante 2 besser ab als die textilen Schirme und die Albedoreduktion in Variante 1.

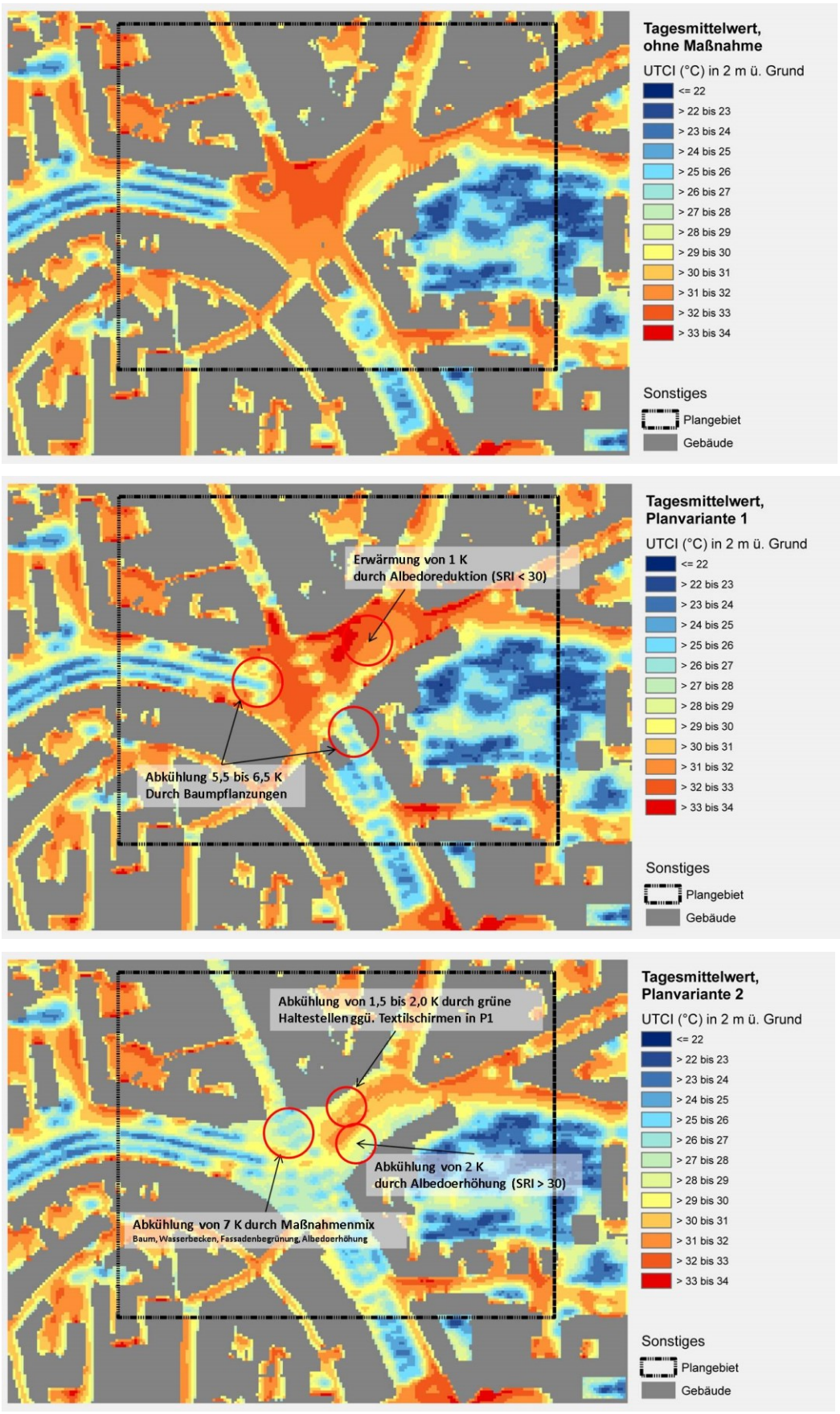


Abb. 86: Modellierungsergebnisse zur thermischen Situation im Ist-Zustand (oben) sowie für Planungsvariante 1 (Mitte) und Planungsvariante 2 (unten) für das Fokusgebiet Jahnplatz

4.2.2.1 WIRKSAMKEIT LOKALER MASSNAHMEN(SETS) ZUR STARKREGENVORSORGE

Das innerstädtische Gebiet des Jahnplatzes stellt für die Umsetzung von technischen Maßnahmen zur Verringerung der Anfälligkeit für Überflutungen durch Starkregen ein herausforderndes Gebiet dar. Durch hohe Versiegelung und hohe Inanspruchnahme durch den städtischen Verkehr einerseits, durch intensive Nutzung des Straßenraums und der dicht an den Straßenraum heranreichenden Blockrandbebauung andererseits sind hier bauliche Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge nur sehr begrenzt möglich.

Das Ziel baulicher Maßnahmen soll hier eine Konzentrierung des Abflusses auf den Bereich der Straßenflächen sein, wodurch hohe Wasserstände im Starkregenfall temporär in diese Bereiche hinein und dadurch von den Gebäuden weggelenkt werden sollen.

Um diesen Zustand im Modell vereinfachend abzubilden, wird das digitale Oberflächenmodell durch flächenhafte Anhebung der Gehwegflächen modifiziert.

Bei einem extremen Starkregen (Simulation hN=90 mm) kommt es im Bereich des Jahnplatzes und der angrenzenden Straßen nur zu mäßig hohen maximalen Überflutungen, was durch die leicht erhöhte Lage des Platzes erklärt werden kann (s. Abb. 87).Trotzdem sind relativ hohe Wasserstände an den Gebäuden zu erkennen, wo das Potential eindringenden Niederschlagswassers relativ hoch ist.

Abb. 87: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich des Jahnplatzes (Bildmitte), ohne Anpassungen der Oberfläche (Randbedingungen der Simulation wie beim entsprechenden Szenario der Starkregengefahrenkarte)

Der Simulationslauf mit um 20 cm angehobenen Gehwegflächen (s. Abb. 88) zeigt gegenüber dem unveränderten Oberflächenmodell verringerte Überflutungsflächen im Bereich der Gehwege. Die relativ hohen Wasserstände befinden sich nun nicht mehr am Rand der Gebäude, sondern am Straßenrand.

Abb. 88: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich des Jahnplatzes (Bildmitte), bei Anhebung der Gehwegflächen im Bereich des violett umrandeten Gebietes um 20 cm

Der Simulationslauf mit um 30 cm angehobenen Gehwegflächen zeigt in der Tendenz weiter abnehmende Wasserstände im Bereich der Gehwegflächen (s. Abb. 89).

Abb. 89: Überflutungen bei einem extremen Starkregen (hN=90 mm) im Bereich des Jahnplatzes (Bildmitte), bei Anhebung der Gehwegflächen im Bereich des violett umrandeten Gebietes um 30 cm

Die vergleichenden Simulationen zeigen, dass ohne sonstige Änderungen in den Modellparametern, eine Erhöhung des Retentionsraumes im Bereich der Straße abnehmende Überflutungen im Bereich der Gehwege zur Folge haben. Das Niederschlagswasser kann dadurch im Starkregenfall wirkungsvoll von den Gebäuden ferngehalten werden.

4.2.3 ZENTRALE ERKENNTNISSE AUS DEN FOKUSGEBIETSANALYSEN

Aus den im Zusammenhang mit den Fokusgebieten durchgeführten Workshops und Analysen lassen sich einige zentrale Botschaften ableiten, die für den weiteren Klimaanpassungsprozess im Allgemeinen sowie die weitere Stadtentwicklung Bielefelds im Speziellen von besonderer Bedeutung sind. Zum einen zeigen insbesondere die Ergebnisse im B-Plangebiet Jöllheide ganz deutlich, dass eine intensive (Nach-) Verdichtung bzw. Neubebauung und der Erhalt eines gesunden Stadtklimas sich nicht ausschließen müssen. Voraussetzung hierfür ist die Orientierung am Leitgedanken der doppelten Innentwicklung, tendenziell eher in die Höhe als in die Fläche. Auf diese Weise lassen sich viele städtebauliche Vorhaben so optimieren, dass negative Auswirkungen auf das Stadtklima vermieden werden (vgl. auch Kap. 1.1.1.1 zum Thema „Hinweise für zukünftige bauliche Entwicklungen“).

Zum anderen haben die Ergebnisse für den Jahnplatz, den weiteren Verlauf der Herforder Straße sowie für die Teichsheide gezeigt, dass vielfältige Möglichkeiten bestehen, die thermische Situation im Bestand deutlich zu verbessern und dadurch die Folgen des Klimawandels weitgehend zu nivellieren. Während für die Stadtverwaltung aufgrund der unmittelbaren Zuständigkeit der (öffentliche) Straßenraum und öffentliche Grünflächen die größeren Umsetzungspotentiale bieten, stehen für Unternehmen und die Stadtbevölkerung eher der Gebäudebestand und die privaten Grünflächen im Fokus von Anpassungsmaßnahmen. Aber auch hier kann die Stadt durch Anreize (z.B. Förderprogramm für Dach- Fassaden- und Hofbegrünung) unterstützend tätig werden.

Ganz zentral ist die Botschaft, dass eine kleinräumige Kombination aus verschiedenen Maßnahmen die stärksten Abkühlungen erzeugt (vgl. hierzu auch SenStadtUm Berlin 2013). Als effizienteste Einzelmaßnahme kann die belebte Verschattung benannt werden. Nur sie bietet eine doppelte Abkühlung durch direkte Verschattung und Verdunstungskühlung. Das heißt, dass der Erhalt und die gezielte Neupflanzung von Straßenbäumen sowie von Bäumen in Privatgärten und auf Gewerbegrundstücken eine Schlüsselmaßnahme für die Hitzevorsorge in Bielefeld darstellt. Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes muss im konkreten Fall aber eine sorgsame Abwägung und Artenwahl getroffen werden, um keine negativen Effekte, z.B. im Zusammenhang mit der Luftreinhaltung sowie der Trockenheits- und Sturmvorsorge zu erzeugen. Darüber hinaus sind die (vertikale) Gebäudebegrünung, die Erhöhung der horizontalen und vertikalen Oberflächenalbedo, die Vermeidung eines hohen Versiegelungsgrades bei Neuplanungen sowie möglichst großflächige Entsiegelungen (z.B. von Parkplätzen und öffentlichen Räumen) nach wie vor hocheffektive Maßnahmen zur Hitzevorsorge im kernstädtischen Bereich Bielefelds (wo es keine größeren Potentiale für Baumpflanzungen gibt). In anderen städtischen Gebieten bilden sie ergänzende klimawirksame Maßnahmen. Insgesamt weisen die Maßnahmen Synergieeffekte mit der Starkregenvorsorge auf.

4.3 VERSTETIGUNGSSTRATEGIE

Im Rahmen des 5. Workshops wurde mit den verwaltungsinternen Akteuren diskutiert inwieweit eine Nachhaltigkeit des Klimaanpassungsprozesses in Bielefeld gewährleistet werden kann und wie sich das Klimaanpassungskonzept sowie die in der Projektlaufzeit entwickelten Instrumente und Produkte dauerhaft im Verwaltungshandeln verankern lassen. Dabei stand die Frage im Mittelpunkt, wie die Klimaanpassung in Zukunft insbesondere

- in der Stadt- und Landschaftsplanung,
- bei der Straßen- und Freiraumplanung,
- in der Siedlungswasserwirtschaft und
- bei der Planung öffentlicher Gebäude

berücksichtigt werden kann, und welche Verantwortlichkeiten sich daraus ableiten lassen. Neben den genannten Handlungsfeldern gibt es auch noch andere wie z.B. Forstwirtschaft. Diese können von den jeweils zuständigen Stellen auf der Basis der Analyse vorgenommen werden.

Eine zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Integration der Klimaanpassung in die Bielefelder Verwaltung bilden tragfähige und ämterübergreifende Kooperationsstrukturen. Ein wichtiges Ziel des vorliegenden Anpassungskonzeptes ist es daher, die fachübergreifende Zusammenarbeit und den Austausch im Bereich der Klimaanpassung innerhalb der Stadt optimal zu organisieren und zu verstetigen. Um dies zu gewährleisten gilt es, das Thema der Klimawandelfolgenanpassung in die kommunale Verwaltungsorganisation sowie in gängige Verfahren und Abstimmungsprozesse (insbesondere innerhalb der Stadtplanung und bei der Bauleitplanung) einzubinden. Dabei soll möglichst auf die bereits vorhandenen Zuständigkeiten für die Klimaanpassung in Bielefeld aufgebaut werden.

Die folgende Tabelle fasst die Verstetigungsansätze in der Verwaltungsorganisation sowie in den Handlungsfeldern des Maßnahmenkataloges (Städtebau, Grüngestaltung/Straßengrün, Siedlungswasserwirtschaft und Gebäude) übersichtlich zusammen und gibt Hinweise auf die Zuständigkeit für die Umsetzung. Im Rahmen dieses Konzeptes ist der Fokus auf ausgewählte Handlungsfelder gerichtet, für die es Konzepte zu entwickeln gilt. Darüber hinaus gibt es auch weitere Handlungsfelder wie den Katastrophenschutz, das Gesundheitswesen und den Sozialbereich, für die Konzepte von den zuständigen Ämtern zu erarbeiten sind.

Es wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen politischen Beschlüsse zur Umsetzung des Klimaanpassungskonzeptes und zu seiner Verstetigung zeitnah erfolgen.

Die für die Umsetzung erforderlichen Finanzmittel sind sukzessive in die Haushaltsplanungen einzubringen.

Tab. 21: Ansätze zur Verstetigung der Klimafolgenanpassung im Verwaltungshandeln der Stadt Bielefeld

Handlungsfeld		Verstetigungsansatz	Inhalte	Zeitachse	Referenzbeispiel	
Verwaltungs-organisation, Kommunikation, Controlling	1	Institutionalisierung der Klimaanpassung in der Verwaltungsstruktur	Einrichtung einer Koordinierungsstelle / Einstellung eines Klimaanpassungsmanagers bzw. einer Klimaanpassungsmanagerin (z.Zt. noch mit Fördermitteln möglich) Aufgabenprofil: Unterstützung anderer Ämter Akquise Fördergelder Abwicklung Förderprogramme Beratungs- und Informationsangebote Erfahrungsaustausch mit Wissenschaft, anderen Kommunen Öffentlichkeitsarbeit Monitoring Controlling etc.	kurzfristig, wenn Fördermittel zur Verfügung stehen	Neuss Münster Offenbach	
	2	Arbeitsgruppen zur Klimaanpassung	Einrichtung regelmäßig tagender Arbeitsgruppen zum interdisziplinären Austausch zu Klimaanpassungsbelangen.	kurzfristig	Düsseldorf Kaiserslautern	

Handlungsfeld		Verstetigungsansatz	Inhalte	Zeitachse	Referenzbeispiel	
	3	Leitfäden /Informationen	Erarbeitung von Leitfäden zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen für Grundstückseigentümer, Unternehmen etc. Informationen über „Gute Praxis“-Beispiele siehe Kommunikationsstrategie insbesondere f. ältere Menschen (s. Kapitel 3.2.6.2)	baldiger Einstieg, kontinuierliche Erweiterung	Köln Bremen https://www.stuttgart.de/img/mdb/item/503927/97912.pdf	
	4	Monitoring	siehe Controlling-Konzept (s. Kapitel 4.4)	mittelfristig, durch Arbeitsgruppe initiiert	Bochum Osnabrück Soest	
Städtebau	5	Fortschreibung FNP und Landschaftsplan	Integration des Klimaanpassungskonzeptes in den Flächennutzungsplan und in die Landschaftspläne auf Basis der Planungshinweiskarten Hitze und Starkregen Nachbewertung von Flächen, die bislang noch nicht berücksichtigt wurden	wenn entsprechende Fortschreibungen anstehen	Bremen	

Handlungsfeld		Verstetigungsansatz	Inhalte	Zeitachse	Referenzbeispiel	
	6	Leitfäden/Checklisten Klimawandel	Erarbeitung von Leitfäden/ Checklisten (Inhalte und Prozesse) zur Berücksichtigung von Klimaanpassungsbelangen im Rahmen von Bebauungsplanverfahren und/oder zur Prüfung von städtebaulichen und landschaftsplanerischen Konzepten z.B. bei INSEK, Stadtteilplanungen, Grünordnungsplänen, Freiraumentwicklungskonzepten, Wettbewerben etc.	Einstieg kurzfristig, Entwicklung langfristig	Mülheim an der Ruhr	
	7	Wasserwirtschaftliche Fachkonzepte/Begleitpläne zu Bebauungsplänen	Erstellung von Fachkonzepten zur Starkregenvorsorge und wassersensiblen Siedlungsplanung bei ausgewählten Bebauungsplan- bzw. Erschließungsverfahren	Pilotprojekt zum Test, baldmöglichst	Berlin Hamburg Köln	
	8	Mikroklimatische Gutachten zu städtebaulichen Konzepten	Erstellung mikroklimatischer Wirkungsanalysen zu unterschiedlichen Gebäudegruppierungen und Freiraumgestaltungen für ausgewählte Bereiche	Pilotprojekt in sensiblem Bereich , baldmöglichst	Bochum	
	9	Festsetzungen in Bebauungsplänen bzw. Regelungen in städtebaulichen Verträgen	Erarbeitung eines Katalogs von Standard-Festsetzungen in Bebauungsplänen für Klimaanpassungsmaßnahmen; Erarbeitung von Textbausteinen für Regelungen zur Klimaanpassung in städtebaulichen Verträgen	Einstieg kurzfristig, Entwicklung langfristig	Essen Stuttgart	

Handlungsfeld		Verstetigungsansatz	Inhalte	Zeitachse	Referenzbeispiel	
Grüngestaltung/ Straßen	10	Straßenbaumkonzept	Erarbeitung eines gesamtstädtisches Zielkonzept zur Sicherung und Entwicklung des Straßenbaumbestandes und eines Handlungsprogrammes	baldmöglichst	Dresden Duisburg Koblenz Recklinghausen	
	11	Leitfaden/Checkliste für klimaangepassten Straßenbau	Erarbeitung von Leitfaden/Checkliste zur Überprüfung von Straßenausbauplänen hinsichtlich Klimaanpassung, Ergänzung technischer Standards zu Straßenprofilen, Leitungsverlegung, Baumstandorte, Baumauswahl, Dimensionierung Straßenentwässerung, Wasserspeicherung, Oberflächenbefestigung etc.	baldmöglichst	Hamburg	
	12	Gestaltungssatzungen für bauliche Anlagen und sonstige Flächen	Prüfung der Eignung von Grüngestaltungssatzungen für Vorgärten, bestimmte Begrünungen, Ergänzung der Stellplatzsatzung um Begrünungsaspekte und um Vorgaben zur Begrünung mit Bäumen	baldmöglichst	Oelde Herford	

Handlungsfeld		Verstetigungsansatz	Inhalte	Zeitachse	Referenzbeispiel	
	13	Städtische Grünanlagen	Erarbeitung von Leitlinien für städtische Grünanlagen: angepasste Vegetationsauswahl Anreicherung mit Wasserflächen Wasserrückhaltung und Bewässerungsvorkehrungen Schaffung von Schattenplätzen Sicherung von Kaltluftentstehungsflächen	baldmöglichst das Vorhandene zusammentragen und ergänzen	Berlin Jena	
	14	Bäume auf Privatflächen	Erfassung wichtiger Grünstrukturen und Defizitgebieten, Schutzkonzepte, Förderprogramme für Neupflanzungen, Wettbewerbe, Öffentlichkeitsarbeit	kurzfristiger Einstieg		
Wasserwirtschaft	15	Satzung über die Kostendeckung der Grundstücksentwässerung ..	Prüfung der Möglichkeiten weiterer finanzieller Anreize zur Entsiegelung, zur Regenwassernutzung und zur Regenwasserversickerung vor Ort durch Reduzierung der Niederschlagswassergebühr	baldmöglichst	Dortmund Düsseldorf Kassel	
Gebäude	16	Begrünung städtischer Gebäude	Leitlinien zur Begrünung städtischer Gebäude in hitzesensiblen Bereichen der Stadt	mittelfristig, Pilotprojekt mit Vorbildfunktion baldmöglichst	Braunschweig Hamburg	
	17	Objektschutz gegen Überflutungen an städtischen	Programm zum Objektschutz an überflutungsgefährdeten städti-	kurzfristig	Köln	

Handlungsfeld		Verstetigungsansatz	Inhalte	Zeitachse	Referenzbeispiel	
		Gebäuden	schen Gebäuden		Solingen	
	18	Hitzeschutz für sensible städtische Einrichtungen	Programm zur Durchführung von Maßnahmen zum Hitzeschutz in Schulen, KITAs etc.	baldmöglichst das Vorhandene zusammentragen und ergänzen	Karlsruhe	
	19	Förderprogramm zur Gebäude- und Grund-stücksbegrünung	Erarbeitung eines Förderpro-gramms zur Entsiegelung und Begrünung von Dach-, Fassa-den- und Hofflächen in hitzebe-lasteten Stadtquartieren	bald möglichst längerfristig, wenn finanziell darstellbar	Bocholt	

4.4 CONTROLLING-KONZEPT

Der Aufbau eines dauerhaften Controllings ist eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des Anpassungskonzeptes. Das Controlling muss dabei über eine reine Daten-/ Faktensammlung hinausgehen und im Sinne einer echten Evaluation den Fortschritt im kommunalen Anpassungsprozess dokumentieren und bewerten. Es wird empfohlen, das Controlling in die Bausteine „Monitoring“ und „Evaluation“ zu untergliedern und die Erkenntnisse ab Mitte 2020 in einem jährlichen Fortschrittsbericht zusammenzufassen, der den relevanten Akteuren, der Politik sowie der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden sollte (Abb. 90).

Im Zuge der Datenerhebung, -bereitstellung und -auswertung ist bei den beteiligten Fachstellen ein moderat erhöhter Zeit- aber eher nicht ein zusätzlicher Personal- oder Technikbedarf zu erwarten. Sofern mit dem Controlling ein externer Dienstleister betraut werden soll, sind jährliche Kosten im unteren 5-stelligen Bereich zu kalkulieren. Um über die Jahre eine Vergleichbarkeit der Berichte sicherzustellen, sollten die im Folgenden skizzierten Indikatoren dauerhafte Anwendungen finden, wobei eine Konkretisierung im Rahmen des 1. Fortschrittsberichtes erfolgen kann.

Im **Monitoring-Baustein** steht zunächst die Auswertung der DWD Klimastation Bielefeld-Deppendorf (sowie ggf. zusätzlicher regionaler Klimastationen wie die seit 1935 messende DWD Station Bad Salzuflen, die DWD-Station Gütersloh und die Station am Oberstufenkolleg Bielefeld) im Fokus. Hiermit soll ermittelt werden, ob der (Stadt-)Klimawandel in Art und Ausmaß wie im Anpassungskonzept projiziert stattfindet. Denn daraus resultieren Handlungsbedarfe und die Auswahl entprechender Maßnahmen.

Für die Station(en) sollten Zeitreihenanalysen für die in Kapitel 2 definierten Cluster (Temperaturzunahme/Hitze, Niederschlagsverschiebung, Starkregen und Wind/Stürme) bzw. deren Einzelparamater (z.B. Kenntage) durchgeführt werden. Dabei sind sowohl die Betrachtung von jährlichen, jahreszeitlichen und monatlichen Werten als auch von einzelnen Extremwetterereignissen relevant. Grundsätzlich sollte eine Einordnung des Betrachtungsjahres in den Kontext langjähriger Mittel- und Extremwerte erfolgen.

Tab. 22: Vorschlag eines Indikatorensets für das Klimawandel-Monitoring

Parameter	**Mittelwerte**	**Auftrittshäufigkeit Kenntage**	**Intensität Extremereignisse**
Temperatur	Jahr, Jahreszeiten, Monat	Tropennächte, Heiße Tage, Frosttage, Eistage	Hitze- und Kälteperioden
Niederschlag		Trocken- und Regentage	Starkregen Trockenperioden
Wind		Windstärkeklassen	Stürme

Darüber hinaus soll im Monitoring-Baustein auch der Frage nachgegangen werden, zu welchen Auswirkungen insbesondere einzelne Extremereignisse – ggf. auch allmähliche Klimaveränderungen – im Stadtgebiet im Berichtszeitraum geführt haben. Die zu betrachtende Grundgesamtheit stellen dabei insbesondere die in Kap. 3.1 skizzierten potentiellen Betroffenheiten dar. Als Erhebungsmethode werden Experteninterviews mit Vertretern der Fachämter empfohlen, die optimalerweise bereits in die Erstellung des Anpassungskonzeptes eingebunden waren.

Zusätzlich wird empfohlen, alle 3 Jahre die Aktualität der diesem Konzept zugrundeliegenden Daten-/Informationsquellen zum zukünftig zu erwartenden Klimawandel zu überprüfen und ggf. den neuesten Erkenntnissen anzupassen. Auch die u.a. daraus abgeleiteten räumlichen Betroffenheitsanalysen (vor allem: Stadtklimaanalyse und Starkregenanalyse) sollten je nach Dynamik der baulichen und demographischen Entwicklungen in Bielefeld turnusmäßig alle 5 (spätestens alle 10 Jahre) aktualisiert werden.

Im **Evaluations-Baustein** erfolgt die Umsetzungs- sowie die Wirkungs-/Zielerreichungskontrolle des Maßnahmenkatalogs (Abb. 91). Kernelement sollten Leitfragen gestützte (Telefon-)Interviews mit den federführenden Verwaltungseinheiten bzw. Institutionen sein. Darin ist zunächst der Stand der Umsetzung der jeweiligen Maßnahme zu eruieren. Sofern die Maßnahme – ggf. im Zusammenhang mit konkreten Vorhaben - bereits vollständig umgesetzt ist, sollten eine Wirksamkeitsanalyse sowie eine Zielerreichungskontrolle im Fokus der Interviews bzw. der Evaluierung stehen. Die Wirksamkeit kann dabei je nach Maßnahme entweder (semi-)quantitativ (beispielsweise mithilfe von Messungen oder Modellierungen) oder aber qualitativ (z.B. durch Fachgespräche) analysiert werden. Der Grad der Zielerreichung ist eng verknüpft mit Zielen der Klimaanpassung. Da diese ausschließlich einen qualitativen Charakter aufweisen, muss auch die Zielerreichungskontrolle einen qualitativen Charakter zeigen.

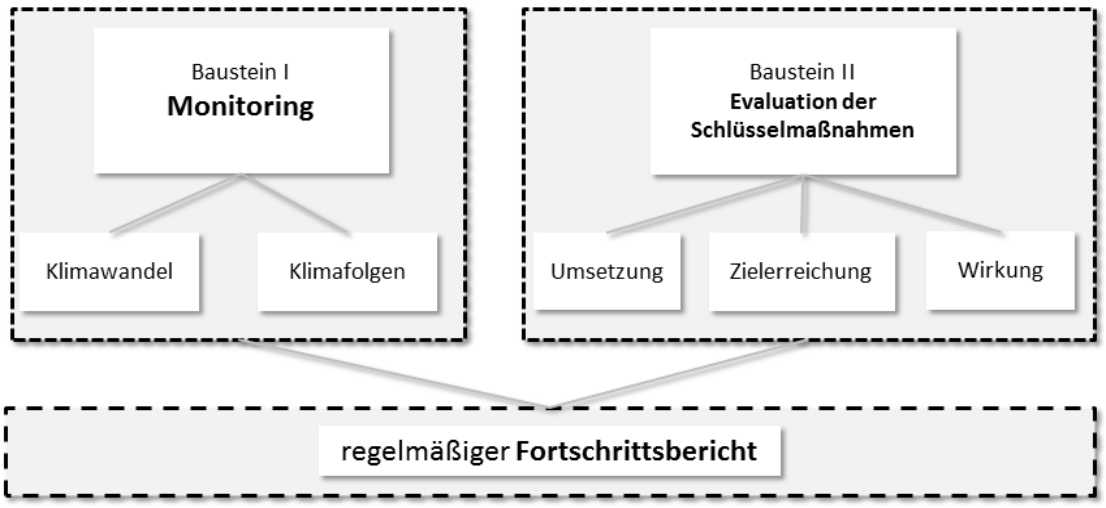


Abb. 90: Zentrale Bausteine für den regelmäßigen Fortschrittsbericht

Es wird empfohlen, die Ziele im Rahmen des 1. Fortschrittsberichtes mithilfe von Indikatoren zu operationalisieren, um einen transparenten Bewertungsmaßstab zu generieren. Einen ersten Orientierungsrahmen bieten die in Tab. 23 genannten Indikatoren.

Tab. 23: Mögliche Evaluations-Indikatoren

Handlungsfeld	Mögliche Indikatoren	Mögliche Datenquelle
Grüngestaltung/ Straßengrün	Grünvolumen	Luftbild-/Geodatenanalyse
	Anzahl und Vitalität von Straßenbäumen	Straßenbaumkataster, Experteninterviews
	Bodenkühlleistung	Modellierung, Messung, Grünflächenkataster, Biotopkataster
Menschliche Gesundheit	Witterungsbedingte Einsätze	Einsatzberichte Rettungsdienste, Experteninterviews, Katastrophenschutz
	Mortalität während Hitzeperioden	Krankenhäuser, Seniorenheime, Bestattungszahlen
	Funktionalität Luftleitbahnen, Hitzeinseleffekt	Modellierung, Messung
Siedlungswasserwirtschaft	Hoch- und Niedrigwasserstände	Pegelstände der Fließ- und Stillgewässer
	Überflutungsgefahr	Modellierung
Städtebau	Berücksichtigung von Klimaanpassungsaspekten in Strategien, Plan- und Abwägungsverfahren	Umweltberichte, politische Beschlüsse
	Veränderung Flächenversiegelung, Siedlungsdichte, Größe und Verteilung klimaökolog. Ausgleichsraum auf Gesamtfläche BI	Erhebungen, Analysen

Maßnahmen, die sich zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch in der Umsetzung befinden, sollten im Sinne eines Zwischenfazits analysiert werden. In beiden Fällen ist eine Bewertung vorzunehmen, inwiefern die Maßnahme als erfolgreich und abschließend umgesetzt betrachtet werden kann oder ob noch Nachsteuerungen vorgenommen werden sollten. Bei (noch) nicht umgesetzten Maßnahmen stehen die Identifizierung von etwaigen Umsetzungshindernissen sowie die Formulierung von Empfehlungen zu ihrer Auflösung im Mittelpunkt des Evaluationsprozesses. Je nach Maßnahme kann das die Erarbeitung von konkreten Arbeitsschritten zur Unterstützung der Umsetzung oder aber im Einzelfall auch die Modifikation oder gänzliche Streichung einer Maßnahme aus dem Katalog bedeuten.

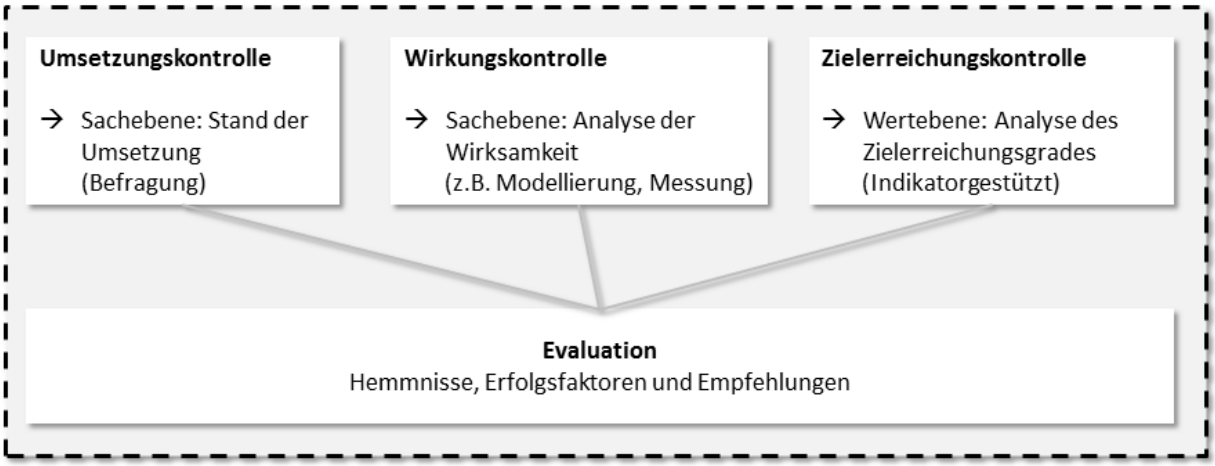


Abb. 91: Schema zur Evaluation der Schlüsselmaßnahmen

4.5 STRATEGIE ZUR KOMMUNIKATION DES ANPASSUNGSKONZEPTES IN DIE STADTGESELLSCHAFT

Neben der Verankerung der Klimaanpassung innerhalb der Bielefelder Verwaltung und in Planungsprozessen ist es ebenso wichtig für die Verstetigung der Klimaanpassung in Bielefeld, eine intensive Öffentlichkeitsarbeit durchzuführen, um die Bevölkerung und die lokale Wirtschaft für die Folgen des Klimawandels und für die Anpassungsmöglichkeiten zu sensibilisieren.

Derzeit ist der Begriff der Klimaanpassung für die breite Bevölkerung noch sehr abstrakt. Es sollte darauf hingearbeitet werden, dass die Notwendigkeit zum Umgang mit Klimafolgen klar und deutlich kommuniziert wird. Dabei sollte immer betont werden, dass Klimaanpassung letztlich für den Erhalt und für die Verbesserung von Lebensqualität in Bielefeld steht. Bei der Kommunikationsstrategie sind die Synergien mit dem Klimaschutz zu berücksichtigen.

Das Kommunikationskonzept für die Klimaanpassung in Bielefeld umfasst zwei Handlungsebenen:

1. kontinuierliche Information der Öffentlichkeit über den Klimawandel, über dessen Folgen für Bielefeld und über die Anpassungsaktivitäten der Stadt

2. Initiierung von Beratungsangeboten von BürgerInnen und Unternehmen zur eigenen Durchführung bzw. Mitwirkung bei der Umsetzung konkreter Anpassungsmaßnahmen (siehe Kapitel 4.5.2)

3. Ggf. ein integriertes Warnsystem für Einzelereignisse, die mit dem Klimawandel vermutlich/mit hoher Wahrscheinlichkeit in Verbindung stehen, insofern es nicht durch Bundesbehörden abgedeckt ist (O3, Hitze, hoher UV-Index, hohe Feinstaubbelastung, hohe SO2-Belastung, Überschwemmung, Starkregen)

Dabei sind auch gezielte Kampagnen zu bestimmten Themen oder Förderprogrammen durchzuführen.

4.5.1 Informationsbereitstellung

Die Information und die aktive Einbindung der Öffentlichkeit in die Anpassungsdiskussion bildet einen unverzichtbaren Bestandteil des Bielefelder Klimaanpassungskonzeptes. Die gewonnenen Erkenntnisse über Betroffenheiten und die entwickelten Maßnahmen müssen regelmäßig und auf unterschiedlichen Wegen einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. In der Bevölkerung, in der Politik, in der lokalen Wirtschaft und bei weiteren relevanten Akteuren muss ein Bewusstsein für die Handlungsanforderungen geschaffen werden, die sich durch die klimatischen Veränderungen sowohl für Stadt Bielefeld als auch individuell für die Bürgerinnen und Bürger ergeben.

Die Verwaltung und auch diverse andere Akteure betreiben schon viele Aktivitäten, die als Maßnahmen zur Klimaanpassung bezeichnet werden können. Hierzu zählen beispielsweise Maßnahmen zur Begrünung von Freiräumen und Gebäuden, die Verschattung von Spielflächen sowie Maßnahmen zum Überflutungsschutz etc.. Sie werden jedoch nur selten als „Klimaanpassungsmaßnahmen“ betitelt und beworben. Die umgesetzten Maßnahmen und die erzielten Resultate sind daher verstärkt öffentlichkeitswirksam zu präsentieren.

Mit der Abschlussveranstaltung zur Konzepterstellung am 3.Juli 2019 wurde der erste Schritt in Richtung einer Öffentlichkeitsarbeit zur Klimaanpassung gegangen. Für eine dauerhafte Sensibilisierung der Bielefelder Bevölkerung und der lokalen Wirtschaft bedarf es allerdings Kontinuität. Um eine möglichst große Zielgruppe zu den verschiedenen Aspekten der Klimaanpassung fortwährend zu erreichen sollen für die Verbreitung der Ergebnisse und Ziele des Bielefelder Anpassungskonzeptes sowie zur Information über geplante Maßnahmen unterschiedliche Medien in Kombination genutzt werden.

4.5.1.1 PRESSEARBEIT

Da das Klimaanpassungskonzept in seiner Gesamtheit durch seinen Umfang und seine Komplexität für größere Zielgruppen nur schwer vermittelbar ist, sind anschauliche und leicht verständliche Formate erforderlich. Daher sollten auch die lokalen und regionalen Medien (z.B. das Lokalradio bzw. -fernsehen oder Zeitungen wie die Neue Westfälische und das Westfalenblatt) an der Information der Bevölkerung beteiligt werden.

Bislang finden meist nur Extremwetterereignisse wie Hitzewellen oder schadensträchtige Stürme und Starkregen ein Interesse in diesen Medien. Darüber hinaus beschränkt sich die Berichterstattung über Themen der Klimaanpassung bislang auf Randberichte. Wünschenswert wäre hier eine Serie von Artikeln und Berichten, um die Öffentlichkeit kontinuierlich über Fortschritte bei der Umsetzung der Klimaanpassung in Bielefeld zu informieren, insbesondere mit positiven Botschaften, was das Erreichte für die Lebensqualität des Einzelnen / der Einzelnen bzw. ihre/seine Gesundheit bedeutet und was weitere Maßnahmen erwarten lassen. Durch positive Botschaften in Bezug für die eigene Lebensqualität, das Wohlbefinden und

den eigenen Gesundheitszustand werden Menschen eher motiviert als durch negative Nachrichten (Herrmann et al. 2019)

Die Pressestelle der Stadt Bielefeld ist für die Vermittlung des Anpassungskonzeptes und seiner Inhalte an die vorhandenen Kontakte seitens der Medien zuständig. Auch gilt es bei entsprechenden Anlässen (z. B. bei Extremwetterereignissen, bei der Umsetzung von Maßnahmen mit Bezug zum Anpassungskonzept und beim Start von Förderprogrammen) in den Medien regelmäßig Verknüpfungen zum Anpassungskonzept herzustellen.

4.5.1.2 WEBSITE

Die bereits in Bielefeld vorhandenen Informationskanäle sollen für die Ergebniskommunikation des Anpassungskonzeptes genutzt und ausgebaut werden. Hierzu zählt vor allem das bereits existierende Internetangebot zum Thema Stadtklima/Klimaanpassung und zur Starkregenvorsorge. Insbesondere auf der Seite des Umweltamtes wurde bereits während der Konzepterstellung über die Aktivitäten zur Klimaanpassung der Stadt Bielefeld informiert. Ergänzend zu dem vorliegenden fachlichen Endbericht, steht damit ergänzend ein Informationsangebot zur Verfügung, welches die Inhalte und Ziele des Klimaanpassungskonzeptes schnell und anschaulich auch für Nutzer ohne fachliche Vorkenntnisse zugänglich macht.

Die Informationen auf den Internetseiten der Stadt sollen weitergeführt werden, um die Öffentlichkeit kontinuierlich über Fortschritte bei der Umsetzung der Klimaanpassung in Bielefeld zu informieren. Die Website der Stadt dient somit als zentrale Informationsplattform für die Klimaanpassung in Bielefeld. An dieser Stelle empfiehlt sich auch eine Verlinkung zu den Informationsangeboten des Landes NRW (z.B. Fachinformationssystem FIS) und des Bundes (z.B. KomPass-Tatenbank, Klimavorsorgeportal KLIVO, Klimalotse).

Darüber hinaus sind im Online-Kartendienst der Stadt Bielefeld kartographische Informationen als Geodaten für den internen Dienstgebrauch und für externe Nutzer bereit zu stellen.

4.5.1.3 SOZIALE MEDIEN

Neben den klassischen Kommunikationsmedien (Website etc.), bei denen vor allem die Informationsvermittlung im Mittelpunkt steht, kommt insbesondere den sozialen Medien eine Schlüsselrolle zu. Hierzu zählen die Facebook-Seite, das Twitter-Account, der RSS-feed sowie die offizielle App der Stadt Bielefeld. Diese sozialen Medien erreichen ein großes Publikum in allen Altersklassen und Gesellschaftsebenen. Sie bieten die Möglichkeit, in einen Dialog mit den Nutzern zu treten. Dafür sind aber nicht unerhebliche Mittel, z.B. für Moderation erforderlich. Diese Formate ermöglichen wiederum, unmittelbar Informationen über die Bedürfnisse und Interessen der Bevölkerung zu erhalten. Daher eignen sich die sozialen Medien besonders gut, um die Konsensfindung, Akzeptanz und Mitwirkungsbereitschaft positiv zu beeinflussen.

4.5.1.4 VERANSTALTUNGEN

Auch Informationsveranstaltungen stellen nach wie vor ein weiteres zentrales Element der Öffentlichkeitsarbeit zum Klimaanpassungskonzept dar. Sie bieten die Möglichkeit, Aufmerksamkeit herzustellen und den Teilnehmerkreis aktiv und persönlich in die Informationsvermittlung einzubinden. Durch einen Dialog mit der Bevölkerung und mit lokalen Unternehmen lassen sich Informationen besonders nachhaltig vermitteln. Langfristig denkbare Formate sind beispielsweise:

- Stadtführungen, Wanderausstellungen (z.B. in Schulen)
- „Tag des…“ (z.B. des Gründaches, des grünen Innenhofs)
- Marktplätze und Kooperationsbörsen der lokalen Wirtschaft
- thematische Stadtgespräche, Bürgerforen (Kammern, Verbände, VHS etc.)
- „Transition Towns“ (Netzwerkbildung, Lokale Agenda 21) etc.
- Fortbildungsangebote für verschiedene Akteure, z.B. in der VHS

4.5.2 BERATUNG ZUR MITWIRKUNG UND EIGENVORSORGE

Um die Eigenvorsorge bei der Klimaanpassung zu unterstützen, ist es sinnvoll Anlaufstellen einzurichten, welche Bürger und Unternehmen, die aktiv Anpassungsmaßnahmen durchführen wollen, beratend zur Seite steht. Die bestehenden Beratungsangebote der Stadt (z.B. Bürgeramt, Umweltamt, Bauamt, Umweltbetrieb, Wirtschaftsentwicklungsgesellschaft Bielefeld mbH) sollen hierfür zwischen den Fachämtern sowie sonstigen beratenden Institutionen (z.B. Verbraucherzentrale, IHK, Architektenkammer etc.) abgestimmt werden. Nur so kann eine umfassende, widerspruchsfreie Beratung mit hoher Qualität ermöglicht werden. Es ist dabei zu prüfen, ob und wie neue Beratungsangebote geschaffen bzw. zusammengefasst werden können/sollten.

Die Rolle der Stadt Bielefeld besteht insbesondere darin Impulse zu setzen, Synergien zu nutzen und externe Akteure zu motivieren, um Beratungs- und Informationsangebote bereit zu stellen.

Bei der Beratung sollen insbesondere solche Themen aufgegriffen werden, bei denen Hilfestellungen zu Vorsorgemaßnahmen gegeben werden können, die außerhalb der städtischen Zuständigkeit liegen. Die Beratungsstelle soll als Wegweiser dienen, um weiterführende Informationen zu erhalten und geeignete Dienstleister für die Planung und Umsetzung von Maßnahmen (z.B. bauliche Hitzevorsorge, Gebäudebegrünung, Objektschutz vor Starkregen) zu finden. Eine besondere Rolle spielen in diesem Zusammenhang vor allem die lokalen Wirtschaftsunternehmen. Die klimatischen Veränderungen erzeugen bei vielen Unternehmen die Notwendigkeit, die Arbeitsumgebung und Arbeitsprozesse anzupassen. Um Schäden und ökonomische Wertverluste zu vermindern, sollten Anpassungsmaßnahmen realisiert werden. Im Umgang mit den prognostizierten und unvermeidbaren Klimaveränderungen bedarf es in vielen Bielefelder Unternehmen eines besseren Verständnisses der Potenziale und Bedingungen für die Anpassung an Klimafolgen. Durch eine kontinuierliche Beratung der lokalen Wirtschaft sollen Chancen und Risiken des Klimawandels gleichermaßen thematisiert werden.

Ergänzend zu persönlichen Beratungsgesprächen sind Leitfäden o.ä. sinnvoll. Dabei kann neben schon vorliegenden Informationen (z. B. Flyer „Schutz bei Starkregen“ des Umweltbetriebes) auf bereits in anderen Städten vorliegende (übertragbare) Handlungsempfehlungen etc. zurückgegriffen werden, z.B.:

- „Mehr Grün für ein besseres Klima - Leitfaden zur Entsiegelung und Begrünung privater Flächen“ (Stadt Köln/Stadtentwässerungsbetriebe Köln)
- „Wassersensibel planen und bauen - Leitfaden zur Starkregenvorsorge für Hauseigentümer, Bauwillige und Architekten“ (Stadtentwässerungsbetriebe Köln)
- „Klimarobust Planen und Bauen - Leitfaden für Gebäude im Bestand“ (Handwerkskammer Frankfurt/Main)
- Praxisratgeber Klimagerechtes Bauen - Mehr Sicherheit und Wohnqualität bei Neubau und Sanierung“ (Deutsches Institut für Urbanistik).

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem vorliegenden Konzept „BI Fit für den Klimawandel“ steht insbesondere der Stadtverwaltung - aber auch der Stadtgesellschaft – erstmals ein Dokument zur Verfügung, auf dessen Basis der Prozess zur Anpassung an die Folgen des lokalen Klimawandels zielgerichtet und wissensbasiert gesteuert werden kann. Das Konzept besteht aus drei Kernelementen und basiert auf einem intensiven fachübergreifenden verwaltungsinternen Austausch.

Ausgangspunkt ist die fachliche Analyse von Art und Ausmaß des zu erwartenden Klimawandels. Kernbotschaften sind hier vor allem die weitere Zunahme der Erwärmung inklusiver häufiger und intensiverer Hitzeereignisse sowie die steigende Gefahr von Starkregenereignissen. Insgesamt nehmen dabei die Jahresniederschlagsmengen moderat zu, die Niederschläge verschieben sich übers Jahr mit Trockenheitstendenzen im Sommerhalbjahr.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen stellt das Konzept zentrale Ergebnisse von räumlich hochaufgelösten Analysen zu Starkregen- und Hitzegefahren - als die wichtigsten lokalen Klimafolgen – zur Verfügung. In je einer Planungshinweiskarte werden unter Berücksichtigung der komplexen Orographie, der Realnutzung, der Stadt- und Sozialstruktur Bielefelds besonders betroffene bzw. relevante Teilräume konkret identifiziert. Auf der Basis dieser Informationen werden Stadt-, Verkehr- und Umwelt- und Sozialplanung zukünftig bei der Bewältigung ihrer zentralen Aufgaben wissensbasiert unterstützt.

Insbesondere für die in der Analyse identifizierten Belastungsschwerpunkte im Bestand, aber auch für Neuplanungen stellt das Konzept einen umfangreichen Maßnahmenkatalog zur Hitze- und Starkregenvorsorge zur Verfügung. An zwei Fokusgebieten wurde mithilfe von Simulationen die Wirksamkeit der Maßnahmen demonstriert. Hier zeigen sich zum einen die großen Chancen für die Klimaanpassung im Rahmen von Sanierungsvorhaben (z.B. des Jahnplatzes). Zudem zeigt sich, dass sich eine Intensivierung der baulichen Entwicklung und der Erhalt eines gesunden Bielefelder Stadtklimas nicht ausschließen müssen, sondern in Form einer doppelten Innentwicklung vielfältiges Synergiepotential in sich tragen.

Mit Blick auf den weiteren Anpassungsprozess kommt der Umsetzung dieser Maßnahmen und der Verstetigung der damit einhergehenden Arbeitsschritte und Kommunikationswege die entscheidende Bedeutung zu. Die im Konzept integrierten Controlling-Mechanismen sollen den Erfolg des Prozesses unterstützen und messbar machen. Dabei wird es darauf ankommen, nicht nur die Verwaltung und die Politik der Stadt Bielefeld, sondern auch die Bürger und Bürgerinnen sowie die Unternehmen und Initiativen in den weiteren Prozess und die Maßnahmenumsetzung einzubeziehen. Die Klimafolgenanpassung ist eine gesamtstadtgesellschaftliche Aufgabe, die im Interesse aller Akteure liegt und einer intensiven Zusammenarbeit auf allen Ebenen bedarf.

Literaturverzeichnis

Bielefeld 2000plus (2017): Witterungsberichte für die Region Bielefeld für die Jahre 2008-2017. https://www.uni-bielefeld.de/bi2000plus/veroeffentlichungen/dp_51_60.html

Bundesregierung (2008): DAS – Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel

Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung.

Bundesministerium für Umwelt, Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014): Merkblatt Erstellung von Klimaschutzteilkonzepten.

Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Cubasch U., Wuebbles D., Chen D., Facchini M.C., Frame D., Mahowald N., Winther J.-G. (2013): Introduction. In: Climate Change (2013): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2016): DWA-M 119. Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen.

Deutschländer T., Mächel H. (2017): Temperatur inklusive Hitzewellen. In: Brasseur G., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland.

Donat M. G., Leckebusch G. C., Pinto J. G., Ulbrich U. (2010): European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multi-model ensemble of GCM simulations. Climate Research 42:27–43.

DWD (2016) – Deutscher Wetterdienst: Nationaler Klimareport 2016.

DWD (2018a) - Deutscher Wetterdienst: Wetterlexikon. https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102572 (abgerufen am 29.01.2018).

DWD (2018b) - Deutscher Wetterdienst: Wetterlexikon. https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102646 (abgerufen am 24.01.2018).

Fanger P. O. (1972): Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering, New York: Mc Graw Hill

Fink A. H., Pohle S., Pinto J. G., Knippertz P. (2012): Diagnosing the influence of diabatic processes on the explosive deepening of extratropical cyclones. Geophysical Research Letters 39:L07803

Fischer A. M., Weigel A. P., Buser C. M., Knutti R., Künsch H. R., Liniger M. A., Schär C., Appenzeller C. (2012): Climate change projections for Switzerland based on a Bayesian multi-model approach. Int. J. Climatol.

Giorgi F., Jones C., Asrar G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, WMO Bulletin, 58(3):175-183.

Gross, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. Beitr. Phys. Atmosph. , H 62 , S. 57-72.

Gross, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg

Gross, G. (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. Meteor. Z.schr. Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.

Hochschule Bremen (2017) (=HSB): Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten und detaillierten hydrodynamischen Modellen.Praxisleitfaden. Eigenverlag.

IPCC (2014): Climate Change 2014 - Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jaco et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research.

Jendritzky G. et al. (1990): Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen, Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell, Jendritzky G., Menz G., Schmidt-Kessen W., Schirmer H., Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung Nr. 114, Hannover

Jeskulke et al. (2017): Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung - Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. SAMUWA Publikation.

Jeskulke M., Liebscher A., Hoppe H., Schmitt T.G. (2018). Ermittlung gebäudebezogener Überflutungsgefahrenpotenziale bei Starkregen. Beitrag zu: Regenwasser in urbanen Räumen - aqua urbanica trifft RegenwasserTage, 18.-19. Juni 2018, Landau i. d. Pfalz. In: Schriftenreihe Wasser Infrastruktur Ressourcen Band 1, TU Kaiserslautern (2018), ISBN 978-3-95974-086-9.

Kiese, O. (1988): Die Bedeutung verschiedenartiger Freiflächen für die Kaltluftproduktion und die Frischluftversorgung von Städten. Landschaft + Stadt 20, H. 2: 67-71

Knutti R., Abramowitz G., Collins M., Eyring V., Gleckler P.J., Hewitson B., Mearns L. (2010): Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.

Kuttler W., D. DÜTEMEYER (2003): Umweltmeteorologische Untersuchungsmethoden. Deutscher Wetterdienst Offenbach [Hrsg.], Promet 30, Nr. 1/2, S. 15 – 27

Kuttler W. (2010): Urbanes Klima, Teil 1. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 7/8 - Juli/August, S. 329-340. Teil 2. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Umweltmeteorologie, 70, Nr. 9 - September, S. 378-382.

KUTTLER, W. (1999): Bewertungsmöglichkeiten klimatischer Belange (Kap. 19). In: Schneider-Sliwa, R., D. Schaub, G. Gerold (Hrsg.) (1999): Angewandte Landschaftsökologie. Grundlagen und Methoden. Springer Verlag, S. 365-380.

Landeshauptstadt Düsseldorf (2017): Klimaanpassungskonzept für die Landeshauptstadt Düsseldorf (KAKDUS). https://www.duesseldorf.de/umweltamt/umweltthemen-von-a-z/klimaschutz/klimaschutz-komplett/klimaanpassung/klimaanpassungskonzept.html

LANUV (2010): Fachbericht "Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Daten und Hintergründe" des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz

LANUV (2013): Klimawandelgerechte Metropole Köln, LANUV-Fachbericht 50.

LANUV (2016): "Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen – Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016", LANUV-Fachbericht 74

Linke C. et al. (2016): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam, 56 S.

Malberg, Horst (2002): Meteorologie und Klimatologie. Springer Verlag.

MATZARAKIS, A. (2001): Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg Nr. 6. Juli 2001, Freiburg, 287 S.

Matzarakis & Mayer (1996): Another kind of environmental stress: thermal stress. WHO newsletter 18 (January 1996), 7-10

MAYER et al. (1994): Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report 5/94, S. 265 – 267

McDonald R. E. (2011): Understanding the impact of climate change on Northern hemisphere extra-tropical cyclones. Climate Dynamics 37:1399–1425

MOSIMANN et al. (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.

Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J., Stouffer R .J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–756.

Oke et al. (2017): Urban Climates. Cambridge University Press.

Peters G.P., Andrew R.M., Boden T., Canadell J.G., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M.R., Wilson C. (2012): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nat. Clim. Change 3, 4–6.

Pinto J. G., Ryers M. (2017): Winde und Zyklonen. In: Brasseur G., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland.

Pinto J. G., Zacharias S., Fink A. H., Leckebusch G. C., Ulbrich U. (2009): Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones and their relationship with the NAO. Climate Dynamics 32:711–737

Rauthe M., Malitz G., Gratzki A., Becker A. (2014): Starkregen. In: Becker P., Hüttl R. F. (Hrsg.): Forschungsfeld Naturgefahren. Potsdam und Offenbach, S. 112.

RVR (2016): Wissenschaftliche Untersuchung und Beratung zur Klimaanpassung https://www.metropoleruhr.de/regionalverband-ruhr/umwelt-freiraum/klima/klimaanpassung.html

RVR (=Regionalverband Ruhr) (2016a): Fachbeitrag zum Regionalplan der Metropole Ruhr „Klimaanpassung“. https://www.rvr.ruhr/fileadmin/user_upload/01_RVR_Home/02_Themen/Umwelt_Oekologie/Klima/Dokumente/Text_Fachbeitrag_zum_Regionalplan.pdf

SAMUWA (2017): Leitfaden Wassersensible Stadtentwicklung . www.samuwa.de

Scherer (2007): Stadtklima: kleine Parks sind besser https://www.springer.com/environment?SGWID=1-198-2-490713-0

Schmitt, T.G., Krüger, M., Pfister, A., Becker, M., Mudersbach, C., Fuchs, L., Hoppe, H. und Lakes, I. (2018). Einheitliches Konzept zur Bewertung von Starkregenereignissen mittels Starkregenindex. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2018 (65), Nr. 2., S. 113ff. ISSN 1866-0029

Schönwiese, Christian-Dietrich (2008): Klimatologie. UTB.

Stadt Bielefeld (2019): Bielefeld - Fit für den Klimawandel. https://www.bielefeld.de/de/un/stkl/

Stadt Bielefeld (2016)(Amt für Demographie und Statistik): Demographiebericht 2016.

Stadt Bielefeld (2019): „Stadt Bielefeld, Lebenslagen und soziale Leistungen 2017/2018.

Stadt Bochum (2013): Klimaanpassungskonzept Bochum. https://m.bochum.de/C125708500379A31/vwContentByKey/W28V6CPP032BOCMDE

Stadt Düsseldorf (2017): Klimaanpassungskonzept für die Landeshauptstadt Düsseldorf.

UBA (=Umweltbundesamt) (2015): Evaluation of the German Strategy for Adaption to Climate Change (DAS) – Reporting and Closing Indicator Gaps. Climate Change 16/15.

UBA (=Umweltbundesamt) (2015a): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Climate Change 24/15.

VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie – Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2004): Richtlinie VDI 3787 Blatt 9 Umweltmeteorologie – Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene in der räumlichen Planung. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

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

VDI (2008b): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Umweltmeteorologie – Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2015): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Umweltmeteorologie – Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

WERNER 1979: Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe Raumordnung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, 06.032 Bonn 116 S.

Anhang

A1 – KLIMAWANDEL IN BIELEFELD

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

TEMPERATURZUNAHME UND HITZE

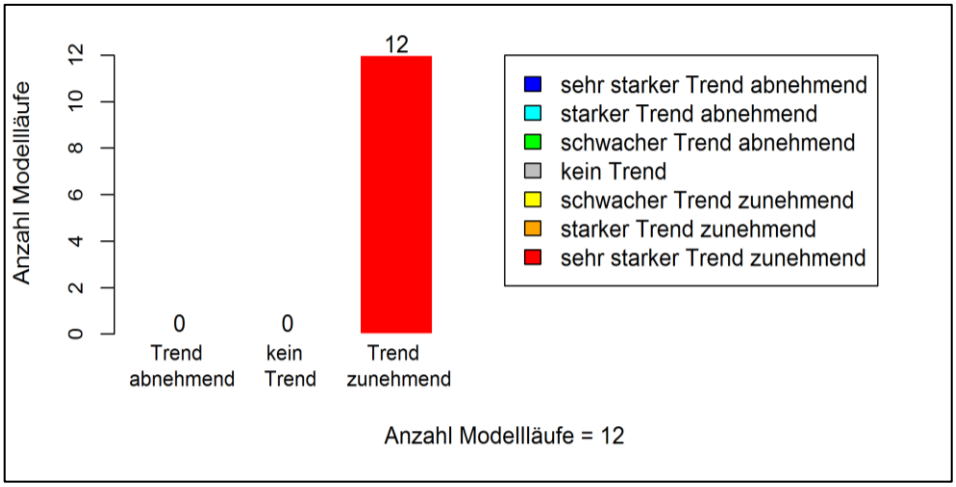


Abb. A 2: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 8.5

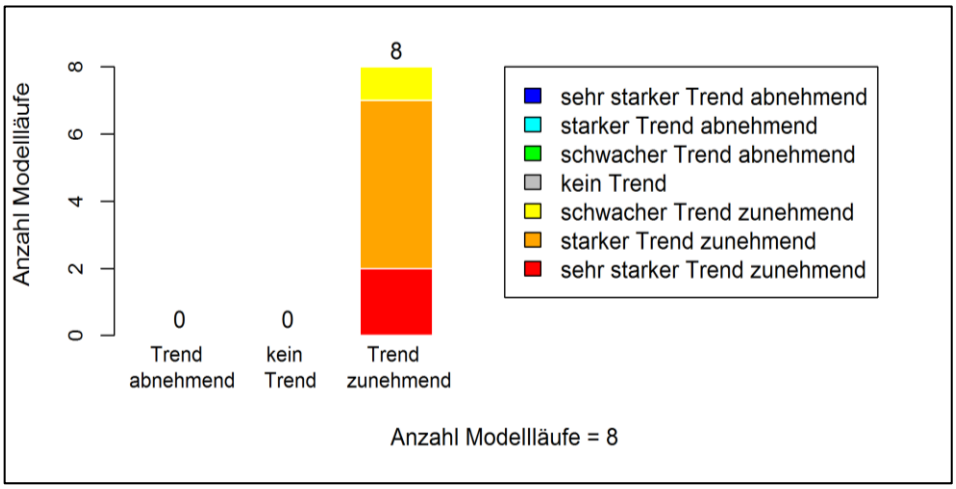


Abb. A 3: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 2.6

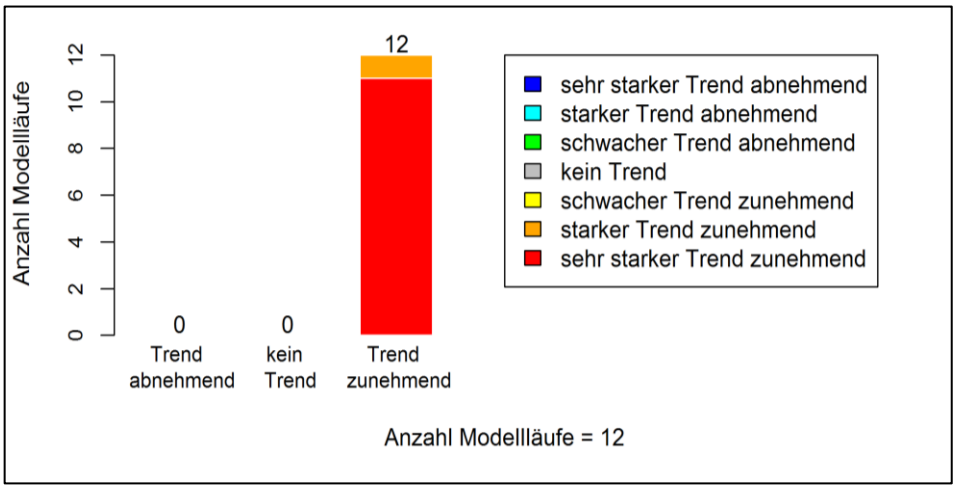


Abb. A 4: Trendbewertung des zeitlichen Trends der Jahresmitteltemperaturen, Szenario RCP 4.5

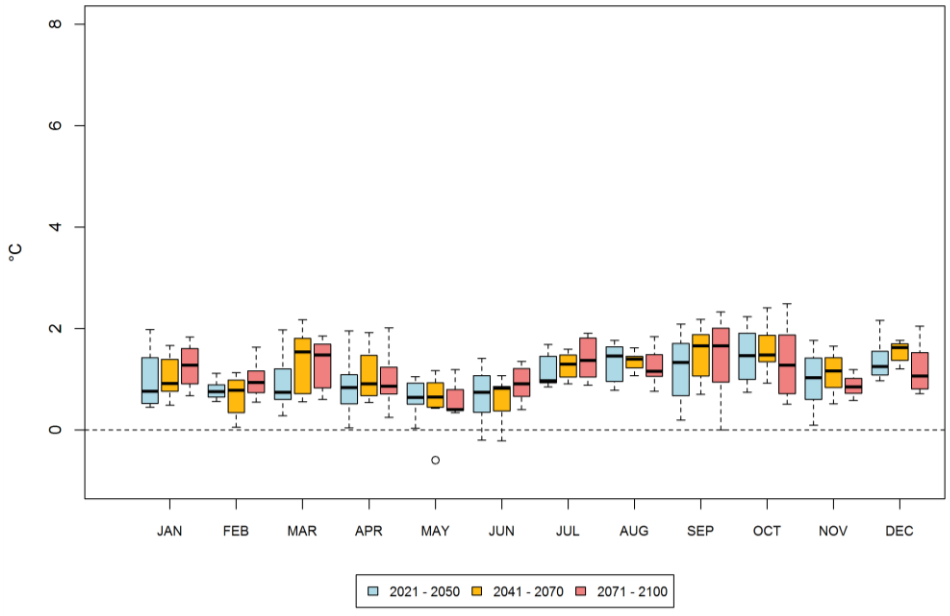


Abb. A 5: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld. Szenario RCP 2.6

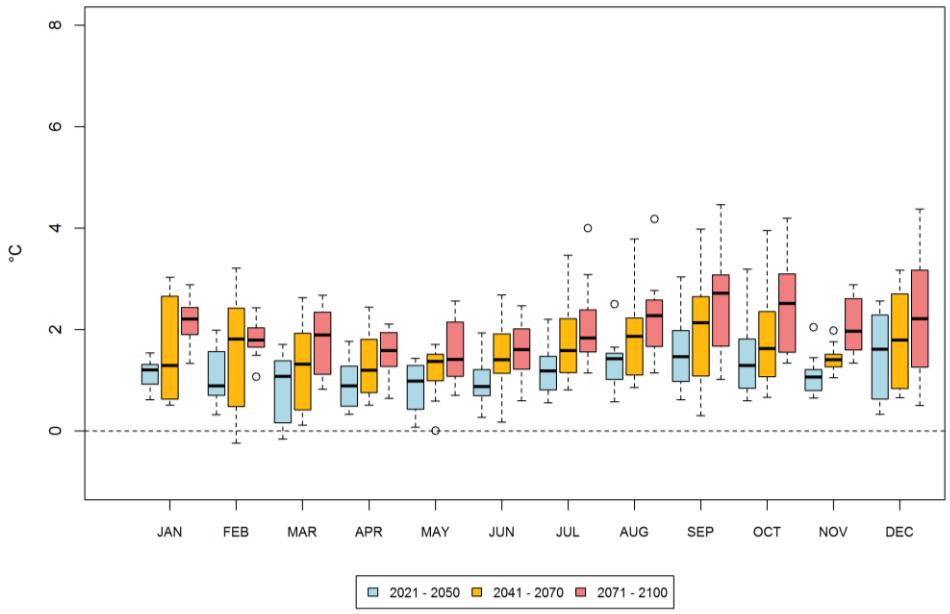


Abb. A 6: Änderung der langjährigen monatlichen Mitteltemperaturen in Bielefeld. Szenario RCP 4.5

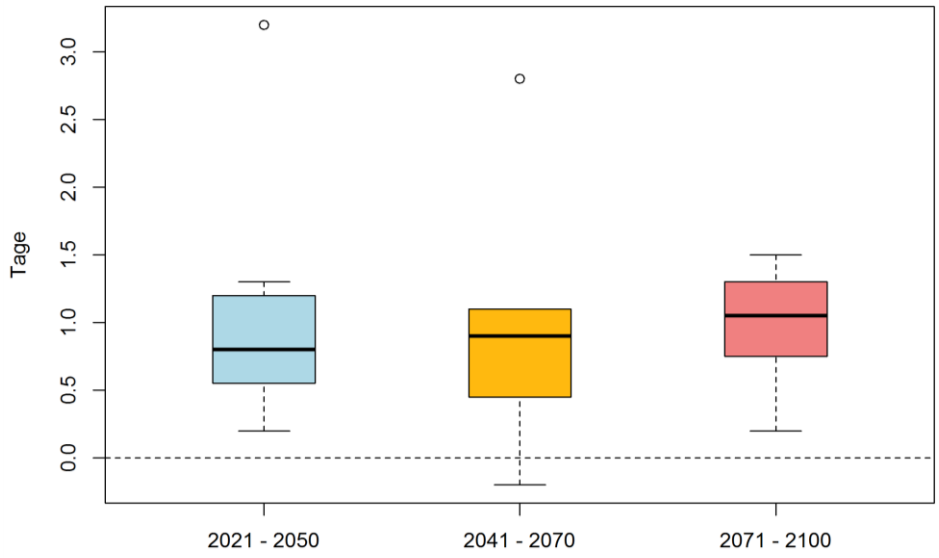


Abb. A 7: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit Tmax ≥ 30 °C) in Bielefeld. Szenario RCP 2.6

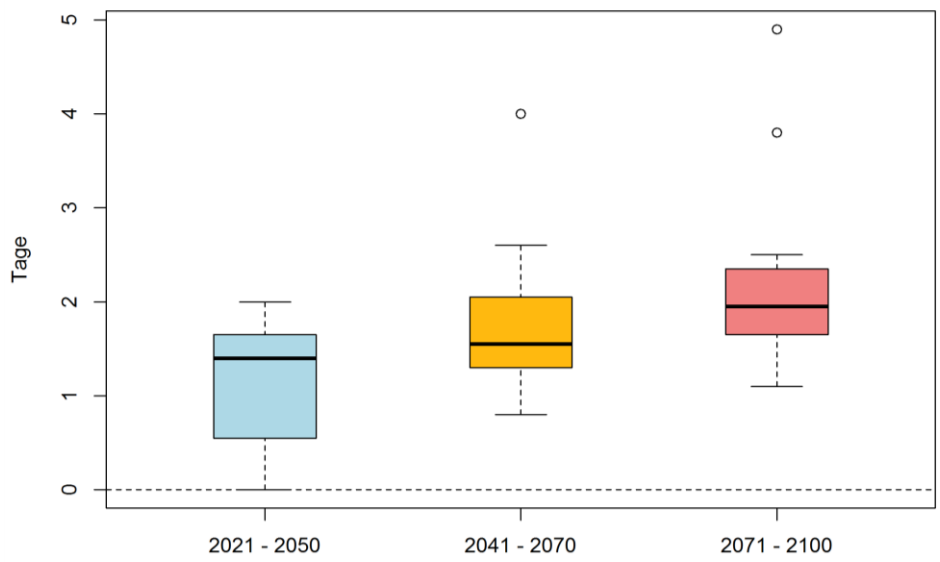


Abb. A 8: Änderung der Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Tage mit Tmax ≥ 30 °C) in Bielefeld. Szenario RCP 4.5

Tab. A 1: Mittlere langjährige Änderung der Temperatur (in °C) in Bielefeld.

	Mitteltemperatur			Minimumtemperatur			Maximumtemperatur		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
2021 - 2050	1,0	1,2	1,2	2,3	3,1	3,1	1,4	1,3	1,8
2041 - 2070	1,2	1,6	2,1	2,4	4,8	5,0	1,4	1,9	2,7
2071 - 2100	1,1	2,0	3,5	3,1	4,3	7,8	1,4	2,4	5,0

Tab. A 2: langjährige mittlere Änderung (Anzahl pro Jahr) thermischer Kenntage in Bielefeld

	2021-2050			2041-2070			2071-2100		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Sommertage ($T_{max} \geq 25$ °C)	9	10	9	9	16	19	9	16	35
Heiße Tage ($T_{max} \geq 30$ °C)	2	4	4	2	5	7	4	6	15
Tropennächte ($T_{min} \geq 20$ °C)	1	2	2	1	3	5	2	4	13
Frosttage ($T_{max} < 0$ °C)	-17	-19	-22	-18	-25	-31	-17	-32	-46
Eistage ($T_{min} < 0$ °C)	-5	-7	-8	-6	-9	-9	-7	-9	-13

Tab. A 3: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Temperaturänderung projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 8 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 12 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 12 Modellkombinationen).

	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Zunahme	8	8	8	12	12	12	12	12	12
signifikante Zunahme	8	8	8	12	12	12	12	12	12
Abnahme	0	0	0	0	0	0	0	0	0
signifikante Abnahme	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NIEDERSCHLAGSVERSCHIEBUNG

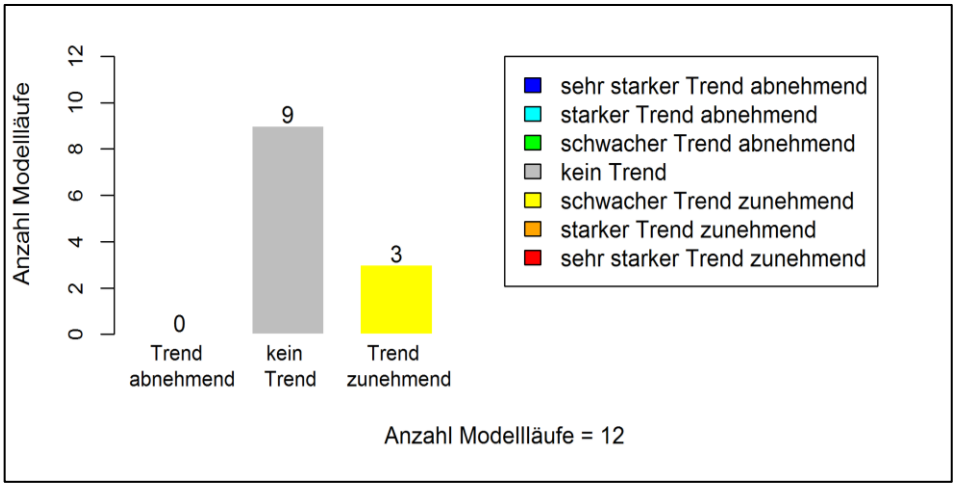


Abb. A 9: Trendbewertung des zeitlichen Trends der jährlichen Niederschlagssummen, Szenario RCP 8.5

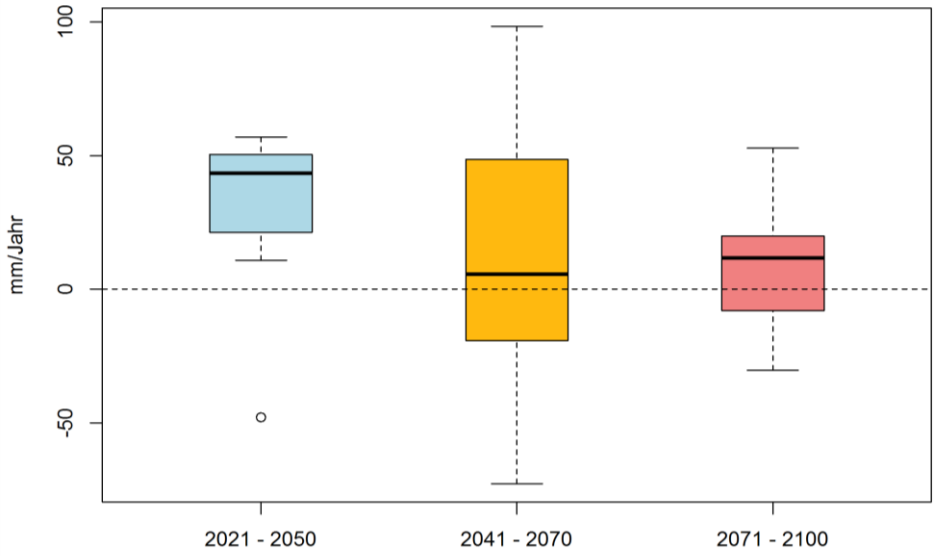


Abb. A 10: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Bielefeld, Szenario RCP 2.6

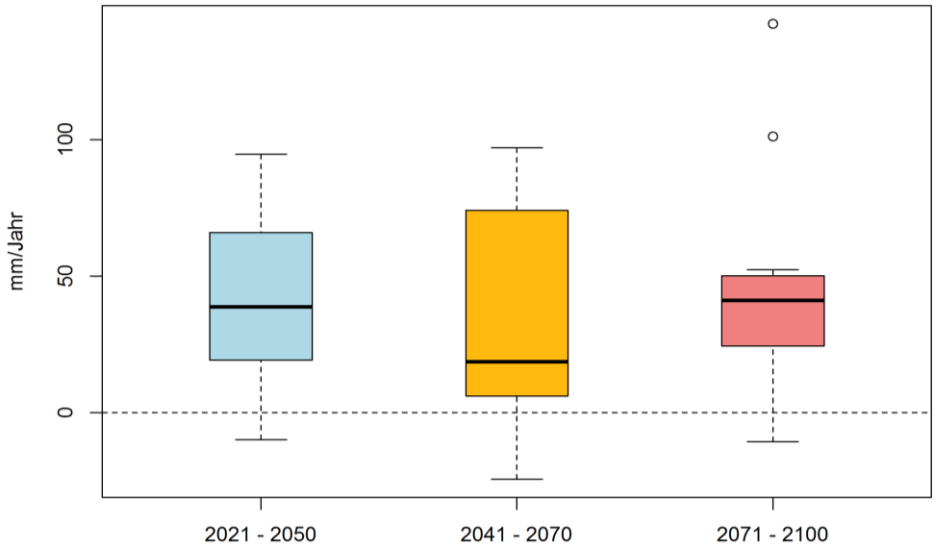


Abb. A 11: Änderung der langjährigen mittleren jährlichen Niederschlagssumme in Bielefeld, Szenario RCP 4.5

Tab. A 4: Mittlere langjährige Änderung der jährlichen Niederschlagssumme (in mm/Jahr) in Bielefeld.

	Jahresniederschlag		
	RCP 2.6	**RCP 4.5**	**RCP 8.5**
2021 - 2050	44	39	48
2041 - 2070	6	19	41
2071 - 2100	12	41	71

Tab. A 5: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der jährlichen Niederschlagssumme projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 8 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 12 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 12 Modellkombinationen).

	RCP 2.6			**RCP 4.5**			**RCP 8.5**		
	P1	**P2**	**P3**	**P1**	**P2**	**P3**	**P1**	**P2**	**P3**
Zunahme	7	5	6	10	10	10	11	10	10
signifikante Zunahme	0	1	0	3	3	2	2	3	6
Abnahme	1	3	2	2	2	2	1	2	2
signifikante Abnahme	0	0	0	0	0	0	0	0	0

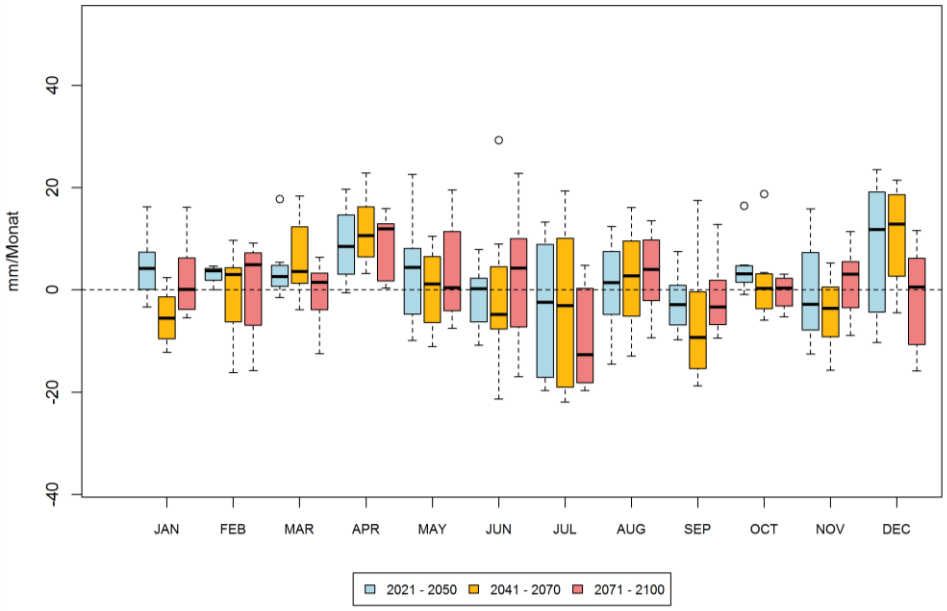


Abb. A 12: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 2.6

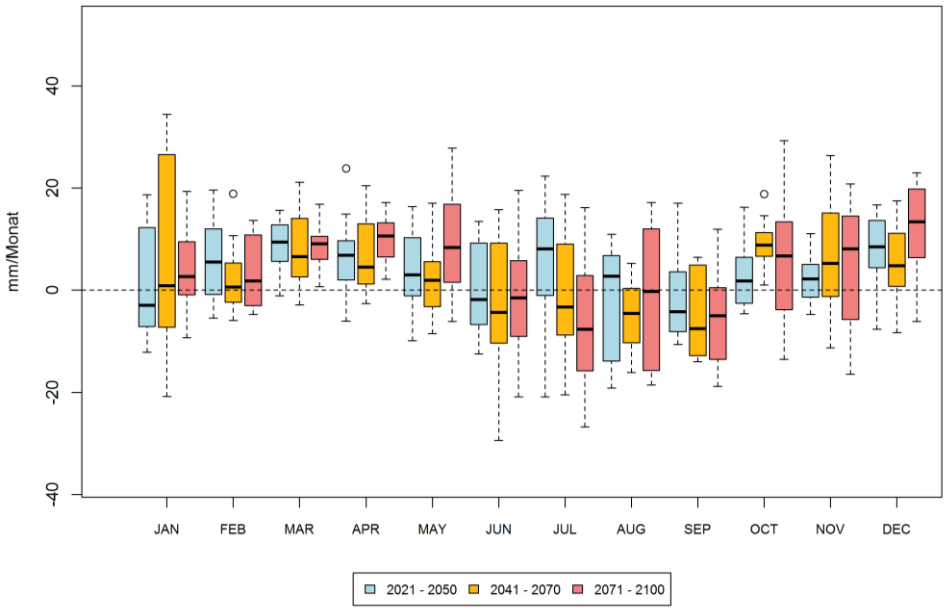


Abb. A 13: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Bielefeld, Szenario RCP 4.5

TROCKENHEIT

Tab. A 6: Mittlere langjährige Änderung der jährlichen Klimatischen Wasserbilanz (in mm/Jahr) in Bielefeld.

	Klimatische Wasserbilanz		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
2021 - 2050	23	30	31
2041 - 2070	9	4	25
2071 - 2100	-3	14	47

Tab. A 7: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der jährlichen Klimatischen Wasserbilanz projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 6 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 10 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 10 Modellkombinationen).

	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Zunahme	4	3	3	8	6	6	9	8	7
signifikante Zunahme	0	1	0	1	0	1	0	1	2
Abnahme	2	3	3	2	4	4	1	2	3
signifikante Abnahme	0	1	0	0	0	0	0	0	0

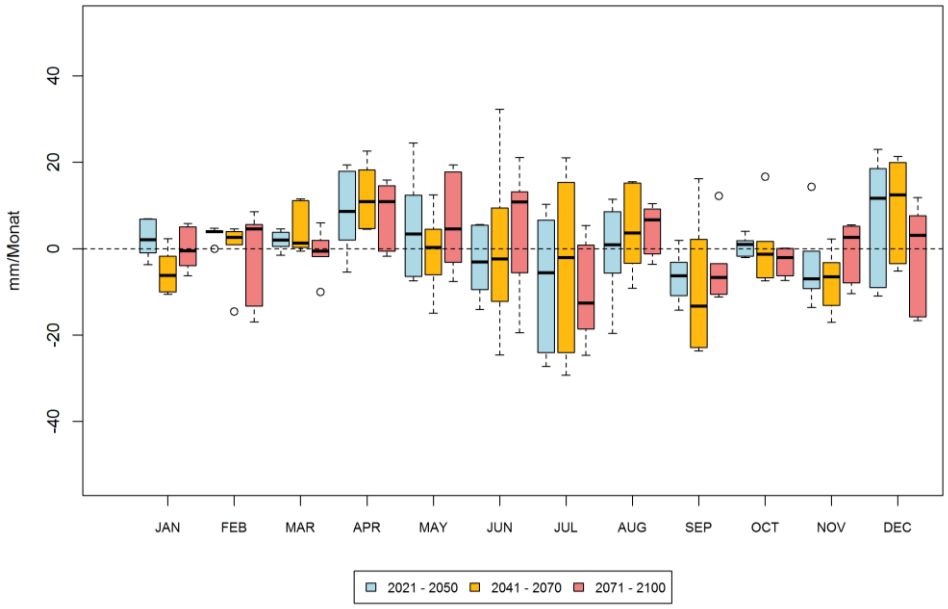


Abb. A 14: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Klimatischen Wasserbilanz in Bielefeld, Szenario RCP 2.6

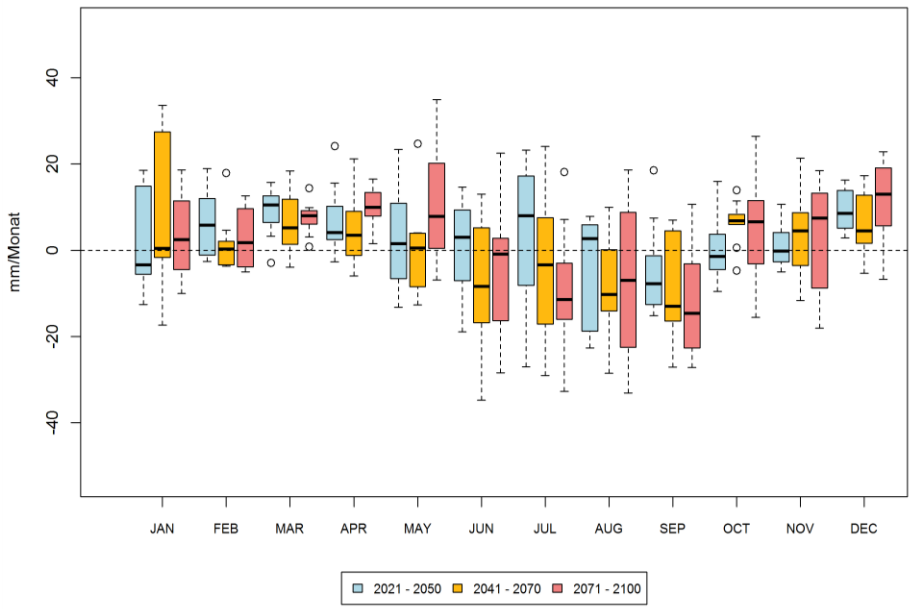


Abb. A 15: Änderung der langjährigen mittleren monatlichen Klimatischen Wasserbilanz in Bielefeld, Szenario RCP 4.5

STARKNIEDERSCHLÄGE

Tab. A 8: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkniederschlagsereignissen innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraums (Tage/30 Jahre) in Bielefeld.

	2021-2050			2041-2070			2071-2100		
	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
starker Niederschlag (N ≥ 10 mm/d)	75	50	81	38	57	99	21	76	158
stärkerer Niederschl. (N ≥ 20 mm/d)	26	25	22	29	37	47	23	48	89
Starkniederschlag (N ≥ 50 mm/d)	2	3	1	1	2	4	1	1	4

STARKNIEDERSCHLÄGE: STARKER NIEDERSCHLAG (N ≥ 10 MM/D)

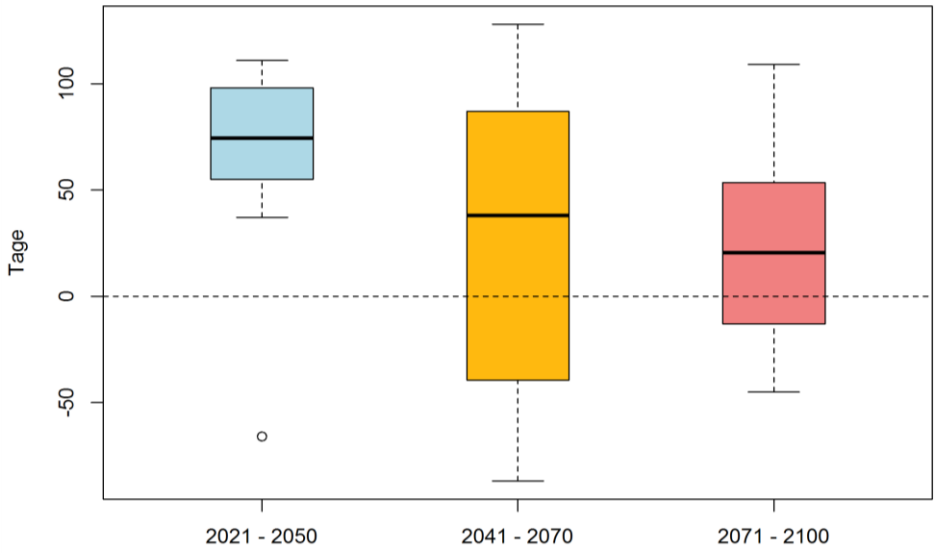


Abb. A 16: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 10 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 2.6

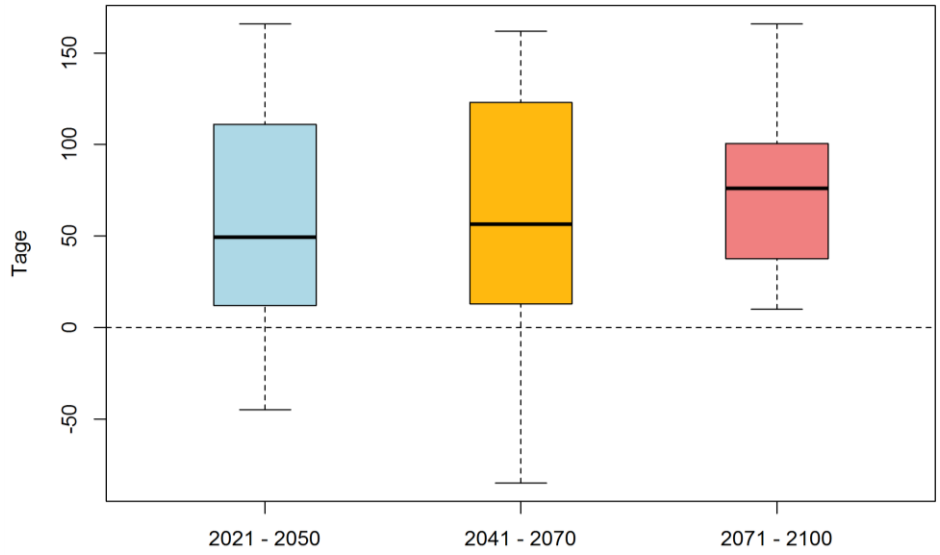


Abb. A 17: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 10 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 4.5

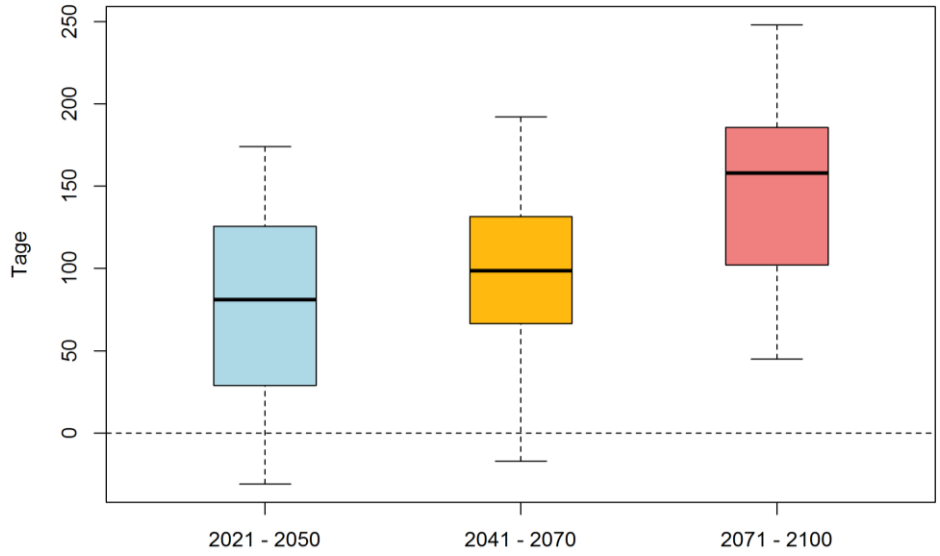


Abb. A 18: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 10 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

Tab. A 9: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Niederschlagsereignissen min N ≥ 10 mm/d projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 8 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 12 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 12 Modellkombinationen).

	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Zunahme	7	5	5	10	9	12	11	11	12
signifikante Zunahme	2	2	1	4	4	5	6	8	10

Abnahme	1	3	3	2	3	0	1	1	0
signifikante Abnahme	0	0	0	0	0	0	0	0	0

STARKNIEDERSCHLÄGE: STÄRKERER NIEDERSCHLAG (N ≥ 20 MM/D)

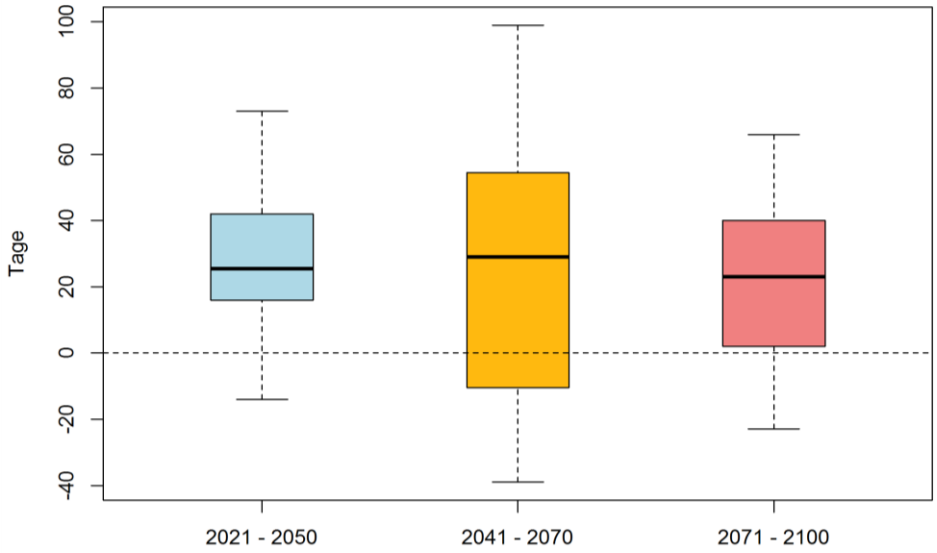


Abb. A 19: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 2.6

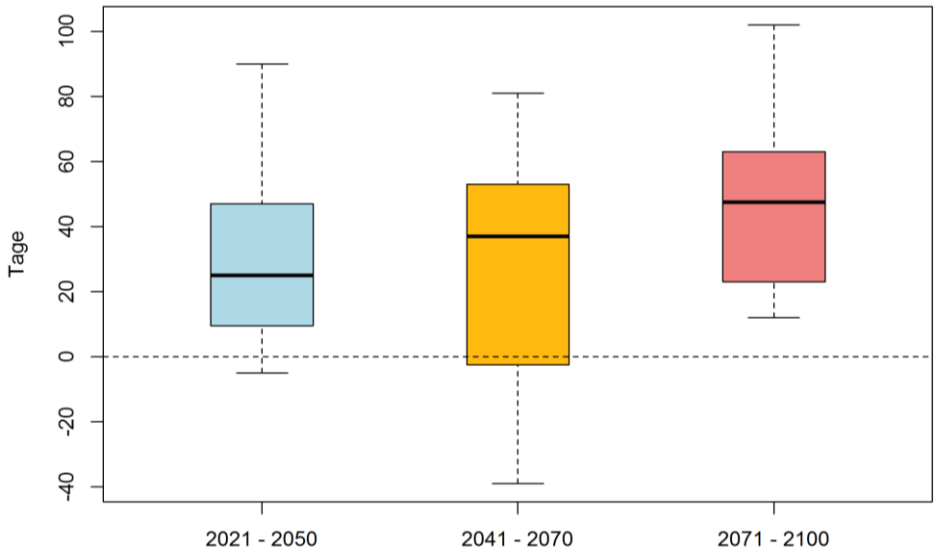


Abb. A 20: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 4.5

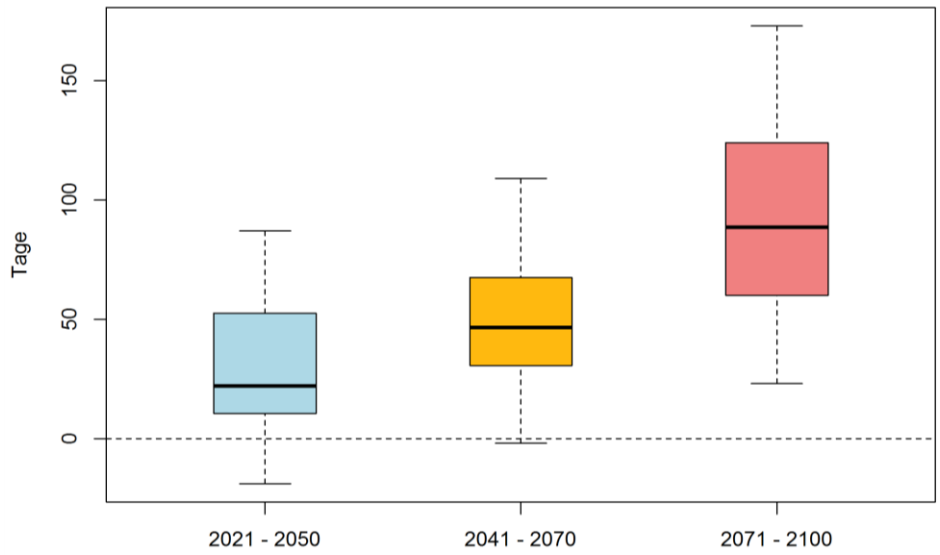


Abb. A 21: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 8.5

Tab. A 10: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 20 mm/d projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 8 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 12 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 12 Modellkombinationen).

	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Zunahme	7	5	6	10	8	12	11	11	12
signifikante Zunahme	1	3	2	3	5	6	5	5	11
Abnahme	1	3	2	2	4	0	1	1	0
signifikante Abnahme	0	0	0	0	0	0	0	0	0

STARKNIEDERSCHLÄGE: STARKNIEDERSCHLAG (N ≥ 50 MM/D)

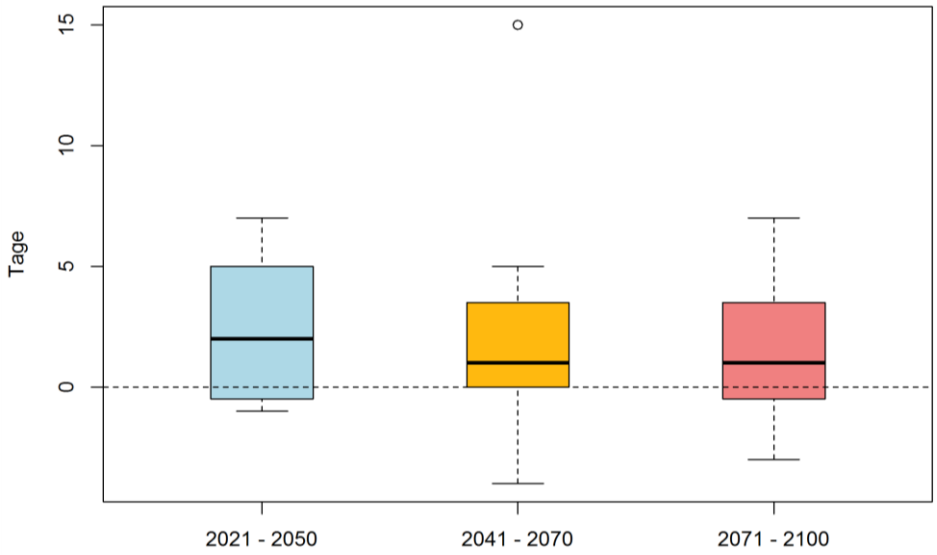


Abb. A 22: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 2.6

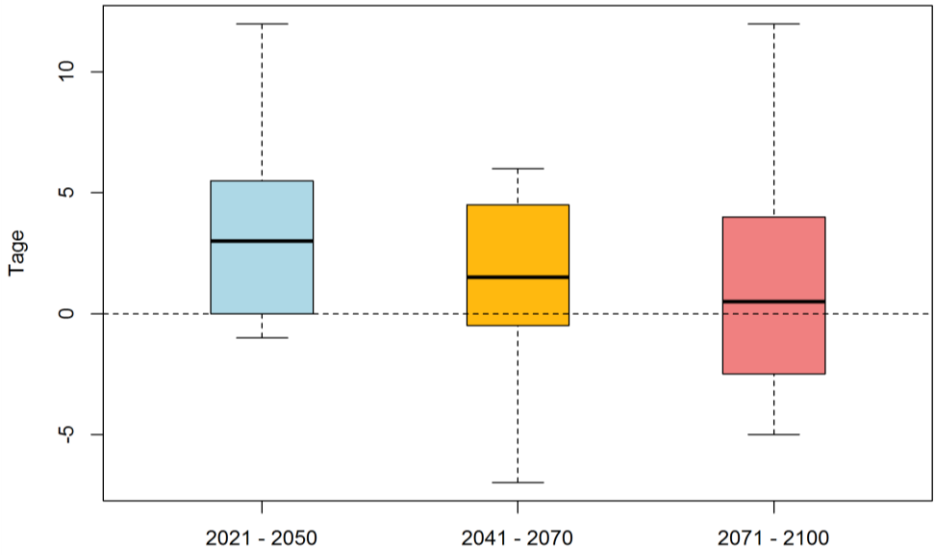


Abb. A 23: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d innerhalb des jeweiligen 30-jährigen Zeitraumes in Bielefeld, Szenario RCP 4.5

Tab. A 11: Anzahl der Modellkombinationen, die eine Änderung der Anzahl von Niederschlagsereignissen mit N ≥ 50 mm/d projizieren (P1 = 2021-2050, P2 = 2041-2070, P3 = 2071-2100, RCP 2.6 = 8 Modellkombinationen, RCP 4.5 = 12 Modellkombinationen, RCP 8.5 = 12 Modellkombinationen).

	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Zunahme	5	5	5	9	8	6	6	8	9

signifikante Zunahme	0	1	0	0	0	3	0	2	3
Abnahme	3	3	3	3	4	6	6	4	3
signifikante Abnahme	0	0	0	0	0	0	0	0	0

STURMEREIGNISSE

Die Auswertungen zum Thema Sturm lassen aufgrund der hohen Unsicherheit der Ergebnisse keine vertrauensvollen Aussagen zu. Aus diesem Grund wurde auf die entsprechenden Abbildungen und Tabellen an dieser Stelle verzichtet.