



Dr. Dütemeyer
Umweltmeteorologie

Kruppstraße 82-100 / ETEC
45145 Essen
Tel.: (0201) 72 66 72 0
E-Mail: info@dr-duetemeyer.de
Internet: www.dr-duetemeyer.de

Umweltmeteorologischer Fachbeitrag

Stadtklimatische Untersuchungen zur Baulandentwicklung „Gerthe-West“

Klimatologische Bewertung der Rahmenplanentwürfe (Abschlussentwürfe)

– Teil 3: Allg. Klimaoptimierungsmaßnahmen –

Auftraggeber (AG):

NRW.URBAN Kommunale Entwicklung GmbH
Träger für die Baugebietsentwicklung Gerthe-
West als Treuhänder der Stadt Bochum

Revierstraße 3
44379 Dortmund

Durchführung:

Dipl. Geogr. Dr. rer. nat. D. Dütemeyer
Dr. Dütemeyer Umweltmeteorologie

Kruppstr. 82 – 100 / ETEC
45145 Essen

Fassung:

1a

Digitale Fassung ohne Unterschrift

Essen, 20.09.2021

Ort und Datum

gez. Dirk Dütemeyer

Dr. Dirk Dütemeyer

Unterschrift Projektleiter

Urheberrechtshinweise und Haftungsausschluss zur Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes

mit dem Titel:

*Stadtklimatische Untersuchungen zur Baulandentwicklung „Gerthe-West“
– Klimatologische Bewertung der Planentwürfe (Abschlussentwürfe)*

von Dr. Düttemeyer Umweltmeteorologie, Essen, 2021

In diesem Bericht werden teilweise Informationen aus externen Quellen verwendet. Die urheberrechtlich zulässige Verwendung dieser Informationen wurde geprüft und ergab folgende **wichtige Nutzungshinweise**:

Einige der aus externen Datenquellen stammenden Informationen sind kostenfrei verwendbar, wenn die Informationen mit einer deutlichen **Herkunftskennzeichnung** versehen sind.

Einige der aus externen Datenquellen stammenden Informationen sind nur für den projektbezogenen, internen Gebrauch bestimmt und dürfen nicht weitergegeben werden.

In diesem Bericht sind daher an den betreffenden Stellen, insbesondere an Abbildungen und Tabellen, die erforderlichen Verwendungshinweise oder Herkunftskennzeichnungen gemäß der von den Urhebern geforderten Zitierweisen direkt und eindeutig vermerkt.

Im Falle der Weiterverwendung der Inhalte dieses Berichtes, insbesondere bei der – auch auszugsweisen – Offenlegung oder Weitergabe, sind unbedingt die Herkunftskennzeichnungen der jeweiligen Informationen zu übernehmen bzw. die Hinweise zur Weiterverwendung zu beachten.

Der Autor haftet **nicht** für **Abmahnungen** über die unzulässige Weiterverwendung oder fehlende Herkunftskennzeichnungen bzw. Urhebervweise bei der Weiterverwendung des Inhaltes dieses Berichtes. Im Streitfall wird der Autor dieses Berichtes durch Vorlage des Originalberichtes seine erbrachte Zitierpflicht nachweisen.

Ausschließlich vom Autor erarbeitete Aussagen dürfen bei Nennung des Autors, des Titels und des Erscheinungsjahres kostenfrei verwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

1.1	Übersicht.....	4
1.2	Hitzeprävention bei Gebäuden	9
1.3	Hitzeprävention im Außenbereich.....	12
1.4	Grünflächen und Wassermanagement	14
1.5	Luftreinhaltung.....	14
1.6	Flächenhafte Effektmaximierung	14
1.7	Literatur.....	16

Für klimagerechte Quartiergestaltungen gibt es zahlreiche Maßnahmenvorschläge für unterschiedliche räumliche Maßstabebenen, die zur Minderung des Hitzestresses und des Überschwemmungsrisikos in der Stadt in Hinblick auf den Klimawandel sowie zur Verbesserung der Durchlüftungsverhältnisse besonders geeignet sind und im Rahmen einer detaillierten Anpassungsuntersuchung für das Ruhrgebiet im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) empfohlen wurden.

1.1 Übersicht

Eine kompakte Maßnahmenübersicht enthält nachstehende Liste sowie **Tab. 1**. Einige Maßnahmenanwendungen sind in **Abb. 1** exemplarisch skizziert. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Maßnahmen.

Bauwerksanordnung

Die Bauwerksanordnung hat maßgeblichen Einfluss auf die Durchlüftung.

- Eine **zur Hauptwindrichtung parallele Gebäudeausrichtung** ist zu empfehlen, um die Durchlüftung und damit den Wärmeabtransport zu verbessern.
- Entlang der Anströmrichtung sollten einige **Belüftungskorridore** in Form von Grünflächen des Savanntentyps freigehalten werden.
- Die Bildung quer zur Windrichtung liegender Gebäude (**Strömungsriegel**) ist zu vermeiden.
- Bei Blockrandbebauung oder geschlossenen Innenhöfen kann die Belüftung durch breite und mehrgeschossige Gebäudedurchlässe verbessert werden.
- In verkehrsberuhigten **Straßenschluchten** (z. B. Fußgängerzonen) mit beidseitig geschlossenen Gebäudefassaden können zwischen den Gebäuden horizontal gespannte **helle Sonnenschutzsegel** zur Verschattung angebracht werden. Durch vertikalen, überlappenden Versatz von Einzelsegeln bleibt die Durchlüftung gewährleistet.

Gebäudefassaden und Dächer

Fassaden und Dächer haben maßgeblichen Einfluss auf die Erwärmung von Gebäuden und deren nahen Außenbereichen und sind eine der Hauptursachen städtischer Wärmeinseln.

- Die Wärmedämmung von Fassaden und Dächern nach **GEG-Standard** (2020, vormals EnEV 2020) reduziert sowohl die Gebäudeinnenerwärmung als auch die Wärmeabstrahlung nach außen.
- Bei der Fassadengestaltung sind **helle Farbtöne** zu bevorzugen, um Überwärmungseffekte zu vermeiden. Gleiches gilt für **Dächer**.

Gebäudefassaden

- Großflächige **sonnenexponierte Fassaden** (Südost- Süd- und Südwestfassaden) sollten primär durch Bäume oder ersatzweise mit Fassadenbegrünung verschattet werden, um Gebäude vor **Aufheizung** zu schützen. (Für Nordfassaden ist dies aufgrund fehlender Sonneneinstrahlung nicht zwingend erforderlich.)
- In **engen Straßenräumen** sind Fassadenbegrünungen gegenüber Baumpflanzungen aus Gründen der Belüftung zu bevorzugen.

- Neubauten: Schatten spendende **Arkadengänge** in sonnenexponierten Fassaden in Erwägung ziehen.

Tab. 1: **Übersicht über städtebauliche Handlungsmaßnahmen zur klimatischen und klimawandelgerechten Optimierung von Bauvorhaben (aus MUNLV 2010, verändert).**

Hinweis: Die H- und E-Kennziffern verweisen auf die detaillierten Maßnahmenerläuterungen im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010).

Maßnahme	Schutzziel				
	Abkühlung Außenbereich	Abkühlung Gebäude	Verbesserung Durchlüftung	Verbesserung Luftqualität	Abwehr Niederschl.-überschwemmung
Gebäudeoptimierung					
H8 Dachbegrünung	nur bei Flachbauten	insb. Obergeschosse			
H10 Fassadenbegrünung			wenn als Baumaßsatz		
H14 Hauswandverschattung, Wärmedämmung					
H15 Geeignete Baumaterialien verwenden					
Optim. Geb.-Energetik (Strom/Wärme EnEV, GEG)					
H15 Helle Fassadenfarben					
H18 Verschattungselemente an Gebäuden					
Quartiergestaltung					
städtebauliche Infrastruktur					
H5 Freiflächen erhalten, schaffen, Flächen entsiegeln			wenn wenig Bäume	wenn viele Bäume	
E3 Lokale Niederschl.versickerung, Kanalkoppelung					
E4 Niederschlagsrückhalte-/speichermaßnahmen					
H12 Offene Wasserflächen schaffen					
H13 Gebäudeausrichtung optimieren					
H22 Beschattung relevanter Flächen					
H23 Verkehrsfläch. m.geringer Wärmeleit-/speicherfähig. Wasserdurchlässige Verkehrsflächen					
Grünflächen und Vegetation					
H6 Parkanlagen schaffen, erhalten, umgestalten			wenn wenig Bäume	wenn viele Bäume	
H7 Begrünung von Straßenzügen mit Bäumen				wenn Einzelbäume*	
H19 Vermehrte Bewässerung urbaner Vegetation					
H20 Bepflanzung mit klimaresilienten Pflanzenarten					
H21 Vermehrter Einsatz bodendeckender Vegetation					
Quartierübergreifende Hinweise					
H11 Erhalt oder Schaffung von Frischluftflächen		Wenn Kaltluftzufuhr			
H16 Erhalt oder Schaffung von Luftleitbahnen		Wenn Kaltluftzufuhr			

Wirkung

gering bis garnicht
Wirkungskonflikt

Deutliche Verbesserung
 Mäßige Verbesserung
 Verschlechterung

Wirkungskonflikt von Bäumen ▶ Abwägung des Nutzens!

Pro: - Kühle durch Schatten
 - Absorber für Spurenstoffe + Regen
 - Einzelbäume: effektiv

Contra: - reduzierter vertikaler Austausch
 - Strömungsriegel bei Baumgruppen
 - Gehölze und Wälder: kritisch
 * - Verkehrsreiche Alleen: Spurenstoffalle

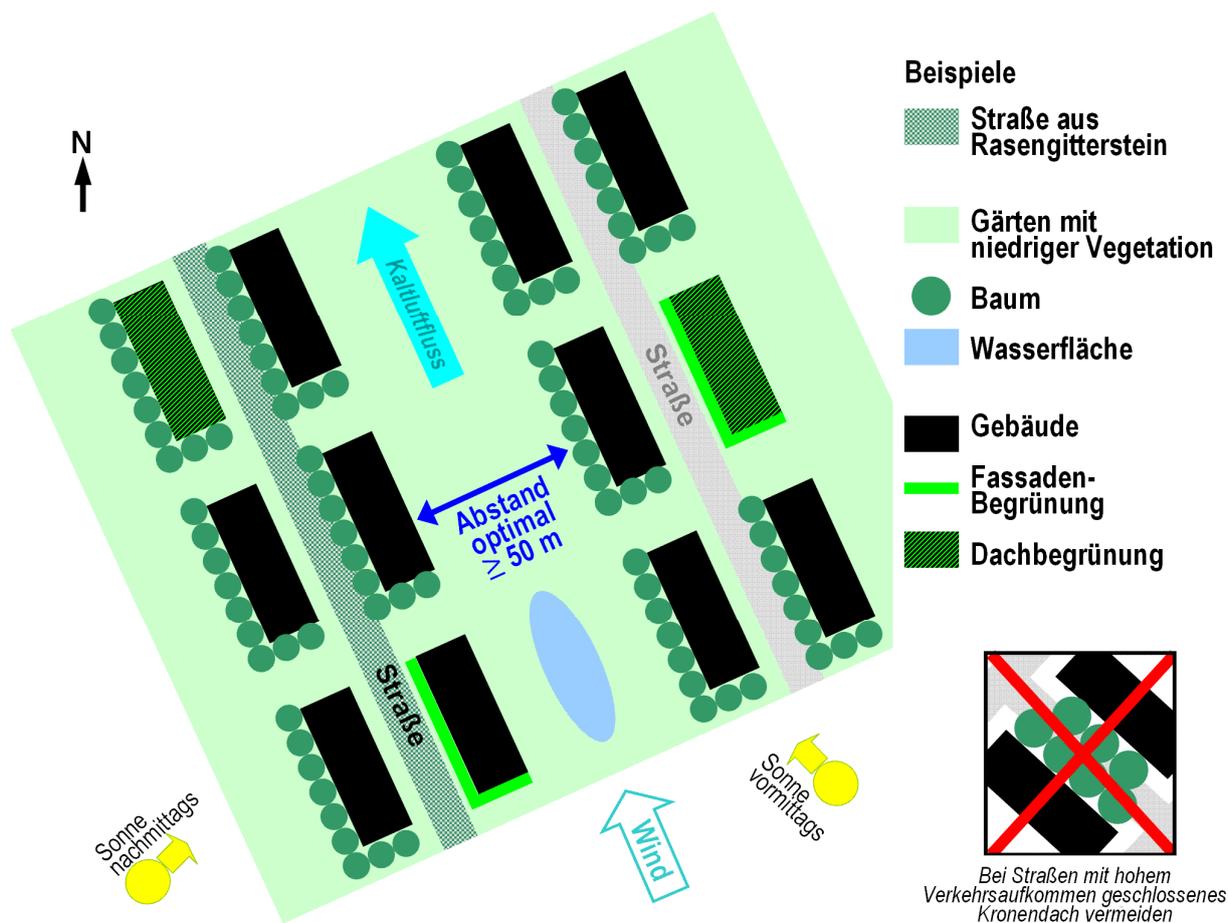


Abb. 1: Beispiele für Klima optimierende grünplanerisch-architektonische Maßnahmen (Schematische Skizze, nicht lage- und maßstabstreu).

Dächer

- Für flache oder gering geneigte Dächer sollten **Dachbegrünungen** favorisiert werden. Gründe:
 - Verbesserung des Gebäudeinnenklimas.
 - Förderung der Regenrückhaltung.
 - Verbesserung des Lokalklimas durch Verdunstungseffekte. (nachrangig bei hohen Gebäuden).
 - Schaffung von Biotopen.
 - Aktive intensive Nutzung (einschl. Hecken/Stauden/Bäumen) als **Dachgarten**.

Erdoberflächen und Versiegelungen

Die Erdoberfläche und deren Versiegelungen haben maßgeblichen Einfluss auf die Erwärmung der bodennahen Atmosphäre. Versiegelte Flächen sind eine der Hauptursachen städtischer Wärmeinseln.

Unversiegelte Flächen

Unversiegelte Flächen können durch Verdunstungskälte die Lufttemperatur spürbar senken und die Überschwemmungsgefahr durch Starkregen reduzieren (Versickerung).

- Die großflächige Anlegung bzw. Nutzung unversiegelter Flächen ist daher zu favorisieren:
- **Grünflächen** oder **Parks** nach dem **Savannen**prinzip mit einzelnen Bäumen oder Baumgruppen auf ansonsten flächendeckender niedriger Vegetation (Rasen, Beete, Bodendecker) verlangsamen die **Bodenaustrocknung** und bilden einen optimalen Kompromiss aus Verschattungszonen und Durchlüftungsmöglichkeit.
- Auch **Wasserflächen**, insbesondere mit Schilfrand, sind geeignete Verdunstungsflächen.

Versiegelte Flächen / Verkehrsflächen

- Verkehrswege und -flächen oder Parkplätze und andere versiegelte Flächen sollten mit Rasengittersteinen oder Fugenpflaster, hellem Kies oder hellem, porösem Asphalt wasserdurchlässig und damit verdunstungsaktiv gemacht werden.
- **Steingärten** mit ästhetischer Funktion sollten vermieden werden.

Baumpflanzungen

Bäume sind wesentliche Klimafaktoren und Biotopelemente durch ihre Funktion als Schattenspende, Luftspurenstofffilter, Verdunstungselement, Niederschlagsfänger und Lebensraum.

- Im Plangebiet sollte ein überdurchschnittlich hoher Baumanteil realisiert werden.
- Baumpflanzungen sollen bewusst als **Verschattungselemente** im öffentlichen Raum eingesetzt werden und den Charakter der privaten Innenhöfe prägen.
 - Geeignete Standorte sind neben Grünflächen auch die Ost-, Süd- oder Westfassaden an Straßen und Innenhöfen, wo die Bäume die Gebäude vor sonnenbedingter Einstrahlung schützen können.
(Auf den Nordseiten von Gebäuden sind Baumpflanzungen aufgrund fehlender Sonneneinstrahlung nicht zwingend erforderlich.)
 - Als Synergieeffekt verzögern die Baumkronen durch Interzeption den **Regenwasserabfluss** und verbessern damit die Starkregenbehandlung.
 - Auch **Laubengänge** und **Hecken** in Erwägung ziehen.
- Bäume sollten jedoch die bodennahe **Belüftung** so wenig wie möglich behindern, um den Abtransport von Spurenstoffen und Wärme zu gewährleisten.
 - Im Straßenraum sind daher **geschlossene Kronendächer** (z. B. bei Alleen) zur Gewährleistung des vertikalen Luftaustauschs (Abtransport von Spurenstoffen) zu **vermeiden**, indem z. B. Sonnen abgewandte Straßenseiten bzw. Nordfassaden von Bäumen frei gehalten werden.
 - Auf größeren, belüftungsrelevanten Freiflächen Baumanordnung in weit abständigen Kleingruppen (**Savannentyp**).
- Einsatz klimawandelangepasster Baumarten prüfen.
- Durch geschickte Verbindung der Standorte der Bepflanzungselemente mit Schattenzonen von Gebäuden können gut vernetzte **Verschattungszonen** geschaffen werden, entlang derer eine Fortbewegung durch das Quartier mit weitgehend **reduzierter Wärmebelastung** möglich ist.

Wassermanagement

Idee der **Schwammstadt**: Effiziente Wasserbevorratung und -verdunstung für Böden und Pflanzen in Trockenperioden zur Lufttemperatursenkung, insbesondere durch Evapotranspiration der Vegetation.

- Neuböden: **Böden** mit hoher nutzbarer Feldkapazität (Wasserspeicherfähigkeit) wie beispielsweise schluffige oder lehmige Böden bevorzugen.
- Lokale Niederschlags**versickerung** durch Entsiegelungen und Kanalnetzabkopplung.
- **Abwehr** von Starkregen/**Überschwemmungen** durch Entsiegelungen, Geländemulden, **Wasserspeicher** (Rigolen, Regenwasserzisternen), Dachbegrünungen und großkronige Bäume.
- Die Wasserspeicher dienen auch als Wasserreservoir für Pflanzen während Trockenphasen.

Luftreinhaltung

Bebauungen und Ihre Nutzungen sind Quellen unerwünschter atmosphärischer Spurenstoffe, deren Anreicherung zu minimieren ist.

- Zur Minimierung der Zusatzbelastung mit atmosphärischen Spurenstoffen sollten Gebäude mindestens dem **GEG-Standard** (2020, vormals EnEV 2020) entsprechen.
 - In lufthygienisch vorbelasteten Gebieten ist der Passivhausstandard zu empfehlen.
- Die ergänzende Nutzung einfach zu realisierender **regenerativer Energiequellen** wie Fotovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen ist zu empfehlen.
- Je nach lokaler Verfügbarkeit sind auch **Fernwärme**, **Fernkälte** und **Geothermie** in Betracht zu ziehen.
- **Holzbasierte** und andere **feinstaublastige** Feuerungsanlagen (Heizungen, Kamine) sollten vermieden werden, um die Anreicherung von Kaltluftströmen mit Spurenstoffen zu vermeiden.
- Für den Straßenverkehr sollten nur **Anliegerstraßen** ausgewiesen werden; Durchgangsstraßen sollten vermieden werden.
- **Immissionsschutzpflanzungen** am Plangebietsrand sind zu empfehlen.

1.2 Hitzeprävention bei Gebäuden

Durch Sonneneinstrahlung **aufgeheizte Gebäude** erwärmen die nächste Umgebung und führen zur Wärmebelastung in den Gebäuden selbst. Auch nachts ist die Überwärmung aufgrund verzögerter und langsamer Gebäudeauskühlung gegeben. Daher gilt es, Gebäude vor sonnenbedingter Aufheizung zu schützen.

Zur **Verschattung** süd- bis westexponierter Gebäudewände sollten primär nahe am Gebäude positionierte, hohe **Bäume favorisiert** werden, da sie neben der Gebäudefassade auch den Boden verschatten (zur Auswahl geeigneter Bäume siehe weiter unten). Ferner verzögern die Baumkronen durch Interzeption auch den Regenwasserabfluss und verbessern damit die **Starkregenbehandlung**. An Orten mit enger Gebäudelage und daraus resultierender schwacher Durchlüftung oder mit hohen Belastungen mit atmosphärischen Spurenstoffen sind jedoch **Fassadenbegrünungen** (PFOSER et al. 2013) zu bevorzugen. Als geeignete Fassadenbegrünung gelten insbesondere der Gemeine Efeu (*Hedera helix*), Wilder Wein (*Parthenocissus quinquefolia*) und Knöterich (*Fallopia aubertii*) (MW-BW 2012),

ferner auch Kletterhortensie, Geißblatt, Blauregen, Waldrebe, Kletterrose, Pfeifenwinde oder Immergrüner Kletter-Spindelstrauch (FBB 2013). Ergänzend kann bei flachen oder nur gering geneigten Dächern eine **Dachbegrünung** eine Aufheizung der Dachstühle reduzieren, wobei als Synergieeffekte zusätzlich ein **Biotop** und ein **Starkregenabflusspuffer** entstehen (**Tab. 2**). Bei der Dachbegrünung ist auch eine **intensive** Begrünung (z. B. als **Dachgärten** mit Bäumen) in Erwägung zu ziehen. Gerade bei Gewerbebauten, deren Nutzung mit hohem Publikumsverkehr verbunden ist (z. B. Veranstaltungsgebäude, Messehallen, Hotels, Gastronomie), kann ein Dachgarten gerade in dichter Bebauungslage einen Garten ersetzen und gleichzeitig als Nutzfläche (z. B. für Außengastronomie) dienen. Dabei werden als Substrathöhe laut PFOSE et al. (2013) für kleinwüchsige Bäume mindestens 80 cm empfohlen, für mittelhohe Bäume mindestens 100 cm und für hohe Bäume mindestens 150 cm (FFL 2008).

Tab. 2: Eigenschaften von Dachbegrünungen.

Begrünungsgrad	extensiv	intensiv	Dachgarten
Pflanzengesellschaft	Moose bis Gras-Kraut	Gras-Kraut bis Gehölz	Rasen, Sträucher bis Bäume
Technische Eigenschaften			
Substratdicke	8 – 15 cm	15 – 25 cm	25 – 150 cm
Gewicht	80 – 240 kg/m ²	180 – 300 kg/m ²	300– 1.500 kg/m ²
Erforderliche Gebäudetragefähigkeit	gering	mittel	hoch
Nachträgliche Installierbarkeit	ja	fallweise	nein
Wirkung und Nutzung			
Erzielbare Biodiversität	gering	mittel	hoch
Kühleffekt für Dach-/Obergeschosse	mittel	hoch	sehr hoch
Kühleffekt auf Umgebung	sehr gering	gering	mittel
Niederschlagspufferung	mittel	hoch	sehr hoch
Zusätzl. Nutzbarkeit v. Solaranlagen	vollständig	eingeschränkt	nein
Wirtschaftlichkeit			
Anschaffungskosten	gering	mittel	hoch
Pflegeaufwand	gering	mittel	hoch
Wasserversorgung	passiv (nur Niederschlag)	fall- / teilweise aktiv	überwiegend aktiv

Die Wirkung von Dachbegrünungen auf den **Außenbereich** jenseits des Daches ist je nach Größe der begrüneten Dachfläche räumlich auf die nähere Umgebung von i. d. R. einigen Metern bis wenigen zehner Metern begrenzt. Der Wirkungsnutzen für die Umgebung ist daher weniger bei mehrgeschossigen, sondern eher bei niedrigen, ein- bis zweigeschossigen Gebäuden (z. B. frei stehenden Garagen) gegeben.

Auch über die **Fassaden- und Dachfarbe** kann das lokale Klima beeinflusst werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass sowohl zu dunkle als auch zu helle Farben aus klimatischer Sicht Nachteile haben. **Dunkle Fassaden und Dächer** weisen eine niedrige Albedo und damit einen geringeren Reflexionsgrad bzw. hohen Absorptionsgrad für die kurzweilige Sonnenstrahlung auf (HUPFER und KUTTLER 2006). Dadurch würde sich das Mauerwerk stärker aufheizen und die Energie als Wärmestrahlung sowohl in den Innenraum als auch an

den Außenbereich abgeben. In der unmittelbaren Umgebung kommt es zur Erhöhung der Lufttemperatur. Die erwärmte Luft wird anschließend mit dem Wind als Warmluftblase in die Umgebung transportiert, wobei sie sich allerdings nach wenigen hundert Metern wieder auf das Temperaturniveau des Umfeldes abgekühlt hat. **Helle Fassade und Dächer** hingegen weisen eine hohe Albedo und damit einen hohen Reflexionsgrad bzw. geringen Absorptionsgrad für die kurzwellige Sonnenstrahlung auf. Auf diese Weise werden zwar Gebäude vor Aufheizung geschützt, allerdings führt die in die Umgebung zurück reflektierte Sonnenstrahlung zur Erhöhung der Wärmebelastung im Außenbereich. Um die Nachteile sowohl von zu dunklen als auch zu hellen Fassaden und Dächern zu minimieren, sollte eine Farbe mit **mittlerer Albedo** gewählt werden, beispielsweise eine mittlerer Grauton oder pastellartige bzw. helle Farbtöne (Orange, türkis, grün, etc.). Derartige Farben stellen einen Kompromiss zwischen Reflexionsminderung und Aufheizungs- bzw. Wärmeabstrahlungstendenz dar. Hinweise auf geeignete Farben und Baustoffe gibt **Tab. 3**, wobei im Vergleich zu üblichen bzw. klassischen Komponenten hier solche mit einem Reflexionsgrad $\geq 0,4$ zu favorisieren sind.

Ferner kann die im Rahmen des GEG (2020, vormals EnEV 2020) geforderte **Gebäudewärmedämmung** zur Reduktion der Gebäudeaufheizung beitragen.

Tab. 3: Reflexionsgrad (Albedo) für kurzwellige Strahlung von typischen Baumaterialien, und natürlichen Oberflächen (Durchschnittswerte) (aus HUPFER & KUTTLER 2006, nach HELBIG 1987, ergänzt).

Anstriche	von	bis	Tragwerk	von	bis
weiß	0,70	0,90	Aluminium, hochglänzend	0,80	0,85
Hellgelb	0,60	0,70	Aluminium	0,60	
Pastellfarben	0,60		Birke hell	0,60	
hellgrün, hellrot, hellblau, hellgrau	0,40	0,50	Aluminium, mattiert	0,50	0,70
beige, ocker, orange, mittelgrau	0,25	0,35	Stahl, poliert	0,50	0,60
rot, braun, grün	0,20	0,35	Stahl	0,40	
dunkelgrau, dunkelrot, dunkelblau	0,10	0,20	Eiche Dunkel	0,20	
dunkle Farbe	0,10		Eisen, rostrot	0,20	
schwarz	0,02	0,15			
Wände	von	bis	Fenster	von	bis
Putz, weiß	0,70	0,85	Glas: Sonnenhöhe > 60°	0,05	0,10
Gips	0,70	0,80	Glas: Sonnenhöhe 10° – 60°	0,09	0,52
Beton, weiß	0,71		Straßen	von	bis
Beton hellgrau	0,60		heller Stein, Marmor	0,60	
Ziegel hellgelb	0,60		dunkler Granit	0,10	
Ziegel hellbraun	0,40		Asphalt	0,05	0,20
Beton dunkelgrau	0,40		Natürliche Oberflächen	von	bis
Beton	0,30	0,50	Neuschneedecke	0,75	0,90
Sandstein	0,30		Altschneedecke	0,40	0,70
Kalkmörtel	0,27	0,27	trockener, heller Sandboden	0,25	0,45
Naturstein	0,20	0,35	Wiese	0,15	0,25
Ziegel, rot	0,10	0,20	Laubwald	0,15	0,20
Ziegel dunkelrot	0,10		Getreidefeld	0,10	0,25
Dächer	von	bis	Nadelwald	0,10	0,15
Teer und Split	0,08	0,18	dunkler Ackerboden	0,07	0,10
Dachziegel	0,10	0,35	Wasserflächen	0,03	0,10
Schiefer	0,10				
Wellblech	0,10	0,16			

1.3 Hitzeprävention im Außenbereich

Gegen **Hitzestau im Außenbereich** (Straßenschluchten, Hinterhöfe und Gebäudezwischenräume) ist *im Bestand* die Schaffung beschatteter Flächen, beispielsweise durch Begrünung von Straßenzügen und Innenhöfen mit **Bäumen** geeignet. An Standorten mit hohen **Belastungen** mit atmosphärischen **Spurenstoffen** sollte dabei zur Aufrechterhaltung des Luftaustausches ein geschlossenes Kronendach (z. B. Alleen) vermieden werden. Dazu können einzelne Bäume derart positioniert werden, dass sie zwar Schattenzonen schaffen, aber gleichzeitig die Durchlüftung nicht wesentlich behindern. Hierbei wird die Pflanzung im Sinne einer **Baumwiese (Savannentyp)** empfohlen, bei der großkronige Bäume einzeln oder als kleine Gruppen mit weitläufigem Abstand zueinander und in Längsrichtung der primären Anströmrichtung während Hitzeepisoden gepflanzt werden.

Entlang längerer Fußwege sind als Verschattungselemente auch **Laubengänge** oder mindestens 3 Meter hohe **Hecken** an den Süd- bis Westseiten der Wege geeignet, sofern die Ventilationsbedingungen unkritisch sind.

Die Auswahl von Bäumen, die an das zukünftige Klima angepasst sind, ist derzeit noch Forschungsgegenstand. Für Mitteleuropa sollten die Bäume die Merkmale

- Hitzetoleranz
- Trockenheitstoleranz
- geringes Ozonbildungspotenzial
- Frosttoleranz
- Streusalztoleranz und
- Mechanische Toleranz (Versiegelung)

aufweisen. Dabei beschreibt das Ozonbildungspotenzial die bei hohen Lufttemperaturen durch die Bäume erfolgende Freisetzung von biogenen Kohlenwasserstoffen, welche die Ozonbildung begünstigen (insbesondere das hochreaktive Isopren, aber auch Terpene und Limonen). Aus diesem Grund sollten möglichst Pflanzen Verwendung finden, die zu den sogenannten „Low-Emitter-Pflanzen“ zählen (KUTTLER 2011). Dabei handelt es sich um Pflanzen, deren Isoprenemission unter Hitzestress nicht mehr als 2 µg pro g Trockensubstanz pro Stunde beträgt.

Die **Tab. 4** enthält 45 ausgewählte Bäume aus allen Teilen der Welt, die sowohl durch Winterhärte und ein geringes Ozonbildungspotenzial charakterisiert werden als auch optimale Toleranzen gegenüber Trockenheit bei eingeschränkter Wasserversorgung aufweisen. Die Tabelle berücksichtigt in Spalte F18 Empfehlungen einer jüngeren Langzeitstudie aus Bayern mit besonders geeigneten Bäumen für universelle Stadtstandorte, die u. a. die erforderliche Frost- und Trockenstresstoleranz aufweisen (LWG 2018).

In verkehrsberuhigten **Straßenschluchten** (z. B. Fußgängerzonen) mit beidseitig geschlossenen Gebäudefassaden können zwischen den Gebäuden horizontal gespannte helle **Sonnenschutzsegel** zur Verschattung angebracht werden. Durch vertikalen, überlappenden Versatz von Einzelsegeln bleibt die Durchlüftung gewährleistet.

Bei Neubauten können in sonnenexponierte Fassaden von Gebäuden Schatten spendende **Arkadengänge** integriert werden.

Durch die geschickte Verbindung der Standorte der Bepflanzungselemente mit den Schattenzonen von Gebäuden können in Quartieren gut vernetzte **Verschattungszonen** geschaffen werden, entlang derer eine Fortbewegung durch das Quartier mit weitgehend reduzierter Wärmebelastung möglich ist.

Ferner kann die Aufheizung von Erdoberflächen durch **Flächenentsiegelungen** mit anschließender **Bodenbegrünung** reduziert werden. Diese Maßnahmen sollten auch Verkehrsflächen mit einbeziehen, die dann mit Rasengittersteinen, Fugenpflaster oder **hellem** Schotter bzw. Kies belegt werden können. **Steingärten** mit lediglich ästhetischer Funktion sollten jedoch **vermieden** werden. Für erforderliche feste **Oberflächen** sind **helle** und/oder **poröse** Materialien zu bevorzugen.

Tab. 4: Rangliste klimawandelangepasster Baumarten (eigene Sortierung).

nach MUNLV (2010) und KUTTLER (2011) mit Daten von ROLOFF et al. (2008), BENJAMIN & WINER (1998) und LWG (2018).
Rang: gebildet aus der Summe folgender Indikatoren: **H** = heimische Arten, **Og** = geringes Ozonbildungspotenzial, **T** = Trockenheitstoleranz, **W** = Winterhärte, **F18**= Rangklasse geeigneter Arten aus Feldversuch 2018 (LWG 2018)
 Bewertung: **+++**, **++** = sehr geeignet, **+** = geeignet, **--** = ungeeignet, **/** = keine Angaben

Rang	Wiss. Name	Populärer Name	H	Og	T	W	F18
1	<i>Acer campestre</i>	Feld-Ahorn	x	++	++	++	
	<i>Carpinus betulus</i>	Gewöhnliche Hainbuche	x	++	+	++	+
	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Grün-Esche, Rot-Esche		++	+	++	++
	<i>Juniperus communis</i>	Gewöhnlicher Wacholder	x	++	++	++	
	<i>Prunus avium</i>	Vogel-Kirsche	x	++	++	++	
	<i>Sophora japonica</i>	Japanischer Schnurbaum		+	++	+	+++
2	<i>Acer negundo</i>	Eschen-Ahorn		++	++	++	
	<i>Acer platanoides</i>	Spitz-Ahorn	x	++	+	++	
	<i>Alnus x spaethii</i>	Spaeths Erle		/	+	++	+++
	<i>Betula pendula</i>	Sand-Birke	x	++	+	++	
	<i>Pinus sylvestris</i>	Wald-Kiefer	x	+	++	++	
	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Gemeine Robinie		++	++	++	
	<i>Sorbus aria</i>	Echte Mehlbeere	x	+	++	++	
	<i>Sorbus badensis</i>	Badische Eberesche	x	+	++	++	
	<i>Sorbus x thuringiaca</i>	Thüringer Mehlbeere	x	+	++	++	
	<i>Tilia cordata</i>	Winter-Linde	x	++	+	++	
<i>Ulmus pumila</i>	Sibirische Ulme		++	++	++		
3	<i>Alnus incana</i>	Grau-Erle	x	/	++	++	
	<i>Carya tomentosa</i>	Spottnuss		++	++	+	
	<i>Cupressus arizonica</i>	Arizona-Zypresse		++	++	+	
	<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo, Fächerbaum		++	++	+	
	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Amerikanische Gleditschie		/	++	+	++
	<i>Malus tschonoskii</i>	Woll-Apfel		++	+	++	
	<i>Ostrya carpinifolia</i>	Gemeine Hopfenbuche		/	++	++	+
	<i>Pinus nigra</i>	Schwarz-Kiefer		+	++	++	
	<i>Tilia mandshurica</i>	Mandschurische Linde		+	++	++	
	<i>Tilia tomentosa</i>	Silber-Linde		+	++	+	+
4	<i>Acer x zoeschense</i>	Zoeschener Ahorn		/	++	++	
	<i>Cladrastis sinensis</i>	Chinesisches Gelbholz		/	++	++	
	<i>Fraxinus pallisiae</i>	Behaarte Esche		/	++	++	
	<i>Juniperus scopulorum</i>	Westliche Rotzeder		/	++	++	
	<i>Juniperus virginiana</i>	Rotzeder		/	++	++	
	<i>Phellodendron sachalinense</i>	Sachalin-Korkbaum		/	++	++	
	<i>Pinus heldreichii</i>	Panzer-Kiefer		/	++	++	
	<i>Quercus bicolor</i>	Zweifarbige Eiche		/	++	++	
	Quercus cerris	Zerr-Eiche	x	+	++	+	+
	<i>Quercus frainetto</i>	Ungarische Eiche		/	++	+	+
	<i>Quercus macrocarpa</i>	Klettenfrüchtige Eiche		/	++	++	
<i>Robinia viscosa</i>	Klebrige Robinie		/	++	++		
5	<i>Acer rubrum</i>	Rot-Ahorn		++	++	+	
	<i>Ulmus Lobel</i>	Ulme		/	/	/	+++
6	<i>Fraxinus ornus</i>	Blumenesche		/	/	/	++
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Amberbaum		/	/	/	++
7	<i>Magnolia kobus</i>	Kobushi-Magnolie		/	/	/	+
	<i>Parrotia persica</i>	Eisenholzbaum		/	/	/	+

In **Neubaubereichen** kann der Überwärmung durch geschickte **Gebäudeanordnung** vorgebeugt werden. Eine zur **Hauptwindrichtung** parallele Ausrichtung der Baufelder verbessert die Durchlüftung und damit den Wärmeabtransport, d. h. die Bildung quer zur Windrichtung liegender Gebäude (**Strömungsriegel**) ist zu vermeiden. Bei **Blockrandbebauung** oder geschlossenen Innenhöfen kann die Belüftung durch breite und mehrgeschossige **Gebäudedurchlässe** verbessert werden. Zwischen den Baufeldern sind ausreichende **Abstände** zur effektiven Durchlüftung einzuhalten (empfohlen werden mindestens 20 m). Bei einer **Begrünung** der Abstandflächen sollten Bäume gebäudenah oder nach dem **Savannenprinzip** (s. o.) gesetzt werden.

1.4 Grünflächen und Wassermanagement

Da gut Wasser versorgte Böden und **Grünflächen** bei Hitzeereignissen aufgrund der Wärmeenergie verbrauchenden Verdunstung zu einer signifikanten Verbesserung der thermischen Behaglichkeit beitragen können, sollte eine ausreichende **Wasserversorgung** der Böden und Vegetation sichergestellt werden (KUTTLER 2011b, KUTTLER et al. 2012b). Insbesondere bei hohen Lufttemperaturen ist der Wasserbedarf der Vegetation sehr groß, sodass mangelnde Wasserversorgung in dieser Situation zu Trockenstress der Pflanzen führt. Als Leitbild der effizienten Wasserversorgung dient die sog. **Schwammstadt** (BBSR 2015), die über verschiedene Maßnahmen eine effiziente Wasserbevorratung und -versorgung für die Vegetation ermöglicht.

Zunächst sollten im Zuge der baulichen **Neugestaltung** von Quartieren oder bei einzelnen Bauvorhaben **großzügige Grünflächen** auf (ggf. neuen) **Böden** mit hoher nutzbarer Feldkapazität (nFK) wie beispielsweise schluffige oder lehmige Böden angelegt werden, um den Boden als Wasserspeicher und Verdunstungsquelle verfügbar zu machen. Die Wasserzufuhr kann durch lokale **Versickerung** der Niederschläge erfolgen, indem die Bodenoberflächen **entsiegelt** und gleichzeitig die Regenwasserableiter der Dächer und Straßen vom Kanalnetz **abgekoppelt** werden. Dabei können potenzielle, zur Überschwemmung neigende, kurzzeitige Starkregenabflüsse durch Dachbegrünungen, **Geländemulden** und **Wasserspeicher** wie Rigolen oder Regenwasserzisternen verzögert oder gar vermieden werden. Die Wasserspeicher dienen auch als Wasserreservoir für **Pflanzen** während Trockenphasen.

1.5 Luftreinhaltung

Zur Minimierung der Zusatzbelastung mit atmosphärischen **Spurenstoffen** sollten **Gebäude** mindestens dem GEG-Standard (2020, vormals EnEV 2020) entsprechen. Die ergänzende Nutzung einfach zu realisierender regenerativer **Energiequellen** wie Fotovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen ist zu empfehlen. Je nach lokaler Verfügbarkeit sind auch Fernwärme, Fernkälte und Geothermie in Betracht zu ziehen. In Gebieten mit häufigen Inversionswetterlagen und **Kaltluftbildungen** sollten zusätzlich Restriktionen für holzbasierte sowie andere staub- und immissionsintensive **Feuerungsanlagen** (Heizungen, Kamine) geprüft werden.

Für den **Straßenverkehr** sollten nur Anliegerstraßen ausgewiesen werden; Durchgangsstraßen sollten vermieden werden. Bei Neubauvorhaben ist eine Nutzung mit nur wenig Individualverkehr anzustreben. Im Falle nahe gelegener sensibler Flächennutzungen sind abschirmende **Immissionsschutzpflanzungen** in Erwägung zu ziehen.

1.6 Flächenhafte Effektmaximierung

Die zuvor beschriebenen einzelnen Maßnahmen sind hauptsächlich nur lokal wirksam. Um das Klima flächenhaft zu verbessern, sollten die Maßnahmen daher auch in der Fläche angewendet werden, wobei eine örtliche **Bündelung** mehrerer Maßnahmen – sofern sinnvoll

– zu empfehlen ist. Dabei werden i. d. R. auch **Synergieeffekte** zwischen klimatischen, hydrologischen, verkehrlichen, architektonischen, gebäudeenergetischen und biologischen Belangen erzielt, wie die Beispiele in **Tab. 5** zeigen. Dem stehen nur wenige **Konfliktpotenziale** gegenüber, die aus der Sonnenexposition, durchlüftungshemmenden Bäumen, subterrestrischer Technikinfrasturktur sowie dem Denkmal- und Brandschutz resultieren.

Tab. 5: Synergieeffekte und Konfliktpotenziale von Anpassungsmaßnahmen (Beispiele).

Maßnahmen oder Maßnahmenbündel	Synergieeffekte
<ul style="list-style-type: none"> • Versickerungsflächen Rasen/Wiesen/Beete • Bäume 	<ul style="list-style-type: none"> • Hitzeschutz • Starkregenschutz • Biotop
<ul style="list-style-type: none"> • Versickerungsflächen Rasengittersteine • Bäume 	<ul style="list-style-type: none"> • Hitzeschutz • Starkregenschutz • als Verkehrsfläche nutzbar
<ul style="list-style-type: none"> • Dachbegrünungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudewärmedämmung • Hitzeschutz • Regenrückhalt • Biotop (+ Dachgarten)
<ul style="list-style-type: none"> • Dachbegrünung + Solarenergienutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudewärmedämmung • Hitzeschutz • Regenrückhalt • Biotop • Vermeidung fossiler Energie
<ul style="list-style-type: none"> • Fassadenbegrünung 	<ul style="list-style-type: none"> • Hitzeschutz • Biotop • Substitution aufwendiger technischer Fassadenelemente (z. B. Sonnenschutzlamellen/-rollos, Dekorelemente, Wärmedämmung) • enge Straßenschluchten mit stärkerem Verkehr bleiben baumfrei
<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudeschattenzonen, • Bäume, • Hecken, • Laubgänge oder • Sonnenschutzsegel 	<ul style="list-style-type: none"> • Verknüpfung zu verschattetem Fußwegenetz mit reduzierter Wärmebelastung
Maßnahmen oder Maßnahmenbündel	Konfliktpotenziale
<ul style="list-style-type: none"> • Bäume 	<ul style="list-style-type: none"> • Strömungshindernis: in engen Straßenschluchten mit viel Kfz-Verkehr kritisch (Spurenstofffalle) • Standorte mit subterrestrischer Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Vegetation (Wiesen, Rasen, Beete): 	<ul style="list-style-type: none"> • extreme Sonnenexposition: Hitzeschlag, Sonnenstich
<ul style="list-style-type: none"> • Fassaden- und Dachbegrünungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Denkmalschutz und Brandschutz
<ul style="list-style-type: none"> • Bäume in Gebäudenähe 	<ul style="list-style-type: none"> • Denkmalschutz und Brandschutz
<ul style="list-style-type: none"> • Geländemulden • Rigolen • Regenwasserzisternen 	<ul style="list-style-type: none"> • Standorte mit subterrestrischer Infrastruktur

1.7 Literatur

- BBSR (2015): Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung – Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Ergebnisbericht der fallstudiengestützten Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn, 119 S.
- BENJAMIN, M. T. & A. M. WINER (1998): Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. *Atmospheric Environment*, Volume 32, Issue 1, S. 53-68.
- BMVBS (2013): Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben (SNAP). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin, 56 S.
- EnEV (2020): Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die zuletzt durch Artikel 257 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- GEG (2020): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 8. August 2020. Inkrafttreten am 1. November 2020 BGBl. I S. 1728 vom 13. August 2020.
- FBB (2013) - Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (2013): Grüne Innovation Fassadenbegrünung. 11 S. Saarbrücken <http://www.fbb.de/inc/template/Fassadenbegrueung/12-Seiter-Fassadenbegrünung-FBB.pdf>
- FFL (2008) – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.) (2008): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen: Dachbegrünungsrichtlinie 2008. 118 S. Bonn.
- HELBIG, A. (1987): Beiträge zur Meteorologie der Stadtatmosphäre. Abhandl. Meteorol. Dienst d. DDR Nr. 137.
- HUPFER, P. & W. KUTTLER (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage. 554 S. Teubner Verlag, Wiesbaden.
- KUTTLER, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich, Teil 2, Maßnahmen; Climate change in urban areas, Part 2, Measures. In: *Environmental Sciences Europe (ESEU)*, Springer open, Doi: 10.1186/2190-4715-23-21, S. 1-15.
- KUTTLER, W., PÜLLEN, H., DÜTEMEYER, D. & A.-B. BARLAG (2012b): Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen – Untersuchung subterrainer Wärme- und Energieflüsse in verschiedenen Klimatopen. *dynaklim*-Publikation Nr. 23 / März 2012 im interdisziplinären Verbundforschungsprojekt „*dynaklim* - Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin. 38 S. www.dynaklim.de.
- LWG – Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2018): Projekt Stadtgrün 2021 – Selektion, Anzucht und Verwendung von Gehölzen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen – Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr.: KL/17/03. 91 S.
- MW-BW (2012): Städtebauliche Klimafibel online. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg. <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- MUNLV - Minist. f. Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung). Bearbeitet von M. Steinrücke, A. Snowdon (RVR), W. Kuttler, D. Dütemeyer, A.-B. Barlag (Univ. DU-E), J. Hasse (FiW) und C. Roesler, V. Lorke (Difu). 268 S., Düsseldorf.
- PFOSE, N., JENNER, N., HENRICH, J., HEUSINGER, J., WEBER, S., SCHREINER, J. & C. KANASHIRO (2013): Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Abschlussbericht. – TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung (Ausführende Stelle), 2013, 305 S.
- ROLOFF, A., BONN, S. & S. GILLNER. (2008): Klimawandel und Baumartenwahl in der Stadt – als Straßenbäume geeignete Arten. *Allg. Forstztschr. / Der Wald* 63: S. 398-399.
- STULL, R. B. (1995): *Meteorology today for scientists and engineers - A technical companion book*. West Publishing Company, Minneapolis/St. Paul, New York, Los Angeles, San Francisco, 385 S.